



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE MINAS

METODOLOGÍA PARA LA INCORPORACIÓN DEL FACTOR HUMANO COMO
ELEMENTO DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO DE TAREAS MINERAS
BHP MINERALS AMERICAS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL DE MINAS

SEBASTIÁN ANDRÉS FUENTES PÉREZ

PROFESOR GUÍA:
JORGE CUBILLOS MIRANDA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
HANS GÖPFERT HIELBIG
GONZALO MONTES ATENAS

SANTIAGO DE CHILE
2018

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL DE MINAS
POR: SEBASTIÁN ANDRÉS FUENTES PÉREZ
FECHA: 2018
PROF. GUÍA: JORGE CUBILLOS MIRANDA

METODOLOGÍA PARA LA INCORPORACIÓN DEL FACTOR HUMANO COMO
ELEMENTO DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO DE TAREAS MINERAS
BHP MINERALS AMERICAS

Dentro de los distintos tipos de industrias, una que se caracteriza por los riesgos inherentes a su actividad es la industria minera, donde debido a la naturaleza de sus operaciones, complejidad de los sistemas y métodos, existe una alta exposición de los trabajadores a riesgos duros propios y característicos de la actividad, lo que genera la posibilidad de sufrir un accidente con consecuencias fatales. Es por esto que se tienen como fuente de valor en las compañías mineras las iniciativas en torno a la seguridad hacia las personas, actividades que se preocupan de evitar los accidentes mediante la eliminación y tratamiento de los riesgos e impactos.

Este trabajo de memoria tiene como objetivo la incorporación del Factor Humano como elemento clave de seguridad en el diseño de tareas asociadas a la minería. Por esto se tiene un estudio sobre la causalidad de los eventos significativos acontecidos en las faenas mineras chilenas de la compañía BHP, así también el desarrollo de una herramienta práctica para el análisis del error humano.

La metodología planteada incorpora el análisis estadístico de los datos, así como también el análisis cualitativo de estos, el desarrollo de un modelo de causalidad junto con su validación mediante el análisis de encuestas, y finalmente el desarrollo de una guía con el objetivo de identificar los posibles errores humanos que se pueden cometer en el transcurso de las tareas ejecutadas en la operación.

Dentro de los datos utilizados se encuentran los reportes de eventos significativos, es decir sucesos con potencial de fatalidad (incluyendo eventos con y sin lesión), ocurridos entre los años fiscales 2012 y 2016 en Minera Escondida Ltda. Estos nos permiten, a través del uso de un modelo de regresión logística binaria, sumado a una focalización mediante un diagrama de Pareto, definir los factores que contribuyen a la generación de un evento con lesión.

Mediante un análisis cualitativo se logra inferir la relación de causalidad que existe entre los distintos factores involucrados en una lesión, generando un modelo de causalidad el cual tiene como eje central la “Percepción/Reconocimiento del Peligro”. Este concepto actúa como elemento mediador entre las condiciones internas de la persona y las acciones que provocan el error. Este modelo fue validado mediante el uso de una encuesta a 114 trabajadores de primera línea, obteniendo resultados favorables ante diversos criterios de validación.

Finalmente, con las conclusiones originadas en base al estudio, se tiene el desarrollo de una guía que permite identificar, mediante una metodología estructurada, los posibles errores que se pueden cometer en los distintos pasos de una tarea, para así implementar a priori controles que reduzcan la posibilidad de un evento con lesión.

ABSTRACT

Within the different types of industries, one that is characterized by the inherent risks to its activity is the mining industry, where due to the nature of its operations, complexity of systems and methods, there is a high exposure of workers to high level and characteristic risks of the activity, which generates the possibility of suffering an accident with fatal consequences. That is why the companies have as a source of value initiatives about safety of people, activities that are concerned with preventing accidents through the elimination and treatment of risks and impacts.

This thesis has as objective the incorporation of the Human Factor as a key security element in the design of tasks associated with mining. This is why we have a study on the causality of the significant events that occurred in the Chilean mining operations of BHP, as well as the development of a practical tool for the analysis of human error.

The proposed methodology incorporates the statistical analysis of data, as well as a qualitative analysis of these, the development of a causality model together with its validation through the analysis of surveys, and finally the development of a guide with the objective of identifying the possible human errors that can be committed in the course of the tasks performed in the operation.

Among the data used are the reports of significant events, that is, events with fatality potential (including events with and without injury), which occurred between fiscal years 2012 and 2016 at Minera Escondida Ltda. These allow us, through the use of a binary logistic regression model, added to a focus using a Pareto diagram, to define the factors that contribute to the generation of an event with injury.

Through a qualitative analysis it is possible to infer the causal relationship that exists between the different factors involved in an injury, generating a model of causality which has as its central driver the "Perception / Recognition of the Danger". This concept acts as a mediating element between the internal conditions of the person and the actions that cause the error. This model was validated through the use of a survey of 114 first-line workers, obtaining favorable results before various validation criteria.

Finally, with the conclusions drawn from the study, we have the development of a guide that allows us to identify, through a structured methodology, the possible errors that can be committed in the different steps of a task, in order to implement before the task, controls that reduce the possibility of an event with injury.

A mis padres, que sin todo su sacrificio no podría estar donde me encuentro.

Agradecimientos

En primer lugar, debo de agradecer a mis padres, Felira y Eladio, quienes desde el momento en que nací me han brindado de todo su amor y cariño, apoyo y guía para poder ser quién soy hoy en día, y poder conseguir los logros que he alcanzado y obtendré en el futuro. Así también a mis hermanos, Rodrigo, Matías, Felipe y Rocío, con los que he compartido a lo largo de mi vida, buenos y malos momentos, junto al resto de mi familia, tíos, primos y abuelos.

A mis amigos que me han acompañado durante el transcurso de mi vida, ya sea en Aysén, Curauma y Santiago, y me han entregado su gran y valiosa amistad en las distintas etapas que he pasado, siendo un sostén en todo momento.

En esta última etapa debo de agradecer enormemente a mi profesor guía don Jorge Curbillos, que con sus consejos y ayuda desinteresada, me ha apoyado en la realización de esta memoria para poder lograr los objetivos de buena manera, además de brindar en la parte humana apoyo a mi persona. También al área de Safety A&I de BHP Minerals Americas, cuyos miembros Héctor, Álvaro, Marcelo, Paulo, Flavio, Martín, Naid y Catalina, me acogieron y apoyaron durante todo el proceso, además de entregarme enseñanzas de gran importancia para mi futura carrera profesional.

Agradecer a la Universidad de Chile, específicamente a su Departamento de Ingeniería de Minas dentro de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, lugar dónde pasé mis últimos años como estudiante, aportando a mi formación académica. Un lugar especial a todos mis profesores, ya sean de la educación básica o media, quienes aportaron a mi educación con su importante granito de arena que hoy hace posible este logro.

Finalmente, a quién llegó a mi vida cuando menos lo esperaba, pero más necesitaba, mi amada Naty, mujer que me ha traído alegrías, cariño y amor desde el primer momento en que la conocí, y lo hará en los tiempos que vendrán.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes Generales	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivos Generales	2
1.2.2. Objetivos Específicos	3
1.3. Alcances	3
1.4. Estructura del Trabajo	4
2. Marco Teórico	5
2.1. Teorías sobre la Causalidad de Accidentes	5
2.1.1. Teoría del Dominó de Heinrich	5
2.1.2. Teoría del Dominó Actualizada de Weaver	6
2.1.3. Teoría del Dominó Actualizada de Bird	6
2.1.4. Modelo del Factor Humano de Ferrel	7
2.1.5. Modelo del Queso Suizo de Reason	9
2.2. Factor Humano	9
2.2.1. Error Humano	11
2.3. Metodologías de Investigación de Eventos	13
2.3.1. Control Total de Pérdidas	14
2.3.2. TapRoot TM	14
2.3.3. Método ICAM	16
2.4. Cultura de Seguridad, Clima de Seguridad y Comportamiento Seguro	18
2.4.1. Cultura de Seguridad	18
2.4.2. Clima de Seguridad	19
2.4.3. Comportamiento Seguro	20
2.4.4. Relación entre el Clima, Cultura y Comportamiento en Seguridad	23
2.5. Análisis Estadístico	23
2.5.1. Inferencia Estadística	24
2.5.2. Diagrama de Pareto	25
2.5.3. Modelamiento de Ecuaciones Estructurales	25
3. Marco Legal y Corporativo	28
3.1. Normativa chilena	28
3.1.1. Código del Trabajo	28
3.1.2. Ley 16.744	29
3.1.3. Decreto Supremo 40	30

3.1.4.	Decreto Supremo 54	30
3.1.5.	Decreto Supremo 132	31
3.1.6.	Decreto Supremo 594	32
3.1.7.	Norma NCh. 436	32
3.2.	BHP	35
3.2.1.	Minerals Americas	36
3.2.2.	Gestión de la Compañía	36
4.	Metodología	39
4.1.	Estructura General	39
4.2.	Recolección de Información	40
4.3.	Análisis Estadístico	41
4.3.1.	Análisis de Frecuencia	41
4.3.2.	Regresión Logística Binaria	42
4.3.3.	Diagrama de Pareto	44
4.3.4.	Análisis de Sesgo de la Estimación	44
4.4.	Desarrollo del Modelo de Causalidad	45
4.4.1.	Correlaciones	45
4.4.2.	Análisis Cualitativo	45
4.4.3.	Modelo de Causalidad	45
4.5.	Validación	46
4.5.1.	Diseño de Cuestionario	46
4.5.2.	Aplicación del Cuestionario	46
4.5.3.	Análisis de Datos	48
4.6.	Guía	51
5.	Resultados y Análisis	53
5.1.	Análisis Estadístico	53
5.1.1.	Análisis Exploratorio de Datos	53
5.1.2.	Regresión Logística Binaria	55
5.1.3.	Diagrama de Pareto	57
5.2.	Desarrollo del Modelo de Causalidad	58
5.2.1.	Correlaciones	59
5.2.2.	Análisis Cualitativo	62
5.2.3.	Modelo de Causalidad	63
5.3.	Validación	65
5.3.1.	Resultados de la Encuesta	66
5.3.2.	PLS-SEM	68
6.	Discusión y Recomendaciones	76
6.1.	Hallazgos y Oportunidades	76
6.1.1.	Marco de causas para la investigación de eventos	76
6.1.2.	Guía de identificación de peligros debido al comportamiento	78
6.1.3.	Estructura de los Procedimientos	89
7.	Conclusiones	91
	Bibliografía	93

Anexos	97
Anexo A. Antecedentes	98
A.1. Evaluación de Riesgos	98
A.2. Causas Investigación ICAM	99
Anexo B. Resultados	104
B.1. Análisis Exploratorio de Datos	104
B.2. Regresión Logística Binaria	105
B.3. Análisis Cualitativo y Correlaciones	106
B.3.1. Correlaciones	106
B.3.2. Análisis Cualitativo	108
B.4. Validación	110
B.4.1. Encuesta para la realización de PLS-SEM	110
B.4.2. PLS-SEM	114
B.4.3. Iteración 1	115
B.4.4. Iteración 2	117
B.4.5. Iteración 3	119
Anexo C. Guía del Análisis del Error Humano en la Tarea	121

Índice de Tablas

3.1. Enfoque para Investigar Eventos Significativos	38
4.1. Distribución de Reportes por Consecuencia del Evento	41
4.2. Distribución de Reportes con Lesión	41
4.3. Tamaño de la muestra recomendado para una encuesta SEM con Potencia del Estudio de 80 %	47
5.1. Resumen del Modelo de Regresión Logística Binaria	56
5.2. Tabla de Clasificación del Modelo de Regresión Logística Binaria	56
5.3. Acciones Individuales/de Equipo Contribuyentes a Evento con Lesión	57
5.4. Factores Humanos Contribuyentes a Evento con Lesión	57
5.5. Frecuencia de Acciones Críticas	58
5.6. Correlación entre Acciones Críticas y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos	60
5.7. Factores Contribuyentes a la Generación de un Evento con Lesión	60
5.8. Resumen de la iteración del Modelo de Regresión Logística Binaria	61
5.9. Tabla de Clasificación del Modelo de Regresión Logística Binaria	61
5.10. Clasificación subcausas IT12 Percepción/Reconocimiento del Peligro	62
5.11. Distribución de las Acciones Críticas por Área	65
5.12. Cantidad de Encuestas a realizar	66
5.13. Número de Encuestas realizadas	66
5.14. Factores de Carga para las Variables Indicadoras	69
5.15. Codificación de los Factores Latentes para la tabla Validez Discriminante	71
5.16. Validez Discriminante	71
5.17. Coeficiente de Determinación R^2 para los Factores Latentes	72
5.18. Codificación de los Factores Latentes para la tabla Coeficientes de Ruta entre Factores Latentes	73
5.19. Coeficientes de Ruta entre Factores latentes	73
6.1. Ejemplo Evaluación de Riesgos Humanos Tarea “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”	87
6.2. Ejemplo extracto de nuevo formato de procedimiento	90
A.1. Niveles de Severidad (Seguridad)	98
A.2. Defensas Fallidas/Ausentes	99
A.3. Acciones Individuales/de Equipo	100
A.4. Factores del Lugar de Trabajo	101

A.5. Factores Humanos	102
A.6. Factores Organizacionales	103
B.1. Resultados Regresión Logística Binaria	105
B.2. Clasificación sub causas IT01 Supervisión	108
B.3. Clasificación sub causas IT03 Rapidez Operacional	108
B.4. Clasificación sub causas IT04 Uso de Equipos/Herramientas	109
B.5. Clasificación sub causas IT07 Manejo del Cambio	109
B.6. Clasificación sub causas IT09 Mala Conducta	109
B.7. Clasificación sub causas IT12 Percepción/Reconocimiento del Peligro	110
B.8. Clasificación sub causas HF01 Complacencia/Motivación/Actitud	110
B.9. Resultados de la Encuesta de Percepción sobre Seguridad	113
B.10. Factores Latentes y Variables Indicadoras para PLS-SEM	114
B.11. Codificación de los Factores Latentes para resultados PLS-SEM	115
B.12. Factores de Carga para las Variables Indicadoras Iteración 1	115
B.13. Validez Convergente, Confiabilidad Compuesta y R^2 Iteración 1	116
B.14. Validez Discriminante Iteración 1	116
B.15. Coeficientes de Ruta entre Factores Latentes Iteración 1	116
B.16. Factores de Carga para las Variables Indicadoras Iteración 2	117
B.17. Validez Convergente, Confiabilidad Compuesta y R^2 Iteración 2	117
B.18. Validez Discriminante Iteración 2	118
B.19. Coeficientes de Ruta entre Factores Latentes Iteración 2	118
B.20. Factores de Carga para las Variables Indicadoras Iteración 3	119
B.21. Validez Convergente, Confiabilidad Compuesta y R^2 Iteración 3	119
B.22. Validez Discriminante Iteración 3	120
B.23. Coeficientes de Ruta entre Factores Latentes Iteración 3	120
C.1. Tipos de Error, Frases Guía	121
C.2. Clasificación del Error Humano	122
C.3. Riesgos Estandarizados	122
C.4. Nivel de Severidad (Seguridad)	122

Índice de Ilustraciones

2.1. Teoría del Dominó de Heinrich	6
2.2. Teoría del Dominó Actualizada de Bird	7
2.3. Modelo del Factor Humano de Ferrel	8
2.4. Modelo del Queso Suizo de Reason	9
2.5. Modelo del Factor Humano (NOPSEMA)	10
2.6. Error Humano, Fallas en la Planificación y Ejecución	12
2.7. Tipos de Error Humano	12
2.8. Diagrama de Eventos y factores de Causa Genérico	15
2.9. Extracto de Árbol de Causa Raíz TapRoot TM (Categoría Rendimiento Individual)	15
2.10. Modelo ICAM	16
2.11. WAI, WAN y WAD	18
2.12. Modelo de la Cultura de Seguridad Recíproca de Cooper	19
2.13. Modelo del Comportamiento Seguro	23
2.14. Diagrama de Pareto	26
2.15. Modelo Interno y Externo para SEM	27
3.1. Mapa General BHP	35
3.2. Gestión del Riesgo BHP, basado en la norma ISO 31000	37
4.1. Estructura del Proyecto	39
5.1. Distribución de Eventos Significativos por Año Fiscal	53
5.2. Distribución de Eventos Significativos por Involucrado y Riesgo Material	54
5.3. Distribución de Acciones Individuales/de Equipo por tipo de Involucrado	54
5.4. Distribución de Acciones por Riesgo Material	55
5.5. Diagrama de Pareto Acciones Contribuyentes	58
5.6. Correlación entre Acciones Críticas y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos (promedio ponderado)	59
5.7. Modelo de Causalidad de Eventos con Lesión	63
5.8. Resultados de la Encuesta de Percepción sobre Seguridad	67
5.9. Modelo en SmartPLS	68
5.10. Confiabilidad Compuesta del Modelo SEM	70
5.11. Validez Convergente del Modelo SEM	70
5.12. Modelo Final en SmartPLS	72
5.13. Modelo Final en SmartPLS	74
5.14. Modelo Final de Causalidad de Eventos con Lesión	75

6.1. Metodología de la Guía del Análisis del Error Humano en la Tarea	79
6.2. Ejemplo diagrama de los pasos de la tarea “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”.	85
6.3. Ejemplo criticidad de los pasos para la tarea “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”	88
B.1. Distribución de Acciones Individuales/de Equipo según Severidad	104
B.2. Correlación entre IT03 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos	106
B.3. Correlación entre IT04 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos	106
B.4. Correlación entre IT07 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos	107
B.5. Correlación entre IT09 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos	107
B.6. Correlación entre IT13 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos	108
B.7. Encuesta sobre la Percepción del Empleado en Temas de Seguridad, página 1	111
B.8. Encuesta sobre la Percepción del Empleado en Temas de Seguridad, página 2	112

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes Generales

La industria minera comprende una diversidad de operaciones y procesos que demanda múltiples tareas para llevar a cabo la extracción de las materias primas de interés, las cuales, por la naturaleza propia de la actividad, están relacionadas con riesgos de alto potencial, es decir, con pérdidas de gran valor, ya sean de seguridad u operacionales.

Uno de los propósitos que persigue la minería, que es indistinto al de otras industrias de materias primas como la ganadera o forestal por nombrar algunas, donde se busca mediante la maximización de la productividad ser rentable y competir en los mercados. A esto se le suma el concepto de calidad como elemento diferenciador entre los competidores para así lograr la satisfacción del cliente, sin embargo, es necesario otro elemento que permita tener resultados sostenibles de los conceptos nombrados, este corresponde a la seguridad, componente que ha tomado relevancia por su influencia sobre la productividad y calidad de los procesos industriales, ya que los accidentes y sus causas repercuten negativamente sobre estos [Chávez, S., 1996].

Como se mencionó anteriormente, la industria minera posee riesgos con gran valor en las pérdidas, por lo tanto los accidentes son una parte inherente de este negocio. Durante el año 2017 se tuvo una ocurrencia de 712 accidentes con tiempo perdido para todo Chile, resultando en 13 fatalidades [SERNAGEOMIN, 2017], por esto es de vital importancia comprender las razones por las cuales se produce un accidente para así determinar la causa raíz de estos y elaborar estrategias para evitarlos.

La literatura relata que en el 90% de los accidentes graves el error humano está implicado [Reason, J., 1997], por lo que resulta prioritaria la búsqueda de nuevas herramientas que permitan analizar, así como dar soluciones al Factor Humano involucrado en la causalidad de los accidentes, y de esta forma considerarlo como elemento clave de seguridad en el diseño de las tareas que se desarrollan, específicamente en la minería.

Para efectos de la ley chilena es obligatorio para las empresas asegurar la integridad

física de sus trabajadores, por lo que prevenir los riesgos es un tema obligatorio (entre otros mandatos). La seguridad industrial tiene como objetivo anticiparse a los posibles accidentes que se pueden generar durante la realización de alguna actividad profesional, donde se basa en el principio de causalidad, el cual enuncia que todo accidente tiene sus propias causas [Asociación Chilena de Seguridad,], las cuáles se pueden abordar de distintas maneras para reducir la posibilidad de accidentes (ver Sección 2.1).

La perspectiva actual provee métodos de análisis en los cuales se busca establecer cuáles son los posibles riesgos a los cuales se expondrán los trabajadores; sin embargo, surgen las preguntas:

- ¿Cuál es el grado de influencia que tiene el trabajador sobre el riesgo?
- ¿Son las decisiones del trabajador las que motivan el riesgo?
- ¿El riesgo se puede manifestar a causa de algún error del trabajador?

Debido a la complejidad de estas preguntas, resulta difícil determinar cuáles son las fuentes de error de la persona, así también como se pueden evitar estos (errores). Con esto en mente, se tiene el desarrollo de este trabajo de memoria, el cual tiene la finalidad de definir las causas que contribuyen al error humano con resultado en forma de accidente, junto a la estructura conceptual de este fenómeno, lo que permite dar un entendimiento de la causalidad de este tópico para proveer de mejores soluciones al problema.

1.2. Objetivos

El objetivo de este trabajo es reconocer y analizar las condiciones, ya sean internas o externas, que ejercen influencia sobre el trabajador en el aumento de la posibilidad de cometer un error.

Lo anterior tendrá como resultado el desarrollo de una metodología para la incorporación del factor humano en el diseño de tareas mineras, para lo cual se tiene una serie de objetivos para dar un entendimiento sobre esta problemática.

1.2.1. Objetivos Generales

Los objetivos generales que persigue la realización de este trabajo de memoria corresponden a los siguientes:

- Revisar estado del arte acerca del comportamiento de las personas y su rol en los accidentes.
- Identificar condiciones y escenarios propicios para la generación de eventos de seguridad dentro de la compañía producto del error humano.
- Diseñar un proceso estructurado al análisis e incorporación del error humano para la eliminación de condiciones que contribuyen a la generación de eventos con lesión.

Para abordar estos objetivos generales, se cuenta con una serie de objetivos específicos.

1.2.2. Objetivos Específicos

Los principales objetivos específicos con los que cuenta este trabajo son:

- Obtener la información histórica con descripción de las causas en forma de base de datos sobre accidentes ocurridos en la faena minera (Minera Escondida Ltda.).
- Analizar estadísticamente la base de datos recolectada para la caracterización de las condiciones bajo las cuáles se desarrolla un accidente con lesión.
- Modelar la causalidad de accidentes con lesión bajo una estructura del factor humano en base a la caracterización realizada.
- Validar modelo desarrollado mediante uso de ecuaciones estructurales.
- Crear una guía orientada a la identificación, análisis y desarrollo de controles para prevenir la manifestación de riesgos producto del error dentro de la realización de tareas.

1.3. Alcances

El desarrollo de este proyecto se lleva a cabo en la compañía minera BHP, específicamente en su división enfocada en las operaciones y proyectos ubicados en América, Minerals Americas. El área correspondiente a la generación de iniciativas y análisis con respecto a la seguridad es Safety A&I, área donde se llevó a cabo el desarrollo de esta memoria, la que aportará con su ayuda en orden de lograr un exitoso resultado.

Como fuente de información se utilizan los reportes de eventos significativos, los cuales corresponden a informes respecto a eventos que tuvieron la posibilidad de tener como resultado una fatalidad, donde se presentan la descripción del evento, sus causas, impactos, etc. Dentro de las características específicas de la base de datos usada se tienen las siguientes consideraciones:

- Base de datos de Reportes generados por la metodología de investigación ICAM.
- Datos exclusivos de la faena Minera Escondida Ltda.
- La base de datos comprende reportes del periodo de los años fiscales 2012 al 2016 (incluyendo ambos años).

Producto de las restricciones planteadas (consideraciones), se asegura una representatividad actual para la faena Minera Escondida Ltda. mediante la captura de información actual a través del uso de encuestas para validar las hipótesis desarrolladas. Con respecto a las demás faenas de la compañía, se infiere representatividad para las operaciones chilenas bajo la asunción de que el comportamiento y condiciones de las personas son similares producto de la homogeneidad de la fuerza laboral en el país, sin embargo esto escapa de los alcances de esta memoria, por lo que queda propuesta esta revisión.

Debido al propósito del trabajo, solo existirá un enfoque hacia los datos que entreguen información concerniente a las personas y su rol exclusivo en los eventos de seguridad, por lo que no se tomará en cuenta el resto de información (como las condiciones climáticas por dar un ejemplo).

1.4. Estructura del Trabajo

En orden de lograr desarrollar de buena forma los objetivos elaborados, se tiene una metodología de trabajo para la realización de la memoria, la cual da alineamiento a la estructura de este informe:

El **Capítulo 2** corresponde a la revisión de la literatura y el estado del arte con respecto a la seguridad industrial, englobando el entendimiento de la generación de los accidentes y el rol de la persona junto a la organización en estos. También se da repaso a las herramientas estadísticas a utilizar en este trabajo.

El **Capítulo 3** comprende la lectura de los requerimientos legales que deben ser cumplidos por los empleadores establecidos en la República de Chile, específicamente las compañías mineras, sentando las bases de la gestión de la seguridad. También se da un entendimiento sobre el contexto de la compañía bajo la cual se realiza el estudio, específicamente el tratamiento sobre la seguridad que se desarrolla dentro de esta.

Siguiendo con el **Capítulo 4**, se tiene el desarrollo del trabajo en base al problema planteado, así como la guía propuesta por la revisión conceptual sobre la materia realizada en los capítulos anteriores.

Ya en el **Capítulo 5** se presentan los resultados obtenidos en el capítulo anterior, así como sus análisis.

En el **Capítulo 6** se muestran las recomendaciones obtenidas del análisis de los resultados.

Finalmente, en el **Capítulo 7** se presentan las principales conclusiones que emergen en el desarrollo de este trabajo de memoria.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Teorías sobre la Causalidad de Accidentes

El evitar los accidentes es el núcleo de cada programa de seguridad en todo entorno de trabajo, y el entender como ocurren y se desarrollan estos es el primer paso en la reducción de eventos futuros. El conocer como un evento puede resultar en una lesión es importante para poder desarrollar una investigación de calidad que provea de hallazgos y aprendizajes para el futuro.

A medida del paso de los años se han desarrollado una serie de teorías que describen el desarrollo de los accidentes, estas poseen semejanzas y diferencias, las que se detallan a continuación.

2.1.1. Teoría del Dominó de Heinrich

La Teoría del Dominó de Heinrich [Heinrich, H., 1931] es una de las primeras teorías científicas desarrolladas para explicar los accidentes. Esta usa la analogía de una serie de piezas de dominó, donde cada uno cae sobre otro, creando una cadena de eventos.

Heinrich identificó 5 etapas para el desarrollo de un accidente, tal como lo muestra la Figura 2.1. La primera correspondiente a los “factores hereditarios personales y el ambiente”, que comprende todo lo que puede provocar rasgos indeseables en las personas. La segunda etapa es la de “fallas de la persona”, que se refiere a todas las características personales que influyen en la causa de un accidente, tales como falta de compromiso con la seguridad, mal temperamento o falta de conocimiento. La tercera etapa es la de los “actos o condiciones no seguras”, que corresponde a actos específicos que atentan con el desarrollo seguro de la actividad, así como condiciones del entorno, un ejemplo es el no uso de los elementos de protección personal. La cuarta etapa es la del “accidente”, donde sucede el accidente propiamente tal, y finalmente se tiene el producto de este, denominado “lesión/daños de la propiedad”, el cual corresponde al impacto y consecuencias ocasionados por el accidente.

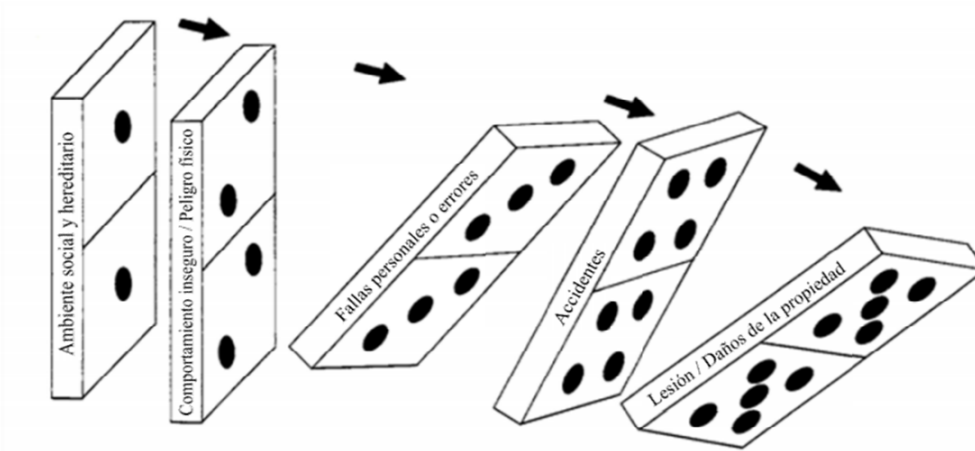


Figura 2.1: Teoría del Dominó de Heinrich

Esta teoría propone que mediante la eliminación de alguna etapa se elimina la reacción en cadena, es decir, se evita el accidente. La pieza esencial para interrumpir la secuencia corresponde a la número 2, es decir el Comportamiento inseguro/Peligro físico, ya que es la pieza que genera las fallas y errores que provocan los accidentes. A pesar de que Heinrich no ofreció ningún dato para apoyar esta teoría, es el punto de partida para las futuras investigaciones.

2.1.2. Teoría del Dominó Actualizada de Weaver

Basándose en la Teoría del Dominó de Heinrich, Weaver hizo énfasis en el rol del sistema de administración [Weaver, D. A., 1971], donde se identificaron las razones por las cuales los actos inseguros son permitidos. Weaver planteó 3 preguntas para identificar las causas del accidente.

- ¿Cuál fue el acto inseguro?
- ¿Cuál fue la razón por la cual el trabajador realizó el trabajo en una condición insegura?
- ¿La administración posee los conocimientos sobre seguridad y estándares relevantes para el trabajo?

Esto lleva a plantear que todas las condiciones y actos que llevaron a la ocurrencia del accidente son producto de las prácticas de la administración, específicamente las políticas de seguridad, prioridades, estructura organizacional, entre otros.

2.1.3. Teoría del Dominó Actualizada de Bird

Bird y Loftus actualizaron la Teoría del Dominó, que al igual que Weaver, se puso en primer lugar el rol del sistema de administración [Bird, F., 1974], y se actualizó la secuencia de eventos, ver Figura 2.2.

- 1) Falta de control de la administración (programas inadecuados, falta de compromiso, etc.)
- 2) Causas básicas (factores personales o factores del trabajo)
- 3) Causas inmediatas (actos o condiciones inseguras)
- 4) Evento (incluyendo fallas operacionales, accidentes y cuasi pérdidas)
- 5) Pérdidas (lesiones, daños a equipos, etc.)

Esta teoría se caracteriza por la insistencia en encontrar el origen del accidente, por este motivo se construyó bajo el concepto del “¿por qué?”, ya que, siguiendo una iteración de esta pregunta sobre el accidente, y las posteriores respuestas, se llega a la causa raíz del accidente (dentro de los límites de la compañía).

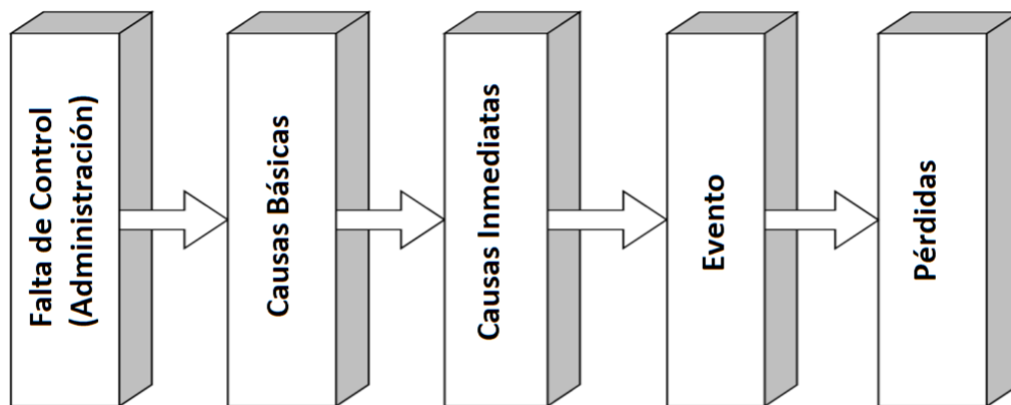


Figura 2.2: Teoría del Dominó Actualizada de Bird

Este planteamiento tiene como foco el rol de la administración en controlar el daño, la lesión y las pérdidas, así como en encontrar las causas básicas que produjeron las causas inmediatas del evento. Por lo mencionado anteriormente, la debilidad de este modelo radica en no poder explicar los eventos originados por factores externos a la compañía.

Actualmente la legislación chilena emplea este modelo para la investigación de los accidentes fatales ocurridos en la industria. Para una mejor revisión de este en el contexto legislativo, ver la Norma NCh. 436 (ver Sección 3.1.7).

2.1.4. Modelo del Factor Humano de Ferrel

A diferencia de las teorías expuestas anteriormente, donde los accidentes son una reacción en cadena lineal, Ferrell en 1997 incorpora múltiples causas, además de definir un accidente como el resultado de un error cometido por una persona [Hosseinian, S., 2012].

Una de las causas es el Factor Humano, el cual posee distintas definiciones según el organismo con el cual trata. Según la Health and Safety Executive (HSE) de Gran Bretaña,

“el Factor Humano se refiere a los factores ambientales, organizacionales y de trabajo, así como las características humanas e individuales, las cuales influyen en el comportamiento en el trabajo de forma que pueden afectar la salud y seguridad”, refiriéndose a las características individuales como las competencias, habilidades, personalidad, actitud y percepción del riesgo.

En esta teoría se plantean 3 factores como causas generales, las que contienen causas específicas.

- Sobrecarga: Definida como el desajuste entre las capacidades de una persona y la carga producto de las tareas, lo que produce estados emocionales negativos, como ansiedad o angustia.
- Respuesta incorrecta: Corresponde a una respuesta incorrecta (actitud) ante una situación incompatible como por ejemplo estaciones de trabajo con mala distribución.
- Actividad incorrecta: La persona realiza la actividad incorrectamente debido a la falta de conocimiento acerca de una manera segura de realizarla, o debido a tomar el riesgo intencionalmente.

En la Figura 2.3 se puede observar cómo se relacionan los factores para originar el accidente.

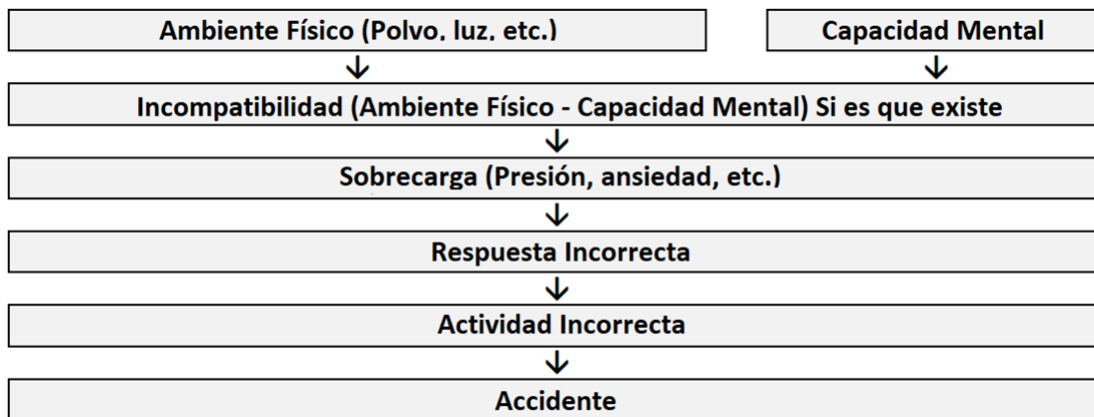


Figura 2.3: Modelo del Factor Humano de Ferrel

Posteriormente Petersen expandió esta teoría, agregando la incompatibilidad del ambiente físico, tales como el diseño de la estación de trabajo, controladores, etc., denominados “Trampas Ergonómicas”. También se especificaron las razones por las cuales se llega al error, incluyendo las decisiones lógicas debido a la situación en específico (debido principalmente a costos financieros o plazos temporales), los deseos inconscientes para cometer un error (fallas psicológicas), y una percepción de baja posibilidad de que ocurra un accidente.

2.1.5. Modelo del Queso Suizo de Reason

Reason plantea que un accidente no es un proceso aislado, sino que es un sistema generado a partir de fallas y problemas de todas las partes del mismo [Reason, J., 1990], por esto, este modelo toma como analogía distintas láminas de un queso suizo, donde cada lámina representa un tipo de barrera distinta, y los agujeros las fallas de esa barrera. Existen 2 tipos de fallas, las activas y las latentes. Las activas se caracterizan por actos inseguros que contribuyen directamente a un accidente y están al nivel de la operación, donde existen errores involuntarios o acciones voluntarias; por otra parte, las latentes son condiciones que existen por periodos de tiempo con potencial de expresarse y facilitar un accidente, como por ejemplo falta de procedimientos, que se originan en el nivel superior de las organizaciones.

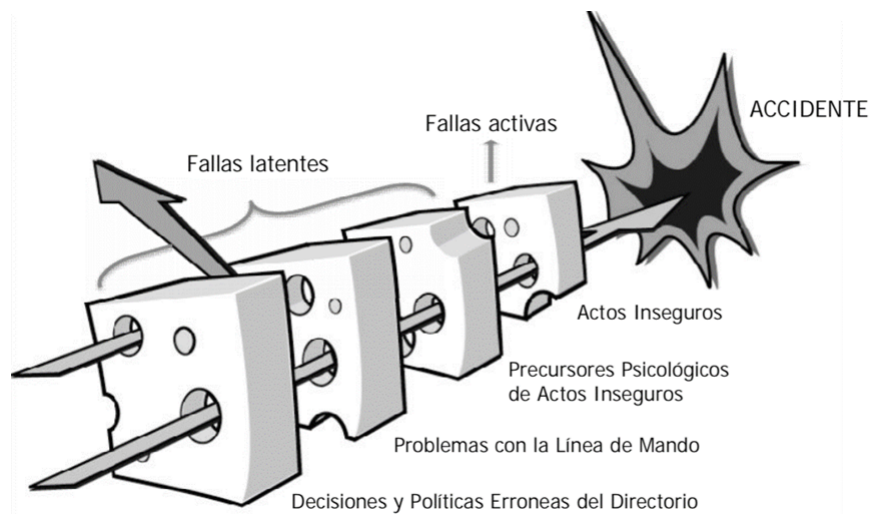


Figura 2.4: Modelo del Queso Suizo de Reason

Para que un accidente ocurra, se tienen que alinear a lo menos un agujero de cada lámina tal como lo indica la Figura 2.4, es decir, cada defensa debe fallar por lo que no se puede contener al problema, lo que indica que cada factor por sí solo no origina un accidente. Un ejemplo puede ser donde la primera capa corresponde a una política que exige que se complete un trabajo, la siguiente capa podría ser el equipo de protección personal (EPP) que requiere ser utilizado para completar la tarea. Si la política no incluye el uso del EPP, o requiere el uso de uno equivocado, el problema pasa a través de la línea de defensa del primer agujero. El no usar el EPP o usar el equivocado deja que el problema pase a través del siguiente agujero, asumiendo que no existen más capas actuando como barreras, estas condiciones permiten que ocurra un accidente.

2.2. Factor Humano

La Asociación Internacional de Ergonomía define el Factor Humano de la siguiente manera, “el Factor Humano es la disciplina científica preocupada por el entendimiento de la interacción entre humanos y otros elementos de un sistema, y la profesión que aplica teoría, principios,

información y otros métodos, para diseñar de manera de optimizar el bienestar humano y el rendimiento en general del sistema” [International Ergonomics Association,].

El término Factor Humano es usado mayoritariamente en los Estados Unidos y algunos otros países, a diferencia del término Ergonomía, el cual es prevaleciente en Europa y el resto de las naciones. Diversos autores han tratado de distinguir ambos conceptos, sin embargo las distinciones son arbitrarias, y para propósitos prácticos son sinónimos [Sanders, M. y McCormick, E., 1993].

Tal como se mencionó, el Factor Humano involucra al estudio del desempeño humano en sistemas socio técnicos (sistemas que involucran a personas y máquinas), es decir, al estudio científico de la relación entre el hombre y su entorno de trabajo [Murrell, H., 1965], por lo que los objetivos son concernientes a estos, específicamente 2 [Sanders, M. y McCormick, E., 1993].

- Mejorar la efectividad y eficiencia en los trabajos y actividades llevadas a cabo, ya sea reduciendo los errores o mejorando la productividad.
- Mejorar ciertos valores humanos deseables, tales como la seguridad, reducir la fatiga, estrés, mejorar la aceptación de los usuarios, la satisfacción, etc.

Este concepto comprende distintos tópicos, tales como conciencia situacional, toma de decisiones, carga de trabajo, etc. El Factor Humano es mucho más que solo el error humano, agregando distintas disciplinas científicas tales como la ergonomía, ingeniería, psicología, entre otros [World Health Organization,].

Para poder describir el Factor Humano en términos de relaciones, NOPSEMA¹ define un modelo en base a la definición de que el Factor Humano es “la manera en que la organización, el trabajo, y el individuo interactúan para influenciar la confiabilidad humana en la causa de eventos peligrosos” [NOPSEMA, Australia,], el que se refleja en la Figura 2.5.

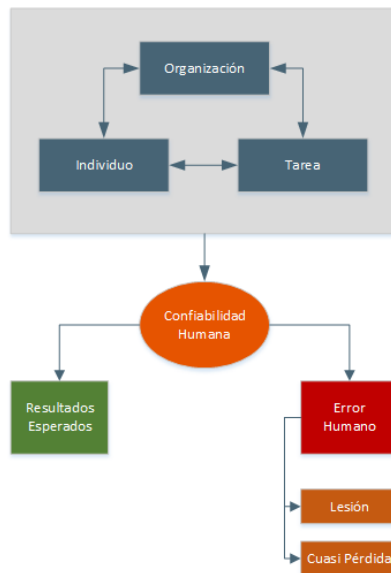


Figura 2.5: Modelo del Factor Humano (NOPSEMA)

¹National Offshore Petroleum Safety and Environmental Management Authority, Australia

Algunas definiciones para entender este modelo son las siguientes.

- **Sistema:**

Un sistema es una entidad que existe para llevar a cabo algún propósito (Bailey, 1982), este está compuesto por humanos, máquinas y otros elementos que interactúan entre sí para cumplir con un objetivo el cual no pueden cumplir los componentes del sistema por separado. El término máquina es mucho más amplio, debido a que considera cualquier tipo de objeto, dispositivo, equipo, instalación (física), etc. que las personas usan para cumplir con una actividad o tarea, por lo tanto, el sistema (en una forma simple) puede estar compuesto solo por una persona y un martillo.

- **Confiabilidad humana:**

La confiabilidad está usualmente expresada como la probabilidad de un rendimiento satisfactorio. Las personas, a diferencia de las máquinas, son impredecibles y poco confiables, debido a que nuestra capacidad para procesar información está limitada por nuestra memoria. También existe el término de la distracción, la cual tiene ventajas y desventajas, ya que nos permite notar ocurrencias inusuales para así reconocer y responder ante condiciones de peligro, sin embargo, esta habilidad puede predisponer a las personas a cometer un error debido a que se puede perder la atención en los aspectos críticos de las tareas. Debido a que en el sistema interactúan diversos elementos, incluidos los humanos, la confiabilidad del sistema está directamente afectada por la de las personas, por lo que, si se comete un error, este puede afectar al sistema por completo.

En base al modelo anterior, existen 3 tipos de causas asociados al Factor Humano, los cuales son según John Bond [Bond, J., 2007].

- **Factor personal:** Capacidad inadecuada, falta de conocimiento, entrenamiento inadecuado, stress, falta de motivación, fatiga, etc.
- **Factor del entorno de trabajo:** Incluye la supervisión inadecuada, mala ingeniería, estándares de trabajo, etc.
- **Factor organizacional:** Acá se visualiza el error como consecuencia de condiciones latentes de liderazgo o administración inadecuada.

En base a esto, para tratar de reducir la posibilidad de fracaso del sistema, es decir aumentar la confiabilidad humana, el estudio del Factor Humano ayuda al diseño y evaluación de tareas, productos, entornos de trabajos y sistemas para hacerlos compatibles con las necesidades, habilidades y limitaciones de las personas [Salvendy, G., 2012].

2.2.1. Error Humano

Uno de los aspectos que estudia el Factor Humano es el error humano, definido generalmente como una falla de la acción planeada para lograr un resultado deseable (NOPSEMA). A niveles individuales, operativos y organizacionales existen factores que aumentan la probabilidad de que exista algún tipo de error humano, como por ejemplo el accionamiento de un botón en una circunstancia equivocada, que toma una gran importancia cuando se desarrolla en ambientes peligrosos, como por ejemplo situaciones en los que los trabajadores están

expuestos a la interacción con equipos móviles.

Existen 2 fases en las cuales se puede generar el error, la planificación de la acción, y la ejecución de la acción, lo que se puede ver en la Figura 2.6.

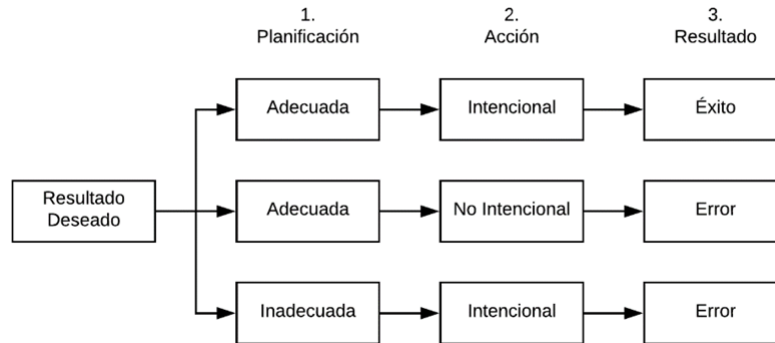


Figura 2.6: Error Humano, Fallas en la Planificación y Ejecución

De estas 3 posibilidades, 2 corresponden a un error. Cuando se tiene una acción equivocada se comete un error del tipo desliz (descuidos y lapsus), y cuando la planificación es inadecuada, corresponde a una equivocación. Estos conceptos se encuentran desarrollados de mejor manera en la clasificación de Reason.

Existen distintos tipos de clasificación de los errores humanos, los que ayudan a identificar los errores, así como analizarlos de acuerdo a sus causas para poder elaborar estrategias específicas al tipo. Una de estas clasificaciones es la de Reason, que integra clasificaciones desarrolladas a través del tiempo, basadas en la modelización de los errores como procesos cognitivos que realiza la persona en su comportamiento [Reason, J., 1997]:

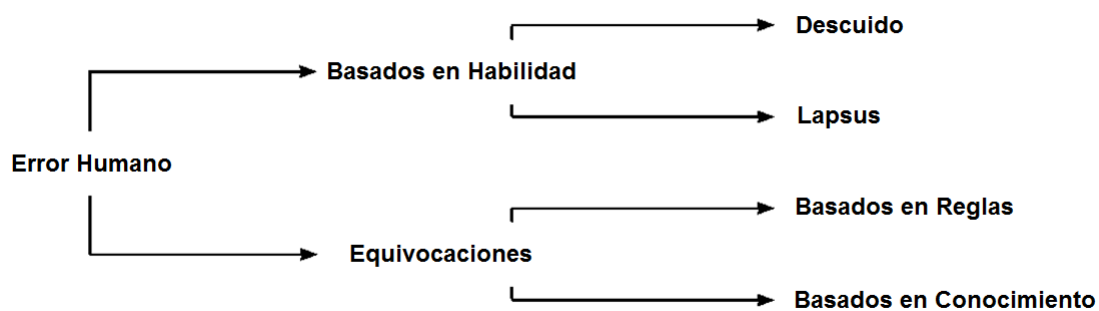


Figura 2.7: Tipos de Error Humano

Estos tipos de error se analizan principalmente en 3 categorías, descuido, lapsus y equivocaciones, tal como lo indica la Figura 2.7.

- **Descuidos y lapsus:** Estos suceden en tareas rutinarias y familiares, las que pueden ser llevadas a cabo sin prestar mucha atención. Estas son vulnerables cuando se pierde la atención, aunque sea por un pequeño momento, como por ejemplo enfocarse en el celular al estar conduciendo un automóvil.

- **Equivocaciones:** Corresponden a fallas en la toma de decisiones, cuando hacemos algo mal creyendo que está bien, por ejemplo, el aplicar un procedimiento diseñado para un equipo en específico en otro de diferentes características.

El error humano puede ser visto desde la perspectiva de la persona, y la del sistema, es decir, dónde recaen las causas principales del problema [Reason, J., 2000]. Esta distinción enfoca qué parte del proceso tiene la responsabilidad.

- **Perspectiva de la persona:**

La perspectiva sobre la persona se focaliza en los actos inseguros realizados por trabajadores de primera línea, donde se tienen como causas primarias pobres procesos mentales, tales como baja motivación, inatención, negligencia, etc.

Este es el enfoque que resulta más sencillo de implementar, debido a la nula investigación que es requerida; sin embargo, esto no es sostenible en el tiempo debido a que la acción se aísla del sistema, contexto que puede provocar patrones con errores similares, independiente de los involucrados.

- **Perspectiva del sistema:**

Este enfoque se basa en que el humano no es infalible por naturaleza, es decir, tarde o temprano va a cometer algún error, por lo tanto los errores son vistos como consecuencias y no causas, teniendo su origen en la administración de la organización.

La filosofía para contrarrestar estos errores se basa en que, debido a que la condición humana no se puede cambiar, es necesario cambiar las condiciones bajo la cual se desempeña la persona para evitar el desarrollo del error.

Desde el punto de vista de una investigación, el error humano es el punto inicial, esto debido a que los errores humanos son síntomas de un problema profundo [Dekker, S. W., 2001], tales como falta de capacitaciones, la complejidad de ciertas tareas, etc.

2.3. Metodologías de Investigación de Eventos

Cuando ocurren eventos en las organizaciones, estos se difunden a través de reportes para facilitar la comunicación dentro de la compañía de las lecciones claves aprendidas producto del suceso. Sin embargo, puede darse la condición de que estos reportes solo se basen en una descripción del evento, enfocándose en las consecuencias más que en sus causas, por esto se han desarrollado técnicas de investigación que permiten el análisis de las causas raíces (RCA, Root Cause Analysis), es decir, las razones por las cuales un evento ocurrió; así las organizaciones pueden aprender de fallas pasadas para evitar eventos similares futuros.

El concepto de causa raíz varía dependiendo del autor y la metodología, sin embargo, la definición más útil corresponde a la siguiente, “la causa más básica que puede ser razonablemente identificada y que la administración tiene control para solucionarla” [Paradies, M. y Busch, D., 1988]. Esta definición contiene 3 elementos claves [Livingston, A. et al., 2001]:

- **Causa básica:** Son las razones específicas por las cuales un evento sucedió, y permiten elaborar acciones para prevenir la ocurrencia de un evento similar.

- **Razonablemente identificado:** Las investigaciones deben ser completadas en un tiempo razonable, por lo que las metodologías deben permitir al investigador identificar de forma sencilla las causas.
- **Control para solucionar:** Las clasificaciones de las causas no deben ser generales, como por ejemplo “error del operador”. Las causas deben ser específicas para poder rectificar la situación.

A través del tiempo se han desarrollado diversas metodologías, cada cual con sus ventajas y desventajas, pero con el mismo propósito de esclarecer las causas que originaron las desviaciones dentro de los procesos que provocaron el evento. Las más relevantes se encuentran detalladas a continuación.

2.3.1. Control Total de Pérdidas

La metodología del control total de pérdidas se basa en el modelo de causalidad propuesto por Frank Bird (ver Sección 2.1.3), el cual indica que existen 2 tipos de causas que provocan el evento, las causas inmediatas y las causas básicas, las cuales se refieren a la explicación directa del evento (síntomas) y al origen de las acciones y condiciones subestándar respectivamente (ver Sección 3.1.7).

El proceso de la investigación considera los siguientes pasos:

- 1) **Entrevistar testigos y afectado:** La entrevista recopila los sucesos del evento en forma de relato a partir de las personas que tienen conocimiento sobre el evento. Se utilizan preguntas claves tales ¿Quién?, ¿Por qué?, ¿Cuándo?, etc.
- 2) **Estudio del sitio del evento:** Se estudian las ubicaciones previas y posteriores al evento, así como las acciones realizadas y las condiciones que contribuyeron al evento.
- 3) **Estudio de causas del evento:** Se establecen las causas inmediatas y causas básicas del evento.

2.3.2. TapRootTM

Esta técnica de investigación publicada en el año 1991 está basada fuertemente en una metodología anterior (SRP, Savannah River Plant), donde se utiliza un diagrama de eventos y factores de causas.

Este análisis posee 3 pasos:

- 1) Recolección de información
- 2) Desarrollo del diagrama de eventos y factores de causa
- 3) Uso del árbol de causa raíz TapRootTM

- **Diagrama de Eventos y factores de Causa:**

El propósito de este diagrama, Figura 2.8, es identificar y documentar la secuencia de eventos desde el inicio hasta el final del evento, para así reconocer los factores, condiciones, barreras fallidas, etc., que contribuyeron a la ocurrencia del evento.

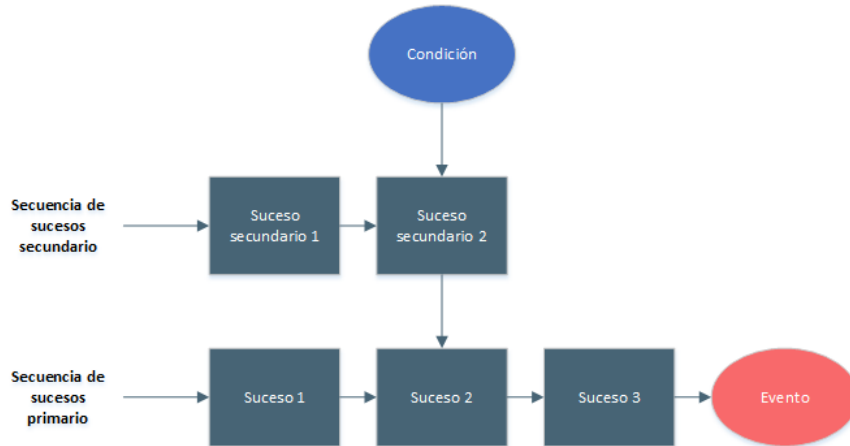


Figura 2.8: Diagrama de Eventos y factores de Causa Genérico

- **Árbol de Causa Raíz TapRootTM:**

Esta etapa usa una serie de árboles causales genéricos (también en forma de checklists), Figura 2.9, para diferentes categorías, los cuales son aplicados a los distintos factores hallados en el paso anterior, así se pueden identificar las causas raíces para cada factor.



Figura 2.9: Extracto de Árbol de Causa Raíz TapRootTM (Categoría Rendimiento Individual)

2.3.3. Método ICAM

El modelo de investigación ICAM (Incident Cause Analysis Method), desarrollado por James Reason basándose en su anterior trabajo del modelo del queso suizo, es como dice su nombre, un método para el análisis de causas de incidentes, el cual está enfocado en encontrar las causas organizacionales que originan problemas tanto en las defensas/barreras, como las acciones del involucrado, ver Figura 2.10.

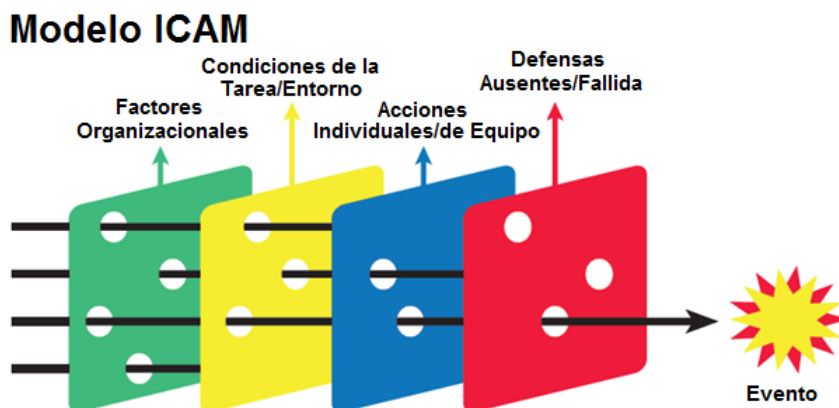


Figura 2.10: Modelo ICAM

Los pasos de la metodología son los siguientes:

- 1) **Planificación de la investigación:** En la planificación de la investigación se debe conformar el equipo, asegurando un líder, así como distintos representantes de la disciplina de la tarea bajo la cual ocurrió el evento, testigos, etc.
- 2) **Recolección de información:** Se deben recolectar los datos relevantes al evento, estos están divididos en 5 categorías:
 - Personas
 - Entorno
 - Equipos/Herramientas
 - Procedimientos y documentos
 - Organización

Esto se realiza a través de entrevistas, visitas a las ubicaciones donde sucedió el evento, revisión de documentos, etc.

- 3) **Organización de la información:** La información debe ordenarse a través de una línea del tiempo aplicando los conceptos WAI, WAN y WAD (ver Sección 2.3.3), esto permite identificar las brechas en los procesos a través del análisis de los 5 Por Qué, proceso iterativo en el que mediante la pregunta "¿Por qué?" se llega hasta una causa razonable y abordable.

- 4) **Análisis ICAM:** En esta etapa se identifican las categorías de las distintas causas (ver Sección 2.3.3) para enfocar de mejor manera las acciones a tomar.
- 5) **Acciones preventivas y correctivas:** Mediante acciones se abordan las Defensas Fallidas/Ausentes y los Factores Organizacionales para prevenir eventos similares en el futuro. Estas acciones deben ser SMARTS:
 - Específicas (Specific)
 - Medibles (Measurable)
 - Asignables (Assignable)
 - Realistas (Realistic)
 - Implementables a tiempo (Time-related)
 - Sostenibles (Sustainable)
- 6) **Reporte de hallazgos:** Se debe elaborar un reporte para poder comunicar todos los hallazgos y lecciones claves aprendidas a causa del evento. Es vital compartir la información a todas las áreas de la organización para que no existan zonas en que las brechas puedan seguir existiendo.

Debido a que está basado en el modelo del queso suizo de Reason, la metodología ICAM posee distintas láminas que representan a las defensas contra accidentes en una organización, en el que los agujeros de cada lámina indican las fallas presentes.

- **Defensas Fallidas/Ausentes:**

Las Defensas Fallidas/Ausentes son la última barrera (cronológicamente) que tienen como fin eliminar el riesgo o mitigar el impacto de este. Corresponden a medidas de último minuto que fallaron en su propósito, o no se encontraban presentes en la tarea (por ejemplo la ausencia de airbags en un accidente automovilístico).

- **Acciones Individuales/de Equipo:**

Son las acciones realizadas y acciones omitidas por las personas involucradas en el evento. Pueden darse como errores o violaciones cometidas que contribuyeron a la generación del evento (por ejemplo cruzar un semáforo con luz roja).

- **Condiciones del Entorno/Tarea:**

Corresponden a las condiciones que facilitaron la realización de las Acciones Individuales/de Equipo. Estas se encuentran presentes durante la realización de la actividad, por lo que el marco bajo el cual se realizaron las acciones u omisiones.

Existen 2 categorías:

- Factores del Lugar de Trabajo
- Factores Humanos

- **Factores Organizacionales:**

Los Factores Organizacionales se caracterizan por ser las fallas a nivel de administración de la empresa, que permiten que se den las Condiciones del Entorno/Tarea, o existan las Defensas Fallidas/Ausentes. Generalmente no son detectados hasta que existe un evento.

- **Conceptos WAI, WAN y WAD:**

Recientemente se ha añadido a la metodología de investigación ICAM los conceptos de WAI, WAN y WAD, Figura 2.11, los que muestran la realización de una tarea cuando existe el incidente:

- **WAI (Work as Intended):** Este concepto se refiere al trabajo como fue propuesto, es decir, como se imaginaba hacer, ya sea mediante procedimientos, instrucciones, etc.
- **WAN (Work as Normal):** Corresponde al trabajo como se realiza normalmente, en otras palabras, la forma en que se desarrollan las tareas en el día a día por la mayoría de los trabajadores.
- **WAD (Work as Done):** Es el trabajo como se ejecutó cuando ocurrió el evento de seguridad.

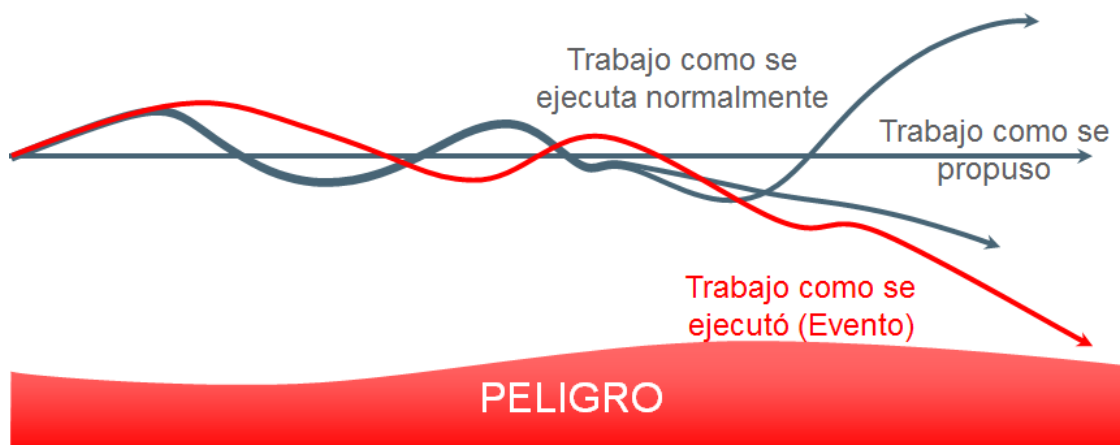


Figura 2.11: WAI, WAN y WAD

Esto nos permite identificar las brechas entre estas 3 formas de realizar las tareas, y así focalizar en forma orientada dónde y cómo deben ser enfocadas las medidas correctivas para evitar eventos similares en el futuro.

2.4. Cultura de Seguridad, Clima de Seguridad y Comportamiento Seguro

2.4.1. Cultura de Seguridad

Según Cooper, la cultura de una organización puede ser definida como “La manera en que hacemos las cosas aquí” [Cooper, MD., 2001], es decir, es el marco bajo el cual se rigen las actividades, ya sean o no productivas, de una compañía. Este término nace luego del desastre nuclear de Chernóbil en 1986, en el cual la causa principal de este se debió a la falta de cultura desde el punto de vista de la seguridad, donde convergió la ignorancia en cuanto a la seguridad, incompetencia de los operadores, y la falta de responsabilidad a causa de la prioridad de la producción por sobre los demás aspectos. Específicamente en este desastre

se vio la falta de atención hacia el reactor, así como la violación de los procedimientos operacionales en múltiples pasos

La cultura de seguridad engloba las distintas actitudes, creencias y percepciones compartidas por grupos de personas, las cuales definen normas y valores que son las bases para acciones y manejo del riesgo [Hale, AR., 2000], así como el producto de los distintos objetivos de las personas, y la administración de la organización, por lo cual se vuelve a la parte observable de los esfuerzos de la administración en mejorar la seguridad [Cooper, MD., 2000]. Esto se ve reflejado en el modelo de la cultura de seguridad recíproca de Cooper [Cooper, MD., 2001] (ver Figura 2.12).

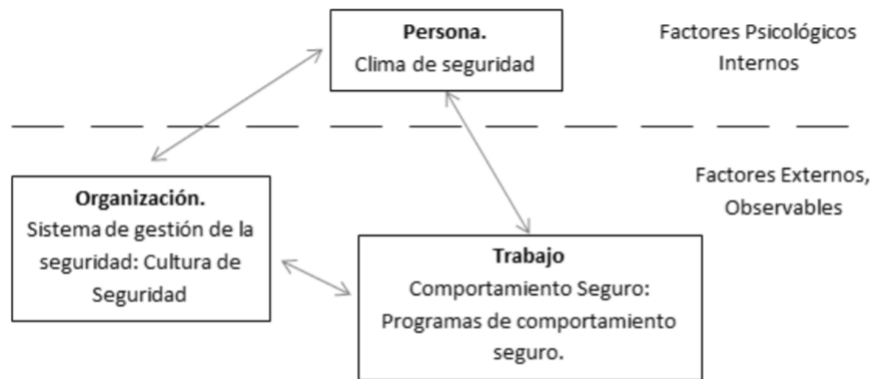


Figura 2.12: Modelo de la Cultura de Seguridad Recíproca de Cooper

2.4.2. Clima de Seguridad

El clima de seguridad está definido como “un resumen de las percepciones molares² que los empleados comparten acerca del entorno del trabajo” [Zohar, D, 1980], esta es la primera definición dada para este tópico, la cual ha ido expandiéndose, como la dada por Niskanen, que dice que “. . . es un set de atributos que pueden ser percibidos sobre organizaciones de trabajo particulares y pueden ser inducidas por políticas y prácticas que las organizaciones imponen sobre sus trabajadores” [Niskanen, T., 1994], pero sigue representando una idea central, la percepción de los trabajadores.

Otra definición que se tiene es la de que el clima de seguridad está definido por aquellos aspectos de la cultura de la organización que impactan en la actitud y comportamiento relacionado a aumentar o disminuir los riesgos [Guldenmund, FW., 2000].

El clima de seguridad se encuentra ampliamente relacionado con la cultura de seguridad, debido a que el clima corresponde a un indicador de la cultura que se tiene en la organización. El clima de seguridad es medible a través de distintas herramientas, tales como cuestionarios y entrevistas, las que permiten recoger las percepciones que se tienen acerca de la cultura de seguridad [Teo, E. A., 2009].

²Holística, se entiende de forma integrada

2.4.3. Comportamiento Seguro

Aunque a priori se tiene el pensamiento de que el autocuidado es la principal motivación, las acciones inseguras son las que prevalecen durante la mayor parte de las actividades relacionadas con el trabajo [Zohar, D. y Luria, G., 2003].

El National Safety Council (Estados Unidos) reporta que una de las causas de los accidentes y enfermedades es el comportamiento humano, con una presencia del 94 % [Loafman, B., 1996], lo que indica que el foco debe concentrarse en tratar el comportamiento como una medida para mejorar la seguridad.

Violaciones:

Las violaciones corresponden a desviaciones a reglas, estándares o procedimientos, los cuales son elaborados para operar bajo parámetros establecidos de seguridad. Estas desviaciones pueden ser deliberadas o no, dependiendo si se tienen presente los rangos bajo los cuales las distintas conductas son aceptadas para un procedimiento seguro [Reason, J., 1997].

Se tiene que hacer una distinción entre las violaciones y los sabotajes, en los que se tiene como diferencia la intención bajo los cuales se ejecutan las acciones, en las cuales los sabotajes son actos con el objetivo de causar daños y pérdidas.

Se han observado 3 categorías para las violaciones.

- **Por rutina:** Estas violaciones se realizan en un entorno en el que no se castigan estas, o no se recompensa la el seguimiento estricto de las reglas, por lo que el comportamiento se normaliza.
- **Para optimizar:** Se deben a aspectos motivacionales de las personas, en los cuales se tiene como objetivo mejorar el rendimiento de las tareas. Estos aspectos motivacionales se han ligado a grupos de personas, como por ejemplo la conducción agresiva en hombres jóvenes.
- **Necesarias:** Estas son a causa de fallas organizacionales, ya sea en procedimientos, equipos, herramientas, etc. que provocan la incapacidad de realizar de correcta forma alguna actividad, por lo que para alcanzar el objetivo se hacen necesarias las violaciones por parte de los ejecutores.

Teoría de la Utilidad:

La teoría de la utilidad explica las decisiones de las personas basada en las preferencias y juicios sobre el concepto de valor [Fishburn, P., 1968]. La fundación bajo la cual se basa esta teoría es la relación de preferencia-indiferencia de la persona " \leq ", la cual se lee "no es preferido a", y el grupo de elementos x, y, z, \dots pertenecientes al conjunto X , interpretados como alternativas de decisión.

Existen solo 2 relaciones entre cada elemento x e y pertenecientes a X .

- 1) $x \leq y$ (x no es preferido a y)

2) $no\ x \leq y$ (es falso que x no es preferido a y)

La relación de estricta preferencia ($x < y$: y es preferido sobre x) y estricta indiferencia ($x \sim y$: x es indiferente a y) están definidas a través de “ \leq ”.

1) $x < y \Leftrightarrow x \leq y \wedge no\ y \leq x$

2) $x \sim y \Leftrightarrow x \leq y \wedge y \leq x$

Una de las propiedades que nos presenta esta teoría, es la del **Orden de las Preferencias y Funciones de Utilidad**, que expresa que cuando X tiene un número finito de alternativas $y \leq$ ordena completamente las alternativas, las utilidades $U(x)$, $U(y)$ pueden ser asignadas a las alternativas x , y de la siguiente forma.

$$x \leq y \text{ si y solo si } U(x) \leq U(y)$$

La teoría de la utilidad tiene sus inicios en la economía, donde su objetivo es caracterizar las decisiones de consumo de algún grupo de individuos; pero esta teoría se ha extendido a otros campos como la psicología debido a la capacidad predictiva que tiene. Los psicólogos basan sus estudios en el comportamiento, por lo que esta teoría sirve como herramienta para predecir decisiones y comportamientos; sin embargo, la teoría de la utilidad está construida sobre la hipótesis de que las personas corresponden a individuos “racionales”, es decir, que siempre tratan de maximizar su utilidad.

La utilidad de una persona se puede definir bajo los conceptos económicos de ingresos y costos de la siguiente manera.

$$u = I - C \tag{2.1}$$

donde:

u : Utilidad (\$).

I : Ingresos o ganancias (\$).

C : Costos o pérdidas (\$).

Para el caso de accidentes, con alguna probabilidad de que ocurra, los costos se puede modelar como sigue [Viscusi, W., 1984].

$$C = V(e) + p(e)L \tag{2.2}$$

donde:

e : El esfuerzo de prevención (\$).

V : Las pérdidas por el esfuerzo (\$).

p : La probabilidad de que ocurra el accidente (-).

L : Las pérdidas por el accidente (\$).

Lo que quiere decir que la utilidad de alguna decisión relacionada con la prevención de accidentes, sea positiva o negativa, se encuentra en función de las ganancias que se pueden obtener por este comportamiento, así como las pérdidas. Las malas conductas asociadas a la prevención de accidentes son, por nombrar algunas, el no uso de elementos de protección personal, rapidez operacional, etc. las que generan una ganancia en términos de comodidad, así como de tiempo útil, entre otras; en contra de las buenas conductas, que generan un impacto negativo sobre aquellos conceptos. No obstante, estas traen asociadas ganancias (integridad física, excelentes condiciones de salud, etc.) que se expresa a través de un largo periodo de tiempo (un ejemplo es la silicosis vista como pérdida por el no uso de protección respiratoria).

Esto nos lleva a integrar la temporalidad de los beneficios o utilidad [Frederick, S. et al., 2002].

$$U = \sum_{t=1}^N \left(\frac{1}{1+r} \right) u(x_t) \quad (2.3)$$

donde:

N : Número de periodos (-).

U : Utilidad actual para N periodos futuros (\$).

r : Tasa de descuento para la utilidad (-).

x : Alternativa tomada (-).

Esta formulación es una conceptualización del valor en el presente de las futuras decisiones, las que se ven afectadas por la tasa de descuento r que depende de cada persona, y que a medida que se incrementa, las consecuencias futuras son reducidas.

Esto nos indica que, para la reducción de las conductas de riesgo, es necesario acercar (en términos de temporalidad) las pérdidas producidas por la elección de estas, así como las ganancias producto de las buenas conductas.

2.4.4. Relación entre el Clima, Cultura y Comportamiento en Seguridad

A través de los años, distintos investigadores han tratado de encontrar la relación que se tiene entre los conceptos de la cultura y clima de seguridad, además de la influencia que estos ejercen sobre el comportamiento seguro de los trabajadores.

Un modelo que muestra estas relaciones es el entregado por Mearns y Flin en 1999, Figura 2.13 [Mearns, K. F., 1999]:

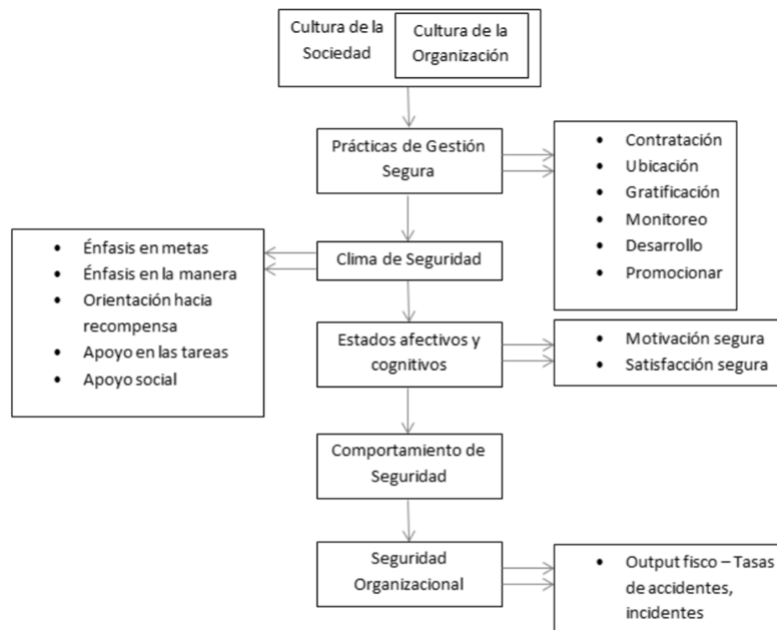


Figura 2.13: Modelo del Comportamiento Seguro

Esto nos indica la repercusión que tienen los cambios en la gestión de seguridad de las organizaciones, sobre la percepción y actitudes de las personas en cuanto a la seguridad. Como se muestra en la Figura 2.13, se observa una secuencia lineal desde la cultura de seguridad que tiene la organización, la que se ve reflejada en la gestión de la compañía que repercute directa e indirectamente sobre los trabajadores, quienes poseen diversas percepciones (clima de seguridad), negativas o positivas, acerca de esta gestión, finalizando en el comportamiento generado por estas percepciones y las motivaciones personales.

2.5. Análisis Estadístico

La estadística es la rama de las matemáticas que transforma, mediante diversos métodos, datos en información para la representación de algún fenómeno natural, así como el análisis de estos [Instituto Nacional de Estadísticas, Chile,].

En la actualidad son diversas las ramas de la ciencia que usan la estadística como herra-

mienta para investigaciones de variados campos, para lo cual usan distintos métodos de esta como el muestreo, simulación, modelamiento estadístico e inferencia.

2.5.1. Inferencia Estadística

La inferencia estadística corresponde a la agrupación de técnicas y metodologías que permiten, a través de datos reales de una muestra, inferir el comportamiento de determinada población con cierto error producto del muestreo [Universitat de Barcelona,].

Para motivos de la inferencia estadística, existen 3 conceptos claves, estos son los de sistema, modelo y validación del modelo. Estos permiten explicar el comportamiento de la población en base a la muestra que se usó, así como su relación y validez.

- **Sistema:**

Un sistema es un conjunto de elementos que interactúan entre sí para llevar a cabo algún objetivo. Los sistemas están definidos desde el punto de vista del observador, ya que cada elemento puede ser un sistema o parte de otro de mayor tamaño, es por esto que es necesario definir el límite de batería, que quiere decir el alcance o frontera del sistema.

- **Modelo:**

Un modelo es la representación formal de un sistema que existe en la realidad, lo que permite el estudio, análisis y comprensión de este. Los modelos pueden ser representados de diversas maneras, lo que genera una clasificación:

- Físicos (descritos por variables medibles)
- Análogos (descritos por diagramas de flujo)
- Simbólicos (descritos por métodos matemáticos, lingüísticos, etc.)

Los pasos correspondientes para la generación de un modelo son:

- 1) Recogida y depuración de datos
- 2) Diseño del experimento
- 3) Pruebas de contraste
- 4) Verificación del modelo
- 5) Validación del modelo

- **Validación del Modelo**

Debido a que un modelo es la representación formal de la realidad, es necesario que esta representación sea una aproximación fidedigna del sistema, por lo que debe de existir una alta correlación entre lo que predice el modelo y lo que ocurre en el sistema real. Para medir el ajuste entre el modelo y la realidad existen distintas herramientas, donde las más importantes son:

- **Coefficiente de correlación:** El coeficiente de correlación o de determinación R^2 mide la proporción entre la variación que es explicada por las variables predictoras y la variación total con respecto a la media. Un coeficiente de 1 indica que toda la variación en las observaciones es explicada por las variables predictoras presentes en la ecuación de regresión.

- **Pruebas de bondad de ajuste:** Estas pruebas buscan medir si la distribución de probabilidades es congruente con un conjunto de datos dados. Entre las pruebas se encuentran la prueba chi-cuadrado, Kolmogorov-Smirnov, etc. donde se asume la hipótesis nula H_0 de que la distribución está determinada por una función de densidad de probabilidad $F_0(X)$. Si no existe una diferencia significativa entre lo observado y lo esperado no se rechaza la hipótesis nula H_0 .
 - * **Chi-cuadrado:** Esta prueba compara la distribución observada de datos (real) con respecto a la distribución esperada de estos (teórica).
- **Tabla de contingencia:** La tabla de contingencia es una representación bidimensional de datos, es decir, de 2 variables. Esta tabla recoge las frecuencias relativas entre las 2 variables cuando toman diferentes valores; así se puede evidenciar la proporción y relación entre los distintos resultados.
- **Significación estadística:** Un resultado es estadísticamente significativo cuando, mediante el uso de la estadística, se concluye que es improbable que sea debido al azar. Esta prueba es un contraste de hipótesis entre la Hipótesis nula H_0 , que dice que no existe asociación entre las 2 variables estudiadas, y la Hipótesis alternativa H_a , que afirma que existe asociación entre las 2 variables. Si el valor p (significación estadística) es menor que el nivel de significación (comúnmente 0,05 correspondiente a un 95 % de confianza) se rechaza H_0 y se acepta H_a .

2.5.2. Diagrama de Pareto

El Diagrama de Pareto es la representación gráfica del principio de Pareto, comúnmente conocido como la regla del “80/20” que explica la relación entre causalidad y resultados [Kiremire, AR., 2011]. Este principio enuncia que alrededor del 80 % de los resultados (valor utilizado como ejemplo práctico), ya sean negativos o positivos, son causados por el 20 % de las causas, lo que nos permite usar eficazmente los recursos y así optimizar la gestión de estos.

En cuanto al diagrama (Figura 2.14), es un gráfico que muestra la frecuencia de algún resultado diferenciado por alguna clasificación (por ejemplo, el número de accidentes) en forma de barras, y también el porcentaje acumulado en el otro eje, lo que permite identificar las causas que repercuten en la mayor cantidad de resultados.

2.5.3. Modelamiento de Ecuaciones Estructurales

El modelamiento de ecuaciones estructurales (SEM³ en inglés) es una técnica estadística de modelado como dice su nombre, la cual es ampliamente utilizada en las ciencias del comportamiento [Hox, J. y Bechger, T., 2007]. El interés en SEM radica en que representa las relaciones entre distintos factores a través de coeficientes de regresión y de ruta, los cuales explican las relaciones de causa y efecto entre estos.

³Structural Equation Modeling

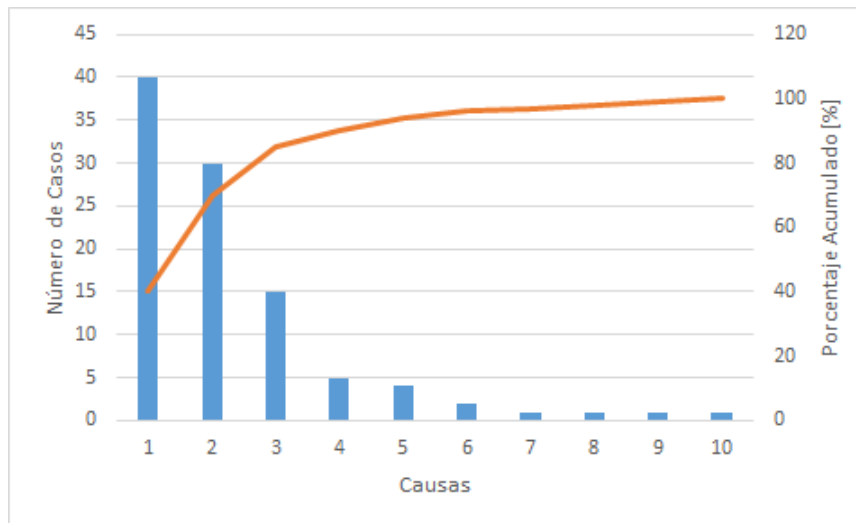


Figura 2.14: Diagrama de Pareto

Los orígenes de SEM vienen dados por el análisis de rutas, desarrollado por el genetista Sewall Wright [Wright, S., 1921]. Es necesario desarrollar un diagrama de ruta donde las variables observadas son representadas por rectángulos y los factores latentes por elipses conectados por flechas dependiendo de su relación.

- **Variable observada:** Corresponde a los conceptos medibles de forma directa, un ejemplo es el tiempo de trabajo de un equipo.
- **Factor latente:** Son las variables que no se pueden medir directamente, por lo que tienen que ser inferidas a partir de variables observadas, como por ejemplo el grado de motivación de una persona.

Para un modelo de ecuaciones estructurales se tienen 2 submodelos [Wong, K., 2013]:

- **Modelo interno:** El modelo interno muestra las relaciones entre los factores latentes independientes y dependientes
- **Modelo externo:** Este explica las relaciones entre los factores latentes y sus variables observadas

La relación entre las variables observadas y los factores latentes, junto al modelo interno y modelo externo, pueden ser visualizadas en la Figura 2.15.

Existen distintos acercamientos a SEM, los cuales son CB-SEM y PLS-SEM. A continuación se explican sus principales características:

- **CB-SEM (Covariance-based SEM):**
Este método es usado ampliamente en el campo de las ciencias sociales. Es preferido cuando la muestra es de gran tamaño, los datos están distribuidos de forma normal, y el modelo está correctamente especificado, lo que en la realidad son requisitos difíciles de cumplir, por lo que este acercamiento es usado preferentemente para estudios exploratorios.
- **PLS-SEM (Partial Least Squares SEM):**

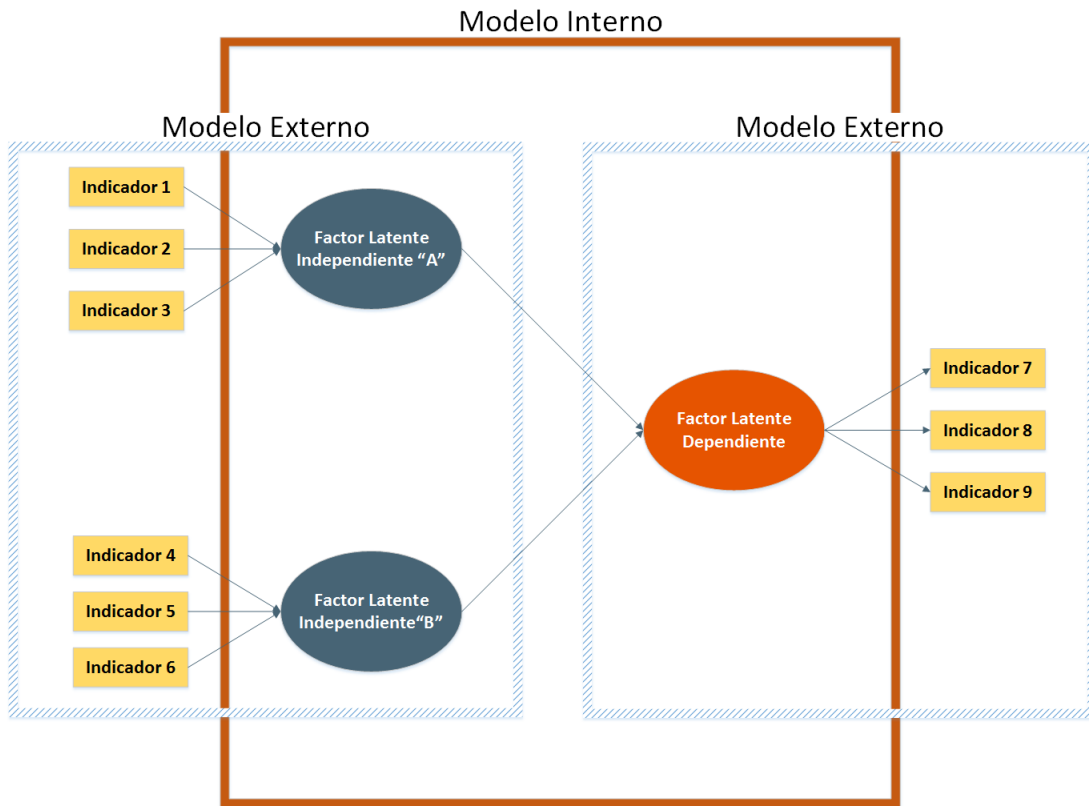


Figura 2.15: Modelo Interno y Externo para SEM

La forma PLS es usada cuando no se tienen suposiciones sobre la distribución de los datos, además de las siguientes situaciones:

- La muestra es de bajo tamaño
- Se dispone de poca información teórica sobre el modelo
- Se requiere de precisión predictiva
- No se puede asegurar un modelo preciso

Por lo que este acercamiento es útil cuando se dispone de escasos participantes y se puede tener sesgo.

Capítulo 3

Marco Legal y Corporativo

3.1. Normativa chilena

La República de Chile es un estado unitario, democrático y presidencialista que se rige en el ámbito legal por el marco de su Constitución, la cual corresponde a la ley fundamental del estado, es decir, define la estructura del organismo político estatal [Bovero, M., 2006]. Para este documento la seguridad industrial no es un tema ajeno, se menciona este tema en el Artículo 19.1 que “La Constitución asegura a todas las personas el derecho a la vida y a la integridad física y psíquica de la persona”, lo que, debido a ser un concepto muy amplio al abarcar dimensiones ajenas a la seguridad industrial, es detallado en el Código del Trabajo, leyes, decretos y normas específicas al tema.

Para efectos de este trabajo, se tiene una serie de normas jurídicas que se relacionan principalmente con la temática abordada (no todas específicas del rubro minero), las que son explicadas a continuación.

3.1.1. Código del Trabajo

Un código es el compendio de distintas normas y leyes, elaborado bajo un solo cuerpo legal para facilitar la consulta, aplicación y cumplimiento de éstas. Algunos de los códigos existentes en la República de Chile son el Código Civil, Penal, de Minería, entre otros.

En un principio, la relación laboral entre empleados y empleadores fue normada bajo el amparo de distintos códigos, donde se encontraba el Código Civil, de Comercio y el de Minería (para trabajadores relacionados con esta actividad), pero ya en el año 1931, bajo la presidencia de Carlos Ibáñez del Campo, surge el primer Código del Trabajo para regular de mejor forma los temas laborales.

En la actualidad se encuentra en vigencia el Código del Trabajo [Dirección del Trabajo, 2018] aprobado el año 2002. Este da los cimientos para la utilización de la normativa legal en Chile,

dentro de los cuales se encuentran en primer lugar la definición de los conceptos claves de empleador y trabajador (Artículo 3).

- **Empleador:** La persona natural o jurídica que utiliza los servicios intelectuales o materiales de una o más personas en virtud de un contrato de trabajo.
- **Trabajador:** Toda persona natural que preste servicios personales intelectuales o materiales, bajo dependencia o subordinación, y en virtud de un contrato de trabajo.

Uno de los Libros del Código del Trabajo es el número *II* “De la Protección a los Trabajadores”, el cual nos indica en el Artículo 184 que “El empleador estará obligado a tomar todas las medidas necesarias para proteger eficazmente la vida y salud de los trabajadores, informando de los posibles riesgos y manteniendo las condiciones adecuada de higiene y seguridad en las faenas ...”, asimismo, se indica la obligatoriedad de que, cuando exista un riesgo grave en el lugar de trabajo, es necesario informar a los trabajadores sobre este riesgo y de las medidas para prevenirlo o mitigarlo, o suspender la actividad en caso de que no existan tales medidas.

3.1.2. Ley 16.744

La Ley 16.744, titulada como “Establece normas sobre accidentes del trabajo y enfermedades profesionales”, tiene 2 objetivos, uno es el de proteger mediante el “Seguro Social contra Riesgos de Accidentes del Trabajo y Enfermedades Profesionales”, y el otro es el normar sobre la prevención de riesgos profesionales.

En cuanto a la aplicación del seguro, se encarga de proteger a todos los trabajadores que realicen actividades manuales o intelectuales para cualquier empresa, institución o persona que sea su empleador. También se encarga de proteger a funcionarios públicos, estudiantes en prácticas profesionales y trabajadores independientes.

Esta ley tiene una amplia cobertura, la cual se resume en 3 puntos:

- **Accidentes de trabajo:** “Son toda lesión que una persona sufra a causa o con ocasión del trabajo, y que le produzca incapacidad o muerte. Son también accidentes del trabajo los ocurridos en el trayecto directo, de ida o regreso, entre la habitación y el lugar del trabajo, y aquéllos que ocurran en el trayecto directo entre dos lugares de trabajo”.
- **Enfermedades profesionales:** “Es enfermedad profesional la causada de una manera directa por el ejercicio de la profesión o el trabajo que realice una persona y que le produzca incapacidad o muerte”.

Este seguro se administra de 3 formas:

- Instituto de Seguridad Laboral.
- Mutualidades de empleadores.
- Administración delegada (empresas que puedan solventar por sí mismas el seguro).

Por otro lado, se tiene la prevención de riesgos, esto en el Título *VIII*, donde se obliga a

toda industria o faena de más de 25 personas a constituir uno o más Comités Paritarios de Higiene y Seguridad, entre cuyas funciones se encuentra el de vigilar por el cumplimiento, tanto por parte de las empresas como de los trabajadores, de las medidas de prevención, higiene y seguridad, además de investigar las causas de los accidentes y enfermedades profesionales que se originan en la empresa.

3.1.3. Decreto Supremo 40

El Decreto Supremo 40 “Aprueba reglamento sobre prevención de riesgos profesionales” establece las normas para la aplicación del Título *VII* de la Ley 16.744.

Este decreto indica en el Artículo 8 que toda empresa que cuente con un total de trabajadores mayor a 100, debe tener un Departamento de Prevención de Riesgos Profesionales, encargado de planificar, organizar, asesorar, ejecutar, supervisar y promover acciones para evitar los accidentes y enfermedades producidas por el ejercicio laboral.

También se indica la importancia de llevar estadísticas relacionadas con la accidentabilidad en la empresa, esto en el Artículo 12, donde se obliga a llevar como mínimo la tasa mensual de frecuencia, considerada como el número de lesionados por millón de horas trabajadas, y la tasa semestral de gravedad, indicada como el número de días perdidos por millón de horas trabajadas.

Junto a lo mencionado, se tienen las disposiciones generales para los reglamentos internos de seguridad e higiene, así como también se menciona la obligación de informar en forma oportuna y conveniente los riesgos asociados a las actividades realizadas.

3.1.4. Decreto Supremo 54

En cuanto a la constitución y funcionamiento de los comités paritarios, se tiene el Decreto Supremo 54 “Aprueba reglamento para la constitución y funcionamiento de los comités paritarios de higiene y seguridad”.

Tal como se menciona en la Ley 16.744, se menciona nuevamente que toda empresa con una cantidad de trabajadores mayor a 25 debe organizar un Comité Paritario de Higiene y Seguridad, compuesto por 3 representantes de la organización y 3 representantes de los trabajadores.

Dentro de las funciones del Comité se encuentran las siguientes, tal como menciona el Artículo 24:

- 1) Asesorar e instruir a los trabajadores para la correcta utilización de los instrumentos de protección
- 2) Vigilar el cumplimiento, tanto por parte de las empresas como de los trabajadores, de las medidas de prevención, higiene y seguridad

- 3) Investigar las causas de los accidentes del trabajo y enfermedades profesionales que se produzcan en la empresa
- 4) Decidir si el accidente o la enfermedad profesional se debió a negligencia inexcusable del trabajador
- 5) Indicar la adopción de todas las medidas de higiene y seguridad que sirvan en la prevención de los riesgos profesionales
- 6) Cumplir las demás funciones o misiones que le encomiende el organismo administrador respectivo
- 7) Promover la realización de cursos de adiestramiento destinados a la capacitación profesional de los trabajadores en organismos públicos o privados autorizados para cumplir esta finalidad o en la misma empresa, industria o faena bajo el control y dirección de esos organismos

3.1.5. Decreto Supremo 132

El Decreto Supremo 132, correspondiente al Reglamento de Seguridad Minera, tiene como objetivo proteger la vida e integridad física de las personas que se ven involucrados en la industria extractiva minera, complementándose con las normas de seguridad contenidas en la reglamentación nacional que sean compatibles con este decreto.

Entre las actividades designadas dentro de la industria extractiva minera se tienen:

- 1) Exploración y prospección de yacimientos y labores relacionados con el desarrollo de proyectos mineros.
- 2) Construcción de proyectos mineros.
- 3) Explotación, extracción y transporte de minerales, estériles, productos y subproductos dentro del área industrial minera.
- 4) Procesos de transformación pirometalúrgicas, hidrometalúrgicas y refinación de sustancias minerales y de sus productos.
- 5) Disposición de estériles, desechos y residuos. Construcción y operación de obras civiles destinadas a estos fines.
- 6) Actividades de embarque en tierra de sustancias minerales y/o sus productos.
- 7) Exploración, prospección y explotación de depósitos naturales de sustancias fósiles e hidrocarburos líquidos o gaseosos y fertilizantes

El organismo encargado de controlar y fiscalizar el reglamento corresponde al Sernageo-

min¹, que además se responsabiliza de investigar los accidentes con lesiones, y de forma obligatoria, los accidentes con resultado de muerte. Así también propone el desarrollo de normas, instructivos y actividades de carácter preventivo que ayuden a mejorar los estándares de seguridad dentro de la industria.

Dentro de las obligaciones a los empleadores, las compañías mineras “deben capacitar a sus trabajadores sobre el método y procedimiento para ejecutar correctamente su trabajo, implementando los registros de asistencia y asignaturas, que podrán ser requeridos por el Servicio”.

Además de incorporar obligaciones a los empleadores, se tienen obligaciones a los empleados, donde las principales corresponden a respetar y cumplir las reglas y procedimientos que tengan directa relación con la conducta e integridad de las personas, para lo cual se necesita que la empresa disponga de todos los medios necesarios para que trabajadores y supervisores puedan cumplir con esto.

3.1.6. Decreto Supremo 594

El correspondiente Decreto Supremo 594 lleva por nombre “Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo”, además de comprender todas las normas básicas sobre higiene y sanitización, toca también las condiciones generales de seguridad en el Párrafo *II*, donde en el Artículo 37 menciona que “Deberá suprimirse en los lugares de trabajo cualquier factor de peligro que pueda afectar la salud o integridad física de los trabajadores”, así como aspectos básicos de la ergonomía, en que se indican exposiciones a ruidos, vibraciones, temperaturas bajas, iluminación y factores de riesgo para lesiones musculoesqueléticas.

3.1.7. Norma NCh. 436

El Instituto Nacional de Normalización es el ente que tiene como propósito el diseño de las normas técnicas para su uso en el territorio chileno. Este tiene afiliación con la International Organization for Standardization (ISO) y la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT).

En pos de estandarizar los requisitos generales para la prevención de accidentes del trabajo, se tiene la preparación de esta norma, titulada como “Prevención de accidentes del trabajo - Disposiciones generales”, publicada en el año 2000 mediante por Decreto 1081 del Ministerio de Obras Públicas.

Esta norma se aplica en las empresas en las que se disponga de trabajadores, independiente del número y de la naturaleza de esta.

También, el documento entrega las definiciones de “Accidente de trabajo” dependiendo del

¹Servicio Nacional de Geología y Minería, Chile

punto de vista:

- **Técnico:** Es el suceso que interrumpe un proceso normal de trabajo causando lesiones a las personas y/o daño material.
- **Legal:** Es aquel suceso que, a causa o con ocasión del trabajo, causa una lesión a la persona produciéndole incapacidad o muerte.

Cabe destacar que el punto de vista legal es más conservador con el impacto que se tiene producto del accidente, donde solo califica si produce muerte o incapacidad, entendiendo la incapacidad como la imposibilidad de un trabajador de asistir a su trabajo por una jornada o más a consecuencia de un accidente del trabajo o de una enfermedad profesional.

Causas de los Accidentes:

Ya en esta norma se entrega un modelo (ver Sección 2.1 para un mayor entendimiento sobre las causas de los accidentes) para la explicación de las causas de los accidentes, de donde se desprenden 2 tipos de causas:

1) **Causa Inmediata:** Aquellas que causan directamente el accidente. Las causas inmediatas son de 2 tipos:

- **Acciones Subestándares:** Corresponde a desviarse, por parte del trabajador, de una conducta considerada como segura y que posibilita que éste se accidente.
- **Condiciones Subestándares:** Situación presente en el ambiente de trabajo, generando una condición de riesgo, que posibilita la ocurrencia de un accidente.

2) **Causa Básica:** Las causas básicas son las que ocasionan las causas inmediatas, y que se pueden encontrar en 2 factores:

- **Factores Personales:** Explican por qué el trabajador comete acciones subestándares, los que son:
 - a. El trabajador no sabe
 - b. El trabajador no quiere
 - c. El trabajador no puede
- **Factores Técnicos:** Explican por qué se producen las condiciones subestándares. Se pueden resumir en los siguientes:
 - a. Fallas en la disposición del trabajo
 - b. Desgaste de elemento por uso
 - c. Diseño inadecuado de equipos o dispositivos
 - d. Falta o falla de elementos auxiliares
 - e. Fallas en máquinas, equipos o herramientas
 - f. Falta de mantención
 - g. Compras inadecuadas
 - h. Falta de orden y aseo
 - i. Instalación defectuosa de máquinas y equipos

Obligaciones del Empleador:

La norma indica que el empleador está obligado a tomar las medidas necesarias para proteger la vida y salud de los empleados (ligado con el Artículo 184 del Código del Trabajo, ver Sección 3.1.1), donde una de las medidas es tener un programa de prevención de riesgos, el cual debe contar con a lo menos:

- Inducción al trabajador nuevo
- Charlas de capacitación a los trabajadores
- Inspecciones a los lugares de trabajo
- Investigaciones de accidentes
- Entrega y control de uso de los elementos de protección personal
- Mantención de estadísticas de accidentes de trabajo
- Control de orden y aseo de los ambientes de trabajo y vías de circulación
- Auditoría del programa

En cuanto a la “Mantención de estadísticas de accidentes de trabajo”, se requiere el uso de 4 indicadores:

- **Índice de frecuencia (I_f):** Correspondiente al número de lesiones incapacitantes con respecto a un millón de horas trabajadas:

$$I_f = \frac{N^\circ \text{ de lesiones incapacitantes}}{N^\circ \text{ de horas trabajadas}} \cdot 1.000.000 \quad (3.1)$$

- **Índice de gravedad (I_g):** Es el número de días perdidos producto de las lesiones incapacitantes con respecto a un millón de horas trabajadas:

$$I_g = \frac{N^\circ \text{ de días perdidos}}{N^\circ \text{ de horas trabajadas}} \cdot 1.000.000 \quad (3.2)$$

- **Tasa de accidentabilidad (T_{ac}):** Definida como el número de lesiones incapacitantes ocurridas por cada 100 trabajadores:

$$T_{ac} = \frac{N^\circ \text{ de lesiones incapacitantes}}{N^\circ \text{ de trabajadores promedio}} \cdot 100 \quad (3.3)$$

- **Tasa de riesgo (T_r):** Es el número de días perdidos por accidentes incapacitantes y por enfermedades profesionales por cada 100 trabajadores:

$$T_r = \frac{N^\circ \text{ de días perdidos}}{N^\circ \text{ de trabajadores promedio}} \cdot 100 \quad (3.4)$$

3.2. BHP

BHP Billiton Plc, de ahora en adelante BHP, es una empresa multinacional de origen anglo australiano formado por la fusión de las empresas BHP² y Billiton en el año 2001. BHP se posiciona como una compañía de extracción de recursos naturales líder a nivel mundial, incorporando en su porfolio la extracción y procesamiento de diversos commodities tales como cobre, hierro, carbón y petróleo. La capitalización de mercado es de \$133,2 BUSD, con ventas del orden de \$41,2 BUSD, todo esto según Forbes (6 de Junio, 2018). Su fuerza laboral comprende aproximadamente 60.000 empleados y contratistas alrededor del mundo, esto dividido principalmente en 3 grupos de Assets llamados Regiones: Minerals Australia, Minerals Americas y Petróleo.

El mapa general de la compañía se encuentra detallado como nos indica la Figura 3.1, el que muestra los valores bajo los cuales se gobierna BHP.



Figura 3.1: Mapa General BHP

La estrategia corresponde a la siguiente frase “Poseemos y operamos activos de larga vida útil, bajo costo y de gran tamaño, diversificados por producto y geografía”, donde la compañía define 3 áreas de foco concernientes a su estrategia: Seguridad, Cultura y Productividad.

- **Seguridad:** Se tiene como pilar fundamental dentro de la compañía, es imperativo mantener a los empleados bajo un ambiente que asegure la salud y bienestar de ellos. Dentro de las metas se encuentra el objetivo de cero fatalidades.
- **Cultura:** La cultura asoma como un contribuyente a la alineación entre los intereses de los trabajadores y la compañía, por lo que es importante que el empleado entienda cómo su trabajo contribuye a alcanzar los objetivos de BHP.
- **Productividad:** Dentro de los objetivos de BHP se tiene la creación de valor para sus accionistas, por lo que es de suma importancia producir los recursos a bajos costos y alcanzar flujos de caja de gran valor y mantener operaciones eficientes.

²Broken Hill Proprietary

3.2.1. Minerals Americas

Minerals Americas corresponde a la rama de activos ubicados en América, con oficinas corporativas en Santiago de Chile. Estos activos se encuentran catalogados por Operaciones y Joint Ventures no operados, donde entre sus Operaciones destacan:

- Minera Escondida
- Pampa Norte (conformado por Compañía Minera Cerro Colorado y Spence)
- Jansen (Canadá)

Dentro de las operaciones chilenas BHP se enfoca en la producción de cobre en 2 formas de comercialización, concentrado para Minera Escondida, y cátodos para Minera Escondida y Pampa Norte. La producción total de cobre fino para el año 2017 comprendió un total de 1.190,1 [ktmf] los que corresponden a un 21,6 % y 5,9 % de la producción chilena y mundial, respectivamente, siendo el principal actor privado dentro de Chile.

3.2.2. Gestión de la Compañía

Debido al carácter global que posee BHP, es crítica la gestión y los procesos que se llevan a cabo para asegurar un correcto funcionamiento de las operaciones en base a la estrategia dada por las oficinas centrales. Para esto, la compañía define una serie de requerimientos a ser cumplidos llamados GLD³, los cuales, de forma simple y concisa establecen las obligaciones mínimas a cumplir.

Debido a la diversidad geográfica y de recursos productivos de la compañía, tal como se mencionó anteriormente, se definen los grupos de Assets⁴ o Regiones⁵, donde debido a que se desarrollan en contextos distintos, los requerimientos de los GLD son aproximados a su realidad, resultando en la generación de BLD⁶, los cuales son específicos a la región, y más detallados.

Le gestión de la seguridad y salud se ha convertido en una disciplina fundamental dentro de la compañía producto de los requerimientos normativos existentes en los países donde se opera, además de la diferenciación y la búsqueda de la excelencia como compañía dentro de la industria minera. Es por esto que la seguridad debe ser integrada en el día a día, así como en los objetivos estratégicos de la empresa, esto de forma sistemática e integradora para así mejorar las condiciones de trabajo y tener una reducción del número de accidentes para evitar pérdidas materiales. Para esto surgen los GLD y BLD concernientes a la gestión de riesgos, seguridad, y eventos.

³Group Level Document

⁴Es una o un grupo de operaciones cercanas geográficamente

⁵Grupo geográfico de Assets de minerales y grupo de Assets de petróleo

⁶Business Level Document

Gestión de Riesgos:

Para alcanzar los objetivos planteados por la compañía, se torna crítica la identificación y control de los riesgos asociados ya sea a Seguridad, Medio Ambiente, Finanzas, etc., por lo que se establece un proceso que permita identificar, analizar y tratar los riesgos (basado en la norma ISO 31000⁷, Figura 3.2).

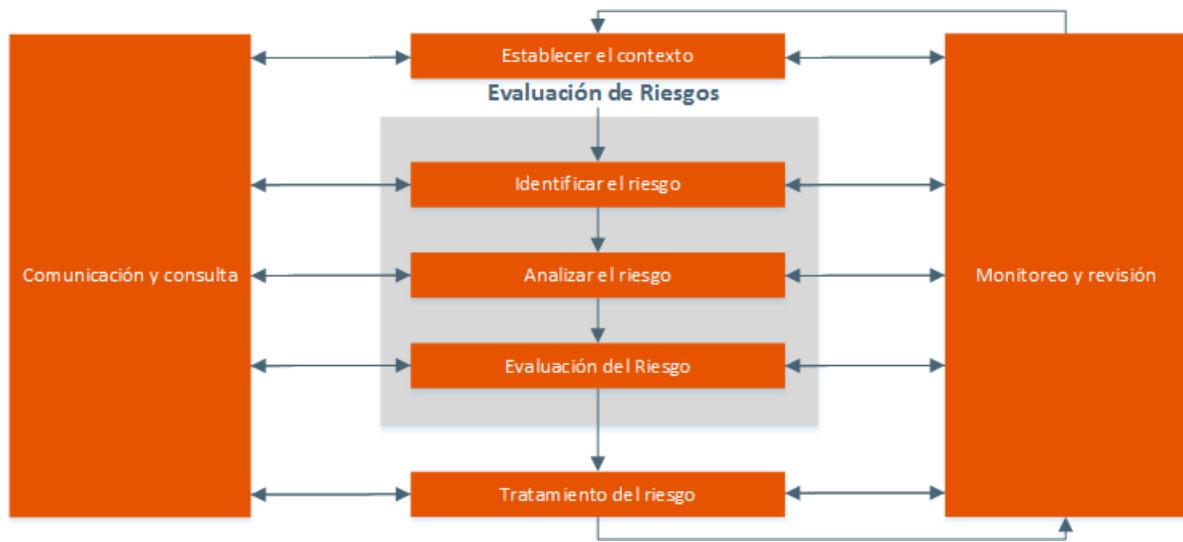


Figura 3.2: Gestión del Riesgo BHP, basado en la norma ISO 31000

Para el análisis de riesgos es necesario definir parámetros que cuantifiquen el riesgo y así sea posible medirlo y compararlo. Para esto se tienen los siguientes conceptos:

- **Nivel de Severidad:** Corresponden a la medida del impacto del evento (ver Anexo A), está asociado al Factor de Severidad.
- **Incertidumbre:** Definido como la posibilidad de que ocurra algún impacto asociado al riesgo tomando en cuenta la efectividad de los controles preventivos existentes (ver Anexo A).
- **Control:** Una actividad o grupo de estas que reducen la probabilidad y/o impacto de un riesgo dependiendo de si son preventivos y/o mitigadores.
- **Máxima Pérdida Previsible (MFL):** Es el nivel de impacto cuando todos los controles fallan.
- **Rating de Riesgo Residual (RRR):** Corresponde al “Tamaño” del riesgo, es la multiplicación del Factor de Severidad y el Factor de Probabilidad después de aplicado los controles.
- **Riesgo Material:** Es un riesgo que posee un $MFL \geq 5$ o $RRR \geq 90$.

Estos elementos proveen el marco bajo el cual se tienen distintas directrices y alineamientos para la gestión del riesgo, priorizando en aquellos que tienen un alto impacto, es decir un alto valor para el MFL y RRR caracterizados como Riesgo Material y Riesgos de Fatalidad Única.

⁷Norma ISO 31000 - Risk management, ISO (International Organization for Standardization)

Seguridad:

La seguridad es un valor fundamental para la compañía, por lo que es necesario que se establezcan los requerimientos mínimos para todas las operaciones. Para este propósito se tiene el GLD “Safety”, el que establece diversos puntos como los necesarios para mantener a los trabajadores en un entorno seguro.

La identificación de riesgos, así como su evaluación, es obligatoria para aquellos riesgos en los que se tiene el potencial de causar una fatalidad. Para esto es necesario la aplicación del GLD “Risk management”, el que establece el proceso a seguir para la evaluación y control de los riesgos. También es necesario implementar controles para estos riesgos usando la jerarquía de controles. Finalmente se deben mantener, supervisar y verificar los controles.

Dentro del prisma de Seguridad se tiene el concepto de evento, el cual está definido como un suceso que haya tenido el resultado o potencialidad de generar un impacto negativo a la integridad y salud de las personas, y el de evento significativo, el cual es un caso especial del término evento debido a que se cataloga como tal cuando existe la probabilidad de provocar una fatalidad, siendo un subconjunto de los eventos.

Gestión de Eventos:

El GLD “HSEC⁸ Event and Investigation Management” establece las acciones que deben ser realizadas posterior a la ocurrencia de un Evento. Por esto, es necesario tener un proceso que permita el reporte, investigación y gestión de los eventos HSEC.

La investigación de eventos es crucial para poder identificar las causas que los originaron, y así generar medidas correctivas para eliminar la ocurrencia de estos eventos a futuro; para esto se tienen diversas metodologías para la investigación (ver Sección 2.3), que se aplicarán dependiendo del nivel de severidad del evento, tal como lo muestra la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Enfoque para Investigar Eventos Significativos

Nivel de Severidad Real	0	1	2	3	4 o superior
Nivel de Severidad Potencial	4 o superior				
Metodología de Investigación	Análisis de Línea de Tiempo y 5 Por Qué			ICAM	

Así también se precisa la línea de acción a seguir cuando se tiene un evento, en términos de tiempo y acciones a ejecutar.

Otro punto importante a destacar dentro de este requerimiento es la implementación de un modelo global para el aprendizaje a partir de la ocurrencia de estos eventos, ya que se hace imperativa la comunicación de estos, incluyendo la descripción, causas y lecciones claves, para que de esta forma exista un aprendizaje real y se eviten eventos similares en el futuro.

⁸Health, Safety, Environment and Community

Capítulo 4

Metodología

4.1. Estructura General

En base a la problemática existente, así como las directrices que brindan el modelo de gestión de BHP y el estado del arte en cuanto a la seguridad, se dispone de una metodología que permite diagnosticar de mejor forma el problema y así analizar y proponer soluciones atinentes a las dolencias de la compañía.

El enfoque que tiene la metodología es el de analizar las causas que aumentan la probabilidad de que exista un evento con lesión mediante, esto quiere decir que se priorizará en la consecuencia del evento y no en su frecuencia. La metodología se puede ver en la Figura 4.1.

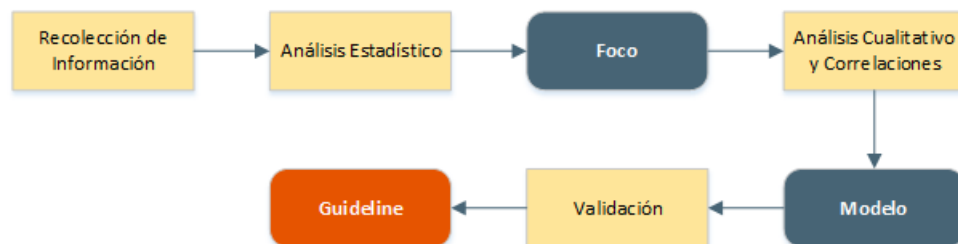


Figura 4.1: Estructura del Proyecto

El proceso se inicia con la recolección de información relacionada con el rol de las personas en los eventos con posibilidad de fatalidad, para luego dar paso al análisis estadístico en busca de patrones y establecer las causas que influyen en la generación de estos eventos. Esto permite generar una focalización en la información que aporta al desarrollo del trabajo y así proceder a analizarla cualitativamente con mayor detenimiento para esclarecer las relaciones entre los distintos factores involucrados, logrando el desarrollo de un modelo de causalidad de los eventos con lesión, el cual es necesario validar (el modelo) mediante el levantamiento de información actual. Finalmente se tiene el desarrollo de una guía que permita analizar a priori el error humano en el diseño de tareas.

4.2. Recolección de Información

En primer lugar, se tiene la recolección de información, correspondiente a la búsqueda de información relacionada con los problemas atendidos por este proyecto, en específico la ocurrencia de eventos de seguridad dentro de la compañía. Como se mencionó en la Sección 3.2.2, cuando se tiene la ocurrencia de un evento significativo es necesario realizar una investigación bajo los pasos de la metodología ICAM. Estas investigaciones son ingresadas a los sistemas de la compañía en un formato de reportes, donde los principales datos son:

- Fecha del evento
- Operación y área operativa donde ocurrió el evento
- Descripción del evento
- Detalles de la lesión (si es que existe)
- Acciones inmediatas tomadas luego del evento
- Tipo de personal involucrado (empleado propio o contratista)
- Nivel real y potencial del evento
- Riesgo estandarizado del evento
- Controles críticos que actuaron y fallaron
- Causas raíces (ver Anexo A.2 para las causas detalladas):
 - Defensas Fallidas/Ausentes
 - Acciones Individuales/de Entorno
 - Condiciones de Tarea/Entorno
 - * Lugar de Trabajo
 - * Personas
 - Factores Organizacionales
- Acciones correctivas permanentes a implementar
- Lecciones claves resultantes del evento

Para los posteriores pasos es preciso disponer los datos de cada reporte en una base de datos única, por lo que es necesaria la extracción de cada campo a una planilla, en este caso del software Microsoft Excel, para trabajar de una manera cuantitativa.

Complementando lo mencionado anteriormente, las causas raíces solo poseen la descripción de estas, por lo que es necesario realizar la transformación hacia una variable dicotómica que indique la presencia o no de cada causa para todos los eventos. La ventaja de trabajar con variables dicotómicas incide en que permiten trabajar de forma estadística (de utilidad para campos como la econometría, epidemiología y disciplinas afines) para así estimar relaciones causales entre las distintas variables mediante el uso de las herramientas estadísticas.

Cabe mencionar, tal como se hace en el alcance del proyecto (ver Sección 1.3), que los reportes a utilizar corresponden a solo una faena de la compañía, y pertenecen al periodo comprendido por el Año Fiscal 2012 al Año Fiscal 2016. La información general de la base de datos se muestra en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Distribución de Reportes por Consecuencia del Evento

Consecuencia	Cantidad	Porcentaje [%]
Cuasi Pérdida	914	94,9
Lesión	49	5,1

En cuanto a la gravedad de la lesiones se tiene la distribución de la Tabla 4.2.

Tabla 4.2: Distribución de Reportes con Lesión

Nivel de Severidad Real	Cantidad
1	36
2	3
3	10

Se puede observar que, de los eventos significativos, sólo un 5,09% de ellos resulta en impactos verdaderos. Sin embargo una parte de estos poseen una gravedad importante, lo cual es inaceptable bajo los valores y metas de la compañía.

4.3. Análisis Estadístico

En base a los datos recolectados y sus características, es posible realizar un análisis cuantitativo, específicamente un análisis estadístico para así observar y/o inferir relaciones y patrones entre las distintas causas de los eventos, así como las consecuencias de estos.

Para tales propósitos, se tienen distintas herramientas para lograr el objetivo, las cuales se nombran a continuación.

4.3.1. Análisis de Frecuencia

Esta técnica permite, mediante tablas de frecuencia y gráficos de frecuencia, obtener lo siguiente:

- La distribución de las variables, en este caso las causas de acuerdo al tipo de riesgo presente en el evento
- La comparación entre la distribución de las causas de acuerdo al tipo de riesgo presente en el evento

Lo cual permite elaborar una estrategia de análisis dependiendo del comportamiento de las causas, donde se formarán familias de riesgo de acuerdo a la similitud entre sus distribuciones.

4.3.2. Regresión Logística Binaria

Para cada familia de riesgo se realizará una regresión logística binaria, la cual tiene como objetivo dentro del proyecto determinar las causas que influyen en la ocurrencia de un evento con lesión.

Los datos a utilizar serán las causas raíces entregadas por los reportes mencionados en la Sección Recolección de Información 4.2, exceptuando las causas “Defensas Fallidas/Ausentes” y “Factores Organizacionales”, lo que se traduce en el análisis de las condiciones de la persona bajo las cuales ocurrió el evento, las acciones tomadas, y la gravedad del impacto.

Para la aplicación del análisis se usa el programa estadístico SPSS¹, donde la regresión tomará en un primer lugar todas las variables pertenecientes a las categorías mencionadas (Acciones Individuales/ de Equipo y Factor Humano), las que se irán eliminando progresivamente en un proceso iterativo de acuerdo con la significancia estadística que posean en el modelo de explicación de la gravedad del evento.

Finalmente se tendrán las variables que expliquen el fenómeno de forma estadísticamente significativa.

Descripción del Modelo:

Una de las herramientas utilizadas en el análisis estadístico son los modelos de regresión, que buscan describir la relación entre variables independientes, en otras palabras, los parámetros de entrada, y una variable dependiente, que representa el resultado.

Un tipo de modelo de regresión es la regresión logística binaria, la cual se utiliza cuando la variable dependiente es una variable dicotómica, es decir que puede tener solo 2 resultados (por ejemplo, Sí/No, Presente/No presente, etc.), y se tienen variables explicativas [Hosmer, D. W., 2000].

La variable dependiente se modela como sigue:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si se expresa la característica} \\ 0 & \text{si no se expresa la característica} \end{cases} \quad (4.1)$$

donde i representa cada observación.

Un concepto relevante dentro de la representación de la probabilidad de que se manifieste o no una característica es la Razón u Odd en inglés, que se refiere a la razón entre la ocurrencia (probabilidad p) y su no ocurrencia ($q = 1 - p$), el cual se define de la siguiente manera:

$$\text{Odd} = \frac{p}{q} = \frac{p}{1 - p} \quad (4.2)$$

A partir del Odd, se define el término Logit, correspondiente al logaritmo natural (Ln)

¹Statistical Package for the Social Sciences, IBM

del Odd:

$$\text{Logit} = \text{Ln}(\text{Odd}) = \text{Ln}\left(\frac{p}{1-p}\right) \quad (4.3)$$

La regresión logística binaria corresponde a un modelo estadístico que tiene como resultado la zona a la cual pertenece la variable, es decir, si se da o no la característica, esto dependiendo de las variables explicativas, las cuales se definen como $x_i \in \mathbb{R}^n$, donde i representa cada observación, y n el número de variables explicativas. Por lo mencionado anteriormente, se construye el modelo a partir del Logit, donde se asume que este tiene un comportamiento lineal:

$$\text{Logit} = \text{Ln}\left(\frac{p(x_i)}{1-p(x_i)}\right) = \beta_0 + \beta x_i \quad (4.4)$$

donde:

β : Es el vector $\in \mathbb{R}^n$, con n el número de variables explicativas, que representa el peso contribuyente a que aumente o disminuya (dependiendo del valor positivo o negativo respectivamente) el valor de p .

x_i : Es el vector $\in \mathbb{R}^n$, con n el número de variables explicativas, que representa el valor de las variables explicativas para la observación i .

Con un manejo algebraico, y despejando la probabilidad p , queda definida la zona de pertenencia (valor de la característica predicho por el modelo) de una observación en la siguiente fórmula:

$$p(x_i) = \frac{1}{1 + e^{-\beta_0 + \beta x_i}} \quad (4.5)$$

Para estimar los factores de peso se utiliza el método de máxima verosimilitud, el cual tiene como objetivo maximizar la probabilidad estimada de obtener los resultados categorizados según las observaciones y_i [Hosmer, D. W., 2000].

La función de verosimilitud es la siguiente:

$$l(\beta) = \prod_{i=1}^n f(x_i, \beta) \quad (4.6)$$

Donde $f(x_i, \beta)$ es la función de densidad de probabilidad, que para el caso actual, corresponde al modelo de regresión logística binaria, por lo que la función es equivalente a:

$$l(\beta) = \prod_{i=1}^n p(x_i)^{y_i} [1 - p(x_i)]^{1-y_i} \quad (4.7)$$

Debido a la complejidad de la función descrita anteriormente, es necesario aplicar logaritmo a ella para desarrollarla de forma más sencilla:

$$\mathcal{L}(\beta) = \ln[l(\beta)] = \sum_{i=1}^n \{y_i \ln[p(x_i)] + (1 - y_i) \ln[1 - p(x_i)]\} \quad (4.8)$$

Luego se busca el máximo derivando con respecto a y^i , obteniendo las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} \sum [y_i - p(x_i)] &= 0 \\ \sum x_i [y_i - p(x_i)] &= 0 \end{aligned} \quad (4.9)$$

De donde se obtienen los factores de peso β_i , los cuales son estimadores insesgados. Posteriormente, se debe definir el punto de corte para determinar las zonas, el cual se calcula iterativamente para maximizar el porcentaje de acierto ya sea global o de alguna zona en específico. El punto de corte está definido matemáticamente de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} p(x_i) \geq \text{punto de corte} &\Rightarrow y_i = 1 \\ p(x_i) \leq \text{punto de corte} &\Rightarrow y_i = 0 \end{aligned} \quad (4.10)$$

4.3.3. Diagrama de Pareto

El siguiente paso corresponde a evaluar en qué causas se requiere focalizar la atención de acuerdo a su contribución a la probabilidad de un evento con lesión. Para tal propósito se tiene la herramienta diagrama de Pareto (ver Sección 2.5.2) que permite identificar las causas que contribuyen en mayor medida a la probabilidad de una lesión.

Este resultado nos entrega las causas críticas en cuales es necesario el foco, y prestar atención para eliminar o reducir la probabilidad de que exista alguna condición que pueda generar una lesión en la realización de una tarea.

4.3.4. Análisis de Sesgo de la Estimación

Luego de la reducción de variables a través del diagrama de Pareto, se analizará con las variables resultantes la reducción en el porcentaje de acierto de las predicciones hechas por el modelo de regresión, esto para evaluar si la reducción de variables no discrimina factores relevantes dentro de la generación de eventos con lesión.

4.4. Desarrollo del Modelo de Causalidad

Los resultados entregados por el paso anterior permiten enfocarse en las causas relevantes; sin embargo, es necesario entender las relaciones entre las distintas causas, ya que el modelo bajo el cual se investiga el evento, ICAM (ver Sección 2.3.3), supone una relación entre ellas. Para esto se tienen 2 métodos de análisis:

4.4.1. Correlaciones

Además de la búsqueda de relaciones entre las causas a través del análisis cualitativo, se tiene la búsqueda de correlaciones mediante la frecuencia de aparición conjunta, lo que muestra la frecuencia con la que se desarrolla una variable cuando una causa, en este caso las acciones críticas, son ejecutadas en los eventos. La razón de este análisis es el de evaluar la posible causalidad que tienen ciertas variables sobre otras, lo que se complementa con el análisis cualitativo.

4.4.2. Análisis Cualitativo

Este análisis corresponde a la lectura de los eventos, lo que permite detectar, ya sea que se encuentre en forma explícita o al inferir, relaciones de causa y efecto entre las variables a tratar. De igual manera entrega un mayor contexto e información del evento, lo que no se ve reflejado mediante el análisis estadístico (ver Sección 4.3).

También se tiene la definición de subcausas dentro de cada factor, así como su contabilización, esto con motivo de cuantificar los hallazgos relevantes dentro del análisis.

4.4.3. Modelo de Causalidad

La finalidad de esta etapa radica en la realización de un modelo conceptual que entregue las variables que participan en la ocurrencia de un error humano con resultado de lesión para los trabajadores. Esto permite detectar donde implementar barreras para eliminar las acciones que resultan en una posible desviación de los actos seguros. Las variables involucradas en el modelo corresponden a los Performance Shaping Factors (PSF²) específicos para la compañía y eventos con lesión, los cuales son de gran valor para la evaluación del Factor Humano dentro de las tareas.

²Aspectos del comportamiento y contexto que impactan en el rendimiento humano

4.5. Validación

Ya con un modelo conceptual preliminar y teórico del problema, es necesario validar las hipótesis resultantes de los pasos anteriores. Con motivo de esto se tiene el uso de cuestionarios para medir la percepción de los trabajadores y así levantar información de primera línea de manera más confiable y correspondiente al estado actual de la operación.

Los parámetros a medir son los PSF obtenidos mediante los pasos anteriores, esto evaluado a través de afirmaciones en una escala Likert de 5 opciones correspondiente a valores desde “Muy de Acuerdo”, a “Muy en desacuerdo”, donde la persona debe marcar su percepción acerca de la aseveración.

Con la evaluación de cada PSF es posible evaluar correlaciones entre ellos para así validar las hipótesis planteadas en el modelo entregado del paso anterior, o en caso contrario, refinarlo para tener una visión actual del problema (ver Sección 1.3).

4.5.1. Diseño de Cuestionario

La plantilla del cuestionario precisa 3 elementos:

- 1) **Datos del encuestado:** Correspondiente a los datos básicos de la persona a evaluar, tales como experiencia y tipo de empleado (empleado directo o contratista)
- 2) **PSF:** Se tiene la medición de los parámetros evaluados en pasos anteriores como causas críticas para la ocurrencia de una lesión. Se miden en forma de la concordancia entre la percepción del encuestado con la afirmación realizada en la frase
- 3) **Grado de exposición a riesgos:** Esta variable habla de la recurrencia a la exposición a riesgos asociados a las actividades, así como la frecuencia de accidentabilidad de la persona

Como se mencionó anteriormente, la medición se realizará mediante una escala Likert de 5 opciones, esto específicamente para los elementos 2 y 3 de la encuesta. Para el elemento 1 se tiene la modalidad de opción múltiple (el cuestionario utilizado se encuentra en el Anexo B.4.1).

4.5.2. Aplicación del Cuestionario

Número de Participantes para encuesta SEM:

El número de participantes en una encuesta SEM es de suma importancia, ya que determina los niveles de aceptabilidad de los resultados de este modelo:

- **Nivel de significancia (α):** Corresponde a la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula siendo verdadera, lo que corresponde a un error de tipo *I*.

- **Potencia del estudio ($1 - \beta$):** Corresponde a la probabilidad de que se rechace la hipótesis nula siendo falsa, es el recíproco de β , es decir $1 - \beta$, equivalente a aceptar la hipótesis nula siendo falsa, lo que corresponde a un error de tipo *II*.
- **Valor mínimo de correlación detectada (R^2):** Corresponde al valor mínimo a identificar para la correlación entre distintas variables en el estudio, expresada por el término R^2 , que indica el porcentaje de varianza de la variable dependiente explicado por la variable independiente.
- **Complejidad del modelo:** Corresponde a la cantidad de relaciones que existen entre las distintas variables de un modelo, a mayor cantidad más complejo es este. Está expresado como el número máximo de variables que explica una variable independiente

Los niveles de significancia y potencia del estudio aplicados en los estudios de ciencias del comportamiento son del valor de 0,05 y 0,8 respectivamente según Cohen [Cohen, J., 1988], en cuanto a los demás valores, son de carácter exclusivo de los objetivos del investigador y de la complejidad del modelo propuesto. Con los valores mencionados anteriormente, se tienen recomendaciones para el tamaño de la muestra a encuestar [Hair Jr, J. F. et al., 2013] [Cohen, J., 1992].

Tabla 4.3: Tamaño de la muestra recomendado para una encuesta SEM con Potencia del Estudio de 80 %

Número máximo de variables que explican una variable dependiente	Nivel de significancia											
	1 %				5 %				10 %			
	R^2 Mínimo				R^2 Mínimo				R^2 Mínimo			
	0,10	0,25	0,50	0,75	0,10	0,25	0,50	0,75	0,10	0,25	0,50	0,75
2	158	75	47	38	110	52	33	26	88	41	26	21
3	176	84	53	42	124	59	38	30	100	48	30	25
4	191	91	58	46	137	65	42	33	111	53	34	27
5	205	98	62	50	147	70	45	36	120	58	37	30
6	217	103	66	53	157	75	48	39	128	62	40	32
7	228	109	69	56	166	80	51	41	136	66	42	35
8	238	114	73	59	174	84	54	44	143	69	45	37
9	247	119	76	62	171	88	57	46	150	73	47	39
10	256	123	79	64	189	91	59	48	156	76	49	41

factorial sea mayor a 0,7 donde se acepta la variable; sin embargo, también se pueden incluir variables con una carga factorial entre 0,4 y 0,7 dependiendo si aumentan el valor de la confiabilidad compuesta y la validez convergente [Hair Jr, J. F. et al., 2013].

2) **Confiabilidad:** La confiabilidad se refiere a la certidumbre que se tiene con respecto a los datos recolectados, esto en forma de una repetición constante y estable para la media, lo que se traduce en la precisión del instrumento de medición. Existe una serie de tipos de confiabilidad:

- **Temporal:** Es la estabilidad a través del tiempo, en otras la dispersión del re-testeo.
- **Representatividad:** Corresponde a la capacidad de no producir variaciones al medir distintas subpoblaciones.
- **Equivalencia:** Definida como la capacidad de medir una variable latente a través de distintos indicadores.

Para el propósito de la medición de la confiabilidad, específicamente la equivalencia debido a la aplicación del método SEM, existen distintas herramientas, dentro de las cuales las más importantes son el alfa de Cronbach y la confiabilidad compuesta (CR).

- **Alfa de Cronbach:** Este método utiliza la correlación promedio entre las respuestas de las distintas mediciones realizadas en una prueba si es que estos están estandarizados (misma escala de medida) con una desviación estándar de uno. En caso de que no se encuentren estandarizados se utiliza la covarianza promedio.

Este coeficiente puede tomar valores entre 0 y 1, con 0 indicando confiabilidad nula y 1 confiabilidad total.

Para poder utilizar esta medida es necesario cumplir con una serie de requisitos:

- La medida de la prueba debe ser compuesta por una suma de las puntuaciones de cada ítem de esta.
- Todos los ítems presentes en la prueba deben medir la premisa evaluada en un mismo sentido, es decir que si se quiere medir una variable latente positiva, los ítems deben medir la afirmación en una escala con sentido acorde a esta, es decir, positiva

El alfa de Cronbach depende de la correlación entre los resultados de los ítems, así también de la extensión de la prueba (cantidad de ítems), teniendo una relación proporcional con estos factores.

$$\alpha = \frac{n}{n-1} \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{X_i}^2}{\sigma_T^2} \right) \quad (4.12)$$

donde:

n : Número de los ítems que miden la variable latente (-).

$\sigma_{X_i}^2$: Varianza del ítem X_i (-).

σ_T^2 : Varianza del resultado final (suma de todas las puntuaciones de la encuesta) de todos los participantes de la prueba (-).

Como mínimo para la confiabilidad, se recomienda un valor de 0,7 [Litwin, M., 1995], sin embargo, según otros autores, se tienen rangos dependiendo del tipo de estudio: para etapas iniciales un valor de 0,5 es requerido, y para etapas más avanzadas se necesita un 0,7 siendo deseable un 0,8 [Churchill, G.A., 1979].

- **Confiabilidad Compuesta (CR):** Este tipo de confiabilidad evalúa qué tan bien miden los indicadores a la variable latente en forma conjunta, más que la representatividad individual de cada uno.

Dentro de los parámetros que usa esta herramienta se encuentran las cargas factoriales obtenidas de la resolución del método SEM, con lo que se obtiene la siguiente ecuación:

$$CR_j = \frac{(\sum_{i=1}^n \lambda_{ij})^2}{(\sum_{i=1}^n \lambda_{ij})^2 + \sum_{i=1}^n var(\varepsilon_{ij})} \quad (4.13)$$

donde:

CR_j : Confiabilidad compuesta de la variable latente j (-).

n : Número de los ítems que miden la variable latente j (-).

λ_{ij} : Carga factorial del ítem i sobre la variable latente j (-).

ε_{ij} : Error de la estimación de la carga factorial del ítem i sobre la variable latente j (-).

Como corte se utiliza 0,7 para una alta confiabilidad [Fornell, C. y Larcker, D., 1981].

Tradicionalmente se ha utilizado el alfa de Cronbach para medir la confiabilidad en los estudios de ciencias sociales, pero este valor tiende a dar resultados conservadores en PLS-SEM [Wong, K., 2013]. La literatura actual sugiere que el uso de la confiabilidad compuesta es una mejor medida debido a que esta utiliza parámetros obtenidos de la resolución de SEM, por lo que tiene un peso matemático/estadístico mayor [Hair, J.F. et al., 2012].

- 3) **Validez de los ítems de medición:** La validez es el concepto que se refiere a que la forma de medir una variable latente es válida solo si los ítems implementados miden realmente la variable latente [Cook, T. y Campbell, D., 1979]. Dentro de la literatura surgen 2 métodos para medir la validez, estos son la validez convergente y la validez discriminante [Campbell, D. y Fiske, D., 1959].

- **Validez Convergente:** Mide el grado de correlación entre las medidas de una variable latente, las que deben ser altas (correlación).

La medición de este concepto se realiza con la varianza promedio extraída (AVE³), obtenida mediante la siguiente expresión:

$$AVE_j = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_{ij}^2}{n} \quad (4.14)$$

Donde:

³Average Variance Extracted

AVE_j : Varianza promedio extraída de la variable latente j .

λ_{ij} : Carga factorial del ítem i sobre la variable latente j .

n : Número de los ítems que miden la variable latente j .

Para aceptar la validez, se utiliza un valor mínimo de 0,5 [Fornell, C. y Larcker, D., 1981].

- **Validez Discriminante:** La correlación entre las medidas de una variable latente debe ser mayor que la que exista con respecto a las medidas propuestas de otras variables latentes.

Para evaluar esta medida, se utiliza el criterio de Fornell y Larcker [Fornell, C. y Larcker, D., 1981], el cual consiste en comparar el valor de la raíz cuadrada de AVE de cada variable latente y su correlación con las demás variables latentes, para lo que se suele utilizar una tabla de correlación, reemplazando la diagonal por el valor de la raíz de cada AVE.

- 4) **Validación del modelo:** En esta etapa se debe aceptar, o no, las hipótesis planteadas en el modelo. Para esto se utilizan los coeficientes de ruta, que indican el grado de influencia entre las variables: a mayor valor absoluto se tiene mayor influencia; en cuanto al signo, indica si la relación es positiva o negativa.

Además, es necesario verificar que las relaciones no sean producto del azar, por lo que se utiliza la significancia estadística (ver Sección 2.5.1) para evaluar este parámetro.

4.6. Guía

En base a los resultados e hipótesis obtenidas en los pasos anteriores se adoptará un enfoque concerniente a estos para el desarrollo de la guía. Esta tiene como enfoque la reducción de la posibilidad del error humano, por lo que, en primer lugar, esta herramienta debe ser de sencillo uso, así como tener un formato autocontenido para facilitar la realización de los distintos pasos que contenga y evitar el error o mal uso.

Los pasos específicos y secuenciales que se tienen para el desarrollo de la guía se tienen los siguientes:

- 1) Desarrollo de la metodología
- 2) Desarrollo de las herramientas específicas a usar dentro de la guía
- 3) Caracterización con ejemplos
- 4) Diseño y escritura
- 5) Revisión teórica
- 6) Revisión práctica

7) Implementación

Dependiendo de los resultados dentro de las revisiones se iterará en los pasos anteriores hasta alcanzar un producto que cumpla con las expectativas, para finalmente implementarse en las operaciones de la compañía.

Capítulo 5

Resultados y Análisis

5.1. Análisis Estadístico

5.1.1. Análisis Exploratorio de Datos

Como punto de inicio en el tratamiento de los datos se tiene la distribución anual de los eventos significativos en contraste con la cantidad de horas hombre¹ (HH) para poder analizar si existe o no correlación entre estos, Figura 5.1.

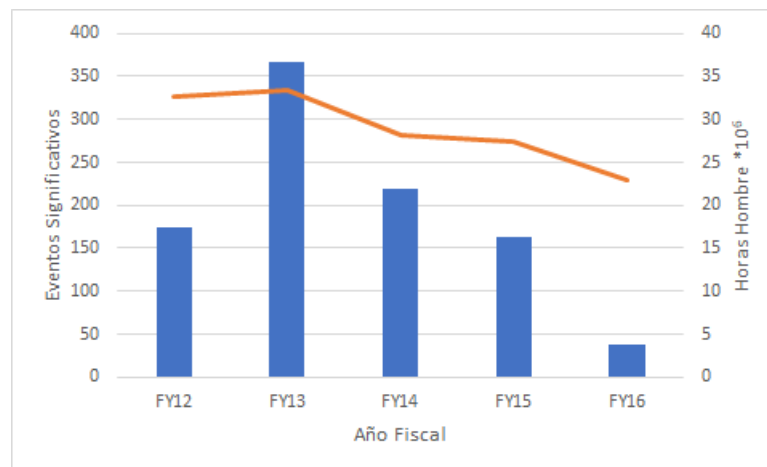


Figura 5.1: Distribución de Eventos Significativos por Año Fiscal

Mediante una regresión lineal es posible obtener una estimación de la influencia de las HH en la cantidad de eventos significativos, la cual tiene un R^2 asociado de 0,68 que nos indica qué la variación de los eventos significativos está explicada en un 68% por la cantidad de HH, esto evidencia que a mayor exposición de los trabajadores existirá un mayor número de eventos, lo cual es lógico bajo una perspectiva de una proporción constante entre eventos y exposición.

¹Es la unidad de una hora trabajada por una persona (definición del diccionario en línea Merriam-Webster)

Por otra parte, se tiene la distribución relativa del tipo de empleado involucrado (contratista o empleado propio) en los eventos significativos, Figura 5.2, esto dependiendo del riesgo material para así poder visualizar si existe alguna relación entre este y el tipo de empleado. No se incluye el riesgo de “Explosivos” debido al bajo número de estos eventos, representando sólo un 0,21 % del total.

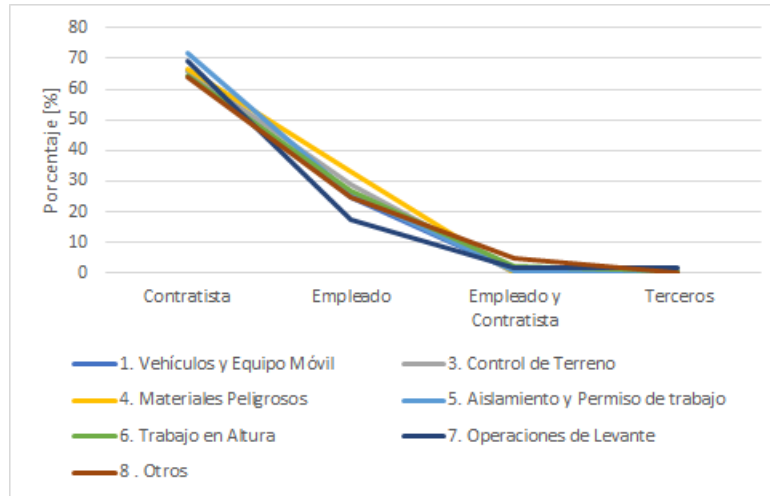


Figura 5.2: Distribución de Eventos Significativos por Involucrado y Riesgo Material

Se puede apreciar que el tipo de riesgo material no juega un papel en el tipo de empleado involucrado en los eventos significativos, por lo que el análisis debe ser indistinto para cada riesgo. Esto indica que no existe una predisposición por parte de ningún lado al involucramiento en un evento de algún tipo de riesgo material por sobre otro.

Junto a esto se tiene la distribución de las Acciones Individuales/de Equipo por tipo de empleado en la Figura 5.3. Como se mencionó anteriormente, las Acciones Individuales/de Equipo corresponden a los actos inseguros realizados previa ocurrencia del evento y que lo posibilitaron.

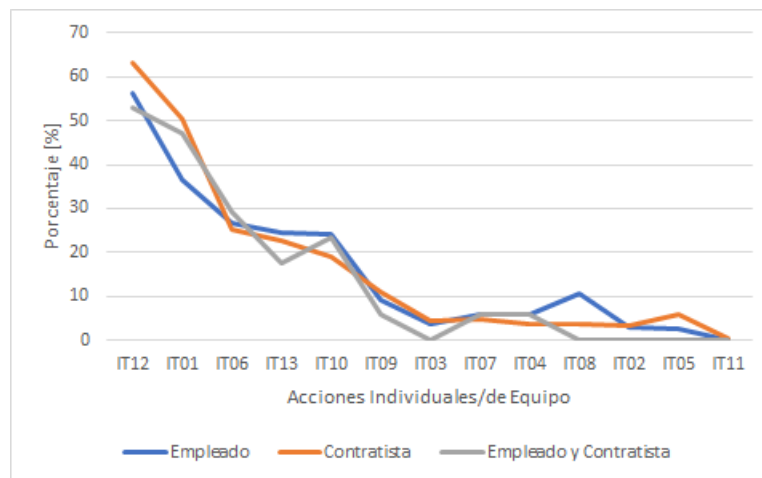


Figura 5.3: Distribución de Acciones Individuales/de Equipo por tipo de Involucrado

Este gráfico nos indica que las causas directas (Acciones Individuales/de Equipo) son comunes a todos los trabajadores, independiente del tipo de contrato que tengan, por lo

que las acciones a tomar para la reducción de la frecuencia de este tipo de causas no deben discriminar por tipo de trabajador, ayudando a tener un marco común para el tratamiento de estos riesgos.

Finalmente se tiene la distribución de las Acciones Individuales/de Equipo dependiendo del tipo de riesgo material en la Figura 5.4, esto con motivo de agrupar las distintas acciones y analizarlas por separado como familias de comportamiento distinto. No se incluye el riesgo de “Explosivos” debido al bajo número de estos eventos, representando sólo un 0,21 % del total.

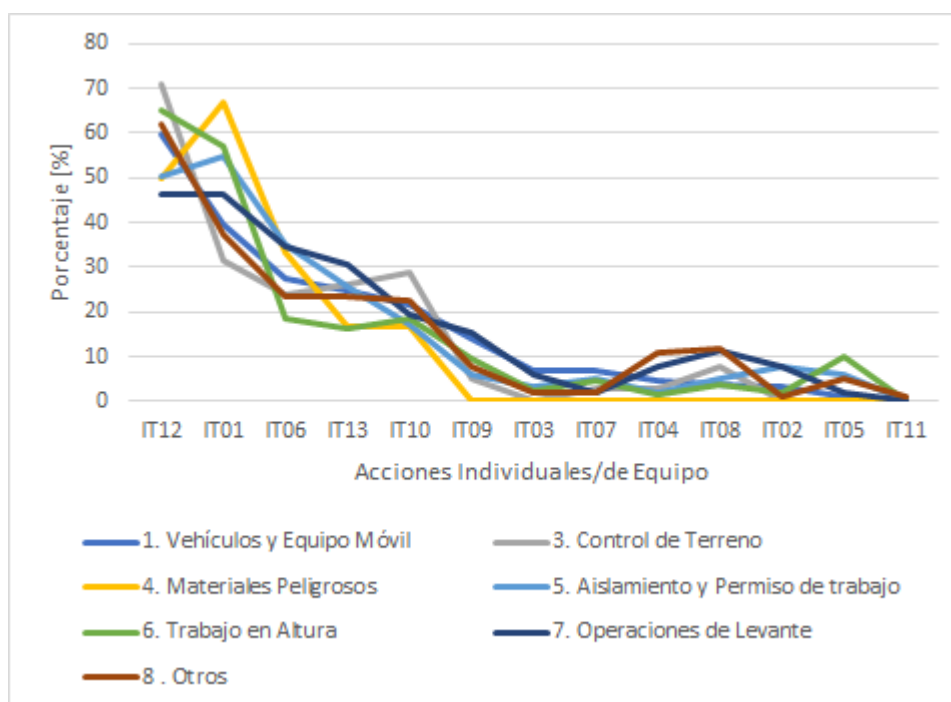


Figura 5.4: Distribución de Acciones por Riesgo Material

Del gráfico se puede inferir que no existen familias de riesgos, es decir, no existe una predisposición de acciones bajo las cuales se origina un evento significativo dependiendo del riesgo, lo que nos indica que las acciones son indiferentes a estos, lo que permite trabajarlas bajo una sola mirada y metodología ya que son comunes las causas.

5.1.2. Regresión Logística Binaria

La regresión logística binaria (ver Sección 4.3.2) nos entrega un modelo que indica la influencia de las variables explicativas sobre la variable de interés, que en este caso corresponde a la presencia o no de una lesión en el evento.

Se usó el software SPSS para la realización del modelo de regresión, en el cual se ingresaron como variables explicativas los conceptos Acción Individual/de Equipo y Factor Humano presentes en los reportes de eventos significativos.

Debido a que en el análisis exploratorio de datos no se encontraron familias de riesgos,

todos los eventos comprendidos en este estudio fueron agrupados e ingresados a un sólo análisis de regresión.

En cuanto a los resultados del modelo, se tiene la Tabla 5.1 que muestra el ajuste de este a los datos reales mediante distintos estadísticos.

Tabla 5.1: Resumen del Modelo de Regresión Logística Binaria

Chi-cuadrado	Significancia de Chi-Cuadrado	Logaritmo de la verosimilitud	R^2 de Nagelkerke
76,607	0,002	310,724	0,231

La prueba de Chi-cuadrado posee una significancia de 0,002 menor a 0,05 (95 % de confianza), lo que indica que los resultados de este modelo no son debidos al azar y poseen un verdadero valor estadístico. En cuanto al logaritmo de la verosimilitud se tiene un valor de 310,724 donde para esta prueba se busca obtener valores cercanos a 0, sin embargo, no se tiene una regla para discriminar entre un resultado válido y uno no válido. En cuanto al R^2 de Nagelkerke, el valor indica que los parámetros usados explican el 23,1 % del fenómeno, esto es debido a que no se incluyen los demás factores de las investigaciones resultantes del método ICAM, los cuales son Factores Organizacionales y Defensas Fallidas/Ausentes.

Otra herramienta de validación del modelo es la realización de una tabla de clasificación de los eventos, donde se contrasta la cantidad de eventos observados y eventos pronosticados por el modelo dependiendo de la clasificación de Cuasi Pérdida y Lesión. En esta tabla se visualiza a partir de los estados observados (filas), la clasificación realizada en base al pronóstico del modelo de regresión (columnas), donde resultan clasificaciones correctas en los cuadrantes (1,2) y (2,1), y falsos positivos, así como falsos positivos en los (2,2) y (1,1) respectivamente. Para la clasificación, mostrada en la Tabla 5.2, se hizo un Corte en la Probabilidad de 0,055.

Tabla 5.2: Tabla de Clasificación del Modelo de Regresión Logística Binaria

Observado	Pronosticado		Porcentaje de Acierto %
	Cuasi pérdida	Lesión	
Cuasi pérdida	687	227	75,2
Lesión	13	36	73,5
Porcentaje global de acierto %			75,1

El tener un porcentaje de acierto global de 75,1 %, específicamente un 73,5 % para los eventos con lesión, indica un alto grado de ajuste del modelo, por lo que se puede inferir que a pesar de que los parámetros solo explican un 23,1 % del fenómeno, estiman con una precisión del 73,5 % la ocurrencia de una lesión en los eventos. Esto nos permite focalizar sobre las causas que tienen un impacto significativo sobre la severidad de los eventos.

En cuanto a los resultados específicos para las variables explicativas que fueron introducidas al modelo, la regresión entrega entre los principales resultados asociados a estas el factor de peso B y la significancia, parámetros que indican la contribución a la probabilidad de que se manifieste una característica, lesión en el evento en este caso en específico, y la probabilidad de tener un falso positivo, respectivamente.

A continuación, en la Tabla 5.3, se tienen sólo los resultados de las variables que contribuyen a la generación de un evento con lesión, para revisar las demás variables (ver Anexo B.2).

Tabla 5.3: Acciones Individuales/de Equipo Contribuyentes a Evento con Lesión

	Acción Individual/de Equipo	B	Significancia
IT03	Rapidez Operacional	2,12	<0,001
IT04	Uso de Equipos	1,77	0,003
IT07	Manejo del Cambio	1,36	0,027
IT09	Mala Conducta	1,34	0,004
IT13	Manejo del Riesgo	0,96	0,017
IT10	Método de Trabajo	0,81	0,066
IT01	Supervisión	0,75	0,037
IT12	Percepción/Reconocimiento del Peligro	0,49	0,205
IT08	Manejo de Materiales y Equipos	0,42	0,554

De las 9 acciones, 6 presentan un nivel de significancia $< 0,05$ (5 % probabilidad error de tipo I), lo que nos indica que el resultado es estadísticamente significativo en el contexto de presentar influencia sobre la posibilidad de una lesión en un evento.

Tabla 5.4: Factores Humanos Contribuyentes a Evento con Lesión

	Factor Humano	B	Significancia
HF10	Competencia/Habilidades para el Trabajo	1,12	0,003
HF01	Complacencia/Motivación/Actitud	1,02	0,007

En cuanto a los 2 elementos catalogados como Factor Humano resultantes de la regresión, estos tienen un nivel de significancia también de $< 0,05$ (5 % probabilidad error de tipo I), ver Tabla 5.4.

Esta reducción de variables es significativa, ya que, de un total de 26 factores, solo 8 resultan en factores contribuyentes a la ocurrencia de una lesión, es decir, los factores que determinan la diferencia entre una cuasi pérdida y una lesión. Esto nos entrega una focalización para los futuros pasos, disminuyendo los recursos necesarios.

5.1.3. Diagrama de Pareto

Las 6 Acciones Individuales/de Equipo catalogadas como críticas se encuentran comprendidas en los 963 reportes (100 %), los que no resultan analizables cualitativamente en la práctica. Por esto se tiene el diagrama de Pareto, el que nos permite priorizar los elementos en base a su importancia relativa. En este caso se priorizan a las acciones críticas en base a su contribución a la posibilidad de que exista una lesión en un evento, es decir, las acciones que hacen posible la lesión.

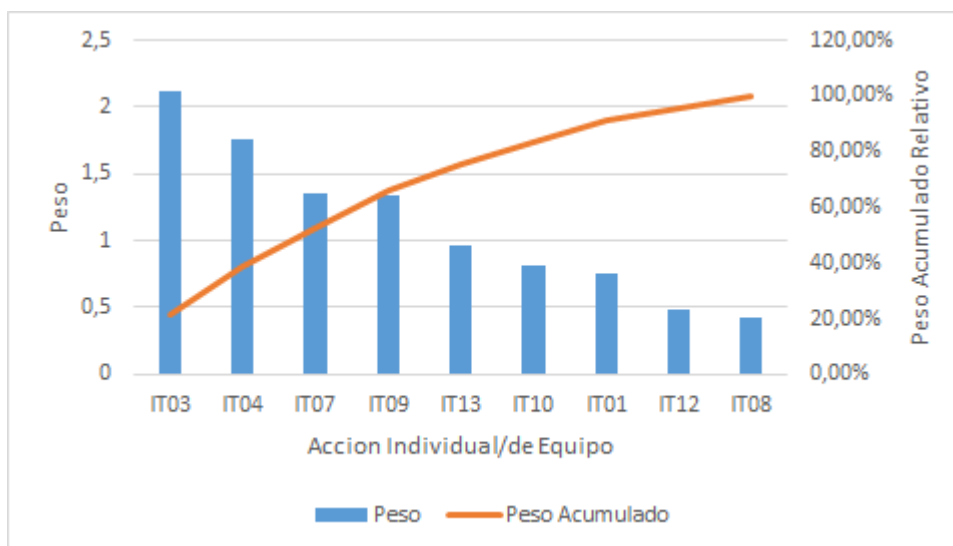


Figura 5.5: Diagrama de Pareto Acciones Contribuyentes

Como se ve en la Figura 5.5, de las acciones críticas resultan 5 como las que poseen el 75,38 % de la contribución a la posibilidad de lesión en un evento. Esto nos permite reducir el número de reportes a analizar cualitativamente, lo que se traduce en la siguiente tabla.

Tabla 5.5: Frecuencia de Acciones Críticas

Acción Crítica		N° Reportes	N° Reportes Acumulados	Porcentaje Relativo Acumulado %
IT03	Rapidez Ocupacional	39	39	4,0
IT04	Uso de Equipos	39	78	8,1
IT07	Manejo del Cambio	47	125	13,0
IT09	Mala Conducta	101	226	23,5
IT13	Manejo del Riesgo	215	441	45,8

De la Tabla 5.5 se puede ver que, de todas las acciones catalogadas como causas de los eventos, 5 pueden ser destacadas con un alto valor de riesgo producto de la contribución que tienen estas sobre la posibilidad de que exista una lesión, es decir, un accidente real. Cabe destacar la reducción significativa en el número de reportes, desde 963 a 441. Esto ayuda a analizar con mayor profundidad y detenimiento cada evento debido a las restricciones de tiempo.

5.2. Desarrollo del Modelo de Causalidad

Con la reducción de las acciones a analizar, es necesario realizar un análisis para comprender cómo se relacionan estas acciones con los demás elementos (Acción Individual/de Equipo y Factor Humano) para así establecer la causalidad de estas y tener un entendimiento sobre cómo se desarrollan las lesiones. Esto es de vital importancia para saber dónde enfocarse en el desarrollo de acciones y estrategias para la reducción de la accidentabilidad.

5.2.1. Correlaciones

El primer análisis corresponde a la medición de la frecuencia relativa con la que una Acción Crítica se manifiesta en conjunto con las demás Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos para así evaluar cuáles de ellas tienen la posibilidad de influenciar la aparición de las Acciones Críticas.

La Figura 5.6 muestra el promedio ponderado del análisis mencionado anteriormente para cada acción crítica, donde la ponderación se realiza en base a la frecuencia relativa de la acción crítica (número de eventos con la presencia de la acción) con respecto a la frecuencia total (suma de las frecuencias de cada acción crítica). Ver Anexo B.3.1 para el análisis específico de cada acción crítica.

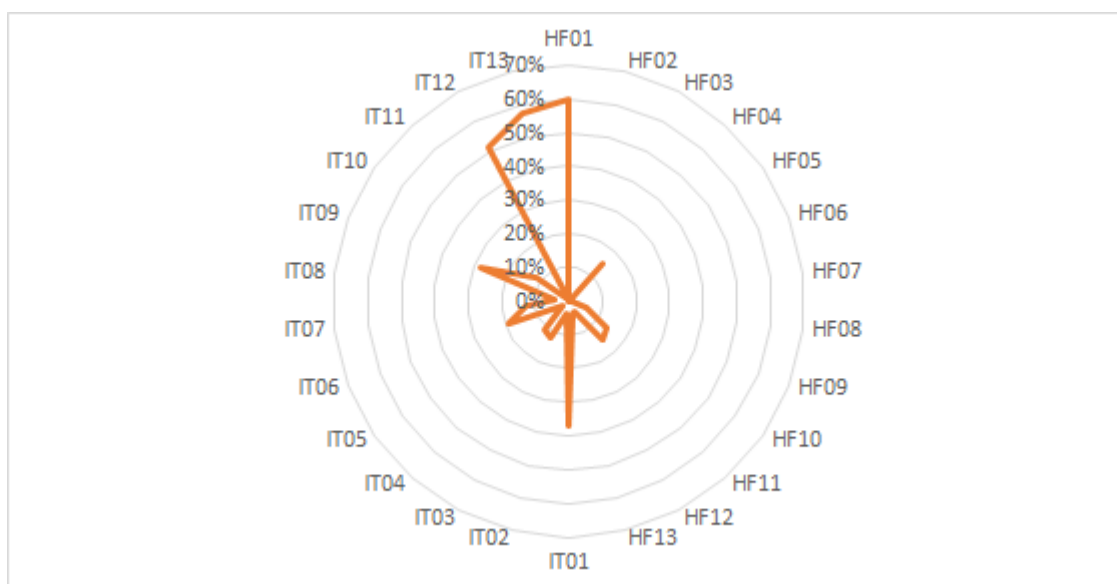


Figura 5.6: Correlación entre Acciones Críticas y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos (promedio ponderado)

Esta figura nos muestra que las acciones críticas se desarrollan en conjunto con solo algunos de los elementos (Acción Individual/de Equipo y Factor Humano), por lo que es de presumir que estos son algunos de los generadores de las acciones críticas. Como se mencionó anteriormente, este análisis permite establecer posibles causalidades entre los distintos factores y así establecer el modelo de causalidad de eventos con lesión.

En la Tabla 5.6 se muestran la frecuencia de aparición.

Tabla 5.6: Correlación entre Acciones Críticas y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos

Causas		Frecuencia de Aparición Conjunta %
HF01	Complacencia/Motivación/Actitud	60,1
IT13	Manejo del Riesgo	57,1
IT12	Percepción/Reconocimiento del Peligro	51,5
IT01	Supervisión	37,2
IT09	Mala Conducta	28,1
IT06	Cumplimiento de Procedimientos	19,5
HF04	Tiempo/Presiones de Productividad	15,2
HF11	Comunicación	15,2
HF10	Competencia/Habilidades para el Trabajo	13,4
IT07	Manejo del Cambio	12,7
IT03	Rapidez Operacional	12,0
IT10	Método de Trabajo	12,0
IT04	Uso de Equipos	11,3

Se tienen 10 elementos con sobre un 10% en la frecuencia de aparición conjunta con las acciones críticas, de las cuales se seleccionarán las que poseen una frecuencia por sobre el 20% para el desarrollo del modelo de causalidad. Un resultado notable es la frecuencia con la que el Factor Complacencia/Motivación/Actitud aparece en forma conjunta con las acciones críticas, siendo un valor del 60,1%, lo que permite inferir que estas acciones se deben en gran parte a esta condición personal. También aparecen con un valor sobre el 50% los Factores Manejo del Riesgo y Percepción/Reconocimiento del Peligro, dejando entrever una relación entre la posible baja notoriedad de los riesgos para las personas y la ejecución de las acciones críticas que aumentan la posibilidad de que estos riesgos se expresen ocasionando pérdidas ya sean hacia las personas o el ambiente de trabajo.

De este análisis resulta una serie de Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos que posiblemente contribuyen directa e indirectamente en la generación de un evento con lesión. En la Tabla 5.7 se tiene la lista.

Tabla 5.7: Factores Contribuyentes a la Generación de un Evento con Lesión

Factor Contribuyente	
IT01	Supervisión
IT03	Rapidez Operacional
IT04	Uso de Equipos/Herramientas
IT07	Manejo del Cambio
IT09	Mala Conducta
IT12	Percepción/Reconocimiento del Peligro
IT13	Manejo del Riesgo
HF01	Complacencia/Motivación/Actitud
HF10	Competencias/Habilidades para el Trabajo

Estos factores resultan en las variables que serán tomadas en cuenta para la búsqueda de relaciones entre sí, y con esto elaborar un modelo de causalidad de eventos con lesión.

Análisis de Sesgo de la Estimación:

Luego de la realización del diagrama de Pareto y la definición de las acciones críticas a través de la búsqueda de correlaciones, se realizó una iteración de la regresión logística binaria para analizar como varía el porcentaje de acierto, es decir, qué tanto se desvía el rendimiento del pronóstico con respecto a los datos reales luego de la reducción de las variables.

Los resultados de esta iteración se muestran en la Tabla 5.8.

Tabla 5.8: Resumen de la iteración del Modelo de Regresión Logística Binaria

Chi-cuadrado	Significancia de Chi-cuadrado	Logaritmo de la verosimilitud	R^2 de Nagelkerke
53,279	0,004	334,051	0,163

A comparación de la primera regresión, a pesar de que aumentó el valor de la significancia de 0,002 a 0,004, este sigue siendo mucho menor al límite de 0,05 (95 % de confianza), en cuanto al logaritmo de la verosimilitud, sólo aumento un 7,5 %. Finalmente, el R^2 de Nagelkerke disminuyó de un 0,231 a un 0,163 (16,3 % de la varianza del fenómeno explicado) debido a la reducción de variables.

Estos estadísticos muestran un buen ajuste del nuevo modelo sobre el fenómeno a explicar, es decir, la ocurrencia de eventos con lesión, además de presentar una similitud razonable en cuanto al modelo planteado inicialmente.

A continuación, en la Tabla 5.9, se muestra la tabla de clasificación de los eventos.

Tabla 5.9: Tabla de Clasificación del Modelo de Regresión Logística Binaria

Observado	Pronosticado		Porcentaje de acierto %
	Cuasi pérdida	Lesión	
Cuasi pérdida	700	214	76,6
Lesión	18	31	63,3
Porcentaje Global %			75,9

El porcentaje de acierto global se elevó de un 75,1 % a un 75,9 %, sin embargo, el porcentaje de acierto para los eventos con lesión disminuyó de un 73,5 % a un 63,3 %, es decir una diferencia de 10,2 %. A pesar de esta reducción, cabe mencionar que la reducción de los reportes es de un 54,2 %, por lo que el beneficio es mayor.

Los resultados nos indican que no se tiene un impacto negativo significativo debido a la reducción de las variables a considerar para los siguientes pasos, producto de lo cual se acepta esta reducción y se procede al Análisis Cualitativo con los factores resultantes del Diagrama de Pareto.

5.2.2. Análisis Cualitativo

En este paso se procedió a la lectura detallada de todos reportes asociados a los eventos que contienen las acciones críticas obtenidas por el diagrama de Pareto, esto con el objetivo de identificar y definir hallazgos concernientes a estas acciones para relacionarlas entre sí. Específicamente se analizó la descripción de cada evento más la descripción de los Factores Contribuyentes seleccionados en el paso anterior, donde para cada Factor se determinaron subcausas así como su frecuencia total en todos los eventos.

Las subcausas detalladas en el análisis no son necesariamente independientes entre sí, sino que algunas de ellas están ligadas a otras subcausas. Esto se realizó con el motivo de detallar y así entender a cabalidad cuáles son los motivos por los que se generan los comportamientos de riesgo en los trabajadores.

A continuación, en la Tabla B.7, se tienen las principales brechas para la Acción Individual/de Equipo IT12 Percepción/Reconocimiento del Peligro. Para la revisión de los demás factores ver Anexo B.3.2.

Tabla 5.10: Clasificación subcausas IT12 Percepción/Reconocimiento del Peligro

	Error	Frecuencia %
1	No se reconocen condiciones peligrosas	21,0
2	No reconoce el riesgo de caída	20,2
3	No se verifican posibles riesgos	12,1
4	No reconoce el riesgo de atropello	11,3
5	No reconoce energía potencial	9,7
6	No se consideran condiciones en el entorno	8,9
7	No reconocen elemento móvil	6,5
8	Evaluación de riesgos no se hace a tareas anexas	4,0
9	No se reconoce operación anormal	3,2
10	Operar sin instrucción	2,4
11	No se reconocen todos los riesgos	0,8

Se puede apreciar que existe una serie de subcausas específicas para esta acción en particular. Esto ayuda a la caracterización de posibles relaciones entre los Factores a considerar en el modelo de causalidad a desarrollar. Así también se detectan las oportunidades para mejorar cada factor de riesgo que contribuye a la posibilidad de un error asociado con una lesión. Cabe mencionar que solo se explica el aspecto relacionado con las causas concernientes a la persona involucrada en el evento, no así los problemas que pueden existir en los equipos, instalaciones, dispositivos, etc. que contribuyan directamente a un evento.

5.2.3. Modelo de Causalidad

En base a las correlaciones y brechas encontradas en los factores, se tiene el desarrollo de un modelo de causalidad, Figura 5.7, para los eventos con lesión. Este modelo explica la generación del error humano con consecuencia de lesión a partir de las condiciones internas y propias de la persona, así como la influencia externa. La realización de este modelo recoge la estructura de niveles que poseen en común los modelos de causalidad descritos en la Sección 2.1 del Marco Teórico.

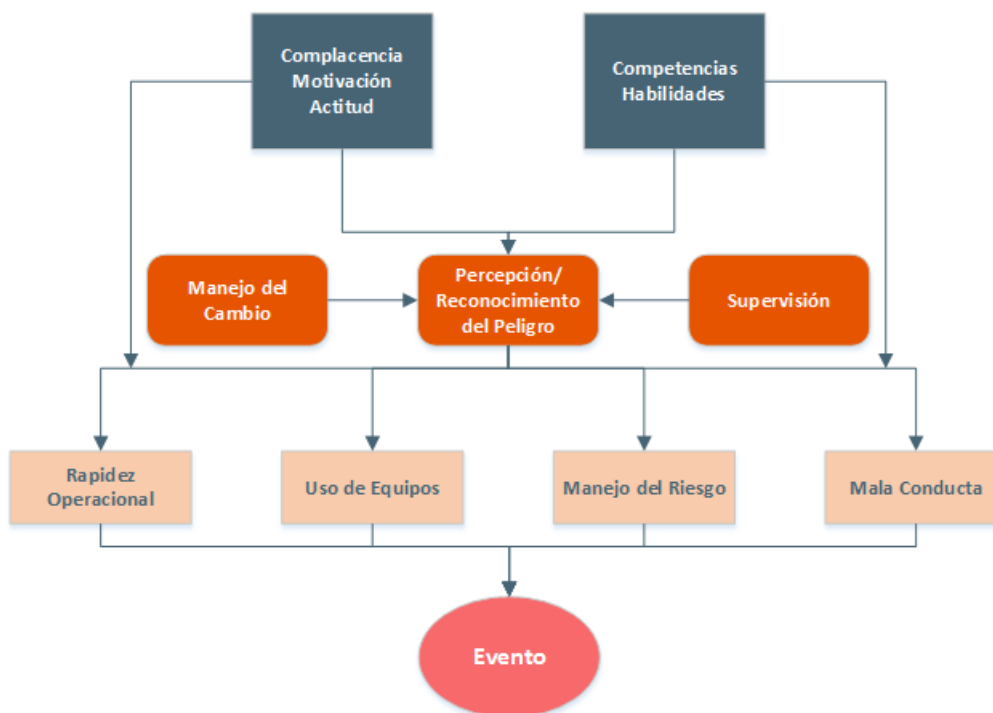


Figura 5.7: Modelo de Causalidad de Eventos con Lesión

El modelo sitúa como agentes que gatillan las acciones subestándar a los siguiente elementos, que se encuentran clasificados en 2 tipos:

- **Internas:** Se refiere a las condiciones propias de la persona, específicamente la actitud en la realización de las tareas, y las competencias técnicas.
 - **Complacencia/Motivación/Actitud:** La persona toma una actitud en la que sobrestima sus capacidades y/o se asumen los riesgos controlados. Esto se genera debido a actividades rutinarias o actividades consideradas menores, es decir, sin una complejidad aparente.
 - **Competencias/Habilidades:** Se tiene una falta de capacidades técnicas para la realización del trabajo, lo que repercute en la identificación de riesgos, así como en la capacidad para tomar decisiones correctas de acuerdo con la actividad realizada.
- **Externas:** Estas son las influencias del entorno que afectan la toma de decisiones del trabajador, específicamente se tiene el rol de la supervisión, así como el de los cambios en el entorno.
 - **Manejo del Cambio:** En el entorno existen cambios en las condiciones bajo las

cuales se realizan las actividades, lo que puede generar nuevos riesgos. Existe un problema en la identificación de los cambios y riesgos, así como la comunicación de estos a las personas que pueden interactuar con las nuevas condiciones.

- **Supervisión:** La línea de mando superior no realiza evaluaciones correctas de riesgos, así también no asegura las condiciones necesarias, ya sea del entorno o de las herramientas, para realizar las actividades. También existen presiones por la realización de la tarea.

Estos elementos influyen en la Percepción/Reconocimiento del Peligro, el cual juega un papel central en el desarrollo del evento, ya que actúa como capa permeable entre los agentes motivantes de las acciones subestándar y la acción propiamente tal que posibilita el error humano con una consecuencia de lesión. La lógica de esto radica en que si la persona reconoce y tiene presente los posibles peligros a los que está expuesto, no realizará acciones que puedan contribuir a la generación de un accidente que afecte su integridad física y/o emocional, así como a la del resto.

Sin embargo, los agentes motivantes de las acciones subestándar también influyen directamente, debido a que aunque se tenga como barrera la Percepción/Reconocimiento del Peligro, esta no imposibilita del todo las acciones, donde actúa la aversión al peligro y conductas temerarias.

En cuanto a las acciones que tienen mayor probabilidad de error con consecuencia de lesión, se tienen las siguientes:

- **Rapidez Operacional:** Corresponde a la acción de realizar alguna actividad con una velocidad mayor a la normal y necesaria para realizar la tarea en forma segura, lo que aumenta la posibilidad de cometer algún error.
- **Uso de Equipos:** Es el uso incorrecto de alguna herramienta o equipo, ya sea que no es la indicada, la forma de aplicación es incorrecta, se encuentra en mal estado, o simplemente no es utilizada.
- **Mala Conducta:** Es la desviación intencional en la forma de realizar alguna tarea.
- **Manejo del Riesgo:** Se produce cuando la persona está consciente de algún riesgo, pero no lo administra de buena forma, ya sea exponiéndose a este y/o empleando de mala forma los controles.

Como se mencionó anteriormente, la Percepción/Reconocimiento del Peligro se encuentra como elemento mediador entre los condicionantes de la conducta y las acciones de la persona. Según distintos estudios, el Riesgo percibido es frecuentemente muy distinto al riesgo real debido a que depende de distintos factores como las mencionadas anteriormente [Innes-Jones, G., 2012]. Por lo tanto, resulta prioritario mejorar la percepción del riesgo de las personas para que así, bajo la lógica de la teoría de la utilidad (ver Sección 2.4.3), los costos asociados a las conducta negativas aumenten, específicamente el costo neto, así como la probabilidad percibida, para que de esta forma superen las ganancias de estas, y así la persona evite realizarlas.

Sin embargo, la habilidad de las personas para percibir y analizar los riesgos en su entorno es limitada debido a los sistemas complejos bajo los cuales se realizan las tareas, donde tam-

bién influye la familiaridad de la persona con respecto a los riesgos, así como el conocimiento de estos y su probabilidad de que ocurran. Por esto el rol de la supervisión es de vital importancia, ya que, en el diseño de tareas, así como en la planificación, se puede analizar con las personas correctas (capacitadas y expertas en las actividades, así como en el entorno bajo las cuales se realizan) los posibles riesgos a los cuales se expondrán los ejecutores. Este análisis debe ser holístico, pero a la vez detallar cada paso de la tarea para tener una percepción precisa dónde se puede hallar una fuente de error y de riesgo a la integridad de las personas y entorno de trabajo.

5.3. Validación

Para la validación, como se mencionó en la metodología (ver Sección 4.5), se hará uso de cuestionarios (ver Anexo 5.2.3) para validar el modelo planteado (Figura 5.7) y así verificar las hipótesis pertenecientes a este.

Debido al uso de la herramienta PLS-SEM (ver Sección 2.5.3) para el análisis de las encuestas, se requiere el número mínimo de encuestados para asegurar una correcta representación de la población. Para el cálculo de la muestra se tienen los siguientes supuestos.

- Nivel de significancia (α) = 5 %
- Potencia del estudio ($1 - \beta$) = 80 %
- Valor mínimo de correlación detectada (R^2) = 0,25
- Complejidad del modelo = 4

Bajo los supuestos tomados y el uso de la Tabla 4.3, se llega a un número de 70 encuestados como mínimo para asegurar la representatividad de la población. En cuanto a las áreas a encuestar, esto se detalla dependiendo de la distribución de las acciones críticas según la Tabla 5.11.

Tabla 5.11: Distribución de las Acciones Críticas por Área

Área	Presencia de Acciones Críticas %
NPI & CHO	27,8
Mine	24,8
Concentrate	24,5
Cathodes	7,5
Head of Projects	6,3
Head of RPD	4,3
Head of Supply	2,3
Head of HR	1,5
Head of Finance	0,5
Head of HSEC	0,5
Information System	0,3

Tomando como límite inferior un 10 % de la presencia de las acciones críticas para la

consideración en la toma de las encuestas, se tendrían las 3 primeras áreas, lo que resulta en las áreas con su respectiva cantidad de encuestados según la Tabla 5.12.

Tabla 5.12: Cantidad de Encuestas a realizar

Área	Número de Encuestas	
	Mínimas	Óptimas
Concentrate	23	48
Mine	24	50
NPI & CHO	20	41
Total	67	139

5.3.1. Resultados de la Encuesta

Con la planificación, así como la estructura de la encuesta completadas, se tiene el levantamiento de los datos. Este levantamiento se realizó en las áreas definidas en el punto anterior, obteniendo el número de encuestas realizadas junto a la desviación correspondiente a los requerimientos según la Tabla 5.13.

Tabla 5.13: Número de Encuestas realizadas

Área	Número de Encuestas		
	Realizadas	Mínimas	Óptimas
Concentrate	31	23	48
Mine	44	24	50
NPI & CHO	39	20	41
Total	114	67	139
Desviación	-	70,2%	-18,0%

Como se puede apreciar en la tabla, se superó con creces el número mínimo de las encuestas, por lo que se asegura una consistente captura de información. No se logra el óptimo, no obstante, debido a que el óptimo asegura detectar correlaciones de un R^2 de 0,1 equivalente a una baja explicación de la variable, es indistinto para el estudio debido a que el foco no se encuentra en las relaciones de baja correlación.

A pesar de no estar dentro de los objetivos propiamente tales de la encuesta, es posible extraer los resultados directos de esta, es decir la percepción que tienen los trabajadores en los temas consultados, Figura 5.8. En base a la población de la faena de 15.111 trabajadores, y una muestra de 114, los resultados presentan un error del 9,14% considerando varianza máxima y un 95% de confianza. La siguiente figura indica las categorías medidas, así como su puntuación promedio y desviación estándar, para la revisión de los indicadores medidos ver Anexo B.4. En cuanto a la escala bajo la cual se presentan los resultados, el valor mínimo es de 1 asociado a un valor negativo, en contraste con el valor máximo equivalente a 5.

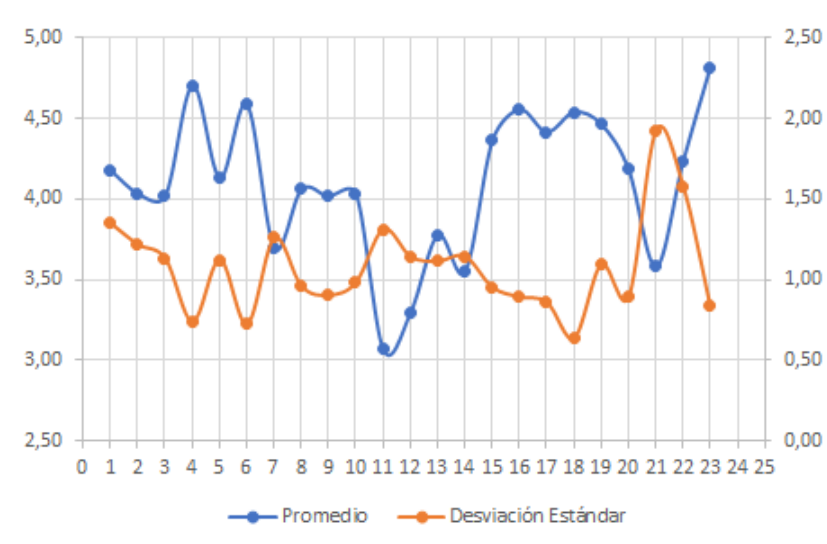


Figura 5.8: Resultados de la Encuesta de Percepción sobre Seguridad

De las variables medidas en la encuesta con un resultado preocupante, es decir, bajo un valor promedio de 4, se tienen los siguientes conceptos.

- **Supervisión:** Con un valor promedio de 3,7 y desviación de 1,26 se tiene el valor de la respuesta a la aseveración “En ocasiones la supervisión considera que pueden evitarse pasos del procedimiento”, lo que indica que existe una influencia de niveles superiores a la operación en no cumplir con las reglas, pasos etc.
- **Rapidez Operacional:** Este concepto posee valores de 3,07 y 3,3 para las 2 aseveraciones incluidas en la encuesta, lo que muestra que habitualmente existe la condición de una operación a ritmo acelerado, lo que crea situaciones de riesgo.
- **Uso de Equipos/Herramientas:** En este apartado también se cuenta con valores bajos, siendo de 3,78 y 3,55 para las aseveraciones planteadas. Esto nos indica que en diversas situaciones no se cuenta con las herramientas y/o equipos adecuados o en buen estado, siendo este un factor relevante en la posibilidad de evento con lesión.
- **Accidentabilidad:** Se encontró un parámetro bajo el nivel aceptable, siendo la aseveración “He estado expuesto a condiciones inseguras en mi entorno de trabajo durante el último año” con un valor promedio de 3,58. Esto indica que los trabajadores perciben un entorno con riesgos no controlados, es decir, no exista una adecuada gestión de este.

Estos resultados tienen relación con los valores obtenidos en la etapa de la Regresión Logística binaria, lo que indica que la base de datos usada es representativa de las condiciones actuales, las que están reflejadas en esta encuesta.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el objetivo de esta encuesta es el análisis de la correlación que existe entre los distintos factores hallados como los generados de los eventos con lesión. Este análisis se encuentra en la siguiente sección.

5.3.2. PLS-SEM

Se lleva a cabo el método PLS-SEM (ver Sección 2.5.3) en el software SmartPLS, donde se implementó el modelo teorizado en los resultados anteriores, con 10 factores latentes y 23 variables indicadoras en total (ver Anexo B.4.2). Esto para poder realizar las distintas pruebas para validar el modelo de causalidad de los eventos con lesión.

En la Figura 5.9 se puede visualizar el modelo con sus factores latentes y variables indicadoras, además de las relaciones entre sí.

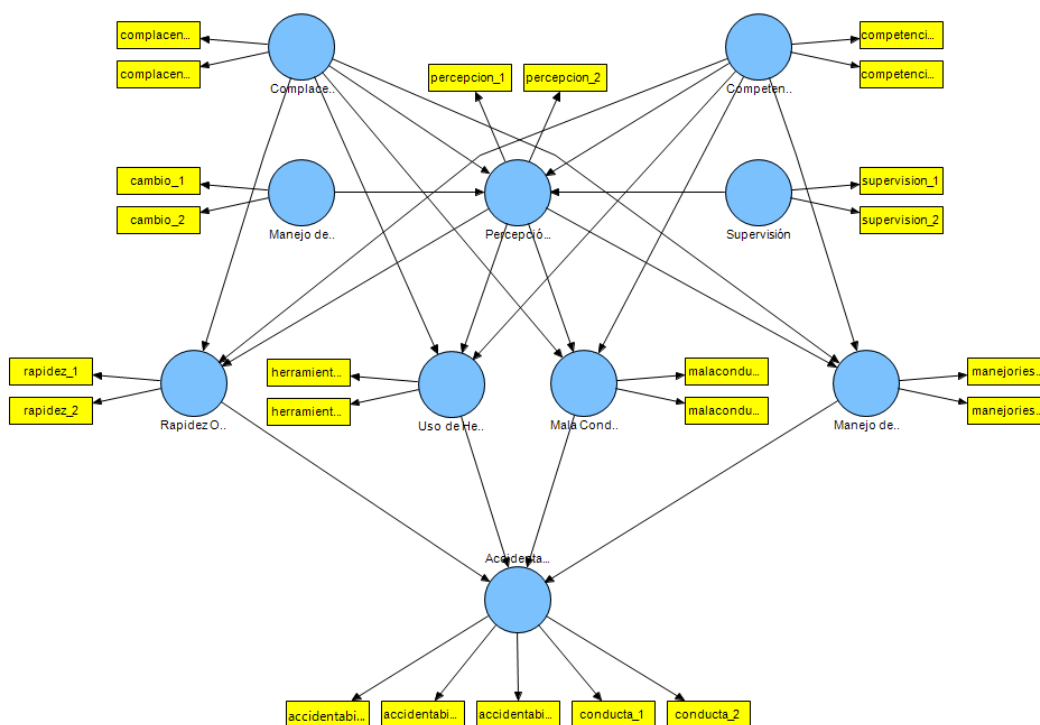


Figura 5.9: Modelo en SmartPLS

Validación de la Información:

Luego del levantamiento de los datos y plantear el modelo en el software SmartPLS, se realiza la validación de la información para discriminar entre los datos azarosos y los que reflejan realmente la percepción de los trabajadores. Para esto se sigue el proceso descrito en la metodología (ver Sección 4.5.3), donde se realizan 2 iteraciones, la primera con objetivo de analizar los datos en bruto para eliminar aquellos datos que no cumplan con los requerimientos mínimos, y la segunda con los datos filtrados.

A continuación se ven los resultados de la segunda iteración, para revisar los resultados de la primera ver Anexo B.4.3.

- 1) **Carga Factorial:** Como se mencionó en el marco teórico (ver Sección 4.5.3), es necesario asegurar que la variable indicativa corresponde a una medida del factor latente, para lo que se tiene la carga factorial que explica qué tanto de la variación del ítem es explicado por el factor latente.

Tabla 5.14: Factores de Carga para las Variables Indicadoras

Factor Latente	Variable Indicadora	Carga Factorial
Accidentabilidad	accidentabilidad ₁	0,711
	accidentabilidad ₂	0,679
	accidentabilidad ₃	0,662
	accidentabilidad ₅	0,825
Competencias/Habilidades para el Trabajo	competencias ₁	0,730
	competencias ₂	0,741
Complacencia/Motivación/Actitud	complacencia ₂	1,000
Mala Conducta	malaconducta ₁	1,000
Manejo del Cambio	cambio ₁	0,727
	cambio ₂	0,863
Manejo del Riesgo	manejoriesgo ₁	0,853
	manejoriesgo ₂	0,916
Percepción/Reconocimiento del Peligro	percepcion ₁	0,882
	percepcion ₂	0,812
Rapidez Operacional	rapidez ₁	0,906
	rapidez ₂	0,748
Supervisión	supervision ₁	0,899
	supervision ₂	0,720
Uso de Equipos/Herramientas	herramientas ₁	0,874
	herramientas ₂	0,799

Se puede visualizar en la Tabla 5.14 que 16 de las variables indicadoras poseen una carga factorial mayor al valor de 0,7 considerado como satisfactorio, por lo que se asegura una representatividad de los ítems sobre el factor latente. Existen 2 variables con una carga factorial entre 0,4 y 0,7, los cuales se aceptan debido a que no afectan de forma negativa a la confiabilidad compuesta y validez convergente como se puede ver en las siguientes pruebas. Con respecto al valor los ítems de complacencia₂ y mala conducta₁, asociados a los factores latentes Complacencia/Motivación/Actitud y Mala Conducta respectivamente, su valor de 1 se explica debido a que en cada factor latente se eliminó una variable indicadora producto de no cumplir los valores considerados como mínimos.

2) Confiabilidad compuesta

Una vez eliminadas las variables indicadoras con una carga factorial menor al mínimo exigido, se procede a verificar la consistencia entre las variables indicadoras de un mismo factor latente; para esto se analiza la confiabilidad compuesta, donde se requiere un valor mínimo de 0,5. En caso de existir algún factor latente que no cumple con el criterio, es necesario eliminar el ítem de menor carga factorial y volver a iterar.

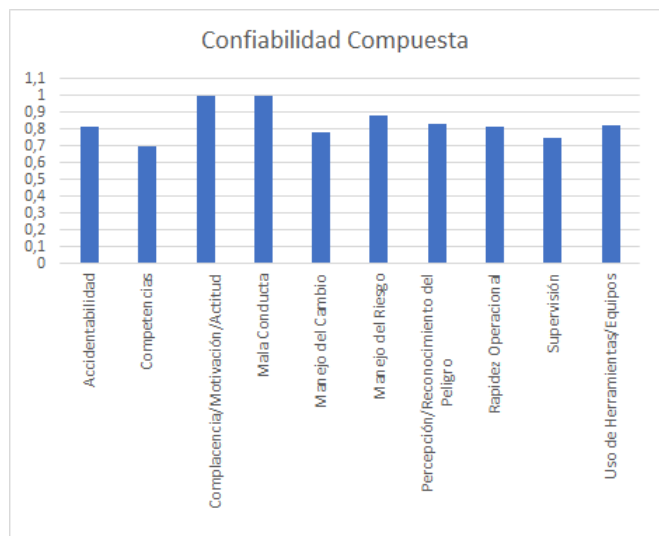


Figura 5.10: Confiabilidad Compuesta del Modelo SEM

De acuerdo con la Figura 5.10 no se tiene ningún factor latente que no cumpla con el valor mínimo exigido, por lo que se concluye que existe una consistencia entre los ítems de medición de cada uno de estos. Tal como en el análisis de la carga factorial, se presentan 2 factores latentes con un valor de 1, esto debido a que para estos factores solo se tiene una variable indicadora producto de la eliminación de los ítems en el paso anterior.

3) Validez convergente

Para la cuantificación de la validez del instrumento de medida (encuesta), se tiene la varianza extraída promedio.

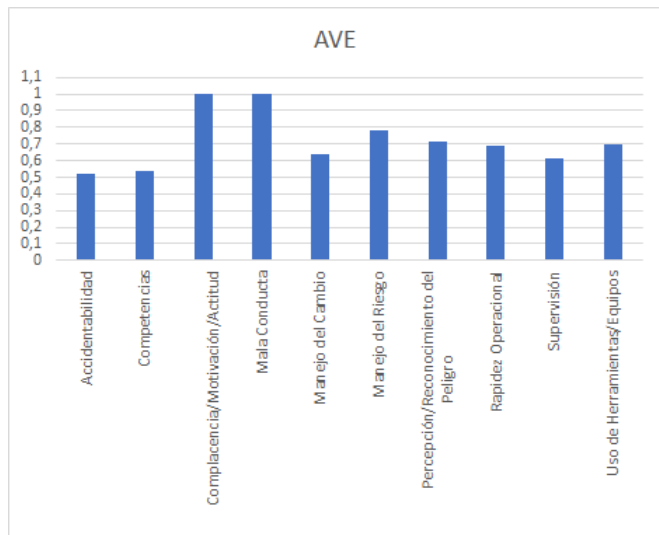


Figura 5.11: Validez Convergente del Modelo SEM

Se puede apreciar en la Figura 5.11 que todos los factores latentes cumplen con el valor mínimo de 0,5 para el AVE, por lo que no se elimina ningún factor latente del modelo.

4) Validez discriminante

Para la validez discriminante, que mide qué tan verdaderamente son los factores latentes distintos entre sí, se tiene el criterio de Fornell-Larcker, donde se compara la raíz cuadrada del AVE de un factor latente con respecto a la correlación de este factor y los demás factores latentes.

Se tiene la Tabla 5.15 con la codificación de los factores latentes para leer la Tabla 5.16 validez discriminante de mejor manera.

Tabla 5.15: Codificación de los Factores Latentes para la tabla Validez Discriminante

Factor Latente	Código
Accidentabilidad	1
Competencias/Habilidades para el Trabajo	2
Complacencia/Motivación/Actitud	3
Mala Conducta	4
Manejo del Cambio	5
Manejo del Riesgo	6
Percepción/Reconocimiento del Peligro	7
Rapidez Operacional	8
Supervisión	9
Uso de Equipos/Herramientas	10

Tabla 5.16: Validez Discriminante

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,722									
2	0,306	0,735								
3	0,094	-0,022	1,000							
4	0,140	0,027	0,367	1,000						
5	0,320	0,362	0,059	0,020	0,799					
6	0,119	0,383	0,150	0,206	0,357	0,885				
7	-0,075	0,07	0,493	0,281	0,159	0,374	0,847			
8	0,363	-0,030	0,288	0,317	0,237	0,091	0,053	0,829		
9	0,517	0,305	0,213	0,211	0,379	0,237	0,273	0,270	0,784	
10	0,373	0,459	0,239	0,169	0,334	0,235	0,193	0,088	0,420	0,837

La tabla indica que para todos los factores latentes el valor de la raíz de su AVE es mayor que su correlación con respecto a los demás Factores, por lo tanto, se concluye que los factores son distintos entre sí, es decir, miden distintas dimensiones y conceptos.

Luego de analizar los resultados concernientes a la validez de la encuesta como instrumento de medición del modelo propuesto, se evalúan las conclusiones del modelo propuesto. Como se mencionó anteriormente, los resultados fueron obtenidos mediante la ejecución del algoritmo PLS dentro del software SmartPLS.

Dentro de los resultados se tiene el coeficiente de determinación (R^2) que mide el valor

predictivo de los factores independientes sobre el factor a evaluar, así como el coeficiente de ruta, que indica la relación entre 2 factores latentes (solo en una dirección).

En la Figura 5.12 se visualiza el modelo con los valores de coeficiente de determinación (dentro de cada factor) y coeficiente de ruta (alineado con la flecha que indica la relación).

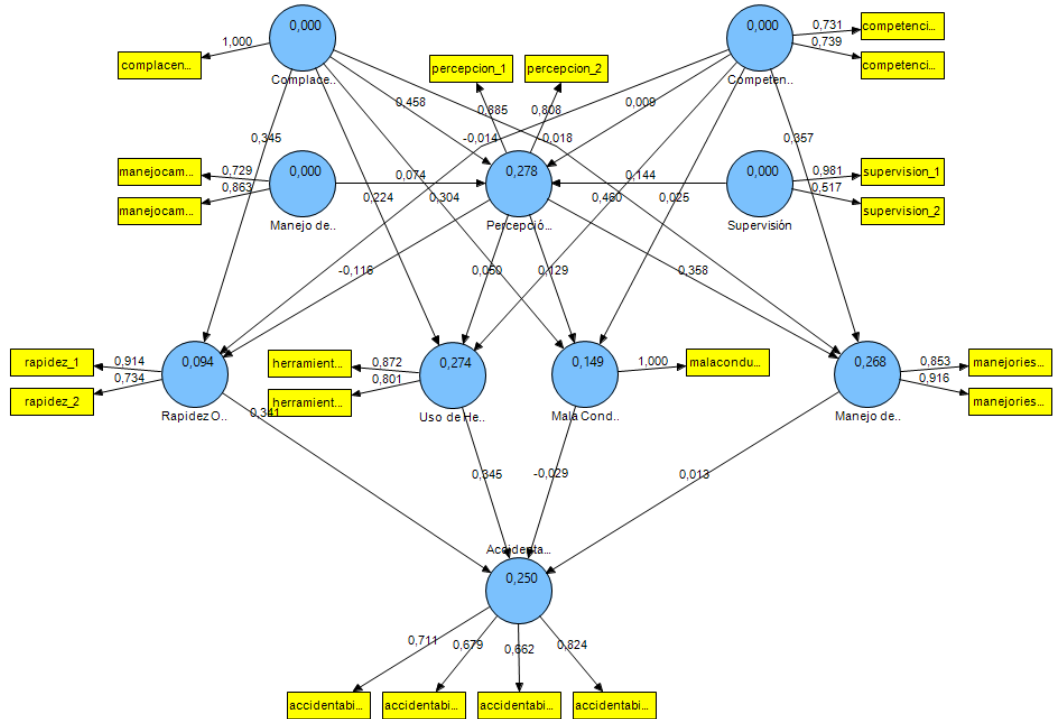


Figura 5.12: Modelo Final en SmartPLS

En la Tabla 5.17 se puede ver el coeficiente de determinación R^2 para los distintos factores latentes presentes en el modelo.

Tabla 5.17: Coeficiente de Determinación R^2 para los Factores Latentes

Factor Latente	R^2
Accidentabilidad	0,250
Competencias	0,000
Complacencia/Motivación/Actitud	0,000
Mala Conducta	0,149
Manejo del Cambio	0,000
Manejo del Riesgo	0,268
Percepción/Reconocimiento del Peligro	0,278
Rapidez Operacional	0,094
Supervisión	0,000
Uso de Equipos/Herramientas	0,274

Se aprecia que, de las variables dependientes, 4 poseen un R^2 mayor al valor asociado 0,2 para las ciencias del comportamiento. Según Cohen [Cohen, J., 1988] un valor del R^2 tiene las siguientes clasificaciones para las investigaciones relacionadas al comportamiento, 0,26 (sustancial), 0,13 (moderado), y 0,02 (débil). Por lo tanto, el modelo se mueve entre las tres categorías, por lo que existe oportunidad de mejora. Sin embargo, la explicación del factor “Accidentabilidad” se encuentra cercana a la categoría sustancial.

Para analizar los coeficientes de ruta entre los factores latentes es necesario utilizar la Tabla 5.18.

Tabla 5.18: Codificación de los Factores Latentes para la tabla Coeficientes de Ruta entre Factores Latentes

Factor Latente	Código
Accidentabilidad	1
Competencias/Habilidades para el Trabajo	2
Complacencia/Motivación/Actitud	3
Mala Conducta	4
Manejo del Cambio	5
Manejo del Riesgo	6
Percepción/Reconocimiento del Peligro	7
Rapidez Operacional	8
Supervisión	9
Uso de Equipos/Herramientas	10

La Tabla 5.19 se analiza visualizando la fila del factor latente para el cual se quiere evaluar su influencia sobre otro factor latente (columna). Observando una misma columna se puede analizar qué factores lo influyen, así como jerarquizarlos de acuerdo con el orden relativo del valor.

Tabla 5.19: Coeficientes de Ruta entre Factores latentes

	1	4	6	7	8	10
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0,025	0,357	0,009	-0,014	0,460
3	0	0,304	-0,018	0,548	0,345	0,224
4	-0,029	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0,075	0	0
6	0,013	0	0	0	0	0
7	0	0,129	0,358	0	-0,116	0,051
8	0,341	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0,144	0	0
10	0,345	0	0	0	0	0

Para el caso del factor “Accidentabilidad” se puede observar que los parámetros que los afectan de mayor forma son “Rapidez Operacional” y “Uso de Equipos/Herramientas”, tal como se indicó en la etapa de la regresión logística binaria. Sin embargo, debido a que la “Rapidez Operacional” presenta un bajo coeficiente de determinación (0,0938), es necesario

el rediseño el modelo, agregando la influencia directa del factor “Supervisión” sobre este y el “Uso de Herramientas/Equipo”, dando como resultado el modelo de la Figura 5.13.

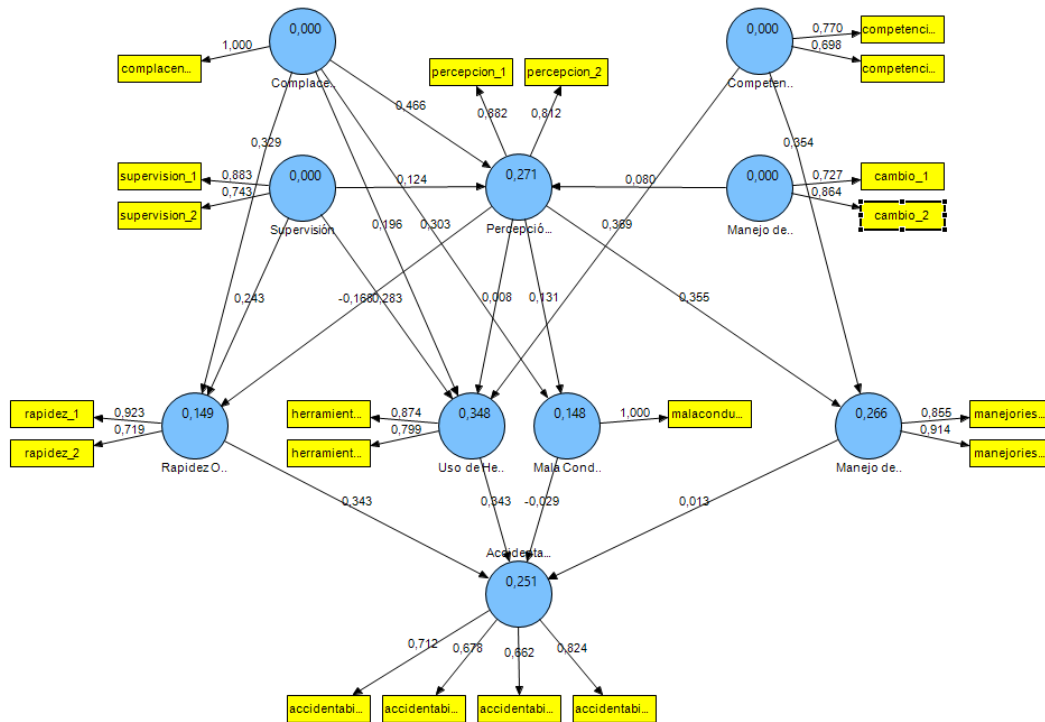


Figura 5.13: Modelo Final en SmartPLS

El cambio realizado con respecto al modelo planteado inicialmente corresponde específicamente a incluir el efecto directo del factor “Supervisión” sobre la “Rapidez Operacional” y el “Uso de Equipos/Herramientas”. Esto se debe mayormente a la alta correlación entre estos factores y la inferencia realizada entre la relación de las brechas de estos.

Se puede observar que el R^2 de la “Rapidez Operacional” y el “Uso de Equipos/Herramientas” aumenta a un 0,149 y 0,348 respectivamente, por lo que existe una alta influencia de la “Supervisión” sobre estos.

Con respecto a la validación de la información, los resultados se encuentran en el Anexo B.4.5, donde los resultados no varían significativamente con respecto a la segunda iteración, por lo que se acepta el modelo.

Modelo de Causalidad Final:

Con los cambios incluidos al modelo planteado de forma inicial, producto de los resultados del análisis PLS-SEM realizado, se tiene un modelo de causalidad final, representado en la Figura 5.14.

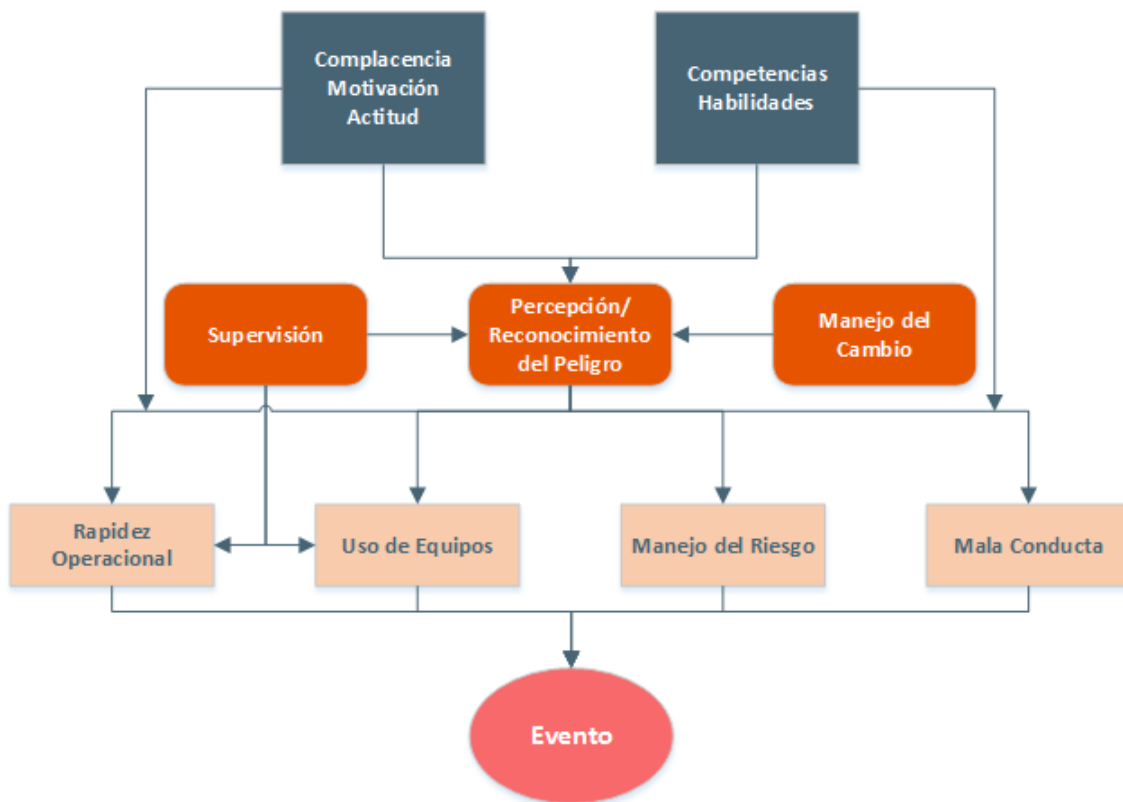


Figura 5.14: Modelo Final de Causalidad de Eventos con Lesión

El cambio relevante al modelo inicial es la influencia directa que tiene la “Supervisión” sobre las acciones de “Rapidez Operacional” y “Uso de Equipos/Herramientas”, esto explicado de forma general como el mal diseño de las tareas, así como su planificación, lo que repercute en presiones de tiempo y malas condiciones para la ejecución de las actividades.

Este modelo final es el que será utilizado como base para la elaboración de la guía en el siguiente capítulo.

Capítulo 6

Discusión y Recomendaciones

6.1. Hallazgos y Oportunidades

El desarrollo del estudio ha permitido hallar brechas, y por consiguiente evidenciar distintas oportunidades para mejorar los procesos y sistemas de gestión de la seguridad en la compañía a través de la identificación de brechas en estos. Las oportunidades se enfocan en distintos aspectos del tratamiento de la seguridad, por lo que se complementan entre sí. Las principales oportunidades son las siguientes:

- Marco de causas para la investigación de eventos
- Guía de identificación de peligros producto del comportamiento
- Estructura de los procedimientos

6.1.1. Marco de causas para la investigación de eventos

En las distintas industrias existen diversos marcos de referencia para tratar las causas de los eventos, en la compañía se diseñó uno para utilizar mediante el método de investigación ICAM, el cual se puede revisar en el Anexo A.2. En este marco se ha detectado la siguiente brecha:

- **Clasificación de los factores en las investigaciones:**

A través de la revisión de los reportes, específicamente el análisis cualitativo realizado, se detectó una incongruencia (para solo una parte de las investigaciones) entre los factores bajo los cuales se clasificó una causa y la descripción realizada por el investigador, lo que genera una información incorrecta para los análisis que usen los reportes como fuentes de datos y se basen en solo el uso de la clasificación de la causa, como por ejemplo análisis anuales sobre la frecuencia de las causas.

Este problema se puede deber a 2 factores, una incorrecta definición de las causas, generando problemas de incoherencia entre el motivo hacia el cual apuntan bajo el diseño y el entendimiento sobre el concepto de la persona que investiga. El segundo

factor puede estar presente en las capacitaciones realizadas para los facilitadores de las investigaciones, donde solo se enfoca el entrenamiento en aspectos generales sobre el método y estructura, no detallando el marco de causas específicas bajo el cual se clasificarán los eventos.

Este problema se ve evidenciado mayoritariamente en estos factores.

- Supervisión: Las causas asociadas a la supervisión se encontraban ligadas a la creación de condiciones adversas para la realización de las actividades por parte de los ejecutores, por lo que el concepto aparenta ser una condición. Sin embargo, en la clasificación actual aparece como una acción propiamente tal, cosa que no es correcta debido a que la última acción, es decir, la que genera el evento directamente, la realiza el involucrado directo.
- Manejo del Cambio: Este factor se encasilla bajo la categoría de Acciones Individuales/de Equipo, sin embargo, las causas que se etiquetan como Manejo del Cambio corresponden a cambios en el entorno que no fueron comunicadas, o se llevó un mal proceso que influyó en la ejecución de alguna acción que terminó con un evento.
- Percepción/Reconocimiento del Peligro: Al igual que la causa anterior, esta se encuentra catalogada como una acción debido a que su propósito se encuentra enmarcado bajo la realización de las herramientas de análisis de riesgos, sin embargo, la semántica de la frase en sí indica la condición de la persona en cuanto a la detección o no del peligro que se encuentra en sus alrededores. Por esto en las descripciones de esta causa se encuentra mayoritariamente la condición en que la persona no tenía conciencia del riesgo al cual se encontraba expuesta.

También se recomienda el cambio de nombre a la categoría “Factor Humano”, esto debido a que no corresponde con la definición global y establecida (ver Sección 2.5), la que engloba diversos aspectos y términos que bajo el marco actual de la compañía corresponden a la relación que existe entre las distintas láminas del queso suizo (ver Sección 2.4), es decir, todas las categorías de las causas, por lo que los términos que podrían ser usados bajo el nombre de Factor Humano (cosa también errada ya que el Factor Humano es una disciplina científica, no una serie de factores per se) debiesen ser transversales a la relación de causalidad entre las distintas categorías. Por esto se recomienda la creación de una categoría llamada Factores Internos (de la persona), que englobe las condiciones físico/psicológicas de las personas involucradas (Como la complacencia, fatiga, preocupación, etc.) en reemplazo de la categoría “Factor Humano”. Las causas que no se encuentren englobadas por esta categoría y que hayan sido pertenecientes a la antigua (“Factor Humano”), se recomienda insertarlas a alguna categoría de condiciones externas.

6.1.2. Guía de identificación de peligros debido al comportamiento

Como se ha podido evidenciar en el capítulo anterior, la identificación de los peligros toma un rol central en la conducta de las personas, lo que puede conllevar a un error que ocasione un evento. Por esto se tiene el desarrollo de una guía que permita analizar a priori los pasos de las tareas que podrían llevar a un accidente producto del error humano.

Esta guía tiene como objetivo servir como ayuda en el análisis de la criticidad de las distintas tareas que se desarrollan en el día a día con el fin de priorizar los esfuerzos en la eliminación de riesgos que atenten contra las personas. De forma específica esta guía aborda el error humano como causa de las acciones y condiciones de riesgo.

El contenido específico de la guía define los pasos a seguir para la evaluación del riesgo que puede manifestarse a causa del error humano. Así también como abordar el tratamiento a través la eliminación o mitigación del error humano.

A) Metodología:

El proceso comienza con la identificación y evaluación de todas las tareas críticas presentes en la operación. Para esto se cuenta con un conjunto de herramientas de análisis desarrolladas específicamente para este propósito.

El proceso consta de 4 pasos, de acuerdo a la Figura 6.1.

- 1) Identificar tareas críticas: Determinar qué tareas deben ser analizadas de acuerdo a sus posibles consecuencias, así como el involucramiento que tienen las personas sobre estas.
- 2) Pasos de la tarea: Dividir la tarea en todos los pasos específicos que deben desarrollarse para alcanzar el objetivo inicial.
- 3) Analizar tarea: Evaluar los posibles errores y evaluar la severidad de estos para identificar y priorizar los pasos de la tarea que resultan críticos.
- 4) Identificar y/o desarrollar controles que eliminen o mitiguen el error humano y sus consecuencias.



Figura 6.1: Metodología de la Guía del Análisis del Error Humano en la Tarea

A continuación se explican en detalle los pasos.

B) Identificación de tareas críticas:

En primer lugar es necesario definir qué tareas requieren del análisis del error humano, para esto se debe realizar lo siguiente:

1) Definir Nivel de Criticidad de la Tarea:

- a) Revisar la tarea en el inventario de riesgos del sitio, si no existe pasar al punto d).
- b) Si existe la tarea se debe revisar su MFL.
- c) Establecer la criticidad de acuerdo a la siguiente tabla.

MFL	Criticidad
≥ 4	Alta
2-3	Media
1	Baja
0	Sin criticidad

Luego pasar al punto 2).

- d) Si no existe la tarea en el inventario de riesgos, se deben aplicar los siguientes pasos.
 - i) Responder las preguntas de la siguiente tabla, asignando un puntaje a cada respuesta.

Pregunta	Definición	Rating			
		Ninguno (0)	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
¿Qué tan peligrosas son las condiciones?	El entorno bajo el cual se desarrolla la tarea posee sustancias o condiciones peligrosas	No existe presencia de sustancias/ condiciones de peligro	Baja presencia de sustancias/ condiciones de bajo peligro	Alta presencia de sustancias/- condiciones de bajo peligro, o baja presencia de sustancias/- condiciones de alto peligro	Alta presencia de sustancias/ condiciones de alto peligro
¿Cuál es la extensión de los posibles daños?	Las desviaciones en la tarea pueden ocasionar un daño en la integridad de los equipos	No existen posibles daños a equipos/planta	Debilitamiento en el equipo/planta que puede causar daños a largo plazo	El equipo/planta requiere reparación, pero mantiene su integridad	El equipo/planta falla catastróficamente
¿Cuál es el grado de involucrar anulaciones a sistemas de protección?	La tarea requiere de bypass o anular indicadores, alarmas, etc.	No se requieren bypass o anulación de indicadores, alarmas, etc.	Deshabilitar medidores o indicadores electrónicos	Deshabilitar alarmas	Anular sistemas de emergencia o aislar válvulas de seguridad
¿Cuál es grado del posible daño a la integridad de las personas?	Un error en la tarea puede ocasionar daños a la integridad de las personas envueltas en esta	No existen posibles daños a la integridad de las personas	Lesiones superficiales que no requieran tratamiento médico	Lesiones inhabilitantes, o discapacidad de bajo grado	Puede ocasionar la muerte, o discapacidad de alto grado

ii) Sumar el puntaje total asignado a las 4 respuestas.

iii) Usando el puntaje obtenido, se le asigna un nivel de criticidad a la tarea con la siguiente tabla.

Puntaje	Criticidad
9-12	Alta
5-8	Media
1-4	Baja
0	Sin Criticidad

2) Definir nivel de involucramiento humano:

- a) Se deben responder las preguntas de la siguiente tabla, asignando un puntaje a cada respuesta.

Pregunta	Definición	Rating			
		Ninguno (0)	Bajo (1)	Medio (2)	Alto (3)
¿Cuál es el grado de exposición de las personas a los riesgos?	Las personas pueden estar cercanas a fuentes de peligro inherentes de la tarea	No existe exposición a condiciones de peligro	Baja exposición a condiciones de bajo peligro	Alta exposición a condiciones de bajo peligro, o baja exposición a condiciones de alto peligro	Alta exposición a condiciones de alto peligro
¿Cuál es el grado de importancia de las decisiones tomadas por personas?	Durante la tarea es necesario que las personas tomen decisiones que pueden impactar al proceso	No existen decisiones por parte de las personas	Baja cantidad de decisiones son de carácter de bajo impacto	Alta cantidad de decisiones de bajo impacto, o baja cantidad de decisiones de alto impacto	Las decisiones tienen repercusión sobre procesos críticos
¿Qué tan probable es el mal uso de equipos o herramientas?	La tarea requiere del uso de equipos o herramientas que pueden no ser las correctas o ser aplicadas de mala forma	No Aplica	Las personas poseen las competencias adecuadas y se asegura la disponibilidad de equipos/herramientas correctas	No se aseguran las competencias de las personas o la disponibilidad de equipos/herramientas correctas	En la tarea no existe una estandarización de equipos/herramientas
¿Qué tan posible es que las personas efectúen un cambio en el entorno o proceso?	Las personas pueden realizar un cambio en los equipos, herramientas o entorno creando condiciones de riesgo	No Aplica	El entorno no admite cambios	El entorno posee defensas antes posibles cambios, pero no son infalibles	El entorno o proceso es propenso a cambios efectuados por las personas

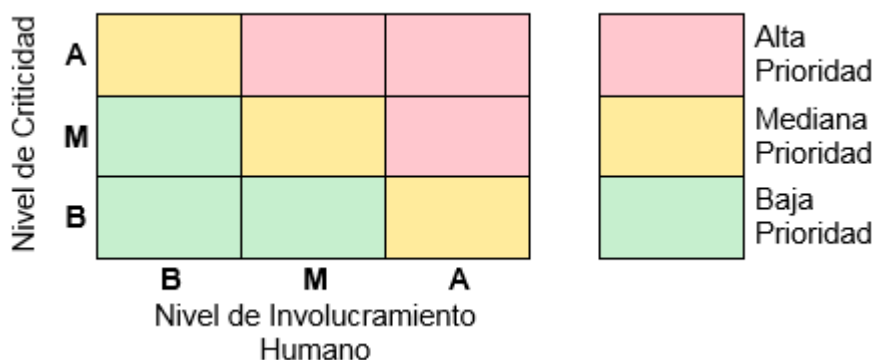
- b) Sumar el puntaje total asignado a las 4 respuestas.

- c) Usando el puntaje obtenido, se le asigna un nivel de involucramiento a la tarea con la siguiente tabla.

Puntaje	Involucramiento
9-12	Alto
5-8	Medio
2-4	Bajo

3) Establecer prioridad:

- De acuerdo a la criticidad e involucramiento obtenido, debe ubicarse en la matriz de prioridad.
- Establecer prioridad de la tarea correspondiente con el sector definido en el paso anterior.



De acuerdo a la Prioridad establecida, se tienen distintos requerimientos para el análisis de la tarea:

- Alta Prioridad:** Las tareas con una Alta Prioridad deben analizarse obligatoriamente y por sobre las demás.
- Mediana Prioridad:** Las tareas con una Mediana Prioridad deben analizarse obligatoriamente pero luego del análisis de las tareas de Alta Prioridad.
- Baja Prioridad:** Las tareas con una Baja Prioridad tienen carácter de opcional en cuanto a su análisis.

C) Definición de pasos de la tarea

Teniendo definida la tarea a analizar en base a su nivel de criticidad, se procede a desglosarla en sus actividades específicas para tener una visión clara, definida y estructurada de esta.

Para efectos prácticos se usará como ejemplo de análisis la tarea de “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”:

- Definir objetivo:** Debe definirse el objetivo para el cual se está desarrollando la tarea. Para tal propósito es necesario contestar las siguientes preguntas:

- a) ¿Cuál es la necesidad o problema que quiero resolver?
- b) ¿Qué es lo que tengo que realizar para resolverlo?

La respuesta a la pregunta b) define el objetivo de la tarea. Para el ejemplo se tiene “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”.

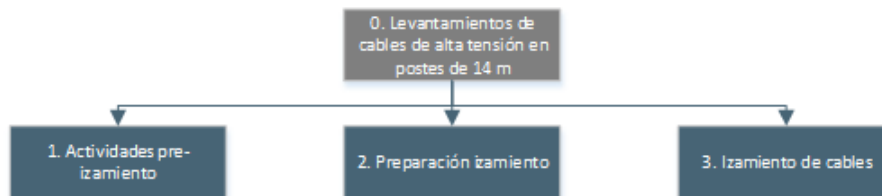
0. Levantamientos de cables de alta tensión en postes de 14 m

2) **Definir pasos:** En esta etapa corresponde definir los pasos necesarios para alcanzar el objetivo de la tarea. Para tal propósito es necesario contestar la siguiente pregunta:

- a) ¿Qué pasos tengo que realizar para alcanzar mi objetivo?

La respuesta a la pregunta a) define los pasos a seguir para la correcta realización de la tarea. Para el ejemplo se tienen los siguientes:

- i) Actividades pre-izamiento
- ii) Preparación izamiento
- iii) Izamiento de cables

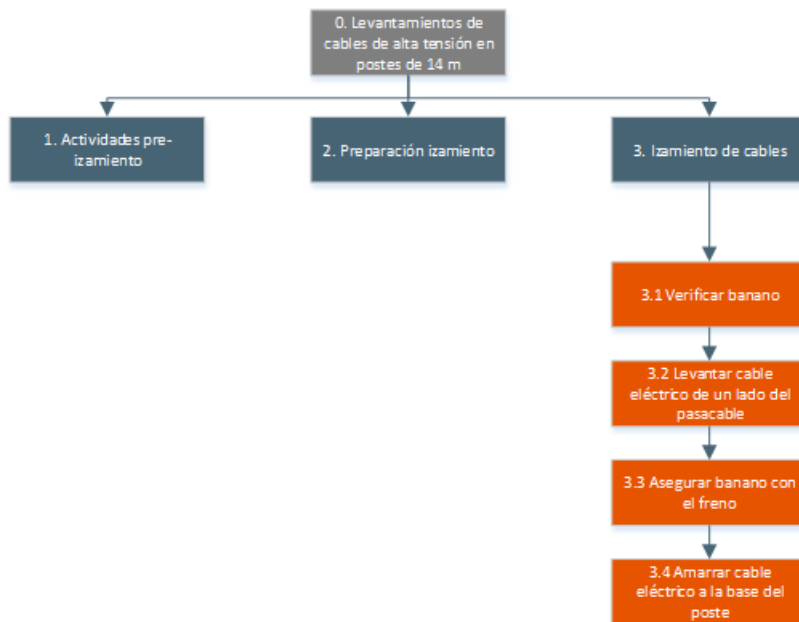


3) **Definir sub-pasos:** Para cada paso definido es necesario definir los sub-pasos a seguir para la correcta realización del paso. Para tal propósito es necesario contestar la siguiente pregunta:

- a) ¿Cuáles son las acciones que tengo que realizar para cumplir con el paso?

La respuesta a la pregunta a. define los sub-pasos a seguir para la correcta realización del paso. Para el ejemplo se tienen los siguientes:

- i) Verificar banano
- ii) Levantar cable eléctrico de un lado del pasacable
- iii) Asegurar banano con el freno
- iv) Amarrar cable eléctrico a la base del poste



4) **Establecer secuencia de ejecución:** Se debe establecer la secuencia bajo la cual se desarrollan los pasos y sub-pasos. Para tal propósito es necesario contestar las siguientes preguntas:

a) Para establecer la secuencia de los pasos:

- i) ¿En qué secuencia tengo que realizar los pasos para alcanzar el objetivo?
- ii) ¿Existen condiciones que tenga que cumplir para realizar algún paso en específico?

b) Para establecer la secuencia de los sub-pasos:

- i) ¿En qué secuencia tengo que realizar los sub-pasos para alcanzar el objetivo?
- ii) ¿Existen condiciones que tenga que cumplir para realizar algún sub-paso en específico?

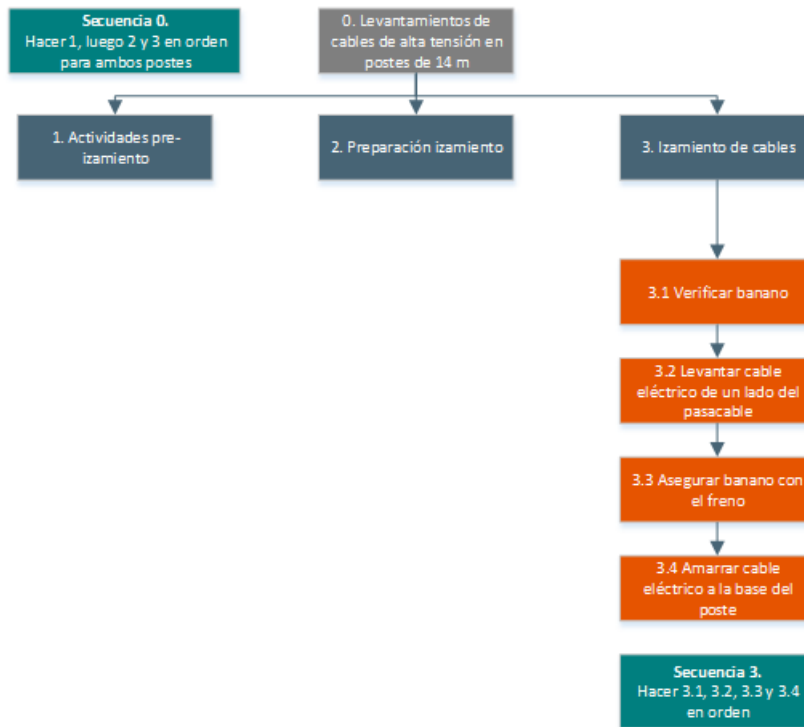
Las respuestas a las preguntas de la parte a) definen la secuencia de los pasos y sub-pasos. Para el ejemplo se tiene lo siguiente:

i) **Secuencia de los pasos:**

Secuencia 0. Realizar pasos 1, 2 y 3 en orden.

ii) **Secuencia de los sub-pasos (paso 3. Izamiento de cables):**

Secuencia 3. Hacer sub-pasos 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4 en orden.



5) **Finalizar diagrama:** Finalmente se integran todos los sub-pasos de la tarea en un único diagrama. En la Figura 6.2 se puede apreciar el diagrama para la tarea completa.

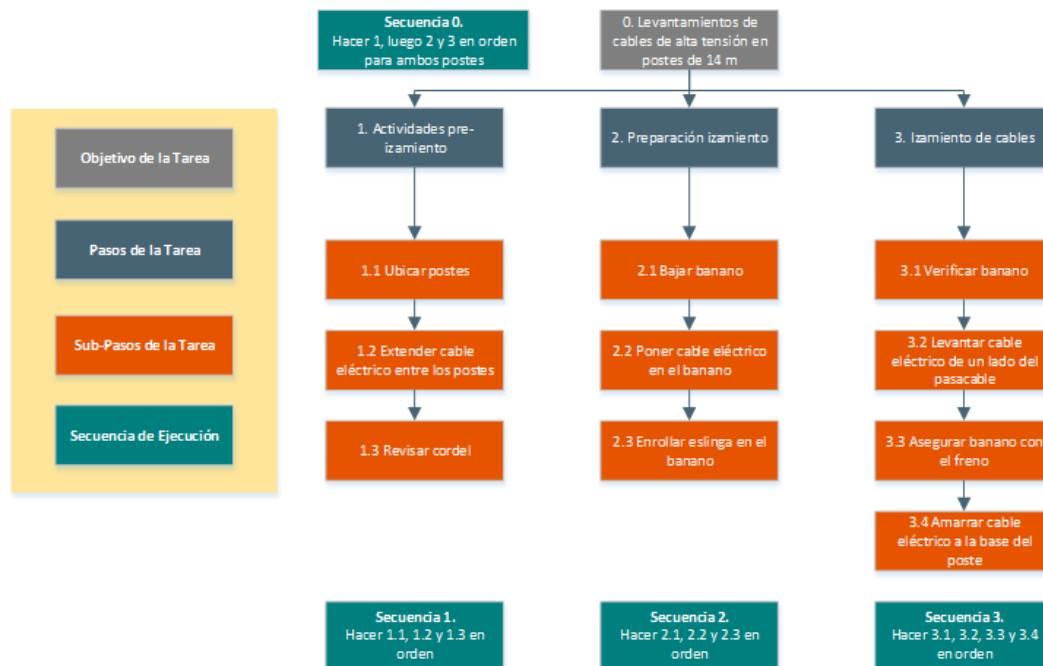


Figura 6.2: Ejemplo diagrama de los pasos de la tarea “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”.

D) Evaluación de severidad

Con los sub-pasos definidos en la sección anterior, es necesario identificar y evaluar los riesgos presentes en cada uno de estos. Para este se realizan las siguientes etapas (ejemplo utilizado es el sub-paso 3.2 “Levantar cable eléctrico de un lado del pasacable” de la tarea “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”):

- 1) **Describir sub-paso:** Se detalla en forma concisa pero detallada que acciones son ejecutadas, así como los elementos de interés que participan.

Ejemplo: “3.2 Levantar cable eléctrico de un lado del pasacable”

- 2) **Posible error:** Se identifican los errores con mayor posibilidad de cometerse en el sub-paso basándose en la Tabla C.1 Tipos de Error, Frases Guía del Anexo C.

Ejemplo: “Acción hecha muy rápida: levantar el cable de forma rápida”

- 3) **Clasificación del error:** Mediante la Tabla C.2 del Anexo, se identifica la clase a la cual puede corresponder el error identificado (pueden ser múltiples clasificaciones). Esto debe realizarse para cada error hallado.

Ejemplo: “Descuido”

- 4) **Consecuencia del error:** Se detalla la consecuencia sobre el equipo o entorno que emerge producto del error.

Ejemplo: “Posible caída del cable”

- 5) **Riesgo:** Se establece el o los posibles riesgos estandarizados que se pueden manifestar por el error, donde puede usarse la Tabla C.3 del Anexo. Esto debe realizarse para cada error hallado.

Ejemplo: “Caída de objeto”

- 6) **Severidad:** Se determina la severidad del paso mediante la Tabla C.4 del Anexo.

Ejemplo: “Nivel 4”

Este proceso permite generar un “inventario” de errores humanos asociados al riesgo que puede manifestarse producto del error.

En la Tabla 6.1 se tiene el análisis realizado para toda la tarea de “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”.

Tabla 6.1: Ejemplo Evaluación de Riesgos Humanos Tarea “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”

1. Actividades pre-izamiento						
Sub-Paso		Posible Error	Clasificación del Error	Consecuencia del Error	Riesgo	Severidad
1.1	Ubicar postes	Incorrecta acción: Incorrecta instalación de los postes	Equivocación	Caída de los postes	Caída de objeto	4
1.2	Extender cable eléctrico entre los postes	Incorrecta acción: Dejar encerrados los postes	Equivocación	Ninguna	Ninguno	1
1.2	Revisar cordel	Chequeo omitido: No revisar el cordel	Lapsus	Rotura del cordel por mal estado	Caída de objeto	4
2. Preparación Izamiento						
Sub-Paso		Posible Error	Clasificación del Error	Consecuencia del Error	Riesgo	Severidad
2.1	Bajar banano	Acción hecha muy rápida: Bajar el banano de forma rápida	Descuido	Caída del banano	Ninguno	1
2.2	Poner cable eléctrico en el banano	Incorrecta acción: Incorrecta instalación del cable	Equivocación	Caída del cable	Ninguno	4
2.3	Enrollar eslinga en el banano	Incorrecta acción: Incorrecta instalación de la eslinga	Equivocación	Caída del cable	Caída de objeto	4
3. Izamiento de cables						
Sub-Paso		Posible Error	Clasificación del Error	Consecuencia del Error	Riesgo	Severidad
3.1	Verificar banano	Chequeo omitido: No se verifica el estado del banano	Lapsus	Caída del cable por incorrecta instalación del cable	Caída de objeto	4
3.2	Levantar cable eléctrico	Acción hecha muy rápida: Levantar el cable de forma rápida	Descuido	Posible caída del cable	Caída de objeto	4
3.3	Asegurar banano con el freno	Incorrecta acción: Incorrecto aseguramiento del freno	Equivocación	Caída del cable por incorrecto aseguramiento del freno	Caída de objeto	4
3.4	Amarrar cable eléctrico a la base del poste	Incorrecta acción: Incorrecto amarre del cable	Descuido, equivocación	Posible caída del cable	Caída de objeto	4

Lo siguiente es identificar en el diagrama de los pasos de la tarea la criticidad asociada a cada sub-paso, esto ingresando la clasificación de riesgo en clave de colores. En la Figura 6.3 se tiene un ejemplo.

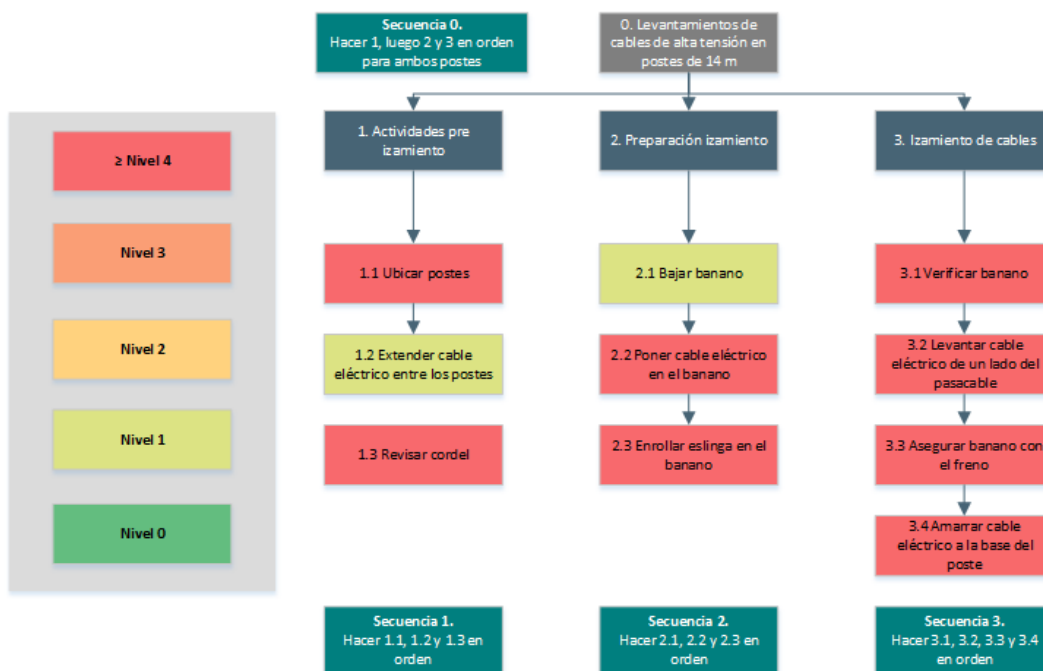


Figura 6.3: Ejemplo criticidad de los pasos para la tarea “Levantamiento de cables de alta tensión en postes de 14 m”

E) Identificación de controles de riesgos

En base a los resultados hallados en los pasos anteriores, es necesario definir los controles a aplicar para cada riesgo de error humano. El análisis debe realizarse a cada error, pero priorizando en los sub-pasos con mayor severidad, es decir, con el siguiente orden.



Para la realización de este proceso es necesario utilizar la información obtenida mediante el análisis del paso anterior, específicamente los campos de **Sub-Paso**, **Posible Error**, **Consecuencia**, y **Riesgo**:

- 1) **Identificar consideraciones históricas:** Analizar en base a la documentación existente, consideraciones y recomendaciones para la correcta realización del sub-paso a analizar.

Ejemplo: “Flectar las piernas manteniendo el tronco recto”.

- 2) **Establecer consideraciones generales:** Junto a su equipo de trabajo elaborar consideraciones y recomendaciones con objetivo de realizar correctamente el sub-paso, así como evitar posibles errores en la ejecución de este.

Ejemplo: “Alejarse del izamiento a una distancia considerable”.

- 3) **Establecer Consideraciones Específicas:** Ya identificadas y/o elaboradas las consideraciones generales para el sub-paso, es necesario establecer consideraciones de recursos específicas a este:

- a) **Herramientas/Equipos:** Establecer, dependiendo de la tarea y sub-paso, las herramientas y/o equipos a utilizar, esto para evitar el uso de herramientas/equipos inadecuados que puedan crear un riesgo para la integridad de las personas.

Ejemplo: “Guantes de seguridad”.

- b) **Trabajadores:** Se establecen los trabajadores mínimos necesarios para realizar de buena forma la tarea en términos de seguridad.

Ejemplo: “2 trabajadores”.

- c) **Tiempo:** En base a la cantidad de trabajadores y las herramientas a utilizar en el sub-paso, establecer el tiempo mínimo para la realización de este con motivo de asegurar una correcta realización en términos de seguridad y evitar rapidez operacional.

Ejemplo: “5 minutos”.

6.1.3. Estructura de los Procedimientos

La estructura de los procedimientos revisados consta de una recopilación de información con la forma de realizar las distintas tareas que entran bajo el tópico revisado. Uno de los grandes problemas presentes en estos es la complejidad para seguir los pasos debido a la falta de una estructura propiamente tal, lo que puede provocar confusiones en la lectura de los procedimientos y así tener poco entendimiento de las tareas, llevando a condiciones de riesgo en terreno.

La recomendación planteada para este punto tiene relación con la guía elaborada, ya que esta, además de generar un inventario de errores y riesgos humanos para cada paso, genera una serie de consideraciones y recomendaciones para realizar de forma correcta y segura cada paso. Por esto se plantea una estructura jerárquica para los procedimientos vista de la siguiente manera.

- 1) Descripción y consideraciones generales para el grupo de tareas
 - a) Descripción y consideraciones generales para la tarea en específico
 - i) Pasos de la tarea caracterizados bajo el resultado de la guía propuesta (incluye consideraciones para cada paso en específico)

Esta estructura, a pesar de ser simple, genera un orden para mejorar la lectura y poste-

rior entendimiento de los procedimientos. Para la correcta implementación de este orden es necesario, como se mencionó, incorporar los resultados obtenidos de la guía, ya que generan una secuencia lineal de los pasos de la tarea, así como la identificación de los riesgos y consideraciones presentes en cada paso.

En la Tabla 6.2 se puede ver un extracto de una secuencia de una tarea. Cabe mencionar que el campo de Riesgo sólo aplica si se tiene una condición de sobre el nivel 4 de severidad.

Tabla 6.2: Ejemplo extracto de nuevo formato de procedimiento

2. Preparación izamiento						
Sub-Paso		Posible Error	Consecuencia	Riesgo	Consideraciones	
					Generales	Específicas
2.1	Bajar banano	Acción hecha muy rápida: Bajar el banano de forma rápida	Posible caída del banano	Ninguno	-Mediante el cordel bajar el banano de forma lente observando el cable. -Nunca ubicarse bajo la caída del banano o el cable.	Recursos mínimos: -Tiempo -Trabajadores -Herramientas
2.2	Poner cable eléctrico en el banano	Incorrecta acción: Incorrecta instalación del cable	Posible caída del cable	Caída de objeto	-El cable eléctrico debe estar ordenado al ponerlo en el banano.	Recursos mínimos: -Tiempo -Trabajadores -Herramientas
2.3	Enrollar eslinga en el banano	Incorrecta acción: Incorrecta instalación de la eslinga	Posible caída del cable	Caída de objeto	-El banano debe estar colocado en el piso, no en la base del poste.	Recursos mínimos: -Tiempo -Trabajadores -Herramientas

Capítulo 7

Conclusiones

Toda la investigación y análisis desarrollado en este trabajo de memoria permite estructurar una metodología para el análisis de los factores relacionados con la interacción de la persona y su entorno, es decir, el Factor Humano, donde se integran herramientas científico matemáticas junto a instrumentos psicométricos como el uso de encuestas para dar un análisis holístico sobre el tema.

Dentro de las conclusiones que aparecen en la realización de este proyecto se tienen:

- Se ha desarrollado una metodología estructurada y con fundamentos de diversas áreas de las ciencias, tales como las ciencias del comportamiento y el análisis estadístico, por lo que se crea un marco de referencia para el análisis y creación de nuevos estudios con objetivos similares. Esta construcción de bases comunes permite el desarrollo de investigaciones no solo para la minería, sino que para cualquier industria donde exista interacción entre las personas y elementos variados tales como maquinarias, herramientas etc., es decir, una amplia gama de sectores.
- Tal como se mencionó anteriormente, se incorporan herramientas de las ciencias del comportamiento y el análisis estadístico, específicamente la regresión logística binaria, que en esta ocasión se le ha dado un uso poco aprovechado, siendo caracterizar la influencia que ejercen ciertos factores sobre la posible ocurrencia de algún fenómeno, es decir, como un instrumento de análisis, a diferencia de ser usada como una herramienta predictiva, donde se emplea comúnmente en fenómenos con facilidad de medir a priori los factores que causan dichos eventos, hecho difícil en la seguridad preventiva.
- Se logró caracterizar con bases analíticas los factores que provocan una mayor posibilidad de eventos con lesión en la industria minera (suponiendo condiciones similares a la faena analizada), esto permite tener foco sobre las causas con mayor importancia en la ocurrencia de un accidente, y priorizar los esfuerzos en intervenciones de seguridad relacionadas con estas. Así también abre la posibilidad al desarrollo de herramientas que

apunten a la raíz de estas causas para eliminar las condiciones de riesgo concernientes al error humano.

- Íntimamente ligado al punto anterior se tiene la creación de un modelo de causalidad que explica el desarrollo de un evento con lesión, con la persona como eje central. Este desarrollo de conocimiento permite el entendimiento del fenómeno; sin embargo, se tienen que tomar en cuenta los alcances bajo el cual se desarrolló, siendo el más importante la compañía y el capital humano de la faena, básicamente chileno. A pesar de esto, sirve como base para la creación de nuevos modelos adaptados a la realidad bajo el cual se desarrollen estos.
- Se ha desarrollado una metodología para el análisis del error humano dentro de alguna actividad a ejecutar, caracterizada por el desglose en los pasos fundamentales para la realización de esta, visualizado mediante un diagrama jerárquico, y posteriormente el análisis de las causas y consecuencias de los posibles errores a cometer en cada paso. Esto crea un inventario de errores y riesgos detallado de las tareas, lo que permite tener un mejor entendimiento de las tareas.
- Siguiendo en línea con la idea expuesta anteriormente, se ha elaborado un nuevo tipo de procedimientos que posibilita la estructuración de los pasos a seguir en la tarea, junto con la señalización de los posibles errores y riesgos a los que se encuentra expuesto el ejecutor de la tarea, además de incorporar los puntos a tener en cuenta para eliminar tal error. Esto facilita el reconocimiento de los riesgos presentes en la tarea, lo que según las hipótesis planteadas reduce el comportamiento de riesgo de las personas.
- Finalmente, se abre la posibilidad a nuevos estudios que profundicen en ciertos temas tocados en esta investigación, la que por tratar acerca de un tema no ampliamente difundido, ya sea en la industria, en las ciencias de la ingeniería, o en el contexto país, resultando en sólo los inicios de este gran tópico. Como recomendaciones para futuros trabajos se tiene agregar como instrumentos de medición psicométricos el uso de entrevistas, además de expandir el tamaño de la muestra para mejorar la precisión de los resultados. Además de esto incorporar nuevos factores para la explicación de este fenómeno tal como las Defensas Fallidas/Ausentes por nombrar un ejemplo.

Bibliografía

- [Asociación Chilena de Seguridad,] Asociación Chilena de Seguridad. *Prevención de Riesgos Profesionales*.
- [Bird, F., 1974] Bird, F. (1974). *Management Guide to Loss Control*. Atlanta, Ga.: Institute Press.
- [Bond, J., 2007] Bond, J. (2007). A safety culture with justice: a way to improve safety performance. *IChemE symposium series*.
- [Bovero, M., 2006] Bovero, M. (2006). Prefacio al libro de pedro salazar. *La democracia constitucional. Una radiografía teórica*.
- [Campbell, D. y Fiske, D., 1959] Campbell, D. y Fiske, D. (1959). Convergent and discriminant validation by the multitrait-multimethod matrix. *Psychological Bulletin*.
- [Churchill, GA., 1979] Churchill, GA. (1979). A paradigm for developing better measures of marketing constructs. *Journal of Marketing Research*.
- [Chávez, S., 1996] Chávez, S. (1996). *Re-pensando la seguridad como una ventaja competitiva*. Asociación para la prevención de accidentes APA Chile.
- [Cohen, J., 1988] Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- [Cohen, J., 1992] Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*.
- [Cook, T. y Campbell, D., 1979] Cook, T. y Campbell, D. (1979). *Quasi-experimentation: Design & Analysis Issues for Field Settings*. Houghton Mifflin.
- [Cooper, MD., 2000] Cooper, MD. (2000). Towards a model of safety culture. *Safety Science*.
- [Cooper, MD., 2001] Cooper, MD. (2001). *Improving Safety Culture: A Practical Guide*. John Wiley & Sons Ltd.
- [Dekker, S. W., 2001] Dekker, S. W. (2001). The re-invention of human error. *Human Factors and Aerospace Safety*.
- [Dirección del Trabajo, 2018] Dirección del Trabajo (2018). *Código del Trabajo*. Santiago.

- [Fishburn, P., 1968] Fishburn, P. (1968). Utility theory. *Management Science*.
- [Fornell, C. y Larcker, D., 1981] Fornell, C. y Larcker, D. (1981). ‘evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *J. Mar. Res.*
- [Frederick, S. et al., 2002] Frederick, S. et al. (2002). Time discounting and time preference: A critical review. *Journal of Economic Literature*.
- [Guldenmund, FW., 2000] Guldenmund, FW. (2000). The nature of safety culture: a review of theory and research. *Safety Science*.
- [Hair, J.F. et al., 2012] Hair, J.F. et al. (2012). An assessment of the use of partial least squares structural equation modeling in marketing research. *Journal of the Academy of Marketing Science*.
- [Hair Jr, J. F. et al., 2013] Hair Jr, J. F. et al. (2013). *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*. Sage Publications, second edition.
- [Hale, AR., 2000] Hale, AR. (2000). Culture’s confusions. *Safety Science*.
- [Heinrich, H., 1931] Heinrich, H. (1931). *Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach*. McGraw-Hill book Company, Incorporated.
- [Hosmer, D. W., 2000] Hosmer, D. W. (2000). *Applied Logistic Regression*. John Wiley & Sons, Inc.
- [Hosseinian, S., 2012] Hosseinian, S. (2012). Major theories of construction accident causation models: A literature review. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*.
- [Hox, J. y Bechger, T., 2007] Hox, J. y Bechger, T. (2007). An introduction to structural equation modeling. *Family Science Review*.
- [Innes-Jones, G., 2012] Innes-Jones, G. (2012). Complacency as a causal factor in accidents – fact or fallacy ?
- [Instituto Nacional de Estadísticas, Chile,] Instituto Nacional de Estadísticas, Chile. Estadísticas. <http://www.ineentuaula.cl/sites/aula/conoce/estadistica/estadistica>. [Online; consultado el 29-Marzo-2018].
- [International Ergonomics Association,] International Ergonomics Association. Definition and domains of ergonomics. <https://www.iea.cc/whats/>. [Online; consultado el 18-Abril-2018].
- [Kiremire, AR., 2011] Kiremire, AR. (2011). The application of the pareto principle in software engineering.
- [Litwin, M., 1995] Litwin, M. (1995). *How to Measure Survey Reliability and Validity*. SAGE Publications.

- [Livingston, A. et al., 2001] Livingston, A. et al. (2001). *Root causes analysis: Literature review*. WS Atkins Consultants Ltd.
- [Loafman, B., 1996] Loafman, B. (1996). Rescue from the safety plateau. *Performance Management Magazine*.
- [Mearns, K. F., 1999] Mearns, K. F. (1999). Assessing the state of organizational safety—culture or climate? *Current Psychology*.
- [Murrell, H., 1965] Murrell, H. (1965). *Ergonomics: Man in his Working Environment*. London: Chapman & Hall.
- [Niskanen, T., 1994] Niskanen, T. (1994). Safety climate in the road administration. *Safety Science*.
- [NOPSEMA, Australia,] NOPSEMA, Australia. Human error. <https://www.nopsema.gov.au/resources/human-factors/human-error/>. [Online; consultado el 29-Marzo-2018].
- [Paradies, M. y Busch, D., 1988] Paradies, M. y Busch, D. (1988). Root cause analysis at savannah river plant. *IEEE Conference on Human Factors and Power Plants*.
- [Reason, J., 1990] Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge University Press.
- [Reason, J., 1997] Reason, J. (1997). *Managing the Risks of Organizational Accidents*. Ashgate.
- [Reason, J., 2000] Reason, J. (2000). Human error: models and management. *BMJ*.
- [Salvendy, G., 2012] Salvendy, G. (2012). *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. John Wiley & Sons, Inc.
- [Sanders, M. y McCormick, E., 1993] Sanders, M. y McCormick, E. (1993). *Human Factors in Engineering and Design*. McGraw-Hill, Inc., seventh edition.
- [SERNAGEOMIN, 2017] SERNAGEOMIN (2017). *Anuario de la Minería de Chile 2016*. Santiago.
- [Teo, E. A., 2009] Teo, E. A. (2009). The role of safety climate in predicting safety culture on construction sites. *Architectural Science Review*.
- [Universitat de Barcelona,] Universitat de Barcelona. Inferencia estadística. <https://http://www.ub.edu/aplicacions/for/spss/cap4-1.htm>. [Online; consultado el 30 - Mayo - 2018].
- [Viscusi, W., 1984] Viscusi, W. (1984). The lulling effect: The impact of child-resistant packaging on aspirin and analgesic ingestions. *The American Economic Review*.
- [Weaver, D. A., 1971] Weaver, D. A. (1971). Symptoms of operational error. *Professional Safety*.

- [Wong, K., 2013] Wong, K. (2013). Partial least square structural equation modeling (pls-sem) techniques using smartpls. *Marketing Bulletin*.
- [World Health Organization,] World Health Organization. What is human factors and why is it important to patient safety?
- [Wright, S., 1921] Wright, S. (1921). Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*.
- [Zohar, D, 1980] Zohar, D (1980). Safety climate in industrial organizations: Theoretical and applied implications. *Journal of Applied Psychology*.
- [Zohar, D. y Luria, G., 2003] Zohar, D. y Luria, G. (2003). The use of supervisory practices as leverage to improve safety behavior: A cross-level intervention model. *Journal of Safety Research*.

Anexos

Anexo A

Antecedentes

A.1. Evaluación de Riesgos

Tabla A.1: Niveles de Severidad (Seguridad)

Nivel de Severidad	Condiciones
4	Una muerte. Discapacidad permanente en $>30\%$ del cuerpo de una o más personas.
3	Discapacidad permanente en $<30\%$ del cuerpo de una o más personas. Restricción o pérdida de días por motivo de lesión o enfermedad.
2	Discapacidad objetiva pero reversible. Tratamiento médico por lesión o enfermedad.
1	Síntomas o inconvenientes subjetivos de bajo nivel y a corto plazo. Sin tratamiento médico.

A.2. Causas Investigación ICAM

Tabla A.2: Defensas Fallidas/Ausentes

Factor		Ejemplo
DF01	Sistemas de Detección	El detector de humo no se encontraba instalado
DF02	Sistemas de Protección	Ausencia de barandas en área donde transita personas
DF03	Sistemas de Advertencia	No existe delimitación ni señalización
DF04	Guardas y Barreras	No existe un dispositivo de cierre del perímetro
DF05	Recuperación	Las válvulas de bypass estaban selladas, por lo tanto no cumplieron su función
DF06	Escape	No se encontraba señalizada la vía de escape
DF07	Rescate	La ambulancia no estaba disponible
DF08	Operación de Dispositivo de Seguridad	El candado de bloqueo estaba mal instalado
DF09	Equipo de Protección Personal	El respirador se encontraba en mal estado
DF10	Identificación del Peligro	Falla en el proceso de identificación de riesgos
DF11	Sistemas de Control	No existe una entrega de área (entre turnos) donde se detallen las condiciones de los pretilos existentes.

Tabla A.3: Acciones Individuales/de Equipo

Factor		Ejemplo
IT01	Supervisión	Supervisor nunca usa EPP correcto para trabajar en altura porque dice que es incómodo
IT02	Autoridad Ocupacional	Operador estaba manejando un equipo móvil sobre sin tener la autorización necesaria
IT03	Rapidez Operacional	Contratista estaba manejando su vehículo liviano sobre la velocidad permitida
IT04	Uso de Equipos	Contratista estaba martillando un clavo en el techo del campamento con una llave inglesa
IT05	Uso de Equipo de Protección Personal	Trabajador estaba trabajando en altura sin arnés de seguridad
IT06	Cumplimiento de Procedimientos	El equipo de mantenimiento no siguió el procedimiento
IT07	Manejo del Cambio	Luego de cambiar el diseño de la tubería de agua, los ingenieros responsables no implementaron los cambios en la documentación relacionada con el área
IT08	Manejo de Materiales y Equipos	El mantenedor usó el camión para colocar una escalera encima para alcanzar una luz en el techo
IT09	Mala Conducta	El operador estaba manejando en estado de ebriedad
IT10	Método de Trabajo	Un trabajador estaba soldando sin el orden y aseo requerido en su lugar de trabajo
IT11	Prácticas Higiénicas Laborales	Los asesores de salud realizaron las mediciones de partículas en el aire usando un método considerado pobre por las organizaciones de salud
IT12	Percepción/Reconocimiento del Peligro	Equipo de mantenimiento no completó la hoja de análisis de Riesgos de la tarea antes de empezar
IT13	Manejo del Riesgo	Contratistas no identificaron en el documento de análisis de riesgo de la tarea el riesgo de interacción entre un equipo móvil y un vehículo liviano

Tabla A.4: Factores del Lugar de Trabajo

Factor		Ejemplo
TW01	Planificación/ preparación/ contratación	La planificación de la tarea no está bien definida
TW02	Análisis del Peligro/ AST/ Take 5	La tarea no está identificada en el inventario de riesgos
TW03	Procedimientos - disponibilidad y ajuste	El procedimiento no era práctico
TW04	Permiso de Trabajo - disponibilidad y ajuste	No había un permiso de trabajo en el lugar
TW05	Situación o Condición Anormal de Operación	El diseño de ingeniería para la correa transportadora exige la ejecución de trabajos en altura para bloquear la correa
TW06	Herramientas/ equipos/ materiales	Las herramientas/equipos adecuados no estaban disponibles
TW07	Integridad de los Equipos	El equipo no estaba certificado
TW08	Orden y Aseo	Falta de orden y aseo en el área
TW09	Condiciones de Tiempo	Viento, lluvia, inundaciones, etc.
TW10	Congestión/ restricción/ acceso	El área tiene un acceso pequeño
TW11	Tarea Rutinaria/No Rutinaria	El operador realizaba la tarea rara vez
TW12	Peligro de incendio y/o explosión	Baja visibilidad en el rajo luego de tronaduras
TW13	Iluminación	La oficina tiene iluminación excesiva
TW14	Temperatura	Calor, frío, humedad, etc.
TW15	Ruido	El taller de camiones presenta un entorno con fuerte ruido afectando la habilidad de escuchar
TW16	Ventilación	El sistema de ventilación estaba fallando y los trabajadores tuvieron dificultades para respirar
TW17	Presión	El área estaba en condiciones de vacío
TW18	Gas, polvo o humo	El área estaba contaminada por gases tóxicos
TW19	Radiación	El área es un área cerrada ionizante
TW20	Químico	El tubo de agua potable tenía sustancias químicas
TW21	Capacitación	No hay capacitación para esta área
TW22	Vida silvestre	Hay serpientes cruzando el campamento
TW23	Condición de la superficie	Era una superficie dispareja

Tabla A.5: Factores Humanos

Factor		Ejemplo
HF01	Complacencia/ Motivación/ Actitud	El trabajador tiene sobre confianza
HF02	Influencia de Alcohol/Drogas	Resultado positivo en prueba de drogas
HF03	Fatiga	El trabajador está cansado
HF04	Tiempo/ Presiones de Productividad	Contratistas tienen presiones de tiempo por parte del área de abastecimiento
HF05	Presiones del Medio/Ejemplo del Supervisor	Contratista nunca recibe ayuda de sus compañeros de trabajo
HF06	Capacidades Físicas/Mentales	El trabajador no era capaz de entender problemas complejos
HF07		
HF08	Factores Personales	El trabajador tenía problemas personales
HF09	Distracción/Preocupación	El proveedor estaba de mal humor al momento del incidente
HF10	Competencia/Habilidades para el trabajo	El trabajador no tiene la habilidad para realizar la tarea
HF11	Comunicación pobre o inadecuada	El equipo de mantenimiento no recibió el mensaje de su supervisor
HF12	Tolerancia a la transgresión	Cuadrilla normalmente no usa el EPP
HF13	Cambio de Rutina	Era una secuencia anormal de tareas

Tabla A.6: Factores Organizacionales

Factor		Ejemplo
OS01	Liderazgo y Responsabilidad (Accountability)	El gerente responsable para alcanzar un rendimiento HSEC requerido no está definido
OS02	Planificación Estratégica/- Requerimientos Legales y Otros	La organización no tiene un procedimiento para captar, administrar e informar sobre los datos de salud e higiene
OS03	Peligros y Riesgos HSEC	No hay ningún proceso para mantener todos los inventarios de riesgo actualizados
OS04	Planificación, Objetivos y Metas	El área de operaciones mina no tiene KPI relacionado con HSEC dentro de su scorecard
OS05	Conciencia, Competencia y Comportamiento	No hay sistema para analizar y usar datos de las observaciones de trabajos
OS06	Comunicación y Consulta	El rol de Gerente de Comunidad aún está vacante
OS07	Diseño, Construcción y Puesta en Marcha	El proceso de puesta en marcha no consideró tener el manual de operación disponible
OS08	Operaciones y Mantenimiento	El programa de mantenimiento que hay no incluye calibración
OS09	Documentos y Registros	Sistema inadecuado o ausente de administración de documentos
OS10	Proveedores, Contratistas y Socios	Las agencias locales de emergencia no se incluyen en los ensayos
OS11	Incidentes y Emergencias	No existen protocolos de respuesta ante la emergencia
OS12	Gestión del Cambio	No hay ningún sistema para asegurar que todos los cambios relevantes reciben la aprobación por la autoridad correspondiente

Anexo B

Resultados

B.1. Análisis Exploratorio de Datos

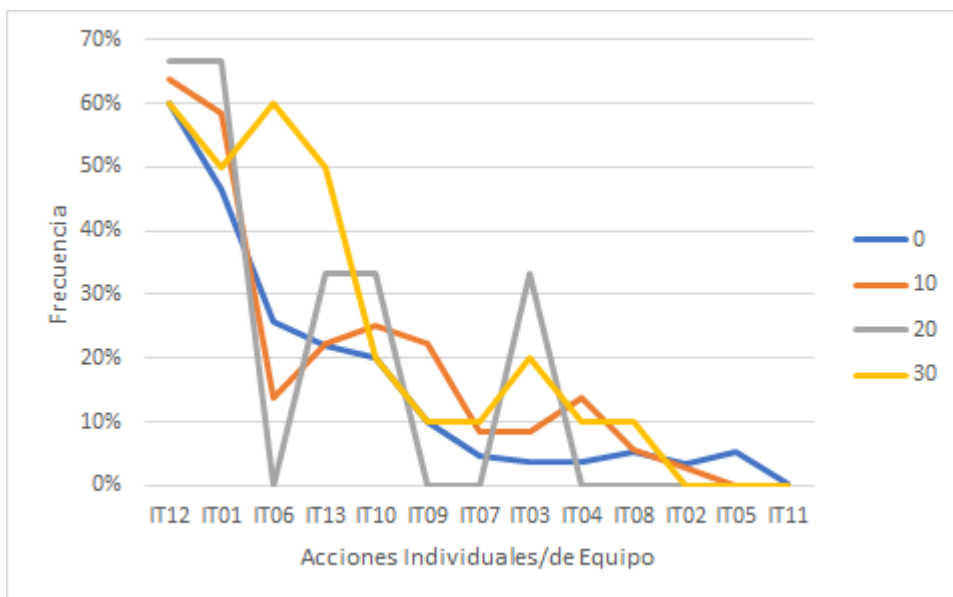


Figura B.1: Distribución de Acciones Individuales/de Equipo según Severidad

B.2. Regresión Logística Binaria

Tabla B.1: Resultados Regresión Logística Binaria

Elemento	B	Error estándar	Wald	Sig.	Exp(B)
IT01	-0,748	0,358	4,361	0,037	0,473
IT02	0,473	1,122	0,178	0,673	1,605
IT03	-2,117	0,583	13,198	0,000	0,120
IT04	-1,766	0,592	8,885	0,003	0,171
IT05	17,728	5571,769	0,000	0,997	50027109,7
IT06	0,034	0,418	0,007	0,935	1,034
IT07	-1,361	0,616	4,887	0,027	0,256
IT08	-0,418	0,706	0,351	0,554	0,658
IT09	-1,338	0,465	8,271	0,004	0,262
IT10	-0,811	0,441	3,381	0,066	0,445
IT11	0,563	30719,958	0,000	1,000	1,755
IT12	-0,487	0,384	1,609	0,205	0,614
IT13	-0,961	0,403	5,680	0,017	0,383
HF01	-1,017	0,375	7,336	0,007	0,362
HF02	0,000				
HF03	17,478	13124,426	0,000	0,999	38942533,7
HF04	0,395	0,547	0,521	0,470	1,484
HF05	18,385	15923,067	0,000	0,999	96529108,7
HF06	18,773	19149,952	0,000	0,999	142188524,2
HF07	0,000				
HF08	17,431	14260,443	0,000	0,999	37162014,3
HF09	0,086	0,805	0,011	0,915	1,090
HF10	-1,118	0,376	8,861	0,003	0,327
HF11	0,164	0,485	0,114	0,736	1,178
HF12	0,362	1,093	0,109	0,741	1,436
HF13	0,347	1,093	0,101	0,751	1,415
Constante	-199,929	79366,610	0,000	0,998	0,000

B.3. Análisis Cualitativo y Correlaciones

B.3.1. Correlaciones

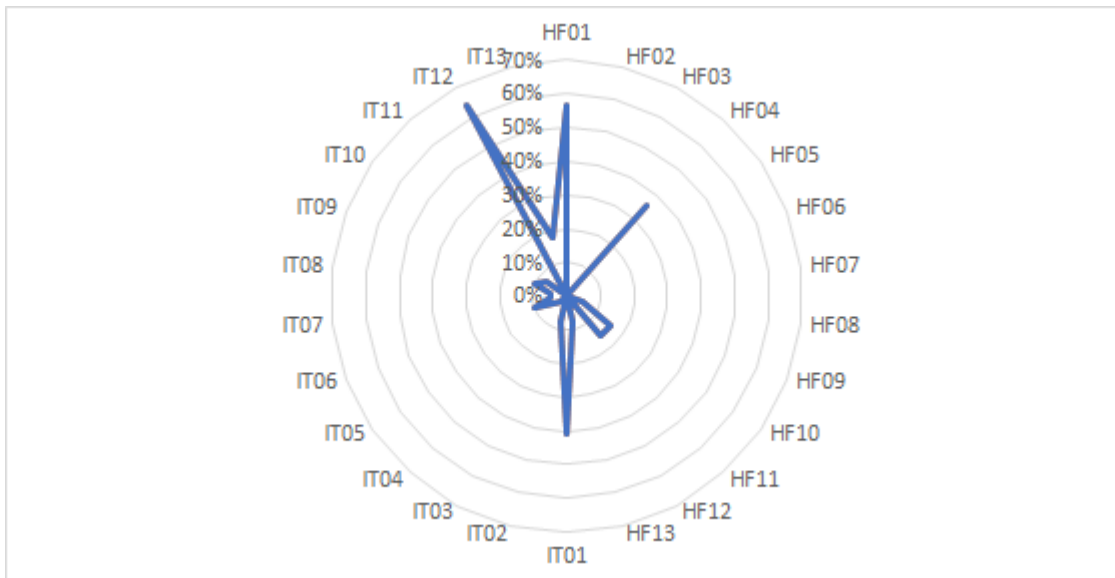


Figura B.2: Correlación entre IT03 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos

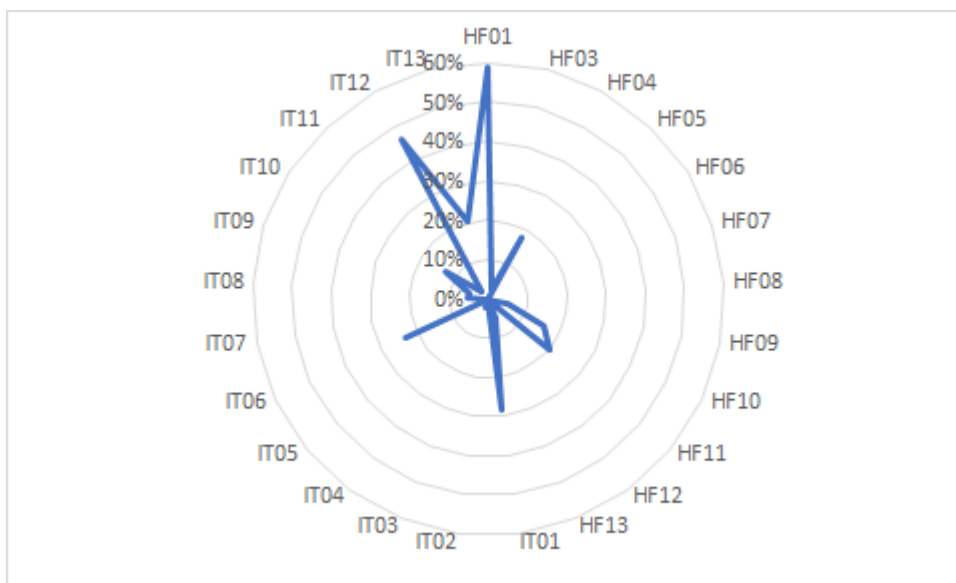


Figura B.3: Correlación entre IT04 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos

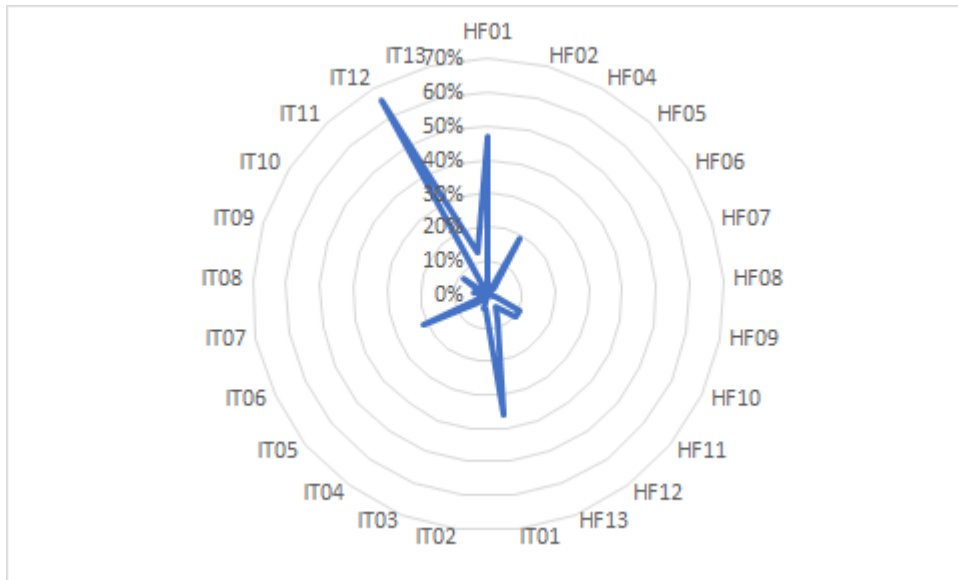


Figura B.4: Correlación entre IT07 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos

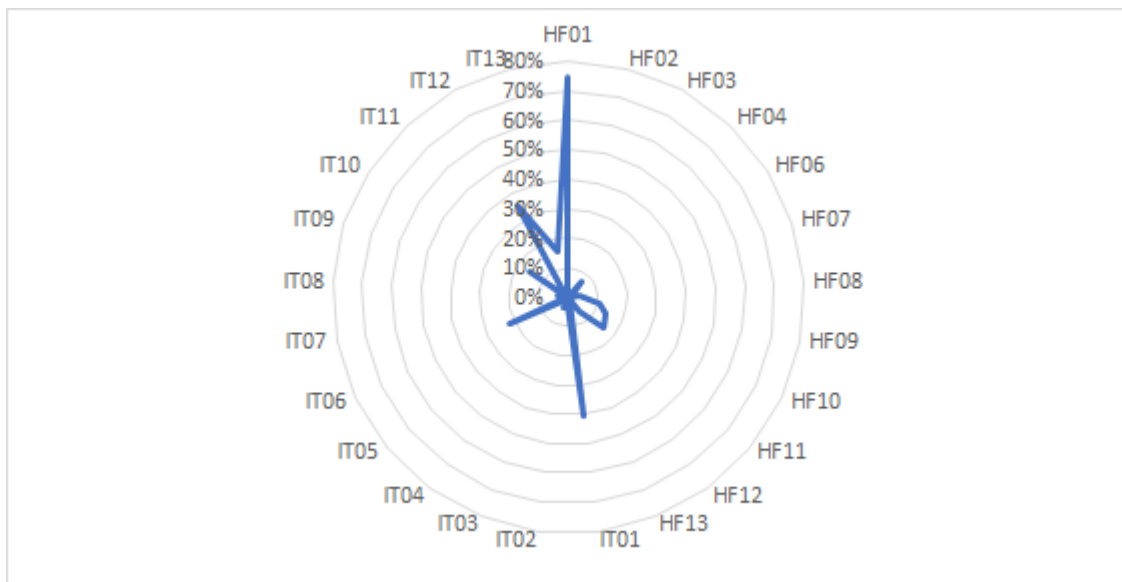


Figura B.5: Correlación entre IT09 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos

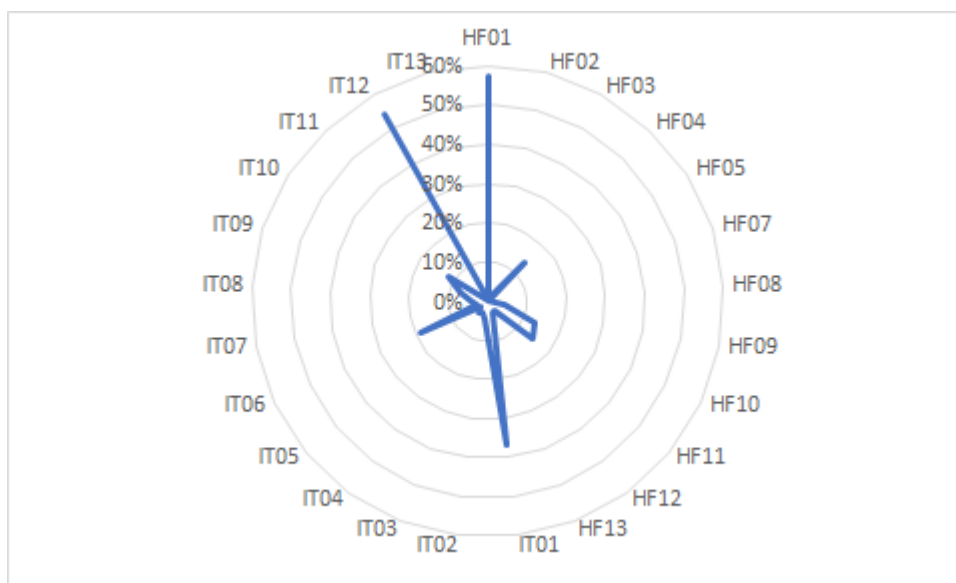


Figura B.6: Correlación entre IT13 y Acciones Individuales/de Equipo y Factores Humanos

B.3.2. Análisis Cualitativo

Tabla B.2: Clasificación sub causas IT01 Supervisión

	Error	Frecuencia [%]
1	Supervisión no evalúa el riesgo	30,1
2	No verifica la presencia o uso correcto de herramientas	24,1
3	No identifica condiciones anormales	16,9
4	Solicita operar no existiendo las herramientas o proceso correctas	9,6
5	Supervisión no asegura competencias	8,4
6	Supervisión no asegura las condiciones necesarias para la tarea	7,2
7	Se involucra en la tarea, dejando de lado su rol	3,6

Tabla B.3: Clasificación sub causas IT03 Rapidez Operacional

	Error	Frecuencia [%]
1	No aplica de forma total o parcial controles críticos	37,5
2	Operador realiza operaciones en simultáneo	16,7
3	Manejo a alta velocidad	12,5
4	Saltarse segregación	12,5
5	Exposición a condiciones de peligro	8,3
6	No verifica condiciones de peligro	4,2
7	Falta de inspección	4,2
8	No uso de herramientas	4,2

Tabla B.4: Clasificación sub causas IT04 Uso de Equipos/Herramientas

Error		Frecuencia [%]
1	Uso de herramienta no apropiada	39,3
2	No se dispone de herramienta apropiada	28,6
3	Se opera equipo en condiciones anormales	14,3
4	No uso de herramienta	10,7
5	No se toma a operador en ART	3,6
6	Se usa equipo sin capacitación	3,6

Tabla B.5: Clasificación sub causas IT07 Manejo del Cambio

Error		Frecuencia [%]
1	No se comunican cambios en el entorno	40,0
2	No se comunican los riesgos identificados	20,0
3	Evaluación deficiente por cambios en el entorno	20,0
4	No existió proceso de análisis, evaluación y aceptación del cambio	12,0
5	Modificación por operadores	8,0

Tabla B.6: Clasificación sub causas IT09 Mala Conducta

Error		Frecuencia [%]
1	No ancla línea de vida	20,0
2	Ingresa a radio de fuego	17,5
3	Violación de norma por ahorrar tiempo	12,5
4	Transito por camino no delimitado	7,5
5	Traspasa segregación	7,5
6	No corrige mala conducta	5,0
7	Exceder velocidad	5,0
8	Deja la plataforma	3,8
9	No bloquea	2,5
10	Expuesto carga suspendida	2,5
11	No verifica segregación	2,5
12	No informa problemas con las condiciones	2,5
13	No mantiene distancia prudente	2,5
14	Autorización negligente	2,5
15	Alteración de controles	1,3
16	Operación de levante sin autorización	1,3
17	Inicio de trabajos con personal ajeno dentro de segregación	1,3
18	Bypass sin autorización	1,3
19	No espera bloqueo	1,3

Tabla B.7: Clasificación sub causas IT12 Percepción/Reconocimiento del Peligro

Error		Frecuencia [%]
1	No se reconocen condiciones peligrosas	21,0
2	No reconoce el riesgo de caída	20,2
3	No se verifican posibles riesgos	12,1
4	No reconoce el riesgo de atropello	11,3
5	No reconoce energía potencial	9,7
6	No se consideran condiciones en el entorno	8,9
7	No reconocen elemento móvil	6,5
8	Evaluación de riesgos no se hace a tareas anexas	4,0
9	No se reconoce operación anormal	3,2
10	Operar sin instrucción	2,4
11	No se reconocen todos los riesgos	0,8

Tabla B.8: Clasificación sub causas HF01 Complacencia/Motivación/Actitud

Error		Frecuencia [%]
1	Exceso de confianza	38,9
2	Actividad rutinaria, se asumen riesgos controlados	26,4
3	Se toleran condiciones anormales o de riesgo	15,3
4	Actividad menor, se asumen riesgos controlados	12,5
5	Mala acción se torna rutinaria	6,9

B.4. Validación

B.4.1. Encuesta para la realización de PLS-SEM

En la siguiente página se tiene la encuesta aplicada en terreno para la validación del modelo de causalidad planteado, esto mediante el uso de la herramienta PLS-SEM.

Encuesta sobre la Percepción del Empleado en Temas de Seguridad

Con motivo de mejorar la seguridad en nuestras operaciones, consideramos que es necesario recoger la opinión de nuestros empleados y colaboradores en diversos temas que contribuyen a la generación de un ambiente seguro, por lo que su respuesta es muy valiosa para nosotros.

Su respuesta es de carácter anónimo, por lo que siéntase libre de responder.

Por favor complete la encuesta marcando con una **X** en el cuadro de su preferencia de cada aseveración.

Tipo de empleado	BHP	<input type="checkbox"/>	Experiencia en Faenas similares	Menos de 2 años	<input type="checkbox"/>
	Contratista	<input type="checkbox"/>		De 2 a 5 años	<input type="checkbox"/>
				Más de 5 años	<input type="checkbox"/>

Condiciones de la Tarea		Muy de acuerdo	De acuerdo	Indiferente	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1	Considero que la seguridad es igual o más importante que la productividad					
2	Generalmente tolero que existan situaciones de riesgo en mi entorno					
3	Las capacitaciones son las adecuadas para reconocer el peligro en mi entorno de trabajo					
4	Tengo conocimiento sobre los riesgos presentes en mi entorno de trabajo					
5	Cuando no existen condiciones de peligro es posible evitar pasos del procedimiento					
6	Los accidentes son producto del azar					
7	En ocasiones la supervisión considera que pueden evitarse pasos del procedimiento					
8	La supervisión recibe de buena forma el reporte de riesgos presentes en el entorno					
9	Se actualizan los procedimientos cuando existe algún cambio en la tarea					
10	Se toma en cuenta mi opinión para mejorar los procedimientos					
11	Habitualmente debo realizar las tareas a una velocidad más alta que la adecuada					
12	Prefiero terminar la tarea en un tiempo menor al planificado					
13	Generalmente dispongo de las herramientas adecuadas para la tarea					
14	Habitualmente los equipos se encuentran en buen estado operacional					
15	A veces es necesario tomar riesgos para terminar la tarea					
16	Creo que los procedimientos no son necesarios					
17	Sé cómo actuar cuando estoy expuesto a un riesgo					
18	Existen protocolos a seguir cuando estoy expuesto a un riesgo					

Figura B.7: Encuesta sobre la Percepción del Empleado en Temas de Seguridad, página 1

Conducta		Muy de acuerdo	De acuerdo	Indiferente	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1	Durante los último 3 meses he trabajado teniendo conductas seguras					
2	Me siento en un entorno de trabajo seguro					

Accidentabilidad		Si	No
1	He estado expuesto a condiciones inseguras en mi entorno de trabajo durante el último año		
2	He estado cercano a un accidente en mi entorno de trabajo durante el último año		
3	He sufrido algún accidente laboral durante el último año		

Si tiene algún comentario con respecto a los temas mencionados, o sobre las causas de los accidentes en el trabajo, por favor escríbalo a continuación:

Figura B.8: Encuesta sobre la Percepción del Empleado en Temas de Seguridad, página 2

Tabla B.9: Resultados de la Encuesta de Percepción sobre Seguridad

Pregunta	Promedio	Desviación Estándar
1	4,18	1,35
2	4,04	1,22
3	4,02	1,13
4	4,71	0,74
5	4,13	1,13
6	4,59	0,73
7	3,70	1,26
8	4,06	0,96
9	4,02	0,91
10	4,04	0,99
11	3,07	1,31
12	3,30	1,14
13	3,78	1,12
14	3,55	1,15
15	4,36	0,95
16	4,56	0,90
17	4,42	0,86
18	4,54	0,64
19	4,46	1,10
20	4,18	0,89
21	3,58	1,92
22	4,24	1,58
23	4,82	0,84

B.4.2. PLS-SEM

Tabla B.10: Factores Latentes y Variables Indicadoras para PLS-SEM

Factor Latente	Variable Indicadora
Complacencia/Motivación/Actitud	Considero que la seguridad es igual o más importante que la productividad
	Generalmente tolero que existan situaciones de riesgo en mi entorno
Competencias/Habilidades para el trabajo	Las capacitaciones son las adecuadas para reconocer el peligro en mi entorno de trabajo
	Tengo conocimiento sobre los riesgos presentes en mi entorno de trabajo
Percepción/Reconocimiento del Peligro	Cuando no existen condiciones de peligro es posible evitar pasos del procedimiento
	Los accidentes son producto del azar
Supervisión	En ocasiones la supervisión considera que pueden evitarse pasos del procedimiento
	La supervisión recibe de buena forma el reporte de riesgos presentes en el entorno
Manejo del Cambio	Se actualizan los procedimientos cuando existe algún cambio en la tarea
	Se toma en cuenta mi opinión para mejorar los procedimientos
Rapidez Operacional	Habitualmente debo realizar las tareas a una velocidad más alta que la adecuada
	Prefiero terminar la tarea en un tiempo menor al planificado
Uso de Equipos/Herramientas	Generalmente dispongo de las herramientas adecuadas para la tarea
	Habitualmente los equipos se encuentran en buen estado operacional
Mala Conducta	A veces es necesario tomar riesgos para terminar la tarea
	Creo que los procedimientos no son necesarios
Manejo del Riesgo	Sé cómo actuar cuando estoy expuesto a un riesgo
	Existen protocolos a seguir cuando estoy expuesto a un riesgo
Accidentabilidad	Durante los último 3 meses he trabajado teniendo conductas seguras
	Me siento en un entorno de trabajo seguro
	He estado expuesto a condiciones inseguras en mi entorno de trabajo durante el último año
	He estado cercano a un accidente en mi entorno de trabajo durante el último año
	He sufrido algún accidente laboral durante el último año

Para la lectura de la siguiente sección es necesario el uso de la tabla mostrada a continuación.

Tabla B.11: Codificación de los Factores Latentes para resultados PLS-SEM

Factor Latente	Código
Accidentabilidad	1
Competencias/Habilidades para el Trabajo	2
Complacencia/Motivación/Actitud	3
Mala Conducta	4
Manejo del Cambio	5
Manejo del Riesgo	6
Percepción/Reconocimiento del Peligro	7
Rapidez Operacional	8
Supervisión	9
Uso de Equipos/Herramientas	10

B.4.3. Iteración 1

Tabla B.12: Factores de Carga para las Variables Indicadoras Iteración 1

Factor Latente	Variable Indicadora	Carga Factorial
Accidentabilidad	accidentabilidad ₁	0,705
	accidentabilidad ₂	0,651
	accidentabilidad ₃	0,650
	accidentabilidad ₄	0,100
	accidentabilidad ₅	0,840
Competencias/Habilidades para el Trabajo	competencias ₁	0,821
	competencias ₂	0,679
Complacencia/Motivación/Actitud	complacencia ₁	-0,305
	complacencia ₂	0,994
Mala Conducta	malaconducta ₁	0,968
	malaconducta ₂	0,355
Manejo del Cambio	cambio ₁	0,738
	cambio ₂	0,857
Manejo del Riesgo	manejoriesgo ₁	0,859
	manejoriesgo ₂	0,916
Percepción/Reconocimiento del Peligro	percepcion ₁	0,877
	percepcion ₂	0,815
Rapidez Operacional	rapidez ₁	0,900
	rapidez ₂	0,751
Supervisión	supervision ₁	0,979
	supervision ₂	0,523
Uso de Equipos/Herramientas	herramientas ₁	0,866
	herramientas ₂	0,797

Tabla B.13: Validez Convergente, Confiabilidad Compuesta y R^2 Iteración 1

Factor Latente	AVE	Confiabilidad Compuesta	R^2
Accidentabilidad	0,412	0,747	0,263
Competencias/Habilidades para el Trabajo	0,568	0,723	0,000
Complacencia/Motivación/Actitud	0,540	0,341	0,000
Mala Conducta	0,532	0,651	0,163
Manejo del Cambio	0,639	0,779	0,000
Manejo del Riesgo	0,788	0,882	0,283
Percepción/Reconocimiento del Peligro	0,717	0,835	0,267
Rapidez Operacional	0,688	0,814	0,090
Supervisión	0,616	0,746	0,000
Uso de Equipos/Herramientas	0,693	0,818	0,258

Tabla B.14: Validez Discriminante Iteración 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,642									
2	0,366	0,754								
3	0,115	-0,026	0,735							
4	0,113	-0,023	0,372	0,729						
5	0,327	0,378	0,040	0,018	0,799					
6	0,150	0,393	0,156	0,222	0,365	0,888				
7	-0,065	0,080	0,477	0,315	0,156	0,389	0,846			
8	0,365	-0,007	0,279	0,300	0,228	0,083	0,037	0,829		
9	0,519	0,345	0,233	0,234	0,394	0,276	0,293	0,296	0,785	
10	0,392	0,436	0,240	0,156	0,339	0,249	0,216	0,107	0,435	0,832

Tabla B.15: Coeficientes de Ruta entre Factores Latentes Iteración 1

	1	4	6	7	8	10
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0,365	0	0	0,435
3	0	0,287	0	0,437	0,338	0,214
4	-0,055	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0,075	0	0
6	0,047	0	0	0	0	0
7	0	0,178	0,360	0	-0,125	0,079
8	0,340	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0,161	0	0
10	0,353	0	0	0	0	0

B.4.4. Iteración 2

Tabla B.16: Factores de Carga para las Variables Indicadoras Iteración 2

Factor Latente	Variable Indicadora	Carga Factorial
Accidentabilidad	accidentabilidad ₁	0,710
	accidentabilidad ₂	0,679
	accidentabilidad ₃	0,662
	accidentabilidad ₅	0,825
Competencias/Habilidades para el Trabajo	competencias ₁	0,730
	competencias ₂	0,741
Complacencia/Motivación/Actitud	complacencia ₂	1,000
Mala Conducta	malaconducta ₁	1,000
Manejo del Cambio	cambio ₁	0,727
	cambio ₂	0,863
Manejo del Riesgo	manejoriesgo ₁	0,853
	manejoriesgo ₂	0,916
Percepción/Reconocimiento del Peligro	percepcion ₁	0,882
	percepcion ₂	0,812
Rapidez Operacional	rapidez ₁	0,906
	rapidez ₂	0,748
Supervisión	supervision ₁	0,899
	supervision ₂	0,720
Uso de Equipos/Herramientas	herramientas ₁	0,874
	herramientas ₂	0,799

Tabla B.17: Validez Convergente, Confiabilidad Compuesta y R^2 Iteración 2

Factor Latente	AVE	Confiabilidad Compuesta	R^2
Accidentabilidad	0,521	0,812	0,250
Competencias	0,540	0,701	0,000
Complacencia/Motivación/Actitud	1,000	1,000	0,000
Mala Conducta	1,000	1,000	0,148
Manejo del Cambio	0,638	0,778	0,000
Manejo del Riesgo	0,783	0,878	0,265
Percepción/Reconocimiento del Peligro	0,718	0,836	0,278
Rapidez Operacional	0,687	0,812	0,094
Supervisión	0,615	0,745	0,000
Uso de Equipos/Herramientas	0,701	0,824	0,282

Tabla B.18: Validez Discriminante Iteración 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,722									
2	0,327	0,735								
3	0,094	-0,023	1,000							
4	0,140	0,019	0,367	1,000						
5	0,320	0,371	0,059	0,020	0,799					
6	0,120	0,375	0,150	0,205	0,357	0,885				
7	-0,075	0,058	0,493	0,281	0,159	0,374	0,847			
8	0,364	-0,0200	0,288	0,316	0,238	0,092	0,053	0,829		
9	0,516	0,318	0,213	0,212	0,378	0,237	0,273	0,270	784	
10	0,373	0,467	0,239	0,169	0,334	0,235	0,193	0,089	0,420	0,837

Tabla B.19: Coeficientes de Ruta entre Factores Latentes Iteración 2

	1	4	6	7	8	10
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0,355	0	0	0,468
3	0	0,302	0	0,458	0,346	0,221
4	-0,029	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0,077	0	0
6	0,014	0	0	0	0	0
7	0	0,131	0,353	0	-0,118	0,057
8	0,341	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0,147	0	0
10	0,344	0	0	0	0	0

B.4.5. Iteración 3

Tabla B.20: Factores de Carga para las Variables Indicadoras Iteración 3

Factor Latente	Variable Indicadora	Carga Factorial
Accidentabilidad	accidentabilidad ₁	0,711
	accidentabilidad ₂	0,678
	accidentabilidad ₃	0,662
	accidentabilidad ₅	0,824
Competencias/Habilidades para el Trabajo	competencias ₁	0,770
	competencias ₂	0,698
Complacencia/Motivación/Actitud	complacencia ₂	1,000
Mala Conducta	malaconducta ₁	1,000
Manejo del Cambio	cambio ₁	0,738
	cambio ₂	0,862
Manejo del Riesgo	manejoriesgo ₁	0,855
	manejoriesgo ₂	0,914
Percepción/Reconocimiento del Peligro	percepcion ₁	0,885
	percepcion ₂	0,808
Rapidez Operacional	rapidez ₁	0,917
	rapidez ₂	0,730
Supervisión	supervision ₁	0,982
	supervision ₂	0,517
Uso de Equipos/Herramientas	herramientas ₁	0,873
	herramientas ₂	0,801

Tabla B.21: Validez Convergente, Confiabilidad Compuesta y R^2 Iteración 3

Factor Latente	AVE	Confiabilidad Compuesta	R^2
Accidentabilidad	0,521	0,812	0,251
Competencias	0,540	0,701	0,000
Complacencia/Motivación/Actitud	1,000	1,000	0,000
Mala Conducta	1,000	1,000	0,148
Manejo del Cambio	0,638	0,777	0,000
Manejo del Riesgo	0,783	0,878	0,266
Percepción/Reconocimiento del Peligro	0,718	0,836	0,271
Rapidez Operacional	0,684	0,810	0,149
Supervisión	0,666	0,799	0,000
Uso de Equipos/Herramientas	0,701	0,824	0,348

Tabla B.22: Validez Discriminante Iteración 3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,722									
2	0,327	0,735								
3	0,095	-0,023	1,000							
4	0,140	0,019	0,367	1,000						
5	0,321	0,371	0,059	0,020	0,798					
6	0,120	0,375	0,150	0,205	0,357	0,885				
7	-0,075	0,059	0,491	0,280	0,160	0,376	0,848			
8	0,367	-0,016	0,288	0,313	0,242	0,093	0,051	0,827		
9	0,550	0,361	0,167	0,182	0,423	0,273	0,235	0,258	0,816	
10	0,372	0,467	0,239	0,169	0,335	0,235	0,193	0,091	0,451	0,837

Tabla B.23: Coeficientes de Ruta entre Factores Latentes Iteración 3

	1	4	6	7	8	10
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0,354	0	0	0,369
3	0	0,303	0	0,466	0,330	0,196
4	-0,029	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0,080	0	0
6	0,013	0	0	0	0	0
7	0	0,131	0,355	0	-0,168	0,008
8	0,343	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0,124	0,243	0,283
10	0,343	0	0	0	0	0

Anexo C

Guía del Análisis del Error Humano en la Tarea

Tabla C.1: Tipos de Error, Frases Guía

Tipo	Subtipo
Acciones	Acción muy larga/muy corta
	Acción a destiempo
	Acción hacia la dirección incorrecta
	Acción hecha de forma muy rápida/muy lenta
	Acción realizada en exceso/falencia
	Correcta acción en objeto incorrecto
	Incorrecta acción en objeto correcto
	Acción omitida
	Acción incompleta
	Acción realizada en forma temprana/tardía
Chequeo	Chequeo omitido
	Chequeo incompleto
	Correcto chequeo en objeto incorrecto
	Incorrecto chequeo en objeto correcto
	Chequeo realizado en forma temprana/tardía
Recuperación de información	Información no obtenida
	Información incorrecta obtenida
	Información recuperada en forma parcial
	Información incorrectamente interpretada
Comunicación de la información	Información no comunicada
	Información incorrecta comunicada
	Comunicación incompleta
	Comunicación poco clara

Tabla C.2: Clasificación del Error Humano

Tipo	Descripción
Descuido	Corresponde a la pérdida de atención producto de que la persona se enfoca en otro elemento
Lapsus	Error cometido por un problema en la memoria
Equivocación	Error debido a una planificación incorrecta en términos de como se va a ejecutar la acción
Violación	Es la acción que atenta de forma deliberada el objetivo planteado en la tarea

Tabla C.3: Riesgos Estandarizados

Tipo
Caída de persona desde altura
Impacto persona con equipo móvil / vehículo liviano
Contacto con energía eléctrica/arco eléctrico
Accidente en maniobra de izaje
Accidente en ruta
Choque, colisión y volcamiento en mina, pila, botadero y stock
Caída de objetos
Atrapamiento/Aplastamiento
Accidente a personas por falla de terreno
Liberación descontrolada de energía

Tabla C.4: Nivel de Severidad (Seguridad)

Nivel de Severidad	Descripción
5	2-20 muertes. Discapacidad permanente de $\geq 30\%$ del cuerpo en más de 10 personas
4	Una muerte. Discapacidad permanente de $\geq 30\%$ del cuerpo en más de una o más personas
3	Discapacidad permanente de $< 30\%$ del cuerpo en más de una o más personas. Restricción o pérdida de días por motivo de lesión o enfermedad
2	Discapacidad objetiva pero reversible. Tratamiento médico por lesión o enfermedad
1	Síntomas o inconvenientes subjetivos de bajo nivel y a corto plazo. Sin tratamiento médico