

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**APLICACIÓN DE METODOLOGÍA DE CONFIABILIDAD HUMANA A
ACTIVIDADES CRÍTICAS DE EMPRESA FLUOR-SALFA EN PROYECTO
DESARROLLO MINERA NUEVA CENTINELA**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL.

Alumno:

Gabriel Andrés Soto Alegría

Profesor Guía:

Mg. Ing. Carlos Baldi González

2025

RESUMEN

KEYWORDS: ACTIVIDAD CRITICA, CONFIABILIDAD HUMANA, METODOLOGIAS HRA.

Los análisis de base científica, basados en la confiabilidad humana, buscan constantemente comprobar y predecir el comportamiento de las personas frente a un esquema organizacional estructurado. Se diseñan procedimientos, se transmite información y se reduce el riesgo para que las personas trabajen dentro de lo esperado por su empleador, pero al parecer existen barreras, únicas para cada individuo, que provocan desviaciones importantes para el proceso que se desea completar.

Este trabajo aplica diversas técnicas de análisis de confiabilidad humana (HRA) para abordar las desviaciones detectadas en actividades críticas de construcción y montaje en el proyecto DMC de Minera Centinela, liderado por FLUOR-SALFA. A pesar de las extensas horas de capacitación, online y presencial, se identificaron brechas significativas entre las expectativas empresariales y la preparación cognitiva del personal, impulsadas por nulos filtros de selección y la muy baja retención de información clave para el correcto comportamiento en terreno.

Se emplearon cuatro metodologías principales: el análisis jerárquico de tareas (HTA), la técnica de predicción de errores humanos (THERP), la evaluación y reducción del error humano (HEART) y el análisis de confiabilidad cognitiva (CREAM), con el objetivo de jerarquizar y calcular la probabilidad de fracaso en la actividad más crítica: el traslado, instalación y fijación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica. El análisis reveló una probabilidad inicial de fracaso del 96,14%, atribuida a factores como distracción, exceso de confianza y fallas en la percepción del peligro.

Las propuestas de mejora incluyen la modificación de procedimientos, campañas preventivas, la implementación de roles específicos según la teoría de Belbin, y la creación de un departamento de confiabilidad humana. Estas medidas lograron reducir la probabilidad de error a un 13,51%, proponiendo un cambio en el paradigma de la faena hacia la creación de indicadores de índole humano que ayuden a la alta gerencia a tomar decisiones de producción trascendentes. Este estudio resalta la importancia de integrar un enfoque científico en la construcción y montaje industrial, con miras a mejorar la seguridad, la eficiencia y el desempeño del personal.

ÍNDICE

RESUMEN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

INDICE DE GRAFICOS

SIGLAS

INTRODUCCIÓN

OBJETIVO GENERAL	1
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	1
CAPÍTULO 1: CONTEXTO OPERACIONAL Y LA CULTURA EN TERRENO.	2
1. CONTEXTO OPERACIONAL.	4
1.1. ANTECEDENTES DE LAS EMPRESAS.	4
1.1.1. Compañía minera Centinela.	4
1.1.1.1. Visión	4
1.1.1.2. Misión	5
1.1.2. FLUOR-SALFA	5
1.1.2.1. Estructura de la organización	6
1.1.2.2. Equipo de trabajo en terreno	7
1.1.2.3. Estado actual de procedimientos y capacitaciones	8
1.1.2.4. Cultura y competencia de los trabajadores	9
1.2. CONFIABILIDAD HUMANA: TÉCNICAS Y METODOLOGÍAS.	10
1.2.1. Análisis de la confiabilidad humana.	11
1.2.2. Técnicas y metodologías HRA	13
CAPÍTULO 2: APLICACIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA AL PROCESO	20
2. APLICACIÓN DE CONFIABILIDAD HUMANA AL PROCESO	22
2.1. JUSTIFICACION DEL ANALISIS DE CONFIABILIDAD HUAMANA	22
2.1.1. CONTEXTO DE LAS ACTIVIDADES CRITICAS	22
2.1.2. RIESGO EN LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS	25
2.1.3. RIESGO ECONOMICO	25
2.2. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACION Y ANTECEDENTES.	26
2.2.1. PERCEPCIÓN PERSONAL DEL CONTEXTO	26
2.2.2. ENTREVISTAS AL PERSONAL	27
2.2.3. ENTREVISTA A EXPERTOS	29

2.2.4	INFORMACIÓN DE PROGRAMA DE SEGURIDAD CONDUCTUAL EN TERRENO	30
2.3.	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.	32
2.3.1.	PRINCIPALES DESAFÍOS PARA EL PERSONAL	32
2.3.2.	OPORTUNIDADES DE MEJORA	35
2.3.3.	PRINCIPALES CONCLUSIONES	36
2.3.4.	JERARQUIZACIÓN DE ACTIVIDADES CRÍTICAS	36
2.5.	PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS	40
2.5.1.	ANÁLISIS JERÁRQUICO DE LAS TAREAS CRÍTICAS	41
2.5.2.	PROBABILIDAD DEL ERROR HUMANO (HEPs) y FACTORES QUE MODIFICAN EL RENDIMIENTO (PSFs)	43
2.5.5.	APLICACIÓN DE CREAM AL ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD HUMANA	49
	CAPÍTULO 3: PROPUESTAS DE MEJORA Y PLAN DE ACCIÓN	52
3.	REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE ERROR HUMANO	53
3.2	PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE LA PROBABILIDAD DE ERROR ACTUAL	53
3.1	PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO DE LA TAREA CRÍTICA	54
3.1.1	RELACIÓN ENTRE FACTORES CONDICIONANTES DEL ERROR Y ACTITUD DE LOS TRABAJADORES	54
3.1.2	PRINCIPALES OPORTUNIDADES DE MEJORA RESPALDADAS POR APLICACIÓN DE HRA	55
3.2	PROPUESTAS DE MEJORA	57
3.2.1	MEJORAS A CORTO PLAZO	57
3.2.2	MEJORAS A MEDIANO Y LARGO PLAZO	58
3.3	PLANES DE ACCIÓN	58
3.3.1	ACTUALIZACIÓN DE PROCEDIMIENTO	58
3.3.2	CAMPAÑAS CONTRA LAS CONDUCTAS PRECURSORAS DEL RIESGO	59
3.3.3.	PROGRAMA DE MEJORA COGNITIVA	61
3.3.3.1	Creación de roles de trabajadores – Teoría de Balbin	63
3.3.4	DEPARTAMENTO DE CONFIABILIDAD HUMANA	67
3.4	reducción del error humano en la actividad crítica	68
	CONCLUSIÓN	70
	BIBLIOGRAFÍA.	73
	ANEXOS	75

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1: Visión corporativa minera centinela**
- Figura 1-2: Organigrama de cargos de terreno.**
- Figura 1-3: Charla integral**
- Figura 1-4: Diagrama de confiabilidad en sistemas hombre-maquina**
- Figura 1-5: Diagrama lógico del error humano**
- Figura 2-1: Trabajadores instalando moldaje y enfierradura en altura**
- Figura 2-2: Maquinaria pesada realizando excavaciones y descarga de materiales**
- Figura 2-3: Grúas hidráulicas a la espera de un movimiento de izaje**
- Figura 2-4: Resumen porcentual de principales respuestas de entrevista a trabajadores**
- Figura 2-5: Informe ejecutivo semanal de la semana del 17 al 23 de noviembre del programa SBC**
- Figura 2-6: Niveles de riesgo y el puntaje asociado según aplique.**
- Figura 2-7: Puntaje asociado al riesgo según criterios de higiene, seguridad y ambiente de la actividad**
- Figura 2-8: Puntaje asociado al riesgo según criterio de que tan periódico ocurre un desviación o hallazgo**
- Figura 2-9: Puntaje asociado al riesgo según criterios de que tanto afecta la actividad a la producción**
- Figura 2-10: Puntaje asociado al riesgo según criterios de higiene, seguridad y ambiente.**
- Figura 2-11: Resumen grafico del mantenimiento centrado en confiabilidad humana**
- Figura 2-12: Diagrama que muestra la metodología adoptada para realizar el análisis de confiabilidad humana.**
- Figura 2-13: Diagrama de descomposición de la tarea critica con técnica HTA**
- Figura 3-1: Afiche de campaña en conjunto con programa SBC contra la distracción en actividades criticas**
- Figura 3-2: Afiche de campaña en conjunto con programa SBC contra el exceso de confianza en actividades criticas**
- Figura 3-3: Aporte personal en charla integral sobre errores de omisión y comisión en las actividades de terreno**
- Figura 3-4: Diagrama con paso a paso para formación del equipo para actividades criticas**

Figura 3-5: Principales dimensiones que definen el concepto de rol

Figura 3-6: Cuadro de autoevaluación para definición del rol

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Valores aproximado en HH de accidentes graves.

Tabla 2-2: Cuadro comparativo entre opiniones de expertos de terreno y prevención.

Tabla 2-3: Matriz de criticidad de principales actividades críticas del proceso de construcción

Tabla 2-4: Posibles errores humanos asociados a las tareas secuenciales del HTA

Tabla 2-5: Calculo del HEP usando técnica THERP

Tabla 2-6: Tipos de GTT y sus HEP asociados

Tabla 2-7: EPCs y el factor multiplicativo máximo asociado

Tabla 2-8: Calculo de la probabilidad de fracaso de la actividad critica con el uso de HEART

Tabla 3-1: HH del proyecto invertidas en el porcentaje de avance actual

Tabla 3-2: EPC seleccionados en el cálculo del HEP de la actividad critica

Tabla 3-3: Propuestas a corto plazo correspondientes al entorno del trabajador y a las conductas del trabajador

Tabla 3-3: Propuestas a corto plazo correspondientes al entorno del trabajador y a las conductas del trabajador

Tabla 3-4: Características ideales que debe tener un aspirante al equipo para actividades criticas

Tabla 3-5: GTTs anterior y los nuevos seleccionados para la actividad critica

Tabla 3-6: Nuevo cálculo de la probabilidad de fracaso utilizando HEART con el GTTs asignado después de mejoras

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 2-1: Grafico de torta con principales precursores del riesgo observados en la semana del 17 al 23 de noviembre

Gráfico 2-2: Grafico de torta con principales precursores del riesgo observados históricos

Gráfico 3-1: Grafico de torta de probabilidad de fracaso v/s probabilidad de éxito

Gráfico 3-2: Grafico de torta de probabilidad de fracaso v/s probabilidad de éxito

SIGLAS

AC:	Actividad Critica
AMSA:	Antofagasta Minerals Sociedad Anónima
ART:	Análisis del Riesgo del Trabajo
CPC:	Common Performance Conditions
CREAM:	Cognitive Reliability and Error Analysis Method
DMC:	Desarrollo Minera Centinela
EPC:	Error Producing Conditions
EPP:	Elemento de Protección Personal
GTT:	Generic Type Task
HEART:	Human Error Assessment and Reduction Technique
HEP:	Human Error Probability
HH:	Hora Hombre
HRA:	Human Reliability Analysis.
HSE:	Health, Security and Environment
HTA:	Hierarchical Task Analysis
PNEH:	Probabilidad Nominal del Error Humano
PSF:	Performance Shaping Factors
SBC:	Seguridad Basada en la Conducta
THERP:	Technique for Human Error Rate Prediction

INTRODUCCIÓN

La confiabilidad humana se refiere a la capacidad y probabilidad de las personas para realizar cualquier tarea esperada de manera confiable. Se entiende que cada actividad comprende un nivel de dificultad, un riesgo, una periodicidad e incluso imposibilidad para un grupo de individuos. Por eso, evaluar un entorno, predecir los errores humanos y atacarlos antes de que estos sucedan es de mucho de interés para todo proceso, industrial o no, que busque trabajar dentro de altos rangos de éxito, sobre todo cuando las actividades son “críticas”, en un sentido productivo, monetario o de seguridad.

El contexto operacional de este escrito recae en el montaje civil y electromecánico de la nueva planta concentradora de minera centinela, que contempla una inversión de 4600 millones de dólares y actualmente se encuentra en sus primeras fases de construcción. Dentro del proyecto existen una gran cantidad de actividades críticas, en las cuales se necesita una gran probabilidad de éxito producto del riesgo que éstas conllevan. Es ahí donde la confiabilidad humana es de suma importancia, ya que, se han detectado graves falencias respecto a las capacidades del personal para retener información vital que evitan desviaciones y situaciones subestándar que ponen en riesgo el proceso productivo y la vida de los trabajadores.

Será el enfoque central de este trabajo el recopilar toda la información cualitativa y cuantitativa posible del contexto operativo para, a través de la aplicación de múltiples técnicas y metodologías avaladas por la literatura, reducir la probabilidad de error humano en una tarea que sea escogida como la más crítica, considerando como principal desafío proponer mejoras realistas que aporten al aumento en la confiabilidad humana del proyecto Desarrollo Minera Centinela.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad de la implementación de la metodologías de confiabilidad humana en las actividades críticas de la construcción y montaje del proyecto DMC de Antofagasta Minerals, mediante la obtención de datos cuantitativos y cualitativos recopilados en terreno, proponiendo distintas oportunidades de mejoras a las tareas del procesos y la capacitación del personal.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el contexto operacional de la construcción del proyecto DMC de Antofagasta Minerals, mediante la evaluación del estado actual de procedimientos, capacitaciones y comportamientos en terreno, determinando las oportunidades de mejoras en la confiabilidad humana.
- Aplicar técnicas y metodologías de análisis en la confiabilidad humana y jerarquizar la actividad más crítica del proceso constructivo del proyecto DMC, identificando la probabilidad total de error humano.
- Proponer planes de acción, evaluando pérdidas económicas y mejoras en la cognición humana, para la disminución de la probabilidad total del error humano en la actividad más crítica del proyecto DMC, generando mejoras substanciales y tangibles a través del tiempo.

CAPÍTULO 1: CONTEXTO OPERACIONAL Y LA CULTURA EN TERRENO.

1. CONTEXTO OPERACIONAL.

1.1. ANTECEDENTES DE LAS EMPRESAS.

Antofagasta Minerals pertenece al Grupo Antofagasta PLC y es uno de los diez mayores productores de cobre del mundo, con más de 660.600 toneladas producidas en el año 2023, actualmente son una compañía minera internacional con base en Chile. Dentro del grupo existen cuatro divisiones; Zaldívar, Antucoya, Los pelambres y Centinela.

1.1.1. Compañía minera Centinela.

La compañía minera Centinela basa sus operaciones en los rajes Esperanza y El tesoro al interior de la región de Antofagasta, aproximadamente 50 kilómetros al suroeste de la ciudad de Calama. El proyecto de desarrollo minera nueva centinela (DMC) es la inversión minera más grande en los últimos 5 años en Chile, llegando a la suma de 4600 millones de dólares americanos. Las nuevas instalaciones consisten en una planta concentradora, que contempla desde el chancado secundario del material, hasta el transporte de concentrado de cobre y molibdeno, otorgando la oportunidad del procesamiento de minerales sulfurados de cobres propios de la expansión subterránea de los rajes.

El megaproyecto tiene un horizonte de duración de un mínimo de 32 meses y su peak de contratación será de 13.000 personas, donde su montaje estará a cargo de la empresa contratista FLUOR-SALFA.

1.1.1.1. Visión

La visión del grupo Antofagasta Minerals, y por ende de la minera Centinela es, ser una compañía minera internacional con base en Chile, centrada en el cobre y sus subproductos, que destaca por su eficiencia operacional, creación de valor sostenible y como un socio preferido en la industria minera global.



Fuente: <https://web.mineracentinela.cl/nosotros/que-hacemos/nuestra-estrategia>

Figura 1-1: Visión corporativa minera centinela

1.1.1.2. Misión

La misión principal en la cual se basa toda la organización es desarrollar minería para un futuro mejor. Esto significa que en Antofagasta Minerals les interesa seguir impulsando la minería no sólo porque es un trabajo, sino porque están convencidos de que su actividad es un aporte a las comunidades que los rodean, a nuestro país y al mundo. El cobre es indispensable para la sociedad moderna y para enfrentar el cambio climático, ningún otro metal es tan importante para poder controlar las emisiones de gases de efecto invernadero y, de esta forma, contener los impactos negativos que los seres humanos estamos generando sobre nuestro planeta.

1.1.2. FLUOR-SALFA

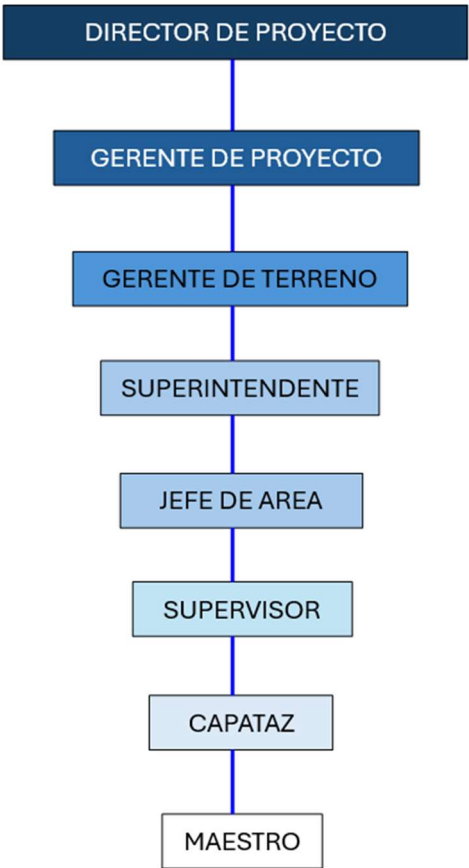
FLUOR-SALFA es un consorcio entre la empresa americana de ingeniería FLUOR y la constructora SALFAMONTAJES, y serán los encargados de llevar a cabo el proyecto DMC en su fase civil y montaje electromecánico como contratista de AMSA (Antofagasta Minerals Sociedad Anónima).

El presente trabajo se centrará en las actividades de construcción que se llevan a cabo en la actualidad por FLUOR-SALFA, donde hay constantes focos de trabajos de alto riesgo humano propios del rubro. Los turnos son de 14 x 14, por lo cual existen factores psicosociales y una cultura particular faenera que prima de manera transversal, tanto en las labores productivas, como en la cotidianidad de la vida en campamento. Producto de esto, es que se explorará de manera más profunda el contexto de la compañía, los equipos

de trabajos, las capacitaciones y, por su puesto, el origen de las necesidades de mejora a través de la confiabilidad humana.

1.1.2.1. Estructura de la organización

La fase de construcción del proyecto DMC comenzó en diciembre del año 2023 y su organigrama ha ido cambiando constantemente con la llegada constante de jefatura y la apertura de nuevas áreas de trabajo. Evidentemente se centrarán todos los esfuerzos para detectar y mejorar el error humano en las labores de producción, razón por la cual, para efectos de este escrito, el entorno y análisis que se plasmará será netamente del personal de terreno, obviando los departamentos, por ejemplo, de ingeniería, oficina técnica, calidad, HSE, etc.... Considerando esto, el actual organigrama de la empresa se puede ver representado de la siguiente forma:



Fuente: Elaboración propia en base a organigrama terreno

Figura 1-2: Organigrama de cargos de terreno.

Como se puede apreciar en la **figura 1-2**, la distribución del personal de terreno es bastante estructurada, con una marcada linea de mando, al existir un estricto conducto

regular se condiciona la manera en que los equipos de trabajos se forman y comportan en las distintas tareas rutinarias.

Los supervisores, capataces y maestros forman las cuadrillas que ejecutan los trabajos en terreno, son las personas que están en contacto directo con los riesgos de las actividades críticas. La jefatura directa que convive con las cuadrillas de terreno es, por lo general, la jefatura de área y superintendencia, los cuales son los dueños de los controles del riesgo asociados a las actividades críticas, por lo tanto, el rango de personal que trabaja directamente en el ambiente de interés para aplicar mejoras en la confiabilidad humana es, desde los maestros hasta los superintendentes y sus juicios cualitativos serán de amplio interés para disminuir el error humano.

1.1.2.2. Equipo de trabajo en terreno

En faena, es el supervisor que se encarga de formar su equipo de trabajo, se preocupa de recolectar los datos y sugerirlos a la jefatura de área para enviarlos a contratación. Gracias a esta práctica común, se forman equipos de trabajos que trascienden distintos proyectos, con una formación sólida y conocimiento práctico comprobado, generando un constante sentido de pertenencia y respeto.

Se puede afirmar con seguridad que los aspectos positivos actuales de los equipos de trabajo de FLUOR-SALFA que participan del proyecto DMC son:

- Interdependencia entre miembros
- Aporte transversal de todos los integrantes, independiente de su experiencia y cargo
- Se alienta al crecimiento personal y especialización
- Se coopera constantemente para cumplir una meta productiva propuesta por el supervisor y su jefatura

No obstante, existen puntos donde se requiere una mejora substancial para evitar errores de índole humano, ya que, la forma en la que se contrata a las personas en este particular contexto es solamente en base a su experiencia laboral o por referencia de alguna persona ya al interior del proceso. Esto es propio de la cultura faenera y el trabajo por turnos, siendo estos los puntos que principalmente le juegan en contra a la compañía:

- A pesar de ser un proceso constructivo complejo, no se pide ningún tipo de estudio para entrar al proyecto.
- Los trabajadores carecen de habilidades blandas para soportar adversidades y generar una comunicación efectiva con sus pares.
- Se subestima en demasía la información de procedimientos, protocolos, detalles técnicos y comunicados corporativos.
- Hay un constante sentido de complacencia cuando el trabajo va según lo planificado y no existen desviaciones en la seguridad.
- Los trabajadores, por lo general, carecen de habilidades duras para enfrentar las herramientas corporativas y contractuales que deben conocer o cumplir.
- No existe entrevista, requisitos psicológicos o roles definidos que los equipos de trabajo deban cumplir antes de entrar a producción.



Fuente: Elaboración propia, foto de charla integral el día 26/08/2024

Figura 1-3: Charla integral

1.1.2.3. Estado actual de procedimientos y capacitaciones

Para que un trabajador este acreditado a ingresar a las instalaciones de minera Centinela, debe pasar por una capacitación de 12 horas online y la realización de 19 cursos en modalidad E-Learning (módulos online), de una duración aproximada de 30 horas cronológicas, todos estos correspondientes a información corporativa de AMSA.

Al integrarse a terreno, por parte de FLUOR-SALFA existe la obligación de leer alrededor de 30 procedimientos, y sus respectivas pruebas de toma de conocimientos, antes de poder realizar cualquier labor. Se da una jornada de 12 horas para que estos puedan interiorizarse, a la conciencia de cada individuo, con los contenidos de todos los

procedimientos que la jefatura de área encuentre necesarios. Las pruebas de conocimiento son una mera formalidad, debido a la constante ayuda para la respuesta de estas por parte de personal de secretariado técnico y asistentes de calidad. Sumado todo lo anterior, existen cursos que se imparten gracias al departamento de HSE para casos donde se necesite un conocimiento más específico, como son los trabajos en altura, espacios confinados y manipulación de sustancias peligrosas.

A pesar de la considerable cantidad de horas de cursos y capacitaciones, una persona común y corriente, sin ningún tipo particular de conocimiento o experiencia, podría sortear el proceso sin mayor inconveniente. Esto no es algo particularmente malo, pero para un proceso donde existen riesgos críticos, es imperativo que el trabajador entienda, comprenda profundamente y lo más importante, aplique todo el conocimiento con conciencia. Precisamente, este es un punto que se debe abordar para evitar las actuales tendencias peligrosas con apoyo de las técnicas y metodologías de confiabilidad humana.

1.1.2.4. Cultura y competencia de los trabajadores

Como se ha mencionado anteriormente, la principal forma de ingresar a este tipo de proyectos es con experiencia laboral o ser referenciado por alguna persona dentro del proceso. Si bien, esto concentra personal que, si o si maneja conocimientos específicos de construcción y montaje en conjunto con una amplia cantidad de experiencias y lecciones aprendidas, deja totalmente de lado la corriente moderna de evaluación del talento humano y las competencias de la persona. Dentro de la compañía solamente existen puestos de trabajo, en lugar de roles, buscando trabajadores que cumplan labores en una secuencia, más que aptitudes que se ajusten a un equipo de trabajo.

Estos aspectos llevan a una cultura faenera donde se premia el sacrificio y la cantidad de horas invertidas, más que la eficiencia de metodologías modernas. Se deja de lado los conocimientos técnicos y estructurados, por la destreza manual, sin mencionar la constante falta de inteligencia emocional y conciencia psicosocial. Esto es particularmente preocupante cuando existe jefatura que ha escalado en base a sus logros productivos, sin cuidar su desarrollo personal y de habilidades blandas. Finalmente, existe un ambiente laboral que permite la inclusión de ciertos tipos de personalidad y ritmos de trabajo, pero carece de flexibilidad para acatar corrientes alternativas o profundizar enseñanzas teóricas, desde maestros a jefatura.

1.1.2.5. Conocimientos esperados y oportunidades de mejora

Tomando en cuenta todos los antecedentes, se genera una especie de contradicción entre lo esperado por FLUOR-SALFA y las capacidades de los trabajadores. Por un lado, existe un esfuerzo importante para generar procedimientos de trabajos, instructivos, cursos, programas de observadores de conducta, check lists físicos de todos los tipos, encuestas de riesgos críticos digitales, análisis del riesgo en el trabajo (ART) y visitas a terrenos internas y externas para la evaluación de estos mismos puntos, pero no se contrata o filtra a la gente que puede, o al menos tiene real interés, en absorber esta importante cantidad de información. No se exige las habilidades necesarias para interiorizar conocimiento técnico y de seguridad, pero se recalca diariamente lo importante que es no cometer desviaciones.

Es precisamente donde se plantea aplicar un análisis de confiabilidad humana, donde existe esta disyuntiva que permite una oportunidad de mejora considerable si se trabaja bajo la guía de distintas técnicas y metodologías de base científica como lo son; HTA, THERP, CREAM y HEART. Es necesario adaptar lo ya establecido, generar nuevos procedimientos e instructivos, utilizar mayor apoyo pictográfico, proponer protocolos en caso de adversidades específicas, todo dentro de las directrices e interés de FLUOR-SALFA para lograr un mejor estándar operacional.

1.2. **CONFIABILIDAD HUMANA: TÉCNICAS Y METODOLOGIAS.**

FLUOR-SALFA se preocupa de captar, mejorar y difundir semanalmente cualquier desviación del proceso constructivo, por ende, hay mejoras que ya existen constantemente, de las cuales se destacan:

- Actividades lúdicas que ejemplifican y muestran como corregir los errores cometidos.
- Revisiones de procedimientos abordando problemáticas específicas.
- Mejoras en las condiciones de trabajo, como estaciones de sombras, dispensadores de agua, bloqueador solar a libre disposición, etc.
- Repaso de accidentes de otras faenas a modo de lección aprendida.
- Incentivos a personal que cumpla con requerimientos de seguridad y salud ocupacional.

- Implementación de curso teórico-prácticos a actividades de alto riesgo con desviaciones recurrentes.

Sin embargo, el proceso no está exento de tendencias y actitudes riesgosas, a pesar de los esfuerzos de la compañía por corregirlos. Al realizar un extenso recorrido por las distintas áreas del proyecto DMC, y bajo la autorización de la gerencia de terreno, se revelan distintas problemáticas que tienen como raíz el error humano:

- Omisión de secuencias y pasos de procedimientos en la ejecución en terreno.
- Desconocimiento de información clave de salud y seguridad (códigos, normativas internas).
- Desconocimiento de información clave técnica de procesos constructivos (protocolos, normas, tolerancias).
- Constante sentido de complacencia, donde el exceso de confianza permite situaciones subestándar.
- Falta de comunicación efectiva entre las distintas cadenas de mando.
- Bajo interés general cuando se asignan al personal tareas rutinarias.

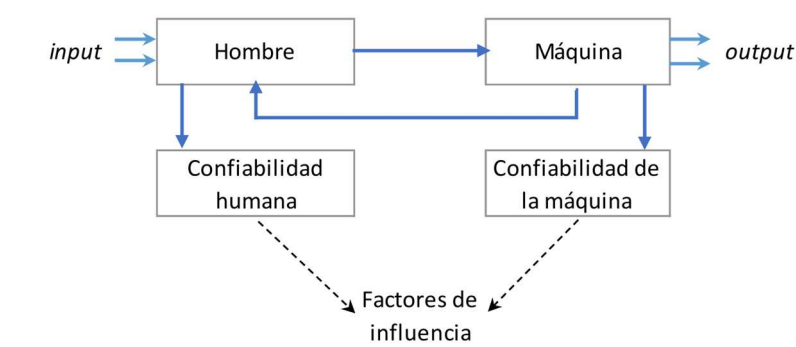
A pesar de que FLUOR-SALFA es una empresa con una amplia experiencia en la construcción y montaje industrial, tanto en ciudad como en faena, existen una cantidad considerable de desviaciones con origen en las personas en el contexto actual del proyecto DMC. Como se enlistó anteriormente, no es que la empresa se deje estar con las problemáticas actuales, pero se puede mejorar el enfoque al identificar, jerarquizar y disminuir las probabilidades del error, que también tienen un gasto considerable de horas hombre, es esta en parte la justificación de los objetivos planteados en este escrito.

1.2.1. Análisis de la confiabilidad humana.

Los análisis y evaluaciones de la confiabilidad humana (HRA en sus siglas en inglés) involucra el uso de métodos cuantitativos y cualitativos para observar como el humano contribuye al riesgo, generalmente dentro de algún proceso productivo. Actualmente hay una amplia variedad de métodos para el HRA, donde las industrias que trabajan con alto riesgo siguen actualizando los textos que existen desde los años 80, resultando en que algunas de estas técnicas requieren aun validación internacional. Sin embargo, la considerable literatura disponible, permite una base suficientemente sólida como para aplicar estas metodologías al ámbito de la construcción.

1.2.1.1. Confiabilidad humana en un sistema hombre-maquina y el factor humano

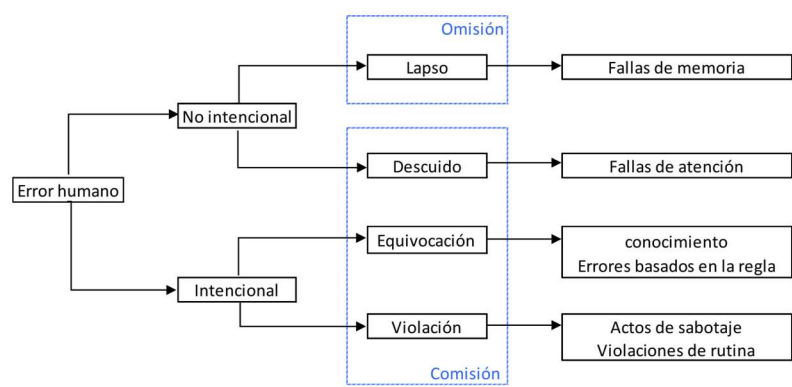
Cuando se trata de un contexto industrial, la visión de la confiabilidad humana se hace en base a su desempeño dentro de un sistema, donde la probabilidad de error humano es parte de la sumatoria total del error dentro de un proceso y los contactos que las personas tienen con las “maquinas”, influenciados por factores externos.



Fuente: Manual Para Evaluar la Confiabilidad y el Error Humano en Procesos Industriales

Figura 1-4: Diagrama de confiabilidad en sistemas hombre-maquina

El factor humano se encuentra estrechamente relacionado con otras disciplinas que estudian la cognición humana, como la psicología de la ingeniería o la ingeniería cognitiva, donde se examina las capacidades y limitaciones del cerebro humano en el área del procesamiento de información, y se relaciona el conocimiento con el desempeño individual. Las dos principales categorías de error humano más aceptadas por la bibliografía son los de omisión y comisión, la primera hace referencia a acciones del conducto regular que el operario olvido realizar, y la segunda a acciones que el operario no debió realizar, no incluidas de manera oficial.



Fuente: Manual Para Evaluar la Confiabilidad y el Error Humano en Procesos Industriales

Figura 1-5: Diagrama lógico del error humano

1.2.2. Técnicas y metodologías HRA

El propósito final de los métodos aplicados en este trabajo consiste en modelar y estimar el error humano en actividad que resulte más crítica de las actuales. La base informativa que se utilizará será de carácter cuantitativa, con la revisión de las tendencias riesgosas observadas del personal de terreno, y cualitativa, gracias a la apreciación de expertos en las actividades críticas y su correcto proceder.

Se detectaron más de 70 técnicas, métodos y corrientes que podrían ser aplicables, y que cuentan con cierta aprobación internacional, pero se consideraron principalmente 4, que nos permitirán abordar los objetivos planteados:

- Hierarchical Task Analysis (HTA)
- Technique for Human Error Rate Prediction (THERP)
- Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)
- Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART)

1.2.2.1. HTA.

La técnica de **Hierarchical Task Analysis** (HTA) o el análisis jerárquico de tareas, es una forma muy conocida de analizar y descomponer tareas rutinarias, es ampliamente recomendado dentro de la literatura de observación de factores humanos. Fue inicialmente desarrollada en los años sesenta para procesos de entrenamiento en el control de tareas en la industria petroquímica y del acero. Debido al natural avance de la cognición humana en los procesos, se requería un enfoque más estructurado, donde se redujera la oportunidad de cometer errores por parte del personal más especializado, involucrado en actividades críticas.

El HTA consiste en presentar una lista altamente jerárquica, donde los objetivos principales se encuentran al tope y se va descomponiendo en tareas y subtareas, como una especie de organigrama. Por ende, se trata de un proceso simplista que involucra recolectar datos acerca de una tarea o un sistema a través de la observación, entrevistas y documentación, entre otros, y utilizar esta información para realizar la descomposición final. El HTA también es una técnica bastante flexible, que puede ser adaptada y aplicada a una gran variedad de situaciones y operaciones, independiente de la industria, por ende, la construcción y montaje industrial no es la excepción. De manera general los pasos básicos en HTA incluyen:

- **Definir el objetivo general:** Se comienza identificando cuál es la tarea o actividad principal que se desea analizar.
- **Descomposición en subtareas:** La tarea principal se descompone en subtareas más pequeñas y manejables, organizadas de manera jerárquica.
- **Describir la secuencia de las tareas:** Se define el orden y la relación entre las subtareas, normalmente en términos de flujo de trabajo o pasos.
- **Condiciones de finalización:** Se especifican las condiciones en las que cada subtask está completa.
- **Refinamiento iterativo:** Algunas subtareas pueden descomponerse en niveles aún más detallados si es necesario, y el proceso puede repetirse para mayor claridad.

1.2.2.2. THERP.

La **Technique for Human Error Rate Prediction (THERP)** o técnica para la predicción de la tasa del error humano, es una metodología que nace desde un “handbook” diseñado en el año 1983 para analizar tareas críticas y sus posibles errores humanos. Esta metodología presenta de manera extensa una serie de métodos, modelos y la probabilidad de errores humanos potenciales (HEPs) que permiten a los analistas identificar, de manera cualitativa y cuantitativa, la probabilidad de situaciones subestándares de procedencias en las personas en el contexto de plantas de energía nuclear y su operación en paneles de control. El fuerte del THERP recae en asignar una confiabilidad humana centrada en el análisis previo de tareas, la identificación prematura de errores y su representación en procedimientos y simulaciones para el personal. THERP es usualmente referido como un enfoque basado en descomposición, donde se prioriza un entendimiento minucioso de las tareas de interés. Generalmente, se tiene mayor énfasis en la recuperación y recopilación de errores pasados en comparación con la mayoría de los métodos de confiabilidad humana.

Esencialmente la guía del THERP presenta un importante concepto central conocido como los Performance Shaping Factors (PSFs) o los factores determinantes del rendimiento, usando múltiples tablas de referencia. La cuantificación de los HEPs se ven modificados por PSFs específicos presentes en escenarios específicos, por individuos específicos, dándole una profundidad característica de los métodos de análisis en la confiabilidad humana.

Al ser una de las primeras técnicas para obtener la probabilidad del error humano en un proceso industrial, tiene la principal desventaja de tener un enfoque simplista, donde se definen errores específicos, observables y medibles, ignorando el contexto cognitivo en el comportamiento de las personas. Sin embargo, THERP sienta una base teórica bastante robusta de suma importancia y utilidad para la aplicación en este trabajo investigativo. Los pasos básicos en la aplicación del THERP incluye:

- **Descomposición de la tarea crítica en sus distintos elementos**
- **Asignación del HEP para cada elemento**
- **Determinación de los efectos de los PSF para cada elemento**
- **Cálculo de los efectos de dependencia entre actividades y sus elementos**
- **Modelamiento del árbol causal de confiabilidad humana**
- **Cuantificación del error promedio humano total de la tarea crítica**

1.2.2.3. CREAM.

el **Cognitive Reliability and Error Analysis Method (CREAM)** o método para el análisis del error y confiabilidad de la cognición, es una técnica utilizada para analizar el rendimiento humano, particularmente los errores cognitivos, en sistemas complejos y críticos. Se describe a sí mismo como un método completamente bidireccional, abarcando predicciones y visiones retrospectivas, con un enfoque más avanzado que otros métodos, considerando factores cognitivos detrás de los errores humanos.

Este modelo está basado en una distinción fundamental entre competencias y control, estableciendo un esquema de clasificación que separa claramente los genotipos (causas) y los fenotipos (manifestaciones), y además propone una organización no jerárquica de categorías vinculadas por medio de las subcategorías llamadas antecedentes y consecuentes.

Esta distinción entre competencia y control está basada en un modelo contextual propio del autor, donde:

- **Competencia** incluye las habilidad y conocimientos de una persona
- **Control** es visto como una función en el tiempo en donde la persona pasa de una situación donde tiene de poco o nada de control a una posición donde se tiene el control total de la misma situación.

Al mismo tiempo, competencia y control están asociados a un contexto, este se define dentro de los **Common Performance Conditions** (CPCs) o condiciones normales de rendimiento.

Los genotipos también están descritos en tres categorías:

- La primera categoría contiene los genotipos que tienen relación directa o indirecta con el comportamiento de la persona (estado emocional o personalidad)
- La segunda categoría contiene factores que pueden relacionarse con la interacción hombre-maquina o hombre-proceso en general.
- La tercera categoría incluye genotipos que estas tipificados en la organización y el contexto inmediato de las actividades (ruido, clima, temperatura).

Los fenotipos son las consecuencias de las acciones y omisiones del operador, y que en muchos casos es el punto de partida de los análisis del modelo CREAM. Los fenotipos básicos (modos de error) están divididos en cuatro subgrupos:

- Acción en el momento incorrecto
- Acción del tipo incorrecta
- Acción en el objeto incorrecto
- Acción en el lugar incorrecto

Para cada actividad se determina un nivel de CPC, por ejemplo, la idoneidad de la formación y la experiencia se puede describir como “alta experiencia”, “baja experiencia” o “inadecuada”. El efecto esperado de estos niveles de experiencia en el rendimiento es, respectivamente, “mejorado”, “no significativo” y “reducido”. Luego, el método continúa describiendo una forma de cuantificar estos descriptores. La suma de la confiabilidad del rendimiento (es decir, mejorado, no significativo y reducido) para cada CPCs da una puntuación de CPCs combinada.

Este método CREAM básico se puede utilizar como un proceso de selección para decidir si continuar o no con un HRA. La siguiente etapa del análisis extendido requiere que se construya un perfil de demandas cognitivas. Esto implica describir cada actividad cognitiva en términos de observación, interpretación, planificación y ejecución, para representarlo gráficamente. Con base en la clasificación fenotipo-genotipo, es posible crear una lista completa de fallas de la función cognitiva, sin embargo, para fines prácticos, se produce un subconjunto de la lista. Para un subconjunto definido, cada una de las

funciones cognitivas (errores de observación, errores de interpretación, errores de planificación y errores de ejecución) tendría fallas potenciales de la función cognitiva identificables calcula una Probabilidad de Fallo Cognitivo (CFP) para cada una.

Por último, se aplica un factor de ponderación a las puntuaciones de la CFP dependiendo de si las influencias contextuales (CPC) se determinan como débiles, medias o fuertes.

CREAM es un método sumamente complejo, al igual que la cognición humana, sin embargo, se pueden hacer análisis menos detallados a elección del usuario. Como todo método de HRA, la interpretación de la persona a cargo del estudio definirá de manera importante el resultado del estudio. Un aspecto muy importante para considerar es que CREAM se inventó en el año 1998, pero aún sigue siendo un modelo en desarrollo. Según el autor, es una herramienta relativamente limitada, que aún está a la espera de una validación transversal de expertos mundiales, pero que entrega una fuerte contextualización sobre la cuantificación del error humano, centrándose en el mundo interno y externo de las personas, ahondando en consideraciones que ningún otro método había empleado hasta el momento.

1.2.2.4. HEART.

La técnica de **Human Error Assessment and Reduction Technique** (HEART) o la técnica para la evaluación y reducción del error humano, es una metodología diseñada para ser cuantificar de manera sencilla el riesgo del error humano. Es un método aplicable para cualquier situación o industria donde la confiabilidad humana es un factor de interés.

Básicamente, HEART tiene una visión simplista, pero efectiva, donde la confiabilidad humana depende de la naturaleza genérica de las tareas a realizar. En condiciones “perfectas” los cálculos de confiabilidad para cada tarea deberían ser consistentes, dentro de los límites probabilísticos que se establecen. Debido a que estas condiciones perfectas no existen en todas las circunstancias, el cálculo de confiabilidad humana predicho debería degradarse en función del tiempo.

Existen 9 “**Generic Task Types**” (GTTs) o tareas de tipo genérico descritas en HEART, cada una asociada a una probabilidad de error humano potencial (HEP), y 38 “**Error Producing Conditions**” (EPCs) o condiciones que pueden producir errores, que pueden afectar el cálculo de confiabilidad. Ambos factores son utilizados para el valor

cuantitativo que arroja el HEART y permiten también identificar las oportunidades de mejora para elevar la probabilidad de éxito en tareas críticas.

El método se destaca por su fácil entendimiento, bajo requerimiento de recursos o condiciones especiales, estrategias para reducir o eliminar condiciones que producen errores humanos y una evaluación que permite anticiparse a escenarios futuros no deseables en términos de los EPCs. Respecto a la validación internacional del método, HEART es una de las pocas técnicas para el cálculo de la confiabilidad humana que ha sido comprobado empíricamente, por lo que goza de una reputación establecida y amigable. En resumen, la secuencia básica para aplicar un HEART sería la siguiente:

- **Identificar la tarea a evaluar.**
- **Asignar un GTTS.**
- **Asignar un EPC.**
- **Asignar el Factor de Probabilidad Básica de Error.**
- **Calcular la Probabilidad Final de Error.**
- **Identificar y proponer mejoras.**

A pesar de la facilidad y utilidad del método, este no está exento de puntos débiles, debido a que aún se utiliza un alto criterio humano, no necesariamente sistematizado, para identificar en que GTTs y sus EPCs de las tareas críticas que se desean analizar, los resultados dependen totalmente de la experticia de la persona que realiza el análisis.

1.2.2.5. Aplicabilidad en el contexto actual del proyecto y el programa SBC.

Actualmente en el proyecto DMC, el 54% de los accidentes o incidentes registrados en los últimos 11 meses de operación tienen como origen el error humano, por lo que un análisis en la confiabilidad es más que necesario. El desafío principal es que cada actividad crítica, ya sea en el sentido de peligrosidad a la vida humana, valor económico o valor productivo, tiene detrás un alto desarrollo de procedimientos e instructivos, con estándares bastantes altos en seguridad, como caracteriza al sector minero, entonces ¿Cómo se puede mejorar la confiabilidad humana en un contexto donde existen altos niveles de seguridad y capacitación?, se pretende encontrar la respuesta al analizar los datos recolectados por un equipo interno de la compañía, el programa de observadores de conducta.

El programa de observadores de conducta (SBC) es una iniciativa desarrollada por FLUOR-SALFA para observar las tendencias riesgosas del proyecto DMC. Se recluta personal voluntario de terreno con el objetivo de percibir buenas y malas conductas de las personas y reportarlo al departamento de HSE cada semana, a través de unas cartillas diseñadas para recabar la mayor cantidad de detalles de utilidad. Este programa entro en vigor en el mes de junio y hasta la fecha llevan más de 34000 observaciones, de las cuales 2495 son de carácter negativo. Esta estadística es analizada por la gerencia de proyecto, que se encarga constantemente de gestionar campañas y capacitaciones internas para evitar posibles accidentes en las actividades donde hay más observaciones negativas semanalmente. A pesar de tener identificados los procesos más riesgosos y reforzar constantemente al personal al respecto, no se ha podido reducir dichas tendencias negativas.

Después de discusiones constantes con expertos, personal de terreno y observaciones propias, se detecta que la razón principal de esta problemática es el factor cognitivo y contextual de los trabajadores, considerando también los expuesto en los puntos 1.1.2.3 y 1.1.2.4 respecto a los nulos criterios de aceptación para entrar al proyecto, siendo un problema latente que se hace más presente a medida que aumenta la criticidad de las tareas.

Al ser un trabajo de título supervisado por la gerencia de terreno se puede interferir, entrevistar, observar y solicitar el apoyo que sea necesario con tal de realizar alguna mejora a los problemas actuales que detecta el programa SBC, con el compromiso de que las actividades de carácter critico sean de interés actual de la compañía.

CAPÍTULO 2: APLICACIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA AL
PROCESO

2. APLICACIÓN DE CONFIABILIDAD HUMANA AL PROCESO

2.1. JUSTIFICACION DEL ANALISIS DE CONFIABILIDAD HUMANA

2.1.1. CONTEXTO DE LAS ACTIVIDADES CRITICAS

Dentro del proceso constructivo existen tres situaciones donde trabajadores y expertos coinciden en presentar un mayor “riesgo potencial”, sumado a esto, dentro de estas situaciones están contenidas la mayor cantidad de observaciones negativas realizadas por el programa SBC, y si bien la palabra “potencial” se utiliza debido a que no ha habido grandes accidentes en lo que va de proyecto, tienen la mayor probabilidad de causar un evento de consecuencias fatales. No es coincidencia que las actividades críticas merecedoras de un análisis en la confiabilidad humana estén presentes justamente en estos tres contextos:

- Trabajo en altura
- Interacción hombre – maquina
- Maniobras de izajes

2.1.1.1. Trabajos en altura

Por definición, se considera trabajo en altura física a toda actividad que se realice a más de 1,8 metros respecto al suelo estable y actualmente la mayoría de los trabajos que otorgan avance productivo se realizan bajo esta condición. Para acceder a grandes alturas, se arman cuerpos de andamios bajo el estándar de la empresa LAYHER, donde actualmente el más alto es de 12 metros.

Para un trabajador poder acceder a un andamio, previamente certificado por personal calificado, debe portar un arnés de seguridad junto con dos colas de acople, shockabsorber y cintas anti-trauma, con su respectivo curso de capacitación brindado por el departamento de HSE. Pese a todas estas medidas preventivas, más recordatorios constantes, señalética y enseñanzas semanales del peligro latente al trabajar en altura, se observan tendencias riesgosas constantemente en las siguientes actividades:

- Instalación de moldajes, insertos y enfierradura en muros.
- Instalación de cuerpos de andamio.
- Hormigonado de muros en altura.



Fuente: Elaboración propia en base a fotografías tomadas el 12/10/2024

Figura 2-1: Trabajadores instalando moldaje y enfierradura en altura

2.1.1.2. Interacción hombre – maquina

La interacción hombre – maquina o MEPI hace referencia a los trabajos donde existe contacto constante entre trabajadores y maquinaria pesada dentro del mismo tiempo y espacio físico, por lo general al momento de realizar excavaciones y rellenos estructurales con apoyo de excavadoras, retroexcavadoras y rodillos. Es particularmente peligroso si no se tiene bien planificada la actividad y las observaciones riesgosas tienen relación directa con la omisión de los controles más importantes, siendo las más críticas del proceso las siguientes:

- Excavación y relleno estructural con apoyo de excavadora
- Segregación de zona de trabajo de maquinaria pesada
- Trabajos de señalero y apoyo al control de equipos pesados



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada el 25/11/2024

Figura 2-2: Maquinaria pesada realizando excavaciones y descarga de materiales

2.1.1.3. Maniobras de izaje

El Levantamiento y traslado de cargas con la ayuda de equipos de izaje, generalmente grúas hidráulicas y camiones pluma, es una práctica fundamental e inevitable en el proceso constructivo del proyecto, considerada permanentemente como una actividad de alto potencial de riesgo y, por ende, sumamente crítica. Dentro del proyecto existe un concepto conocido como “IZAJE CRITICO” y sucede cuando se cumple cualquiera de las siguientes condiciones:

- Cuando el peso de la carga alcanza o supera el 75% de la capacidad nominal de grúa.
- Izajes que requieren que la carga sea izada, movida o colocada sobre un proceso o instalación que contengan materiales peligrosos.
- Izajes sobre procesos en operación a menos de 33 pies de líneas eléctricas aéreas energizadas.
- Cuando existen dos o más equipos traslapando sus arcos de operación.
- Izajes realizados con más de una grúa.
- Cuando los aparejos y accesorios de izajes tienen complejidad técnica y son de carácter no rutinario.
- Maniobras de izajes de personal.
- Cargas identificadas como críticas para el desarrollo del proyecto.
- Movilización de cargas sobre procesos en desarrollo.

El proyecto tiene bastantes controles, expertos, procedimientos y protocolos para prevenir accidentes en maniobras de izaje, ya sean estas consideradas como “IZAJE CRITICO” o no. Sin embargo, el riesgo potencial es tan alto con cada izaje que para la compañía es una actividad crítica intrínseca, independiente de las condiciones o el peso que esta reúna, y para el contexto productivo de este trabajo existen las siguientes:

- Traslado y montaje de enfierradura y moldaje
- Traslado y montaje de prefabricados de hormigón
- Traslado y posicionamiento de cargas pesadas



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada el 19/12/2024

Figura 2-3: Grúas hidráulicas a la espera de un movimiento de izaje

2.1.2. RIESGO EN LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS

En los 11 meses que lleva el proyecto con actividades de construcción y montaje, solamente ha habido 13 accidentes al personal, todos sin tiempo perdido de carácter “leve”. Sin embargo, y como es mencionado anteriormente, se trabaja dentro de este contexto en términos de riesgo, la probabilidad latente de consecuencias perjudiciales y graves a la vida de las personas o equipos, y las actividades seleccionadas como críticas son las que mayor potencial tienen de ser fatales para el personal involucrado.

Un accidente trabajando en altura, con equipos pesados o maniobras de izaje, cumplen con creces la capacidad de generar un evento catastrófico, sumado al hecho de que la habilidad, cuidado y pericia de los trabajadores es un factor extremadamente influyente, la percepción y entendimiento pleno de las buenas prácticas que propone la compañía en sus capacitaciones y procedimientos es obligatoria para poder reducir la probabilidad de error humano en todo momento, eso es lo que se pretende analizar y mejorar, es objetivo de este capítulo entender si es las oportunidades de mejora residen en la forma y calidad en la información que la compañía entrega, la capacidad de absorción de los trabajadores, ambas o algún otro factor que no se esté considerando.

2.1.3. RIESGO ECONOMICO

En lo que lleva el proyecto, no se ha registrado nada más complicado que una microfractura en un dedo, por lo que no existen antecedentes de pérdidas económicas que puedan dar con una cantidad de HH exactas en caso de un accidente importante hacia las personas. Además, el departamento de costos es bastante hermético con información

sensible al respecto, los ingenieros de este departamento comentaron que no tenían permitido revelar información relacionada a pérdidas económicas, ni mucho menos a la relacionada con accidentes, indemnizaciones y tiempo de parada de producción por fatalidades, incluso si se trata de un desarrollo de confiabilidad humana avalada por los gerentes de terreno. Sin embargo, se recurrió a la vasta experiencia de Marco Emparan, jefe de terreno, el cual lleva más de 30 años trabajando para SALFA MONTAJES, y pudo dar un estimado de cuanto costaban los accidentes de distinta índole en base a lo acontecido en proyectos anteriores (**tabla 2-1**), luego el gerente de terreno Bernardo Saldías confirmo que estos aproximados son bastante realistas.

Tabla 2-1: Valores aproximado en HH de accidentes graves.

Tipo de accidente	Cantidad de HH perdidas
Accidente Grave	20.000 a 50.000
Accidente con pérdida de falange o extremidad	150.000 a 500.000
Accidente Fatal	500.000 a 1.000.000

Fuente: Elaboración propia en base a valores otorgados por jefatura de terreno

2.2. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACION Y ANTECEDENTES.

2.2.1. PERCEPCIÓN PERSONAL DEL CONTEXTO

Se tiene la experiencia de estar en el proyecto desde sus inicios, siendo parte de la primera cuadrilla en salir a terreno y ciertamente el avance ha sido considerable, pasando de trabajos manuales, y contacto solamente con equipos livianos, a los actuales riesgos críticos presentes todos los días dentro del avance de la construcción. Sin lugar a duda, la elección del trabajo en altura, la interacción hombre-maquina y las maniobras de izajes contemplan la mayor probabilidad de un accidente para el trabajador promedio, por ende, personalmente también se está de acuerdo con este criterio.

Los puntos más preocupantes que se han detectado por percepción propia se podrían resumir en los siguientes:

- **El sistema por turnos genera un efecto de olvido:** Tras volver a faena después de 14 días de descanso hace que los acuerdos y aprendizajes sean olvidados, provocando la necesidad constante de reforzamiento.

- **El exceso de confianza de los trabajadores:** Al contar con una experticia en las labores de especialidad se genera un exceso de confianza que ayuda a despreocuparse de otros aspectos importantes del trabajo (medidas de seguridad, uso de EPP, conocimientos técnicos, regulaciones de la compañía, procedimientos y protocolos)
- **No existe entrevista ni filtro alguno para el personal entrante:** Nulos métodos para evaluar a las personas que quieren ingresar al proyecto, solamente se preocupan de su compatibilidad medica con el ambiente.
- **No existen roles de trabajo definidos para especialidades o trabajos:** Solamente se evalúan y asignan los equipos de trabajos basados en la experiencia laboral, ignorando aptitudes o compatibilidades cognitivas con roles modernos.

Esto se relaciona directamente con lo anteriormente mencionado respecto a las expectativas de la compañía sobre el personal del terreno. Debido a que la cognición humana debe considerarse como parte del requisito fundamental para trabajar en un proyecto de esta envergadura, FLUOR – SALFA corre un riesgo innecesario al no centrarse en la formación de los trabajadores en este aspecto, siendo necesario analizarlo en las metodologías seleccionadas más adelante.

2.2.2. ENTREVISTAS AL PERSONAL

Para poder obtener la percepción del personal que está en contacto directo con las actividades críticas, se realizó una entrevista a 72 trabajadores de la especialidad de obras civiles, realizada en un ambiente controlado, a mitad de turno (días 6 al 9), libre de jefatura y completamente anónima, para que la probabilidad de que sus respuestas no sean influenciadas por algún factor externo fuera lo más baja posible. Las preguntas fueron seleccionadas en base a las recomendaciones y datos necesarios para la comprensión de la cognición humana del método CREAM, y a continuación se expondrán sus principales resultados:

ESTADO GENERAL Y AUTOPERCEPCIÓN	
<i>En una escala del 1 al 10</i>	<i>Valor promedio</i>
¿Qué tan cansado físicamente se encuentra?	6,1
¿Qué tan cansado mentalmente se encuentra?	4,5
¿Qué tan seguro se siente de los trabajos que hace (experticia)?	8,3
¿Qué tan seguro se siente de sus habilidades técnicas ?	8,1
¿Qué tan seguro se siente sus habilidades cognitivas?	9,0
¿Qué tan mentalmente preparado se siente al enfrentar un turno 14 x 14?	9,0

EXPERIENCIA LABORAL Y PERTENENCIA	
Tiempo promedio en años de experiencia en faena	8,2
Tiempo promedio en meses de trabajo en este proyecto	5,8
Porcentaje de los entrevistados que es capaz de transmitir lo que piensa	75%
Porcentaje de personas que se sienten comodoss y seguros con las tareas que realizan	96%

¿Hay alguna tarea que consideres más difícil que otras?	
Respuestas que mencionan izaje	44%
Respuestas que mencionan trabajo en altura	32%
Respuestas que mencionan equipos pesados	13%
Otros trabajos	11%

¿Hay tareas que consideres mas peligrosas que otras?	
Respuestas que mencionan trabajo en altura	57%
Respuestas que mencionan izaje	26%
Respuestas que mencionan trabajos electricos	11%
Otros trabajos	6%

¿Puedes mencionar algunas de las tareas donde sientes que hay más probabilidad de que ocurran errores? o accidentes?	
Respuestas que mencionan equipos pesados	29%
Respuestas que mencionan trabajo en altura	26%
Respuestas que mencionan izaje	24%
Otros trabajos	21%

¿Qué haces cuando hay cambios o imprevistos en el trabajo? ¿Sigues el procedimiento que aplique o tienden que improvisar?	
No se improvisa, se consulta protocolo (no se conocen las medidas de memoria)	90%
No se improvisa, se consulta protocolo (se conocen las medidas de memoria)	6%
Se improvisa según experiencia de los maestros en casos especiales	4%

¿Qué factores te dificultan más tu trabajo o te resultan molestos?	
Clima adverso (vientos, polvo, baja humedad y calor)	35%
Presión por apuros o atrasos	25%
Falta de mejores herramientas de comunicación	22%
Falta de herramientas o equipos	11%
Otros factores	7%

¿Tienes todo el equipo y recursos necesarios para trabajar de forma segura?	
Si, los tengo	86%
No, los epp son inadecuados (mala calidad)	7%
No, muchas veces me faltan herramientas para avanzar en mi trabajo	4%
No, me siento inseguro	3%

¿Sientes que la presión en el trabajo y la cultura "faenera" es dañina para las personas?	
Estoy acostumbrado	42%
Si, es dañina	26%
No, no es dañina	21%
No responde	11%

¿Qué sugerencias darias para reducir el riesgo o los errores en los tareas que realizas?	
Mejorar el modo y la calidad de comunicación	31%
Contar con el tiempo adecuado para no tener presión	25%
Mejor calidad y cantidad de planificaciones de los trabajos	15%
Realizar un buen analisis del trabajo	7%
Otras respuestas	22%

¿Recibes suficiente apoyo de la jefatura?	
Si	97,2%
No, falta mayor preocupacion	1,4%
No, falta mayor presencia	1,4%

Fuente: Elaboración propia en base a entrevista hecha a trabajadores

Figura 2-4: Resumen porcentual de principales respuestas de entrevista a trabajadores

2.2.3. ENTREVISTA A EXPERTOS

Para poder contrastar lo expuesto por los trabajadores de obras civiles, se les plantea el mismo escenario a 3 expertos en prevención de riesgos y a 4 expertos de la supervisión de terreno, que participan activamente del proceso productivo y las actividades críticas. Sin embargo, tras realizar la entrevista se nota una clara diferencia entre los criterios de los profesionales del departamento de HSE y los de terreno, por lo cual se considerarán como 2 puntos de vista distintos en un cuadro comparativo:

Tabla 2-2: Cuadro comparativo entre opiniones de expertos de terreno y prevención.

<i>Expertos de terreno</i>	<i>Expertos de prevención</i>
Cargos: Supervisores (2), jefe de Área y Superintendente	Cargos: Prevencionista líder de terreno, Superintendentes (2).
Experiencia combinada: 70 años	Experiencia combinada: 53 años
Concuerdan con percepción de trabajadores respecto a experticia, habilidades cognitivas y psicológicas, más creen que sus habilidades técnicas requieren un poco más de desarrollo	Concuerdan con percepción de trabajadores respecto a experticia, pero discrepan de la técnica, psicológica y sobre todo cognitiva. Opinan que la parte de desarrollo personal es muy débil aún.
Opinan que los trabajadores trasmiten bien sus ideas sobre el trabajo.	Opinan que guardan las opiniones importantes por miedo al roce y conflicto con sus compañeros y supervisión.
Al igual que la mayoría de los trabajadores, concluyen que los trabajos que requieran izajes o sean en altura son	Al igual que la mayoría de los trabajadores, concluyen que los trabajos que requieran izajes o sean en altura son los más críticos en temas de complejidad,

los más críticos en temas de complejidad, dificultad y peligrosidad.	dificultad y peligrosidad, sobre todo aquellos que sean cruzados o combinados entre sí.
Al haber una desviación respecto a lo planificado, siempre se replanifica respetando procedimientos.	Al haber una desviación grande se detienen a replanificar la actividad, pero en errores o imprevistos cotidianos han presenciado una improvisación constante.
Opinan que las mayores barreras a la hora de trabajar son la falta de herramientas y el clima propio de la zona, sobre todo el viento.	Creen que las mayores barreras son más profundas; baja inteligencia emocional, alta doble presencia e incompatibilidad cognitiva con el cargo.
Se tiene un consenso entre los expertos de terreno que la principal forma en la cual las dificultades de los trabajadores afectan a los trabajos críticos es en la velocidad y el rendimiento de su realización.	Los expertos en prevención de riesgo presentan una visión más certera, según ellos los trabajadores tienen exceso de confianza, baja percepción de los peligros, baja retención de instrucciones, pero una alta adaptabilidad a la presión de trabajo.
Los expertos en terreno concuerdan tajantemente que la presión de trabajo se la lleva la jefatura y no los trabajadores. No se puede trabajar con apuro por cumplir metas porque es peligroso.	Los expertos de prevención concuerdan tajantemente que los trabajadores si sienten la presión de trabajo, ya que por simple estadística los accidentes ocurren en su mayoría en el final de turno o pronto de cumplir metas.
Concuerdan con trabajadores de que se estos se sientes cómodos, seguros y tienen todos los implementos para trabajar así.	Concuerdan con trabajadores de que se estos se sientes cómodos, seguros y tienen todos los implementos para trabajar así.
Aportan sugerencias parecidas a los de los trabajadores, con mejoras en la calidad de comunicación y mejorar planificación e involucrar a los trabajadores en esta.	Sugerencias parecidas a trabajadores y expertos de terreno respecto a mayor comunicación y planificación con la inclusión de trabajadores, aunque la sugerencia más importante es respetar y hacer a conciencia todos los controles documentales que tiene el proyecto.

Fuente: Elaboración propia en base a entrevista a expertos de terreno y prevención

2.2.4 INFORMACIÓN DE PROGRAMA DE SEGURIDAD CONDUCTUAL EN TERRENO

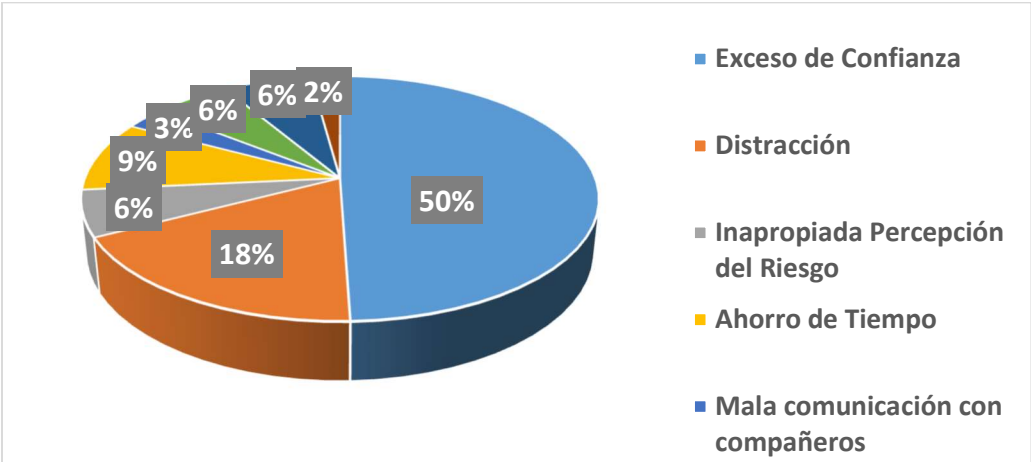
Cada cuadrilla que trabaja en construcción tiene al menos un observador de conducta designado por el capataz o el supervisor, y este observador debe como mínimo realizar dos observaciones a la semana, ya sea positiva o negativa. El programa SBC se encarga de presentar un resumen semanal a la gerencia respecto a las tendencias conductuales de los trabajadores, donde la información más destacable se expone en un

informe ejecutivo y una gráfica que muestra las conductas negativas que más se repiten en dichas observaciones negativas (**Figura 2-5**).



Fuente: Informe ejecutivo semanal programa SBC nueva centinela, FLUOR-SALFA

Figura 2-5: Informe ejecutivo semanal de la semana del 17 al 23 de noviembre del programa SBC



Fuente: Informe ejecutivo semanal programa SBC nueva centinela, FLUOR-SALFA

Gráfico 2-1: Grafico de torta con principales precursores del riesgo observados en la semana del 17 al 23 de noviembre

El departamento SBC se asegura de exponer esta información a toda la obra a través de pizarras informativas y las charlas generales de los domingos. Los observadores tienen constantes reuniones con los expertos del programa, donde son capacitados en sus habilidades de observación, como y cuando hacerlas, que actividades extralaborales son útiles para reducir comportamientos subestándares y en qué áreas del proyecto están más propensas a conductas riesgosas.

Tras conversar con la gerencia de prevención de riesgos, se logran obtener datos históricos del programa SBC de 14 semanas entre los meses de mayo y noviembre. Estos datos contemplan un total 35273 observaciones, de las cuales 2495 son negativas y están resumidas en el siguiente gráfico, donde se muestran las principales oportunidades de mejora de los trabajadores del proyecto DMC.



Fuente: Elaboración propia en base a información histórica del programa SBC

Gráfico 2-2: Grafico de torta con principales precursores del riesgo observados históricos

Gracias a la información proporcionada, se puede obtener una visión más objetiva de las competencias cognitivas de la gente que trabaja directamente en construcción, forjando un perfil realista y actual sobre el cual se puede empezar a modelar mejoras sustanciales y predecir el error humano frente a actividades críticas en este contexto específico.

2.3. ANALISIS DE LA INFORMACION.

2.3.1. PRINCIPALES DESAFIOS PARA EL PERSONAL

En definitiva, el trabajador se percibe a sí mismo como alguien capaz de comprender información con cierta complejidad técnica, realizar trabajos difíciles y bajo condiciones adversas. Sin embargo, esto se contradice entre lo estipulado por expertos y lo observado por el programa SBC, una posible explicación podría sugerir que no todas las personas tienen la capacidad de autoanalizarse de manera sincera, probablemente debido a que la cultura faenera y el contexto de la construcción premia las actitudes y

comportamientos que permiten enfrentar situaciones difíciles, sin dejar lugar a muestras de debilidad físicas o mentales.

Dicho esto, los principales desafíos que enfrenta el personal de terreno de obras civiles en el proyecto DMC de minera nueva Centinela se pueden resumir en puntos específicos que contempla el desarrollo de su cognición ante situaciones adversas.

2.3.1.1. Sentido constante de complacencia

Una alta confianza en sus habilidades manuales de trabajo, sistema de turnos con catorce días de desconexión total de lecciones aprendidas, errores recurrentes en una misma situación y retroalimentación reactiva, en lugar de predictiva, genera actitudes excesivamente permisivas y condescendientes ante las irregularidades que pueden llevar, y muchas veces han llevado, al error humano.

2.3.1.2. Necesidad obligatoria de comprender información

Convengamos que, para colocar un moldaje, realizar trabajos de carpintería o utilizar herramientas manuales y eléctricas no se necesitan habilidades especiales o conocimientos técnicos importantes, pero la compañía exige que el trabajador este en conocimiento de todos los riesgos, normativas internas y medidas de seguridad que hay detrás de todas las actividades cotidianas realizadas a diario, es más, es obligación realizar un análisis seguro del trabajo (ART) antes de cualquier actividad, por pequeña que sea, detallando el paso a paso, sus riesgos y medidas correctivas. Esto significa que la persona promedio que trabaja para el proyecto debe si o si tener comprensión lectora, retención de información relevante y capacidad de análisis.

2.3.1.3. Contexto con condiciones adversas

Cuando se entrevistó al personal, todos mencionaron algo que les dificultaba su trabajo, siendo los factores más repetidos la falta de herramientas, el clima difícil y la presión o apuro constante para terminar los trabajos dentro de la programación.

2.3.1.4. Equipo de trabajo sin definición de roles

FLUOR-SALFA tiene especialidades y cargos, se conforman equipos de trabajo con sentido de pertenencia, apoyo mutuo y donde se escuchan las ideas de todos, lo que

proporciona un ambiente ideal para el aprendizaje en terreno, dentro de todos los niveles jerárquicos. No obstante, la compañía no proporciona instancias o instrumentos para conocer las capacidades de las personas o como estas encajarían dentro de un rol establecido, que tampoco están definidos.

2.3.1.5. El lado negativo de la cultura faenera

La cultura de faena se podría definir como un ambiente laboral único y localizado, presente en proyectos de construcción y montaje, donde existe un sistema de turnos y una organización con organigramas altamente jerarquizados. Un proyecto de este tipo se trabaja de la siguiente forma:

- La minera contrata los servicios de una empresa constructora para llevar a cabo el proyecto, en este caso AMSA contrato a FLUOR-SALFA. La empresa contratista propone un plan de proyecto, donde exponen las metas productivas en base a la “HORA HOMBRE” (HH), es decir, cuantas personas y cuánto tiempo se demoran en completar la construcción en su totalidad.
- Al vender el proyecto, cada labor cuesta una totalidad de “HH”, por ende, el indicador económico que da valor a los avances de las distintas áreas y subáreas es la cantidad de HH que el personal logro ganar por cada tarea. Naturalmente la cantidad de HH que entrega, por ejemplo, el apriete de una unión de pernos es mucho menor al hormigonado de una columna estructural, se asigna el valor en función de la cantidad de tiempos y recursos necesarios.
- Cada trabajador gasta 11 HH al día, y la jefatura de cada área programa la producción para que la cantidad de horas gastadas sea menor a las ganadas, naciendo el termino de “pagarse”, significando que dentro del turno se logró la eficacia productiva necesaria para justificar el trabajo del personal.

Gracias a la forma en la que está estructurado el negocio de los proyectos mineros de construcción todo el equipo de trabajo busca “pagarse”, ya que, lógicamente la forma más directa de bajar la cantidad de HH gastadas es despedir al personal. El factor de

presión y apuro constante no es más que la respuesta básica de las personas ante la preocupación de no lograr pagarse.

2.3.1.6. Nulo enfoque cognitivo

Son muchas las instancias que el departamento de HSE proporciona para instruir y sensibilizar al personal, siempre enfocándose en el reforzamiento de lecciones aprendidas, tendencias riesgosas y políticas de seguridad, salud y medioambiente de la compañía, pero no proporcionan espacios donde identifican, al menos de manera superficial, la capacidad cognitiva del grupo de trabajo para entregar la información de mejor manera. Quizás para cierto grupo de trabajadores no es necesario reducir la complejidad, si no exponerla de manera grafica o didáctica. Se ha identificado de manera personal que muchas veces hay una mayor preocupación en entregar la información por resguardo legal en caso de un accidente, en lugar de hacerlo para el correcto aprendizaje del trabajador.

2.3.2. OPORTUNIDADES DE MEJORA

El poder analizar información recolectada desde distintos ámbitos y puntos de vista ha permitido tener una visión más amplia del proceso constructivo y como los maestros de obras civiles se desenvuelven en este, al tener en cuenta el complicado proceso cognitivo de las personas y como la base de toda conducta a veces tiene un carácter aleatorio, pudiendo cambiar según el día y sus desafíos, se proponen las siguientes oportunidades de mejora que podrían abarcar una buena cantidad de conductas subestándares:

- Conductas excesivamente permisivas y desinteresadas antes lecciones aprendidas o retroalimentaciones.
- Constante exceso de confianza en labores que no se consideran necesariamente criticas
- Descuidos en tareas que los trabajadores consideran como rutinarias y se hacen por costumbre
- Actitud condescendiente ante el grupo general
- Errores humanos por falta de conocimiento técnico
- Falla en la percepción del peligro
- Situaciones subestándares originadas por el ahorro de tiempo o apuro
- Ambiente laboral tenso cuando existe una mala figura de liderazgo

- Falta de organización y planificación en tareas diarias
- Baja absorción de información importante por poco interés o formato no compatible

2.3.3. PRINCIPALES CONCLUSIONES

La complejidad que muestra el proceso para reducir el error humano no es el poder identificar las oportunidades, sino más bien lo profundo que deben ser estas para cambiar el paradigma actual. A pesar de esto, el hecho de explorar el lado cognitivo de la producción permite un entendimiento extra y un valor agregado a los cálculos de confiabilidad humana que se realizarán más adelante con las técnicas clásicas del HRA. No se puede saber con exactitud y a ciencia cierta como reducir una tendencia o conducta riesgosa, considerando que se trata de un sistema complejo que cambia en cada una de las personas, pero si es posible proponer una mejora sistemática que abarque un rango amplio de incertidumbre, donde se reduzca la probabilidad del error humano en actividades críticas con cambios tangibles y aterrizados al contexto actual.

2.3.4. JERARQUERIZACIÓN DE ACTIVIDADES CRÍTICAS

Es necesario definir el listado de actividades críticas específicas a ser jerarquizadas y se puedan aplicar las metodologías seleccionadas para este trabajo a la que resulte “más crítica”. Tras discutirlo con personal de terreno, expertos en prevención de riesgo y la línea de supervisión, se establecen las siguientes:

- **AC 1** = Armado de andamio de 2 o más cuerpos (trabajos en altura)
- **AC 2** = Tránsito por andamio de 2 o más cuerpos (trabajos en altura)
- **AC 3** = Traslado, posicionamiento e instalación de moldaje y sus accesorios en muros de cajón alimentador de mineral grueso con apoyo de grúa hidráulica (trabajo en altura / izaje)
- **AC 4** = Hormigonado de muros de cajones alimentadores y plataformas elevadas (trabajos en altura)
- **AC 5** = Instalación de insertos en muros de cajones alimentadores y plataformas elevadas (trabajos en altura)
- **AC 6** = Traslado, instalación y fijación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica (trabajos en altura / izaje)
- **AC 7** = Excavación y relleno estructural con apoyo de excavadora o retroexcavadora (interacción hombre-maquina)

- **AC 8** = Excavación de roca con apoyo de martillo hidráulico (interacción hombre-maquina)
- **AC 9** = Corte de enfierradura de acero estructural con esmeril (uso de herramientas eléctricas de corte)

Para poder seleccionar la actividad que será sometida al análisis de confiabilidad humana se asignará a cada una un puntaje asociado a la **PERIODICIDAD, PERDIDA PRODUCTIVA y EFECTOS DE SEGURIDAD, HIGIENE Y MEDIOAMBIENTE**, donde la que resulte con mayor puntaje acumulado será la escogida como la más crítica.

Con el apoyo del criterio proporcionado por expertos en el área de supervisión de terreno y prevención de riesgos, se establecen los siguientes puntajes:

NIVELES DE RIESGO	COLOR / PUNTAJE
ALTO RIESGO	3
RIESGO MEDIO	2
RIESGO BAJO	1

Fuente: Elaboración propia en base a puntaje asociado a los riesgos

Figura 2-6: Niveles de riesgo y el puntaje asociado según aplique.

	Efectos HSA
3 - ALTO	Riesgos de carácter grave: Accidentes fatales o riesgo de amputación, contacto con sustancias toxicas y peligrosas de manera permanente, probabilidad de contaminacion ambiental a largo plazo.
2- MEDIO	Riesgos de carácter moderado: Posibilidad de lesiones que causen tiempo perdido, contacto con sustancias toxicas o peligrosas de manera temporal, probabilidad de contaminacion ambiental
1-BAJO	Riesgos de carácter leve: Posibilidad de lesiones situacionales, contacto muy limitado o nulo con sustancias toxicas o peligrosas, probabilidad de contaminacion ambiental reversible

Fuente: Elaboración propia en base a criterio para seleccionar el puntaje HSA

Figura 2-7: Puntaje asociado al riesgo según criterios de higiene, seguridad y ambiente de la actividad.

	Periodicidad
3 - ALTO	Mas de 5 desviaciones o hallazgos de alto potencial al mes
2- MEDIO	Entre 2 a 5 desviaciones o hallazgos de alto potencial al mes
1-BAJO	Si presenta al menos 1 hallazgo de alto potencial al mes

Fuente: Elaboración propia en base a criterio para seleccionar el puntaje de periodicidad

Figura 2-8: Puntaje asociado al riesgo según criterio de que tan periódico ocurre un desviación o hallazgo

	Efectos Productivos
3 - ALTO	Si la cantidad de HH a invertir para solucionar una posible desviacion es igual o superior a la utilizada originalmente
2- MEDIO	Si la cantidad de HH a invertir para solucionar una posible desviacion es menor a la utilizada originalmente
1-BAJO	Si no de debe invertir HH para solucionar la desviacion y puede ser implementada dentro de la planificacion normal del dia

Fuente: Elaboración propia en base a criterio para seleccionar el puntaje de efecto productivo

Figura 2-9: Puntaje asociado al riesgo según criterios de que tanto afecta la actividad a la producción

Comparando cada actividad crítica y su puntaje asociado, se establece la siguiente tabla:

Tabla 2-3: Matriz de criticidad de principales actividades críticas del proceso de construcción

ACTIVIDAD CRITICA	RIESGO SHA	PERIODICIDAD	COSTO PRODUCTIVO	TOTAL	Criticidad
AC 1	3	2	2	7	ALTA
AC 2	2	3	1	6	MEDIA
AC 3	3	3	3	9	MUY ALTA
AC 4	3	1	3	7	ALTA
AC 5	2	1	2	5	MEDIA
AC 6	3	2	3	8	MUY ALTA
AC 7	2	2	2	6	MEDIA
AC 8	2	2	2	6	MEDIA
AC 9	2	1	1	4	MEDIA

Fuente: Elaboración propia en base a puntaje asociado a las distintas tareas criticas seleccionadas.

Quedando seleccionada la AC 6; Traslado, instalación y fijación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica (trabajos en altura / izaje)

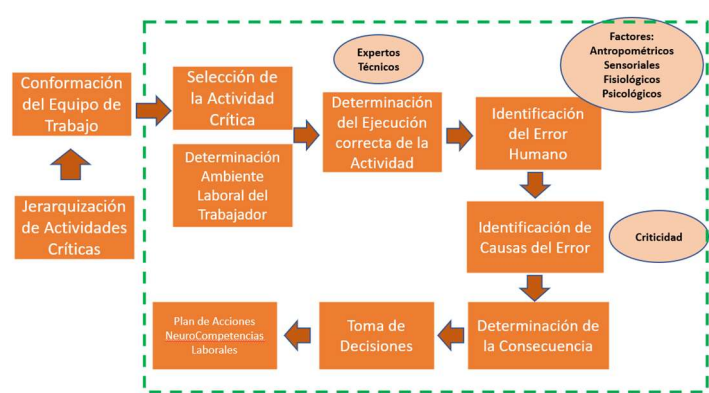


Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada el 19/09/2024

Figura 2-10: Trabajadores realizando instalación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica.

2.3.6. ¿PORQUE UTILIZAR LAS METODOLOGIAS SELECCIONADAS?

Se estudiaron distintas metodologías relacionadas al estudio del HRA y se seleccionaron en base al procedimiento de implementación basado en actividades de mantenimiento que implica un proceso estructurado diseñado por Carlos Baldi y Alfredo Sherrington. Primero, se forma un equipo de trabajo, luego se jerarquizan las actividades, y se selecciona la actividad crítica, se determina la ejecución correcta de la actividad, se identifica el error humano, se identifica la causa del error y por último se determina la probabilidad del error humano. Este enfoque permite la mejora continua del proceso y de la mitigación de errores.



Fuente: Neurociencias Aplicadas para la Seguridad, Salud Ocupacional, Bienestar

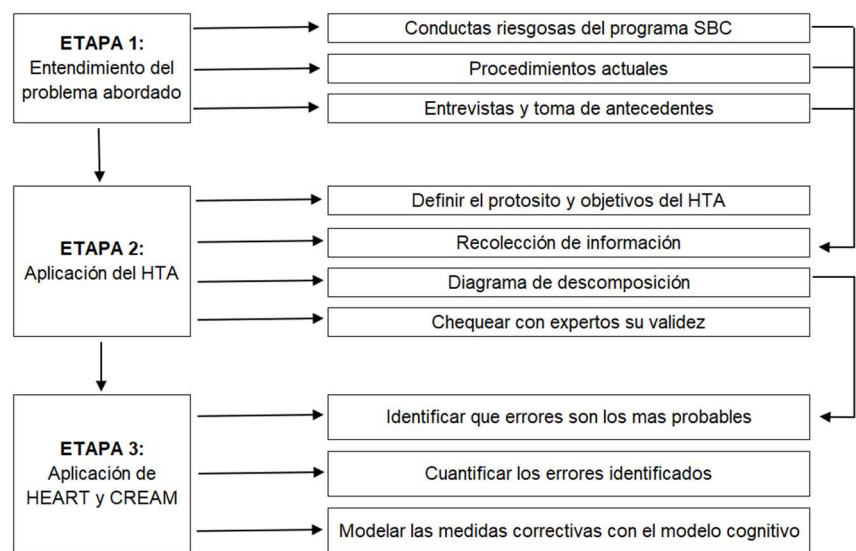
Figura 2-11: Resumen grafico del mantenimiento centrado en confiabilidad humana

Se utiliza la metodología HTA para la jerarquización de las actividades críticas, estableciendo la secuencia correcta de actividades, identificando los pasos donde pueden haber errores humanos consultando, al mismo tiempo, la amplia bibliografía del THERP, que sirve como base guía hacia una descomposición detallada y la identificación de los PSFs (Factores antropomórficos) que puedan afectar al proceso.

Una vez establecidos los correctos procedimientos e identificado los errores humanos, se procede a implementar HEART, utilizando su secuencia lógica y tablas para realizar todo el procedimiento, desde la estimación de la probabilidad nominal de error humano (PNEH), hasta la determinación de la probabilidad del error humano. Finalmente, con el apoyo de CREAM, se utilizan criterios de carácter cognitivo para la toma de decisiones y los planes de acciones a futuro, se analizará la posibilidad de modificar los factores multiplicativos de HEART según compatibilidad con la metodología de CREAM.

2.5. PROPUESTA DE APLICACIÓN DE LAS METODOLOGIAS

A través de la jerarquización de las tareas para establecer la actividad más crítica se puede apreciar la importancia de controlar el error humano en cada uno de pasos de la secuencia lógica en el traslado, la aplicación de las metodologías tendrá como objetivo principal estandarizar, reconocer y tratar de reducir el error humano a través de la identificación de este y los factores de rendimiento y cognición humanos que es posible mejorar con cambios propuestos al aplicar el HRA.

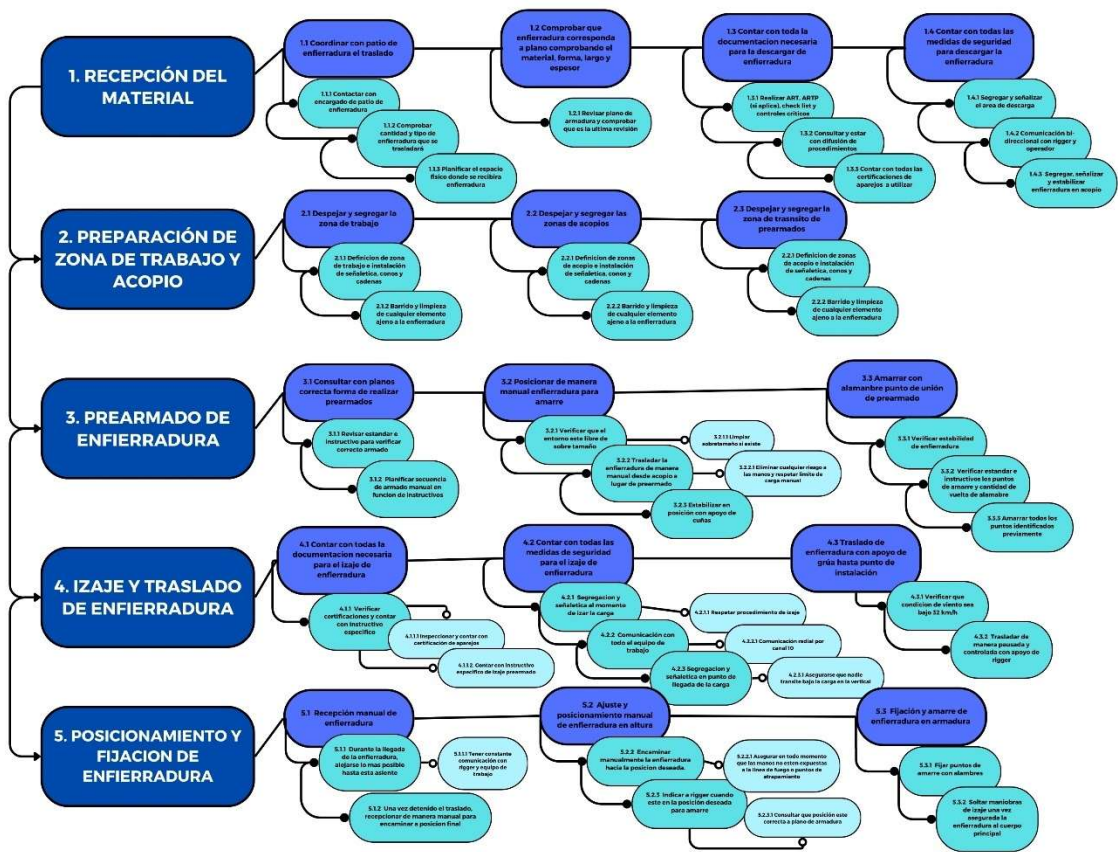


Fuente: Elaboración propia en base a etapas aplicadas para el HRA

Figura 2-12: Diagrama que muestra la metodología adoptada para realizar el análisis de confiabilidad humana.

2.5.1. ANALISIS JERARQUICO DE LAS TAREAS CRITICAS

La técnica HTA es una forma de descomponer la actividad critica hasta sus secuencias más básicas, es de utilidad en este estudio para investigar en como los trabajadores interactúan con todos los aspectos fisicos del ambiente de trabajo. Se tiene que hacer en base a él procedimiento de trabajo y el juicio de expertos, en este caso los supervisores y superintendentes de enfierradura, para que sea lo más cercano al actuar ideal para instalar enfierradura en altura.



Fuente: Elaboración propia en base a aplicación de la HTA

Figura 2-13: Diagrama de descomposición de la tarea crítica con técnica HTA

Al descomponer, se obtiene una secuencia de 5 tareas principales, que a su vez se conforman de 62 sub-tareas, cada una de las cuales es posible cometer un error humano. La técnica del HTA propone la descripción de cada tarea y sub-tarea, pero tras discutir con los supervisores y superintendente de enfierradura, se realiza dicha descripción con los pasos de mayor riesgo (y donde ha habido accidentes o hallazgos) y sumando el posible error humano asociado:

Tabla 2-4: Posibles errores humanos asociados a las tareas secuenciales del HTA

Numeración de la tarea	Descripción de la tarea	Posible error humano
1.2	Comprobar que enfierradura corresponda a plano comprobando el material, forma, largo y espesor	No tener conocimiento técnico para interpretar correctamente el plano / No contar con la última revisión
2	Preparación de zona de trabajo y acopio	Zona fuera de estándar por mala segregación / No contar con elementos para estabilizar la enfierradura en zona de trabajo
3.1.1	Revisar estándar e instructivo para verificar correcto armado	Planificar trabajo sin considerar estándar de proyecto por desconocimiento de este.
3.2	Posicionar de manera manual enfierradura para amarre	Malas posturas y uso de fuerza en el manejo manual de carga / Exposición indebida de manos a lugares de atrapamiento.
3.2.3	Estabilizar en posición con apoyo de cuñas	No comprobar correcta posición de cuñas, dejando carga sin estabilizar
3.3	Amarrar con alambre punto de unión de Prearmado	Incorrecta posición de amarre con cantidad de vueltas insuficientes / No verificar la estabilidad del prearmado.
4.1	Contar con todas la documentación necesaria para el izaje de enfierradura	No contar con certificados de elementos de izajes
4.2.2	Comunicación con todo el equipo de trabajo	No avisar al resto del equipo de trabajo las maniobras de izaje / No contar con radios de comunicación bidireccional entre rigger – operador – supervisión.
4.2.3.1	Asegurarse que nadie transite bajo la carga en la vertical	Segregación inadecuada / Permitir transito bajo la maniobra de izaje
4.3.1	Verificar que condición de viento sea bajo 32 km/h	No comprobar la velocidad de viento de anemómetro
5.1.1	Durante la llegada de la enfierradura, alejarse lo más posible hasta esta asiente	Recibir la maniobras estando aun en movimiento
5.2.2.1	Asegurar en todo momento que las manos no estén expuestas a la linea de fuego o puntos de atrapamiento	Exponer las manos a lugares de atrapamiento por comodidad
5.1.2	Soltar maniobras de izaje una vez asegurada la enfierradura al cuerpo principal	Enfierradura cae de posición por soltar maniobra antes de que este debidamente amarrada.

Fuente: Elaboración propia en base a técnica HTA aplicada

2.5.2. PROBABILIDAD DEL ERROR HUMANO (HEPs) y FACTORES QUE MODIFICAN EL RENDIMIENTO (PSFs)

Quizás los dos conceptos más importantes primeramente descritos en la corriente del HRA son la probabilidad del error humano (HEP) y los factores modificadores del rendimiento (PSF), ambos introducidos en el año 1983 dentro del “THERP HANDBOOK”. Como se describió anteriormente en el capítulo 1, la técnica THERP fue la precursora en el modelamiento del rendimiento humano, aportando un valor cuantitativo a las probabilidades de error en distintas actividades dentro de una planta de energía nuclear y, aunque esta técnica se considera desactualizada o de “primera generación”, sienta una base teórica importante que este escrito tomará como referencia para ser comparada con la técnica HEART. Afortunadamente, los valores de HEP y los PSF pueden extrapolarse a otras industrias y serán establecidos para la condición actual de la actividad crítica seleccionada.

Aplicando las tablas expuestas en el capítulo 20 del THERP, se pueden encontrar 5 PSF que modifican los valores de HEP en la instalación de enfierradura en altura con apoyo de maniobras de izaje:

- **Bajas competencias cognitivas del personal**
- **Condiciones ambientales adversas**
- **Exposición frecuentes a las manos durante la instalación**
- **Instrucciones mayormente verbales**
- **Altas demandas de seguridad y presión por producción**

Destacando las tareas claves y como los PSF afectan a los HEP (consultando también las tablas del capítulo 20), se genera la siguiente tabla:

Tabla 2-5: Calculo del HEP usando técnica THERP

Tarea	HEP base	PSF que incrementa el HEP	Multiplicador PSF	HEP ajustando (estimado)
Manipulación manual de enfierradura	0,01	Clima adverso, exposición prolongada	3,0	$0,01 \times 3,0 = 0,03$
Monitoreo y control de la	0,1	Nivel cognitivo insuficiente, estrés	2,5	$0,1 \times 2,5 = 0,25$

maniobra de izaje				
Producción bajo metas productivas	0,02	Presión de tiempo, interrupciones	4,0	0,02 x 4,0 = 0,08
Identificación de riesgos en la actividad	0,1	Capacitación y atención hacia detalles de procedimiento insuficiente	2,0	0,1 x 2,0 = 0,2
Trabajo en altura	0,05	Clima árido y ventoso, presión de tiempo	5,0	0,05 x 5,0 = 0,2

Fuente: Elaboración propia en base a aplicación de técnicas THERP

Al tratarse de tareas secuenciales el error de una afecta a otras, se utiliza la siguiente formula:

$$HEP\ total = 1 - \prod (1 - HEP\ ajustado\ individual)$$

Donde el HEP ajustado individual es el valor del HEP multiplicado por el factor del PSF asociado.

Sustituyendo los valores:

$$HEP\ total = 1 - [(1 - 0,03) * (1 - 0,25) * (1 - 0,08) * (1 - 0,2) * (1 - 0,2)]$$

La probabilidad total de error humano para la actividad critica seleccionada es de un 57,2%, indicando que, bajo las condiciones actuales, hay una posibilidad significativa que dentro de las tareas y subtareas expresadas en el HTA se esté cometiendo algún error, ya sea de emisión o comisión.

2.5.3. APLICACIÓN DE HEART

El objetivo de haber descrito el contexto operacional, como se conforma la organización y los equipos de trabajo, definir la correcta ejecución de la tarea, la selección de la actividad más crítica y calcular una probabilidad de error humano, con un método de primera genera como el THERP, se realiza con el objetivo de sentar las bases para la aplicación del HEART. Es ideal que la metodología tenga la mayor cantidad de información disponible y ocupe el juicio de los expertos más pertinentes, ya que, esto es lo que de la validez empírica a esta forma de calcular la confiabilidad humana.

2.5.3.1. Tareas genéricas y condiciones que pueden provocar error humano de las actividades críticas (GTTs) y (EPCs)

Para obtener la probabilidad del error humano estimado por HEART se deben utilizar dos tablas que ayudan a obtener un valor cuantitativo, validada utilizando el criterio objetivo de expertos en la actividad. **La Tabla 2-6** describe los 9 tipos de tareas genéricas (GTTs), cada una asociada una probabilidad nominal de error humano (PNEH), y la **Tabla 2-7** presenta 38 condiciones que producen error (EPCs), obteniendo factores que multiplican al PNEH, según apliquen. Es claro ver la asociación con el HEP y los PSF descritos en la técnica THERP, es por esto por lo que ambos métodos son comparables y HEART, al tener un enfoque más moderno junto con cierta validación internacional, permite entregar un valor más confiable.

Tabla 2-6: Tipos de GTT y sus HEP asociados

REFERENCIA	GTT	HEP
A	Totalmente desconocida, ejecutada a velocidad sin una idea de las consecuencias probables.	0,55
B	Cambio o restablecer el sistema a uno nuevo o al estado original en sólo un intento sin supervisión.	0,26
C	Tarea bastante simple realizada rápidamente o con poca atención	0,16
D	Tareas complejas que requieren un alto nivel de comprensión y habilidad donde se presta escasa atención.	0,09
E	Rutina, altamente practicada, tareas rápidas que implican relativamente bajo nivel de habilidad.	0,02
F	Restablecer o cambiar un sistema al original o siguiendo un estado nuevo de procedimiento, con cierta comprobación.	0,003
G	Completamente familiar, tarea bien diseñada, altamente practicada, con el tiempo para corregir el error potencial.	0,0004

H	Responde correctamente al sistema de comando incluso cuando es aumentado o automatizado el sistema de supervisión.	0,00002
M	Tarea miscelánea de la cual no hay una descripción en el proceso actual	0,03

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por técnica HEART

Tabla 2-7: EPCs y el factor multiplicativo máximo asociado

EPC	Impacto máximo (Ei)
1. Una situación desconocida la cual es potencialmente importante pero que solo ocurre raramente o que es nueva.	x 17
2. Escasez de tiempo disponible para la detección y la corrección del error.	x 11
3. Baja relación señal / ruido	x 10
4. Ninguna manera de esconder o sobre escribir información fácilmente accesible.	x 19
5. Ninguna forma clara de expresar información de una forma que puedan entender los operadores.	x 8
6. Desacople entre el modelo del mundo operador y el imaginado por el diseñador.	x 8
7. Ningún medio obvio de invertir una acción involuntaria.	x 8
8. Una sobrecarga de la capacidad del medio particularmente causado por la presentación simultanea de información no redundante.	x 6
9. Una necesidad de desacostumbrar una técnica aprendida y aplicar una que requiera el uso de una filosofía opuesta.	x 6
10. La necesidad de transferir conocimiento especifico de tarea a tarea sin perdida.	x 5,5
11. Ambigüedad en los estándares de funcionamiento requeridos.	x 5
12. Confusión entre el riesgo percibido y el verdadero.	x 4
13. Pobre, ambiguo o feedback del sistema mal engranado.	x 4
14. Ninguna confirmación directa y clara de una acción prevista del sistema sobre el cual el control está siendo ejercido.	x 4
15. Inexperiencia del operador.	x 3
16. Calidad empobrecida de comunicar la información por procedimientos e interacción de persona a persona.	x 3
17. Poca o ninguna comprobación o prueba independiente de la salida.	x 3

18. Conflicto entre periodos de objetivos de inmediato y largo plazo.	x 2,5
19. Ninguna diversidad de entrada de información para comprobar la veracidad.	x 2,5
20. Desacoplamiento entre el nivel de realización educativo de un individuo y los requerimientos de la tarea.	x 2
21. Incentivo para utilizar otros procedimientos más peligrosos.	x 2
22. Poca oportunidad de ejercitar la mente y el cuerpo fuera de los limites inmediatos de un trabajo.	x 1,8
23. Instrumentación poco fiable o nada fiable.	x 1,6
24. Necesidad de Juicios absolutos que están más allá de las capacidades o de la experiencia de un operador.	x 1,6
25. Asignación confusa de la función y de la responsabilidad.	x 1,6
26. Ninguna manera obvia de no perder de vista el progreso durante una actividad.	x 1,4
27. Moral baja.	x 1,2
28. Poco o ningún significado intrínseco de una tarea.	x 1,3
29. Estrés emocional Alto.	x 1,2
30. Evidencia de enfermedad entre los operarios (especialmente fiebre).	x 1,2
31. Baja moral de la fuerza de trabajo.	x 1,2
32. Inconsistencias entre el significado de los display y su procedimiento.	x 1,15
33. Un ambiente hostil (por debajo del 75% de salud o severidad que pone en riesgo la vida).	x 1,1
34. Inactividad prolongada/actividades altamente repetitivas/tareas de baja carga de trabajo mental.	x 1,05
35. Interrupción de los ciclos normales de sueño.	x 1,1
36. Estimulación de tareas causada por la intervención de otros.	x 1,06
37. Miembros adicionales del equipo, además de los necesarios, para realizar la tarea de manera normal y satisfactoria.	x 1,03
38. Edad del personal que realiza tareas perceptivas.	x 1,02

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por técnica HEART

2.5.4.2. Cálculo de la probabilidad del error humano

Teniendo seleccionada la actividad, y con la opinión de Rodrigo Figueroa (Superintendente de enfierradura), Héctor Salazar (jefe de área obras civiles) y Diego Jiménez (Supervisor de HSE), se procede a seleccionar el tipo de tarea genérica y sus EPC.

Traslado, instalación y fijación de enfierradura con apoyo de grúa hidráulica se considera una **“Tarea compleja que requieren un alto nivel de compresión y habilidad”**, letra **“D” con un HEP de 0,09**. Donde aplican los siguientes EPC y el impacto de cada uno (representado con un numero entre 0 y 1):

1. EPC 2. = Ei de x 11 con un impacto asignado de 0,3.
2. EPC 5. = Ei de x 8,0 con un impacto asignado de 0,4.
3. EPC 6. = Ei de x 8,0 con un impacto asignado de 0,2.
4. EPC 9. = Ei de x 6,0 con un impacto asignado de 0,2.
5. EPC 12. = Ei de x 4,0 con un impacto asignado de 0,6.
6. EPC 16. = Ei de x 3,0 con un impacto asignado de 0,3.
7. EPC 20. = Ei de x 2,0 con un impacto asignado de 0,6.
8. EPC 21. = Ei de x 1,8 con un impacto asignado de 0,3.
9. EPC 26. = Ei de x 1,4 con un impacto asignado de 0,4
10. EPC 27. = Ei de x 1,4 con un impacto asignado de 0,4
11. EPC 29. = Ei de x 1,2 con un impacto asignado de 0,3
12. EPC 35. = Ei de x 1,1 con un impacto asignado de 0,5

Para evaluar el efecto de cada EPC con su impacto asignado se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Efecto evaluado} = ((\text{Multiplicador} - 1) * \text{Impacto asignado}) + 1$$

1. Efecto EPC 2 = 4
2. Efecto EPC 5 = 3,8
3. Efecto EPC 6 = 2,4
4. Efecto EPC 9 = 2,0
5. Efecto EPC 12 = 2,8
6. Efecto EPC 16 = 1,6
7. Efecto EPC 20 = 1,6
8. Efecto EPC 21 = 1,24
9. Efecto EPC 26 = 1,16
10. Efecto EPC 27 = 1,16
11. Efecto EPC 29 = 1,06
12. Efecto EPC 35 = 1,05

Al obtener todos los datos se utiliza la siguiente fórmula para estimar la probabilidad de fracaso de la actividad, generando la **Tabla 2-8**.

$$HEP\ total = HEP\ GTT * \prod (efecto\ ajustado\ de\ cada\ EPC)$$

Tabla 2-8: Calculo de la probabilidad de fracaso de la actividad critica con el uso de HEART

Tarea	Tarea Genérica	Falta de confiabilidad	EPCs	Multiplicador Máximo	Proporción de efecto	Efecto evaluado	Probabilidad de fracaso
Traslado, instalación y fijación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica	D	0,09	2	11	0,3	4,0	87,4%
			5	8,0	0,4	3,8	
			6	8,0	0,2	2,4	
			9	6,0	0,2	2,0	
			12	4,0	0,6	2,8	
			16	3,0	0,3	1,6	
			20	2,0	0,6	1,6	
			21	1,8	0,3	1,24	
			26	1,4	0,4	1,16	
			27	1,4	0,4	1,16	
			29	1,2	0,3	1,06	
			35	1,1	0,5	1,05	

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del análisis HRA utilizando HEART

Esta clase probabilidad de fracaso no significa que prácticamente 9 de cada 10 veces que se ejecuta la actividad se haga de manera errónea en su totalidad, el casi 90% hace referencia a que existe constantemente al menos una desviación en los 67 pasos dentro de la correcta realización de esta, ya sea elevar la carga con una eslinga sin su certificado o no comprobar la última revisión del plano. Sin embargo, dejar que ocurra una acumulación en el tiempo de todas estas desviaciones de comisión u omisión desencadenan posibles consecuencias graves, que muchas veces se ven visualizadas en los hallazgos del departamento de prevención o las observaciones del programa SBC y, estadísticamente hablando, es cuestión de tiempo para que surja algún evento indeseado hacia las personas.

2.5.5. APLICACIÓN DE CREAM AL ANALISIS DE CONFIABILIDAD HUMANA

Como bien se menciona en el capítulo 1, este modelo del análisis en la confiabilidad humana tiene un enfoque más profundo cuando se trata de la cognición de las personas, dentro del mismo texto se hace un resumen de las técnicas predecesoras, catalogándolas de “primera y segunda generación”, donde la principal crítica hacia las técnicas HRA de primera generación recae en su poca flexibilidad y evaluación de las situaciones a través de tablas estándar, más que la evaluación situacional de la misma.

Quizás la principal desventaja de CREAM es que no está ampliamente validada de manera internacional como THERP o HEART, sin embargo, y para efectos de este trabajo de título, la consideración que tiene al factor humano resulta de utilidad para respaldar los datos cuantitativos resultantes del HEART, dándole una dimensión extra que resulta interesante observar dadas las oportunidades de mejoras observadas en los trabajadores de obras civiles del proyecto DMC.

2.5.5.1. Genotipos y fenotipos del contexto operacional

Para el autor de CREAM existen dos grandes conceptos que se deben manejar si se pretende analizar más a profundidad las razones cognitivas detrás de los errores humanos, y estos son los “genotipos” y “fenotipos”. Por un lado, el concepto de genotipo representa las causas subyacentes o los mecanismos internos que explican por qué ocurre un error, relacionado directamente con los procesos cognitivos y psicológicos del operador. Por otro lado, el fenotipo se refiere a la manifestación externa del error, es decir, cómo se manifiesta o se observa en el comportamiento del operador o en el proceso de construcción.

En resumen, el fenotipo es el resultado visible del genotipo, lo cual es necesario para entender y prevenir errores, analizando tanto lo que sucedió (fenotipo) como las causas internas que lo originaron (genotipo). Por ejemplo; si el fenotipo resulta en un trabajador que se sube a un andamio que no estaba certificado, los genotipos podrían ser una falta de capacitación, estrés por cumplir algún plazo ajustado o falta de supervisión. Se puede hacer una clara distinción a la capacidad de análisis que tienen estos conceptos, donde se estudia una situación en lugar de asignar un valor cuantitativo, siendo útil para las propuestas de mejora que se realizarán en el capítulo 3.

2.5.6. MODIFICACION DE CALCULO HEART UTILIZANDO MODELO COGNITIVO DE CREAM

CREAM, al igual que HEART y THERP, también tiene sus modificadores de rendimiento que multiplican la probabilidad de error en caso de presentar alguno, de la misma forma que los PSF y los EPC. Este caso, dichos modificadores se conocen como los “Common Performance Conditions” o CPC, con un enfoque completo hacia el desarrollo integral y el desempeño humano, se identifican y definen principalmente 9 tipos:

- **Adecuación de la organización:** Grado en que la organización proporciona recursos, soporte, y define roles y responsabilidades.
- **Planes y procedimientos:** Calidad y claridad de los procedimientos disponibles para realizar las tareas.
- **Condiciones del entorno:** Factores físicos, como ruido, iluminación, temperatura, que afectan el desempeño.
- **Disponibilidad de tiempo:** Si el tiempo disponible es suficiente para completar la tarea sin apresurarse.
- **Compatibilidad del equipo:** Si las herramientas y el equipo son adecuados para la tarea.
- **Entrenamiento y experiencia:** Nivel de formación y experiencia del operador para enfrentar las tareas asignadas.
- **Cooperación y comunicación:** Calidad de la interacción y la coordinación entre los miembros del equipo.
- **Condiciones laborales:** Estado físico y psicológico de los operadores, incluyendo fatiga, estrés, motivación.
- **Accesibilidad a la información:** Facilidad para obtener información relevante para la tarea.
-

CREAM no define directamente el valor que tiene cada CPC de manera directa, más bien entrega un rango entre 1,0 a 1,5 y queda a criterio de la persona o experto que este analizando la confiabilidad humana el multiplicador que modificara el HEP general. En este caso, el valor obtenido de HEART es de 87,4% para la actividad crítica de Traslado, instalación y fijación de enfierradura con apoyo de grúa hidráulica, y el experto a cargo de presentar dicho valor será el superintendente de construcción de obras civiles.

Se seleccionarlos los 3 CPC que aplican en este caso y que no se hayan tomado por los EPC de HEART, los cuales fueron:

- **Condiciones del entorno**
- **Condiciones laborales**
- **Adecuación de la organización**

Donde en conjunto se asigna un factor de 1,1 a aplicarse al HEP:

$$HEP\ FINAL = 87,4\% * Factor\ CPC\ (1,1)$$

$$HEP\ FINAL = 96,14\%$$

CAPÍTULO 3: PROPUESTAS DE MEJORA Y PLAN DE ACCIÓN

3. REDUCCIÓN DEL PORCENTAJE DE ERROR HUMANO

Al obtener un valor cuantitativo del error humano, considerando un promedio entre el juicio de expertos involucrados en la actividad crítica, se tiene una base sólida para poder proponer y mejorar las condiciones más preocupantes que envuelven a la producción. Con la ayuda de la contextualización de los trabajadores de obras civiles dentro de este contexto específico, se espera proponer mejoras tangibles, donde los planes que serán descritos dentro de este capítulo sean realistas y aplicables, más que grandes cambios en el paradigma actual o difíciles de cuantificar.

3.2 PRINCIPALES CONSECUENCIAS DE LA PROBABILIDAD DE ERROR ACTUAL

Considerando que este un proyecto de construcción ya vendido, este funciona y se mide económicamente a través del gasto de HH en el tiempo. Minera Centinela desembolsó 4600 millones de dólares, sin embargo, no se sabe con certeza la fracción de ese dinero que fue destinado a la construcción, razón por la cual no se puede dar un valor exacto del aumento o disminución de los costos en función de la confiabilidad humana. No obstante, se conoce la cantidad de HH que se han gastado hasta la actualidad y el porcentaje de avance del proyecto mostrado en la **Tabla 3-1**, permitiendo cuantificar la consecuencia en cantidad de porcentaje de avance total del proyecto.

Tabla 3-1: HH del proyecto invertidas en el porcentaje de avance actual

HH INVERTIDAS EN EL PROYECTO	PORCENTAJE DE AVANCE
6.200.000	10,6%

Fuente: Elaboración propia en base a información de avance del proyecto DMC

Recapitulando lo expuesto en la **Tabla 2-1** del apartado 2.1.3, se tienen la cantidad de HH que implican distintos niveles de accidentes en las personas, destacando que un resultado fatal es de 1.000.000 de HH y la pérdida de una falange o extremidad alrededor de 500.000 HH. Si consideramos la equivalencia de la **Tabla 3-1**, el riesgo de accidente grave significa alrededor de un 1% a un 2% del valor total del proyecto. Cabe recalcar que la actividad crítica seleccionada cuenta con trabajos en altura e izaje, dos situaciones que exponen a los trabajadores a fácilmente a un accidente fatal, por ende, disminuir la probabilidad del error humano en una actividad que contempla tanto riesgo, es tan significativo, que significa al mismo tiempo disminuir el atraso total del proyecto.

3.1 PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO DE LA TAREA CRITICA

Observando los resultados obtenidos al aplicar las técnicas de HRA en el traslado, instalación y fijación de enfierradura con apoyo de grúa hidráulica, se define como una actividad bastante compleja, donde existen muchos factores que amplifican la probabilidad del error humano hasta un 96,14%, entre los más destacables se encuentran; el trabajo en altura física, el ritmo de trabajo, la presión de la jefatura, la adecuación de la organización y el clima. Si bien se cuenta con la gran ventaja de poder visualizar de manera objetiva las condiciones que llevan a tan alta probabilidad de error, tanto HEART como CREAM solo proponen soluciones genéricas ante ciertos EPC o CPC, que efectivamente reducen la probabilidad nominal de error, pero se requiere una visión profunda y específica para poder atacar de manera sistemática las condiciones subestándares, adecuándose al contexto específico y cambiante de la construcción civil del proyecto DMC.

3.1.1 RELACIÓN ENTRE FACTORES CONDICIONANTES DEL ERROR Y ACTITUD DE LOS TRABAJADORES

Comparar la conducta de los trabajadores con los principales EPC permite asociar el contexto cognitivo con las condiciones que más afectan al HEP. Al referenciar la información obtenida por el programa SBC resumida en el **Grafico 2-2**, solamente cuatro precursores de errores abarcan el 88% de las desviaciones detectadas en el personal:

- Exceso de confianza
- Distracción
- Inapropiada percepción del peligro
- Ahorro de tiempo

A su vez, recapitulando los EPC seleccionados junto con su impacto asociado expuestos en la **Tabla 3-2**, se tiene que las principales tendencias negativas se relacionan directamente con los EPC 2, EPC 9, EPC 12, EPC 20, EPC 21 y EPC 26. Cabe recalcar que los expertos de prevención y terreno que ayudaron a seleccionar los EPC del HEART no estaban considerando, o no tenían un conocimiento amplio, de las tendencias del departamento SBC, incluso de la misma semana en la cual fueron entrevistados, por lo que la relación encontrada no es más que un síntoma de la veracidad de los problemas que afectan la confiabilidad humana.

Tabla 3-2: EPC seleccionados en el cálculo del HEP de la actividad crítica

EPC	Impacto máximo (Ei)
2. Escasez de tiempo disponible para la detección y la corrección del error.	impacto asignado de 0,3.
5. Ninguna forma clara de expresar información de una forma que puedan entender los operadores.	impacto asignado de 0,4.
6. Desacople entre el modelo del mundo operador y el imaginado por el diseñador.	impacto asignado de 0,2.
9. Una necesidad de desacostumbrar una técnica aprendida y aplicar una que requiera el uso de una filosofía opuesta.	impacto asignado de 0,2.
12. Confusión entre el riesgo percibido y el verdadero.	impacto asignado de 0,6.
16. Calidad empobrecida de comunicar la información por procedimientos e interacción de persona a persona.	impacto asignado de 0,3.
20. Desacoplamiento entre el nivel de realización educativo de un individuo y los requerimientos de la tarea.	impacto asignado de 0,6.
21. Incentivo para utilizar otros procedimientos más peligrosos.	impacto asignado de 0,3.
26. Ninguna manera obvia de no perder de vista el progreso durante una actividad.	impacto asignado de 0,4
27. Moral baja.	impacto asignado de 0,4
29. Estrés emocional Alto.	impacto asignado de 0,3
35. Interrupción de los ciclos normales de sueño.	impacto asignado de 0,5

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por técnica HEART

3.1.2 PRINCIPALES OPORTUNIDADES DE MEJORA RESPALDADAS POR APLICACIÓN DE HRA

Al combinar los resultados del análisis cualitativos (entrevistas y percepciones) con el análisis cuantitativo de los HRA, se tiene una base sólida y realista para visualizar y mejorar las condiciones que permiten una alta probabilidad de error humano.

3.1.2.1. EPC 2, EPC 21 y el ahorro de tiempo

Aunque se recalque constantemente en terreno la importancia de realizar toda actividad de manera pausada y con conciencia, la realidad objetiva es otra. Hoy en día por el ritmo de trabajo, la cultura del apuro y el ahorro de tiempo al incurrir en errores de omisión es incentivada por el sentimiento general de pagarse y evitar llegar al punto donde sea necesario el despido de personal para justificar una menor cantidad de HH. Es una

parte bastante complicada de mejorar sistemáticamente, pero es deber de los líderes de terreno premiar actitudes responsables, más que la producción acelerada.

3.1.2.2. EPC 9, EPC 20 y el exceso de confianza

El exceso de confianza de los trabajadores es debido a una tranquilidad absoluta producto de su pericia técnica y manual, donde la experiencia les ha demostrado que “trabajando de manera correcta”, correcta bajo criterios personales, se pueden evitar cualquier tipo de accidentes. Esto apunta directamente a las actitudes que la compañía permite dentro de la faena al no existir un filtro adecuado, generando un volumen de trabajadores carentes de capacidades cognitivas necesarias para aprender lecciones, respetar procedimientos y no dejarse llevar por malas influencia bajo la premisa de un falso sentido de seguridad.

3.1.2.3. EPC 12 y la inapropiada percepción del peligro

La inapropiada percepción previa del peligro al ejecutar una actividad se relaciona también con el exceso de confianza, sin embargo, se tienen las herramientas como la ART y los Check list, que son la forma escrita y definitiva en la cual un trabajador declara conscientemente los riesgos a los que estará expuesto, el caso omiso de estos no es más que la solidificación del sentido de complacencia de los trabajadores, donde las lecciones aprendidas y las medidas de control se ignoran por un sentido de invulnerabilidad. Es necesario recordar constantemente el complicado proceso al que se está envuelto al participar en una actividad crítica, que por muy peligrosa que sea, no está a salvo de caer en la cotidianidad.

3.1.2.4. EPC 26 y la distracción

La distracción de los trabajadores es un problema latente en la faena, principalmente por trabajar lejos del hogar por 14 días seguidos. Al estar físicamente lejos del núcleo familiar y perderse fechas especiales, festividades, eventos importantes y la incapacidad para atender emergencias de manera inmediata, se genera un fenómeno llamado “doble presencia”, donde se está físicamente trabajando en el proyecto, pero la mente está en otro lugar, producto de las situaciones mencionadas, este es un tipo más profundo de distracción, que puede estar presente en cualquier trabajador en cualquier momento del turno. En conjunto a esto, la empresa y los líderes de terreno no prohíben el uso del celular en el contexto del trabajo, y las personas que tienen problemas para

concentrarse tienden a generar observaciones negativas detectadas en el SBC. De los 13 accidentes que lleva el proyecto, se han descubierto que al menos 5 de estos fue producto de la distracción como principal desencadenante.

3.2 **PROPUESTAS DE MEJORA**

Para proponer mejoras representativas se pide el apoyo de los expertos del área de terreno y prevención, ocupando sus criterios para medidas que sean realistas y aplicables dentro del contexto actual. Se dividen en tres rangos de tiempo: corto, mediano y largo plazo, debido a que no todos los problemas detectados, tanto del entorno interno o externo del trabajador, representa el mismo nivel de complejidad técnica – corporativa.

Se adjunta tablas resumen con propuestas de mejora a corto, mediano y largo plazo, orientadas al entorno de trabajo y a la conducta de los trabajadores.

3.2.1 **MEJORAS A CORTO PLAZO**

Tabla 3-3: Propuestas a corto plazo correspondientes al entorno del trabajador y a las conductas del trabajador

Entorno del trabajador	Conductas del trabajador
Modificar el procedimiento de instalación de enfierradura, agregando secuencia lógica del HTA	Re-instrucción y lectura consciente de todos los procedimientos que apliquen a la actividad
Exposición de información crítica de manera didáctica e interesante, no solamente con información escrita.	Campaña o medidas que apunten a eliminar sentimiento de cotidianidad en la tarea crítica
Capacitar a la línea de mando de los peligros de realizar actividades críticas con apuros por producción, mostrando como existen distintos tipos de perfiles cognitivos que les afecta más que a otros esta situación	Campaña o medidas de reforzamiento positivo que apunten a eliminar el sentimiento de complacencia
Prohibir el uso del celular en el lugar de trabajo y proponer recursos para evitar que se vean obligados a utilizarlo (mejor sistema de comunicación)	Campaña o medidas de reforzamiento que apunten a eliminar el sentimiento de invulnerabilidad y baja percepción del peligro
Eliminar incentivos o elogios ante el ahorro de tiempo a costa de saltarse conductos regulares	Premiar el conocimiento técnico-teórico de los trabajadores

Fuente: Elaboración propia en base a HRA para propuestas de mejoras

3.2.2 MEJORAS A MEDIANO Y LARGO PLAZO

Tabla 3-3: Propuestas a corto plazo correspondientes al entorno del trabajador y a las conductas del trabajador

Entorno del trabajador	Conductas del trabajador
Jornada de reflexión de autocrítica centrada en mejoras propuestas por los trabajadores	Fortalecer conocimientos técnicos y teóricos de actividades críticas como requisito obligatorio para participar de estas
Definir roles de trabajos, donde se busque conformar equipos con distintos perfiles cognitivos y habilidades interpersonales para actividades críticas	
Entrevista de trabajo psicológica para la participación en actividades críticas	
Entrevista teórica-técnica para la participación en actividades críticas	Identificar el perfil cognitivo de los trabajadores para asignarle un rol, que tenga una importancia cercana a los cargos
Creación de un departamento de gestión del talento humano y desarrollo de la cognición en las personas	
Creación de un departamento de confiabilidad humana	Incentivar un sentido de pertenencia a un equipo de trabajo
Contratar personal con estudios profesionales para apoyo permanente de personal en terreno	

Fuente: Elaboración propia en base a HRA para propuestas de mejoras

3.3 PLANES DE ACCIÓN

3.3.1 ACTUALIZACIÓN DE PROCEDIMIENTO

El principal procedimiento que rige el proceso de la actividad critica es el “**1002-03-ID-EPC-002-1000-Q-PN-21505: Procedimiento de Cortado, Doblado e Instalación e Instalación de Enfierradura, revisión 2**”, el cual es bastante completo y tiene muchas especificaciones técnicas sobre el correcto izaje, armado y manipulación de la enfierradura, a pesar de esto, queda espacio para mejora considerando que el análisis HTA toma puntos clave de la actividad critica que el procedimiento omite. A continuación, se enlistan las partes propuestas a ser agregadas en el procedimiento para una posible nueva revisión:

- **Punto 1.2 del HTA:** Comprobar que enfierradura corresponda a plano, comprobando el material, forma, largo y espesor.
- **Puntos 3.2.2 y 3.2.2.1 del HTA:** Trasladar la enfierradura de manera manual eliminando cualquier riesgo a las manos y respetando el límite de carga manual.
- **Punto 3.3.1 del HTA:** Verificar estabilidad de la enfierradura.
- **Puntos 4.2.2 y 4.2.2.1 del HTA:** Comunicación con todo el equipo de trabajo a través del canal radial N°10 (o el que corresponda).
- **Punto 4.3.1 del HTA:** Verificar que condición de viento sea bajo 32 km/h.
- **Punto 5.1.1 del HTA:** Durante la llegada de la enfierradura, alejarse lo más posible hasta que esta asiente.
- **Punto 5.1.2 del HTA:** Una vez detenido el traslado, recepcionar de manera manual para encaminar a posición final.
- **Puntos 5.2.2 y 5.2.2.1 del HTA:** Encaminar manualmente la enfierradura hacia la posición deseada, asegurándose en todo momento que las manos no estén expuestas a la línea de fuego o puntos de atrapamiento.
- **Punto 5.3.2 del HTA:** Soltar maniobras de izaje una vez asegurada la enfierradura al cuerpo principal.

Con la incorporación de estos puntos 9 puntos se fortalecen las medidas preventivas ante los riesgos reales que enfrentan los trabajadores cuando realizan esta actividad. Si bien un procedimiento puede abarcar generalidades, al tocar puntos más específicos de la secuencia de construcción este toma un carácter de instructivo.

Se propone al departamento de HSE generar instructivos específicos a actividades críticas, que abarquen toda la correcta ejecución del trabajo, complementando a los procedimientos.

3.3.2 CAMPAÑAS CONTRA LAS CONDUCTAS PRECURSORAS DEL RIESGO

Al presentar la propuesta de mejoras a corto plazo al departamento de HSE, se crean afiches alusivos y se difunden a los trabajadores de la compañía (**Figuras 3-1 y 3-2**). Además, se da una charla general a más de 300 personas el día 16/12/2024 sobre los riesgos cuando se incurren en errores de omisión y comisión (**Figura 3-3**).



Fuente: Elaboración propia en base a precursor del riesgo

Figura 3-1: Afiche de campaña en conjunto con programa SBC contra la distracción en actividades críticas



Fuente: Elaboración propia en base a precursor del riesgo

Figura 3-2: Afiche de campaña en conjunto con programa SBC contra el exceso de confianza en actividades críticas



Fuente: Elaboración propia en base a fotografía tomada en el día 16/12/2024

Figura 3-3: Aporte personal en charla integral sobre errores de omisión y comisión en las actividades de terreno

3.3.3. PROGRAMA DE MEJORA COGNITIVA

Algo tan amplio como la “mejora cognitiva” presenta un desafío muy complicado, considerando el contexto del proyecto, pero el beneficio está en que no necesariamente se necesitan de grandes hitos para lograr esta mejora en las personas. Una de las formas más atractivas y realistas para implementar esta iniciativa es la formación de un equipo de trabajo, capacitado para enfrentarse exclusivamente a actividades críticas.

Al no existir los medios a corto plazo para capacitar o entrevistar a toda la gente que ingresa al proyecto y que cumpla con un perfil más profesional, que aumente la confiabilidad en lugar de comprometerla, se plantea una idea al gerente de construcción para la capacitación y creación de una equipo que se encargue exclusivamente de las actividades críticas, considerando un gasto en capacitación y remuneración, pero ganando una menor probabilidad de fracaso para la actividad que se desee.

Se captaría la atención de los trabajadores con el aumento de la remuneración en un 10 a 15% si se es parte de los seleccionados para el equipo. Para evitar un posible acercamiento masivo, se limita a que los trabajadores deberán ser propuestos por un supervisor, y cada uno deberá entregar un listado formal de máximo 5 personas. Una vez teniendo a los candidatos, se puede comenzar con la búsqueda de personas idealmente reúnan la mayor cantidad de características expuestas en el cuadro resumen de la **Tabla 3-4**.

Tabla 3-4: Características ideales que debe tener un aspirante al equipo para actividades críticas

Conocimientos específicos de la tarea y la especialidad	El trabajador debe tener experiencia y cierto nivel técnico sobre la tarea crítica.
Conocimientos específicos de seguridad	El trabajador debe tener conocimiento de todos los procedimientos, estándares y documentación de seguridad que aplique en las tareas críticas.
Capacidad de trabajo en equipo	El trabajador debe tener un sentido de pertenencia al equipo y ser capaz de reconocer a sus pares como indispensables para realizar correctamente la tarea. Debe también ser capaz de adecuarse sin problemas al rol que se le asignará.
Capacidad de autocrítica	El trabajador debe ser capaz de tener pensamientos retrospectivos y aplicar la autocrítica cuando es necesario, no ocultando cuando la situación sobrepase su capacidad o conocimiento.
Autoconocimiento	El trabajador debe conocer honestamente hasta donde llegan su habilidades con el objetivo de planificar y asignar los roles de la actividad, aprovechando al máximo las capacidades de cada individuo.
Buena percepción ante el peligro de la tarea	El trabajador debe tener la capacidad de detectar y dimensionar todos los riesgos que implica una tarea crítica, evitando arriesgarse innecesariamente, respetando todas las estrategias de control.

Fuente: Elaboración propia en base a ideales de una persona con desarrollo cognitivo-emocional

Si bien se busca personal que tenga un mínimo de experiencia y conocimientos, el criterio mayor serán sus aptitudes cognitivas y su capacidad para observar escenarios con una mirada preventiva y proactiva. El punto central de este equipo será la percepción combinada de todos los integrantes ante el peligro de las actividades críticas, la capacidad de planificar de manera segura y el compromiso, casi como un juramento, del seguimiento estricto de todas las medidas y estrategias de control que exigen los procedimientos de trabajo.

El proceso de selección debe ser efectivo pero expedito, la compañía no debería ocupar más de 4 a 5 horas en la capacitación de los trabajadores, que es el promedio actual de los cursos que imparte el departamento de HSE. Se supone que el criterio de los supervisores y un buen diseño del proceso deberían suplir la necesidad de una capacitación

extensa, después de todo, la premisa es la propuesta de algo realista y pretendiendo seguir el diagrama mostrado en la **Figura 3-4**.



Fuente: Elaboración propia en base a plan de estructuración para equipo cognitivo

Figura 3-4: Diagrama con paso a paso para formación del equipo para actividades críticas

3.3.3.1 Creación de roles de trabajadores – Teoría de Balbin

El concepto del rol es la parte central de una teoría desarrollada en 1988 y mejorada en el 2013 por el psicólogo e investigador Meredith Balbin, donde introduce una poderosa y moderna forma de crear equipos de trabajos exitosos.

Definir el rol de una persona implica establecer su forma de comportarse, contribuir y relacionarse con otras en el trabajo, siendo un concepto más amplio que el de habilidad, interactúa de manera obligatoria con la personalidad, dependiendo y fortaleciéndose entre sí. El rol puede ser tanto el papel que se juega en un equipo como su función dentro de este, ambos aspectos se adaptan dentro de cada contexto, aportando cualidades técnicas, conocimientos y condiciones humanas. Es normal ver que dos personas tienen la misma función, pero su papel en el equipo es distinto y viceversa. Según el Dr. Balbin, existen múltiples factores que influyen en el rol que desempeña una persona y en como lo hace, identificados principalmente en la **figura 3-5**.



Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/184333/Catala%20-%20Los%20Roles%20de%20Belbin.pdf?sequence=1>

Figura 3-5: Principales dimensiones que definen el concepto de rol

El conocimiento de estos factores y cómo influyen en cada tipo de rol, permitirá a los evaluadores y encargados de formar el equipo de trabajos críticos, mediante el conocimiento que tiene de su grupo de trabajo, o mediante el uso de instrumentos de indagación, conocer o inferir la predisposición inicial de las personas de su equipo hacía unos determinados comportamientos y desarrollar expectativas claras sobre la contribución que puede esperar de un determinado candidato.

Balbin defines 9 tipos de roles, acuñándolos con el término de roles útiles o roles de equipo, definiéndolos como una tendencia a comportarse, contribuir e interrelacionarse con los demás de una determinada manera.

3.3.3.2. Los nueve tipos de roles

Impulsor: Retador, dinámico, trabaja bien bajo presión, proporcionan la energía necesaria para asegurar que el equipo no pierda el impulso, por lo que en general son identificadas como personas retadoras y esto puede ofender los sentimientos de ciertos compañeros. Se puede esperar que pueda tornarse agresivo y malhumorado en afán de conseguir que las cosas de hagan.

Implementador: Practico, de confianza y eficiente, transforma las ideas en acciones, haciéndolo idóneo y necesario para planificar e implantar estrategias prácticas. Su principal debilidad es que puede ser inflexible, siendo lento en responder a nuevas

iniciativas. Se puede esperar que sea reacio a renunciar a sus propios planes en favor de cambios positivos.

Finalizador: Esmerado, concienzudo y ansioso, se suele usar de ellos para finalizar y pulir las tareas, buscando errores y sometiendo los trabajos a altos estándares de calidad. Su principal debilidad es poca holgura a la hora de delegar y suele preocuparse en exceso. Se puede esperar que sea acusado de llevar su perfeccionismo al extremo.

Coordinador. Maduros, seguros de sí mismos e imprescindibles para centrar al equipo en los objetivos, buenos para identificar el talento y delegar el trabajo de manera apropiada. Su principal debilidad es ser percibido como un manipulador y se suele descargar de trabajo personal. Se puede esperar que delegue en exceso.

Investigador de Recursos: Extrovertido, entusiasta y comunicativo, proporciona conocimiento sobre aspectos externos al equipo y del mismo modo transmite las ideas del equipo al exterior. Su principal debilidad es que al ser demasiado optimistas pierden el interés una vez que el entusiasmo inicial ha desaparecido. Se puede esperar que olviden dar seguimiento a sus iniciativas.

Cohesionador: Cooperador, perceptivo y diplomático, ayudan al equipo a sentirse más unido por su habilidad para escuchar e impedir enfrentamientos. Su principal debilidad es su indecisión en situaciones cruciales. Se puede esperar que dude a la hora de tomar decisiones poco populares.

Cerebro: Personas innovadoras e inventoras, buenos solventando los problemas de manera poco convencional. Su principal debilidad está en que pueden ignorar los incidentes y pueden estar demasiados absortos para comunicarse eficazmente. Se puede esperar que sean despistados u olvidadizos

Monitor Evaluador: Serio, perspicaz y estratega, bueno para proporcionar una visión lógica, realizar juicios imparciales y sopesar las distintas opciones del equipo de una manera desapasionada. Su principal debilidad es carecer de iniciativa y de habilidad para inspirar a otros. Se puede esperar una lentitud a la hora de tomar decisiones.

Especialista: Entregado, independiente, con intereses limitados, aporta cualidades y conocimientos específicos al equipo y solo contribuye cuando se trata de un tema que conoce bien. Su principal debilidad radica en su conocimiento específico y

comunicación llena de tecnicismos. Se puede esperar que se sature a si mismo con una gran cantidad de información.

3.3.3.3. Implementación de los roles en la propuesta

La aplicación de los roles es bastante directa, una vez terminada las entrevistas y seleccionado al personal, estos pasaran por una autoevaluación que el mismo Balbin propone (**Figura 3-6**). Los especialistas y evaluadores definirán los tipos de roles que serán más adecuados para el tipo de actividad critica.

Roles menos preferidos				Roles que eres capaz de asumir				Roles preferidos				Roles de equipo
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
												 Impulsor
												 Implementador
												 Finalizador
												 Coordinador
												 Cohesionador
												 Investigador de recursos
												 Cerebro
												 Monitor / Evaluador
												 Especialista

Fuente: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/184333/Catala%20-%20Los%20Roles%20de%20Belbin.pdf?sequence=1>

Figura 3-6: Cuadro de autoevaluación para definición del rol

En el caso de la instalación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica, se propone que el equipo se conforme al menos de estos 4 tipos de roles:

- 1) **Implementador:** Se necesita de alguien que sea practico, eficiente y que demuestre confianza, respetando en todo momento el procedimiento establecido, siendo inflexible ante desviaciones de omisión o comisión en el montaje o medidas de seguridad.
- 2) **Coordinador:** Se necesita de alguien maduro, que tenga presencia y liderazgo en terreno, con facilidades para detectar el talento y delegar al equipo según sus habilidades para instalar enfierradura en toda su secuencia constructiva.
- 3) **Cohesionador:** Se necesita a alguien cooperador y conciliador, que se encargue de mantener al equipo unido y evite los enfrentamientos

innecesarios, sobre todo bajo el clima y la presión del contexto de la construcción.

- 4) **Monitor Evaluador:** Se necesita a alguien serio, con dominio técnico y preciso, que resuelva dudas del trabajo sin divagar y esté en conocimiento de las últimas revisiones de los planos y protocolos.

Con la presencia de estos cuatro roles, se debería aumentar considerablemente la probabilidad de éxito en toda la extensión de esta actividad crítica, generando un proceso confiable para el proyecto y las personas.

3.3.4 DEPARTAMENTO DE CONFIABILIDAD HUMANA

Si existe una medida a largo plazo que sea idónea para aumentar la confiabilidad humana de todos los procesos del proyecto es la creación de un departamento interno de FLUOR-SALFA que se encargue exclusivamente de eso. La seguridad conductual del programa SBC es una rama del departamento HSE muy bien establecida, tomando este ejemplo, no es descabellado pensar en que la empresa quiera invertir en reducir la probabilidad del error en todos sus procesos, considerando los grandes costos que tiene el riesgo asociado a actividades críticas.

Este departamento estaría idealmente conformado por especialistas en observación cognitiva y análisis de datos predictivos, donde se trabaje sobre una base de datos probabilísticos internos y externos (estadísticas de accidentabilidad nacional), que se alimente constantemente, incluso bajo una red neuronal, y permita el acceso a una amplia cantidad de KPI (Key Performance Indicators) relacionados con la probabilidad de error humano o el porcentaje de riesgo de una actividad deseada, que permitan a los líderes de terreno o gerencia a tomar decisiones en base al HEP.

Una idea aún más ambiciosa sería la creación de una plataforma de acceso general para la compañía, donde incluso los mismos trabajadores puedan hacer sus análisis, ingresando personalmente las condiciones del trabajo, factores preocupantes y precursores del riesgo. En caso de que una actividad tenga un porcentaje más alto sobre el criterio de aceptación (que se plantee por alguna jefatura o según el contexto), este será una excusa aceptada para detener los trabajos antes de realizarlos, no pudiendo continuar hasta que sean mejoradas o corregidas las condiciones causantes del porcentaje alto.

Se les plantea esta idea a los gerentes de construcción Bernardo Saldias y Juan Torres, sobre el realismo y probabilidad de implementación a largo plazo de esta idea, y ambos comentaron que, con la debida justificación científica – económica, era posible que el directorio considerará la inversión para formar un departamento de estas características.

3.4 **REDUCCIÓN DEL ERROR HUMANO EN LA ACTIVIDAD CRITICA**

Tomando lo expuesto en los puntos 3.2 y 3.3, en especial las mejoras a corto plazo, las campañas informativas y el procedimiento redefinido con la técnica del HTA, se puede ver una potencial mejoría en el entendimiento de los trabajadores sobre las causas raíz del riesgo en actividad critica. El concepto de “omisión y comisión” ha sido bastante bien adoptado, exponer la distracción y el exceso de confianza como principales precursores del riesgo históricos ha sido revelador para la mayoría, comprendiendo que una buena parte de la probabilidad de error viene de las personas, y este es un factor que los trabajadores tienen el poder de cambiar.

Considerando el beneficio del HRA aplicado, y discutiendo con los expertos involucrados, se puede definir que el traslado, instalación y fijación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica cae dentro de una nueva categoría de tarea genérica (GTT) dentro de los parámetros de HEART. Sin embargo, al ser una tarea ahora **de rutina y altamente practicada, pero que aún requiere alto nivel de comprensión y habilidad, siguiendo el estado de un nuevo procedimiento**, parece quedar en un punto medio entre la tarea genérica tipo E y F.

Tabla 3-5: GTTs anterior y los nuevos seleccionados para la actividad critica

REFERENCIA	GTT	HEP
D (actual)	Tareas complejas que requieren un alto nivel de compresión y habilidad donde se presta escasa atención.	0,09
E	Rutina, altamente practicada, tareas rápidas que implican relativamente bajo nivel de habilidad.	0,02
F	Restablecer o cambiar un sistema al original o siguiendo un estado nuevo de procedimiento, con cierta comprobación.	0,003

Fuente: Elaboración propia en base a GTT del HEART

Por lo tanto, se decide aplicar un HEP intermedio entre ambas GTT de **0,0115, generando un nuevo cálculo de la probabilidad humana:**

Tabla 3-6: Nuevo cálculo de la probabilidad de fracaso utilizando HEART con el GTTs asignado después de mejoras

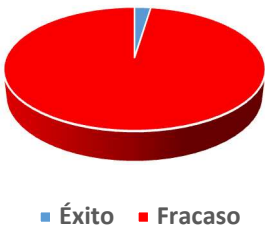
Tarea	Tarea Genérica	Falta de confiabilidad	EPCs	Multiplicador Máximo	Proporción de efecto	Efecto evaluado	Probabilidad de fracaso
Traslado, instalación y fijación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica	E & F	0,0115	2	11	0,3	4,0	12,28%
			5	8,0	0,4	3,8	
			6	8,0	0,2	2,4	
			9	6,0	0,2	2,0	
			12	4,0	0,6	2,8	
			16	3,0	0,3	1,6	
			20	2,0	0,6	1,6	
			21	1,8	0,3	1,24	
			26	1,4	0,4	1,16	
			27	1,4	0,4	1,16	
			29	1,2	0,3	1,06	
			35	1,1	0,5	1,05	

Fuente: Fuente: Elaboración propia en base a nuevo cálculo del HEP en base a HRA realizado en capítulos 2 y 3.

Considerando los 3 CPC que aplican gracias al enfoque CREAM, donde en conjunto se asigna un factor de 1,1 a aplicarse al HEP, el cálculo final mejorado resulta:

HEP FINAL = 12,28% * *Factor CPC* (1,1)

HEP FINAL = 13,51%



Fuente: Elaboración propia en base a HEP antes del HRA

Gráfico 3-1: Grafico de torta de probabilidad de fracaso v/s probabilidad de éxito



Fuente: Elaboración propia en base a HEP después del HRA

Gráfico 3-2: Grafico de torta de probabilidad de fracaso v/s probabilidad de éxito

CONCLUSIÓN

A pesar de que las técnicas de confiabilidad humana existen hace más de 40 años, industrialmente aún es un concepto bastante desconocido, con muchas oportunidades de ser aplicado a los distintos contextos de la construcción de plantas mineras, en este caso, el proyecto DMC no es la excepción. Al explorar las posibilidades de mejora que un HRA implica en el personal de obras civiles y sus actividades críticas, se da cuenta de una contradicción importante entre la preparación cognitiva de las personas y lo que la compañía espera de ellas, teniendo el trabajador promedio que abarcar una gran cantidad de procedimientos, reglamentos de seguridad y estándares corporativos para poder trabajar sin ninguna desviación. Hay una marcada debilidad empresarial en los criterios de aceptación del personal siendo solamente la experiencia previa o ser referenciado por alguien ya al interior del proyecto, sumado a que no existe entrevista psicológica y los cursos de modalidad online son extensos, pero fácilmente realizables por una persona que no sea el trabajador, de esta forma, es bastante probable que el único requisito que haya cumplido una buena parte del personal es el chequeo médico obligatorio.

En el análisis contextual realizado en el capítulo 2 se recopilieron todos los datos cualitativos posibles, con el propósito de poder identificar objetivamente el comportamiento y aptitudes de los trabajadores, reconociendo las principales oportunidades de mejoras antes de cuantificar el error humano. El trabajador se auto percibió como alguien capaz de enfrentar satisfactoriamente dificultades cognitivas, técnicas y de presión de tiempo, pero esto se contradijo con la visión personal, los datos del programa SBC y la opinión de los expertos en prevención. Esta contradicción resultó un indicio importante que enfocó el análisis cualitativo-contextual hacia una serie de falencias cognitivas, desde conductas excesivamente permisivas y desinteresadas ante lecciones aprendidas, hasta errores humanos por falta de conocimientos técnicos y protocolares. Sin embargo, hubo un punto donde todas las partes coincidieron; Los trabajos que involucran altura física y maniobras de izaje son los más complicados en términos de seguridad y complejidad. A través de este consenso, y de una matriz de criticidad, se selecciona al traslado, instalación y fijación de enfierradura en altura con apoyo de grúa hidráulica como la actividad más crítica del proyecto.

Se seleccionaron las cuatro metodologías: HTA, THERP, HEART y CREAM debido a su compatibilidad y constantes referencias en la mayoría de los estudios de confiabilidad humana encontrados en artículos, papers y libros. La combinación de estas cuatro técnicas en un solo HRA no tiene precedentes en la literatura, al menos tras una

extensa investigación personal, por lo que aportó un valor único a esta investigación. Considerando los resultados observados, se concluye que la aplicación combinada fue satisfactoria, siendo la HTA una forma muy efectiva de descomponer la tarea, que en conjunto de la amplia gama de conceptos definidos en THERP, que gozan de validación internacional, sentaron la base para la aplicación de HEART como método de cálculo del HEP predilecto, luego este HEP fue modificado considerando la base cognitiva del CREAM, detectando una correlación interesante entre los PSF / EPC / CPC como factores de modificación basados en condiciones de conducta, rendimiento y cognición en las personas.

Como resultado principal de la aplicación de las metodologías HRA en la actividad crítica, se evidenció una secuencia lógica compleja ramificada en más de 60 pasos categorizada como una GTT de tipo D, significando una “Tarea compleja que requiere un alto nivel de comprensión y habilidad donde se presta escasa atención”, donde la selección de 12 EPC y 3 CPC resultó en una probabilidad de fracaso del 96,14%.

Se logró encaminar las mejoras lo más posible a la realidad, al relacionar las tendencias conductuales históricas del programa SBC con los principales EPC que contribuyen más a la magnitud del HEP final. Se detectó que la mitad de los EPC coincidían con los factores de “Distracción”, “Exceso de confianza”, “Ahorro de tiempo” y “Falla en la percepción del peligro”, enfocando las propuestas a corto y mediano-largo plazo a fortalecer esos puntos débiles, siendo los más destacables:

- La modificación del procedimiento de instalación de enfierradura.
- Campañas contra los precursores del riesgo.
- Creación de un equipo cognitivo para actividades críticas.
- La implementación de los 9 roles de Balbin.
- Un departamento de confiabilidad humana.

Finalmente, tras consultar a los expertos de terreno y prevención, se mueve el tipo de GTT desde la letra D a un intermedio entre la E y F al convertirse en una tarea que ahora es “de rutina y altamente practicada, pero que aún requiere alto nivel de comprensión y habilidad, siguiendo el estado de un nuevo procedimiento”. El nuevo HEP asignado de 0,0115 permite bajar la probabilidad total de falla humana a un 13,51%. Confiando en el criterio de los gerentes de construcción, se les comenta la aplicabilidad técnico-económica de esta medidas, siendo el realismo la base para proponerlas, y ambos

concordaron que, presentando la suficiente preparación, solidez científica y justificación económica, era posible aplicarlas al contexto actual del proyecto DMC.

En retrospectiva, este análisis de carácter pionero demuestra, en parte, un antecedente importante para proponer una aplicación científica adecuada que cuantifique algo tan complejo como la probabilidad de que un humano erre. Esto puede ser algo transformativo en el contexto de la construcción y montaje de faenas mineras, y posibilita una transformación de las dinámicas operacionales, reduciendo significativamente el riesgo en las personas y mejorando la seguridad en proyectos de alta complejidad.

Actualmente, la visualización de la problemática y las propuestas planteadas de este trabajo de título han logrado que la superintendencia y gerencia de prevención de riesgos confesara su necesidad de generar una nueva corriente centrada en la predicción de eventos subestándar. Al igual que en la historia del mantenimiento industrial, con la cantidad correcta y verídica de datos cuantitativos, se podría trabajar en el futuro con KPIs que permitan hacer una revolucionaria forma de “prevención de riesgos predictiva”, como una especie de similitud con el mantenimiento industrial predictivo moderno que trabaja con ciertos niveles de confiabilidad deseados. Se han realizado las primeras reuniones con las partes interesadas para presentar el proyecto a la alta gerencia del proyecto, a través de un informe técnico que se encuentra en desarrollo.

BIBLIOGRAFÍA.

Hollnagel, E. (1998). *Cognitive Reliability and error Analysis Method (CREAM)*. Elsevier Science.

García Palencia, O. (2020). *Diagnóstico estratégico de confiabilidad humana de una planta de generación eléctrica* [Presentación en PowerPoint]. AMBE SAS.

Navas de Maya, B., Komianos, A., Wood, B., de Wolff, L., Kurt, R. E., & Turan, O. (2022). A practical application of the Hierarchical Task Analysis (HTA) and Human Error Assessment and Reduction Technique (HEART) to identify the major errors with mitigating actions taken after fire detection onboard passenger vessels. *Ocean Engineering*, 253, 111339. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111339>

Bell, J., & Holroyd, J. (2009). *Review of human reliability assessment methods* (RR679). Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive, <https://www.hse.gov.uk>.

Swain, A. D., & Guttman, H. E. (1983). *Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications* (NUREG/CR-1278). Sandia National Laboratories.

Carlos Baldi, Alfredo Sherrington “Neurociencias Aplicadas para la Seguridad, Salud Ocupacional, Bienestar”.

J.C Williams (1986) “Un método propuesto para evaluar el error humano”. Elsevier Science.

Minera Centinela. (2023). “*Nuestra estrategia*”. [En línea] <https://web.mineracentinela.cl/nosotros/que-hacemos/nuestra-estrategia>

Català, P. (2016). *Los roles de Belbin*. Valencia (España): Universidad Politécnica de Valencia, <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/184333/Catala%20-%20Los%20Roles%20de%20Belbin.pdf?sequence=1>

Belbin, M. (2013). Roles de Equipo en el trabajo. Madrid (España): Belbin Spain & Latam.

Shirley, R. B., Smith, C., Li, M., & Gupta, A. (2018). Validating THERP: Assessing the scope of a full-scale validation of the Technique for Human Error Rate Prediction. Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306454914005568>

Camacho Ortega, M. J., & Martínez Ovalle, A. B. (2018). Manual para evaluar la confiabilidad y el error humano en procesos industriales. Universidad de los Andes

ANEXOS

Asegúrese que el voltaje de la red de alimentación a la que va a ser conectada la máquina coincida con el voltaje que se indica en la etiqueta adhesiva fijada a la máquina.

Asegúrese que el cable de extensión de alimentación de la máquina no entre en contacto con puntos de alta temperatura, aceites, agua, aristas cortantes, evitar que sea pisado o aplastado por el paso de vehículos y personas, así como depositar objetos sobre el mismo.

No utilizar agua a presión para limpiar circuitos y elementos eléctricos.

4.3.3 Transporte y Descarga de Armaduras Pre-armadas en Taller Fuera de Obra:

- ✓ La mayor parte de las armaduras serán dimensionadas, cortadas y dobladas en frío fuera de obra, de acuerdo con el detalle entregado por planos y especificaciones, y traslado a obra de acuerdo a programa, con su respectivo tag, el chequeo de dichas armaduras será realizado por personal competente y dispuesto por supervisor de la especialidad.
- ✓ El Transporte de las armaduras pre-armadas o por piezas, se hará sobre la plataforma de un camión pluma, camioneta u otro de acuerdo a las necesidades. En caso de ser transportado en un equipo motorizado, se deberá cumplir con las normas de tránsito establecidas por el proyecto.
- ✓ El CAPATAZ de enfierradura revisará y entregará los trabajos de acuerdo con la lista de chequeo de montaje de pre-armados de armaduras PV2-CIV-LC-001
- ✓ En caso de que se ejecuten prefabricados en serie, estos serán identificados físicamente por el CAPATAZ de enfierradura asociándolos a la lista de chequeos correspondiente.
- ✓ El CAPATAZ de enfierradura revisará la estabilidad y rigidez del prearmado para asegurar que este no sufrirá alteraciones durante su montaje. Esto será registrado en la lista de chequeo de montaje de pre-armados de armaduras PV2-CIV-LC-001
- ✓ El equipo de traslado deberá ubicarse en un lugar despejado y se procederá a realizar la descarga de las armaduras directamente en el lugar establecido.
- ✓ La manipulación de las armaduras pre-armadas se hará preferentemente con equipo mecánico, camión pluma, tracto pluma o grúa, dependiendo del peso y/o volumen de la armadura pre-armada.
- ✓ Dependiendo de las dimensiones, en caso de venir por piezas se transportará en camión ¾ y se podrá manipular de forma manual, para esto se deberá tener las precauciones necesarias de los riesgos asociados a la actividad.
- ✓ El supervisor será el encargado de verificar las características del equipo de montaje para su manipulación. Cuando se descarguen estructuras armadas éstas deberán tener ganchos en sus extremos del cual se engancharán las eslingas u otros elementos de izaje.
- ✓ Se evitará en lo posible almacenar en terreno material (Enfierradura) que no se utilizará de forma inmediata, con el fin de evitar la generación de Herrumbre u oxidación.
- ✓ El acopio de materiales se realizará de acuerdo con largos y diámetros correspondientes, estos quedarán ordenados, firmes y manteniendo espacios para el tránsito peatonal, sin estar en

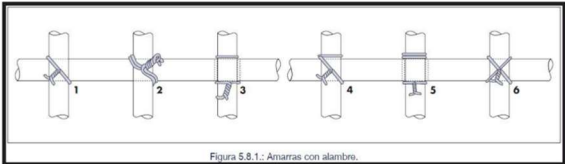
Procedimiento de Cortado, Doblado e Instalación e Instalación de Enfierradura

contacto directo con el suelo posicionados sobre madera evitando el contacto directo con el suelo y todo elemento extraño que pueda causar algún daño al material.

- ✓ Para las descargas de camiones con armadura en punta o previamente doblada, se utilizará grúa horquilla, grúa hidráulica, camión pluma o tracto pluma. Si las condiciones de terreno lo permiten, las descargas se podrán realizar de forma manual.

4.3.4 Instalación

- ✓ Las armaduras de refuerzo deberán amarrarse en forma manual o con uso de herramienta automática, con alambre negro de 14 o 18, y no se permitirá el uso de soldadura, se deberá amarrar a lo menos una barra por medio. La secuencia de amarre está dada de acuerdo al avance de la actividad del proyecto.
- ✓ Se adjunta diagrama de Amarras con alambre extracto manual Gerdau Aza Figura 5.8.1, a modo de ejemplo.



- ✓ La distribución de armadura se define marcando topográficamente sobre el emplentillado (con spray u otro elemento notorio) y su distribución debe ejecutarse de acuerdo a las indicaciones del proyecto (planos y especificaciones técnicas).
- ✓ Para sostener o separar las armaduras de los moldajes se emplearán espaciadores de bloques de hormigón de igual o superior resistencia al elemento, de base cuadrada o redonda de 4-5 cm y en espesor que indiquen los planos como recubrimiento. La disposición será al menos una cada 1,5 metros, o en su defecto se utilizarán polines de acero según las características del elemento, con el fin de soportar el peso de malla.
- ✓ Los empalmes de las armaduras principales y, la longitud de traslapes será la que indiquen los planos del proyecto y en su defecto de acuerdo con la norma NCh 211 "Requisitos de la Enfierradura para hormigón armado" o en su defecto lo indicado en el código ACI 318 el traslape deberá ser de 40 veces el diámetro del material a utilizar, o según lo indicado en planos y Especificaciones Técnicas aprobadas para construcción.
- ✓ Se deberá instalar la cantidad suficiente de pisaderas, escalas, pasarelas, soportes y otras instalaciones provisionarias definidas en terreno, para que los trabajadores puedan circular libremente para el desarrollo de esta actividad, prohibiendo el tránsito directo sobre la enfierradura.

Procedimiento de Cortado, Doblado e Instalación e Instalación de Enfierradura

- ✓ La armadura debe estar libre de herrumbre u oxidación suelta laminada. Cuando exista esta presencia, debe ser eliminada por escobillado, utilizando los E.P.P. adecuados para controlar los riesgos de proyección de partículas
- ✓ La armadura debe estar libre de aceites y grasas, tampoco debe tener concreto excesivo adherido de vaciados anteriores, que impidan su adherencia con el hormigón.
- ✓ Los extremos serán protegidos con cap o similar, para eliminar el riesgo de empalamiento.
- ✓ En la etapa de instalación de la enfierradura, cuando la altura libre de la armadura vertical de muros sea superior a los 3 metros se deberá afianzar la estructura por medio de puntales de fierro de 16 mm hacia el interior, utilizando como base la losa o vigas según sea la etapa constructiva, evitando de esta manera el volcamiento hacia el interior. Por otro lado, para evitar el vuelco hacia el exterior, se deberá utilizar vientos de cable acero o perón de algodón de ½" afianzado a fierro de 16 mm entrelazado en la estructura, el viento se deberá anclar a la losa o viga según sea la etapa constructiva.

4.3.5 Inyección de Fierros

En aquellos casos que se requiera, ya sea por modificación u omisión, se deberá inyectar fierro bajo la siguiente secuencia, siempre y cuando exista confirmación por ingeniería a través de RFI:

- 1) Perforar en la zona inexistente de armadura con una broca Hilti o similar del diámetro correspondiente por una profundidad a indicar por ingeniería en cm.
- 2) Limpiar la perforación y superficie con aire a presión.
- 3) Aplicar epóxico Hilti RE-500 o similar, aplicando desde el fondo hacia arriba hasta las ¾ partes de la perforación.
- 4) Inyectar Barra de fe, girando de manera de ir atornillado hasta que llegue al fondo de la perforación

4.3.6 Instalación de Peinetas

De las manobras

Se posiciona camión rampla en un lugar libre de obstáculos, con la guía de un señalero.

- 1) Se cargarán las peinetas con apoyo de grúa móvil o grúa horquilla con toda la documentación respectiva y se posicionara en cuarterones de madera en forma transversal a la carga sobre camión.
- 2) Cuando el camión no posea cuerda de vida se instalará una escalera portátil para acceder, la cual deberá ser posicionada en una zona libre de obstáculos.
- 3) Una vez instalada la escalera el trabajador se amarrará a un punto rígido de la enfierradura, para así posicionar los grilletes.
- 4) Las herramientas de izaje deberán estar todas certificadas y con el código de color que corresponda, además de su respectiva lista de chequeo.

Procedimiento de Cortado, Doblado e Instalación e Instalación de Enfierradura

- 5) Ya instalados los grilletes, el trabajador desciende del camión por la escalera, la cual está siendo siempre sostenida por un trabajador para así lograr la rigidez y buena postura de esta.
- 6) Se realiza la documentación de izaje correspondiente por parte del rigger en el lugar de la descarga e instalación de la peineta.

De las peinetas

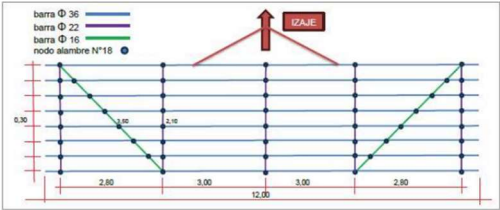
- 1) Se analizará el nodo más desfavorable, que corresponderá a la de la parte superior, ya que es la que debe soportar mayor esfuerzo.

Posteriormente se procederá a determinar los pesos de cada barra obtenidos mediante datos del fabricante. Se tiene en consideración acero A-36-42H.

Luego de determinar los pesos obtenidos (distribuidos), se analizará el nodo por el largo de influencia que debe resistir.

1.1. Peineta horizontal.

A continuación, se muestra el esquema analizar



- 2) **Pesos** Las cargas permanentes presentes en el diseño solo corresponden a pesos propios de los materiales utilizados.
Barra Φ 16 mm, largo 3,50 m, por datos del fabricante el peso por metro lineal corresponde a 1,58 kg/m. Luego el largo que deberá resistir el nodo será de 3,50 m (el largo total de la barra)
Peso por barra = **5,53 Kg.**

Barra Φ 22 mm, largo 2,10 m, por datos del fabricante el peso por metro lineal corresponde a 2,98 kg/m. Luego el largo que deberá resistir el nodo será de 2,10 m (el largo total de la barra)
Peso por barra = **6,26 Kg.**

Barra Φ 36 mm, largo 12,0 m, por datos del fabricante el peso por metro lineal corresponde a 7,99 kg/m. Luego el largo que deberá resistir el nodo será de 4,00 m (1/3 de la barra)
Peso por 1/3 de barra = **31,96 Kg.**

Procedimiento de Cortado, Doblado e Instalación e Instalación de Enfierradura

Diseño de estaca de acero.

Mediante el método ASD, resistencia última se verificará que la amarra, cable del n°18, resista el total cargas solicitantes que serán los pesos propios de cada barra a izar.

$\Sigma Pu \leq 0,9 Fy Ag$

$Pu = \Sigma \text{Barra } \Phi \text{ 16 mm} + \text{Barra } \Phi \text{ 22 mm} + \text{Barra } \Phi \text{ 36 mm}$

$Pu = 5,53 + 6,26 \times 2 \text{ (cant. Barras)} + 31,96 \times 8 \text{ (cant. barras).}$

$Pu = 273,73 \text{ kg}$

$Fy = 40 \text{ kg/mm}^2 \text{ (alambre N°18)}$

$Ag = \pi r^2$, donde $d = 1,25 \text{ mm.} = 1,23 \text{ mm}^2$.

$273,73 \leq 0,9 \times 40 \text{ kg/mm}^2 \times 1,23 \text{ mm}^2$.

$273,73 \leq 44,28 \text{ (cada hebra de alambre)}$

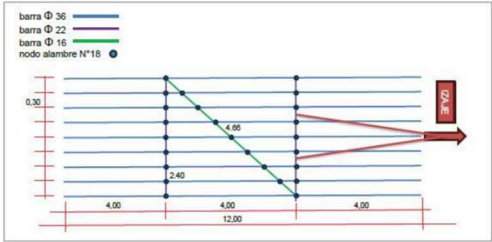
$273,73 \leq 44,28 \times 6 \text{ (total de hebras)} = 265,68$, no cumple.

$273,73 \leq 44,28 \times 7 \text{ (total de hebras)} = 309,96$, si cumple.

Por lo tanto, con 7 hebras cumple la resistencia mínima.

2.1 Peineta vertical.

A continuación, se muestra el esquema analizar



Procedimiento de Cortado, Doblado e Instalación e Instalación de Enfierradura

Pesos

Las cargas permanentes presentes en el diseño solo corresponden a pesos propios de los materiales utilizados.

Barra Φ 16 mm, largo 4,66 m, por datos del fabricante el peso por metro lineal corresponde a 1,58 kg/m. Luego el largo que deberá resistir el nodo será de 4,66 m (el largo total de la barra)

Peso por barra = 7,36 Kg.

Barra Φ 22 mm, largo 2,40 m, por datos del fabricante el peso por metro lineal corresponde a 2,98 kg/m. Luego el largo que deberá resistir el nodo será de 0,80 m (1/3 del total de la barra)

Peso por 1/3 de barra = 2,38 Kg.

Barra Φ 36 mm, largo 12,0 m, por datos del fabricante el peso por metro lineal corresponde a 7,99 kg/m. Luego el largo que deberá resistir el nodo será de 12,00 m (largo total de la barra)

Peso por barra = 95,88 Kg.

Diseño de estaca de acero.

Mediante el método ASD, resistencia última se verificará que la amarra, cable del n°18, resista el total cargas solicitantes que serán los pesos propios de cada barra a izar.

$\Sigma Pu \leq 0,9 Fy Ag$

$Pu = \Sigma \text{Barra } \Phi \text{ 16 mm} + \text{Barra } \Phi \text{ 22 mm} + \text{Barra } \Phi \text{ 36 mm}$

$Pu = 5,53 + 2,38 \times 2 \text{ (cant. Barras)} + 95,88 \times 3 \text{ (cant. barras).}$

$Pu = 297,93 \text{ kg}$

$Fy = 40 \text{ kg/mm}^2 \text{ (alambre N°18)}$

$Ag = \pi r^2$, donde $d = 1,25 \text{ mm.} = 1,23 \text{ mm}^2$.

$297,93 \leq 0,9 \times 40 \text{ kg/mm}^2 \times 1,23 \text{ mm}^2$.

$297,93 \leq 44,28 \text{ (cada hebra de alambre)}$

$297,93 \leq 44,28 \times 6 \text{ (total de hebras)} = 265,68$, no cumple.

$297,93 \leq 44,28 \times 7 \text{ (total de hebras)} = 309,96$, si cumple.

Por lo tanto, con 7 hebras cumple la resistencia mínima.

Procedimiento de Cortado, Doblado e Instalación e Instalación de Enfierradura

Fuente: COREWORX, documentos de ingeniería FLUOR-SALFA

Anexo 1: Paginas 16 a la 21 de procedimiento actual de “DOBLADO, CORTADO E INSTALACIÓN DE ENFIERRADURA”



Fuente: Elaboración propia foto tomada el día 21/09/2024

Anexo 2: Entrevista a supervisor HSE



Fuente: Elaboración propia foto tomada el día 23/12/2024

Anexo 3: Foto de pancarta informativa sobre tendencias SBC semanal



Fuente: Elaboración propia foto tomada el día 23/12/2024

Anexo 4: Mural de área con campaña asociada a los precursores de riesgo

Fluor Salfa

ENTREVISTA DE CONFIABILIDAD HUMANA
"de carácter confidencial"



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

Del 1 al 10, ¿qué tan cansado físicamente te encuentras?

6

Del 1 al 10, ¿qué tan cansado mentalmente te encuentras?

5

Del 1 al 10 ¿qué tan seguro te sientes de los trabajos que haces (experticia)?

9

Del 1 al 10 ¿qué tan seguro te sientes de tus habilidades técnicas (lectura de planos, medidas, materiales)?

8

Del 1 al 10 ¿que tan seguro te sientes de tus habilidades cognitivas (memoria, escritura, lectura)?

8

Del 1 al 10 ¿qué tan fuerte mentalmente te sientes?

10

Eres de las personas que guardan sus sentimientos y opiniones o los trasmite en el trabajo.

Trasmite mis ideas

¿Cuál es tu puesto actual en el proyecto y cuánto tiempo llevas trabajando en esta posición?

MI OBRAS CIVILES - 15 AÑOS

¿Cuánto tiempo de experiencia tienes en este tipo de tareas?

7 AÑOS

¿Te sientes cómodo y seguro con las tareas que realizas?

Si

¿Hay alguna tarea que consideres más difícil que otras?

NO

Fluor Salfa

ENTREVISTA DE CONFIABILIDAD HUMANA
"de carácter confidencial"



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

¿Hay alguna tarea que consideres más peligrosa que otras?

MOLDAJE EN ALTURA

¿Puedes mencionar algunas de las tareas donde sientes que hay más probabilidad de que ocurran errores? (complejidad técnica)

CUANDO AY QUE COLOCAR INSERTOS

¿Puedes mencionar algunas de las tareas donde sientes que hay más probabilidad de que ocurran accidentes? (complejidad en seguridad)

IZAJE DE MOLDAJE

¿Qué haces cuando hay cambios o imprevistos en el trabajo? ¿Sigues el procedimiento que aplique o tienden que improvisar?

SE SIGUE PROCEDIMIENTO

¿Qué factores te dificultan más el trabajo?

ES MUY SECO Y MUCHO CALOR

¿Y Cómo afectan tus decisiones factores como este?

UNO SE FATIGA MAS

¿La presión o la carga de trabajo te hacen sentir más propenso a cometer errores?

¿Puedes dar un ejemplo donde aplique? O no siente la presión suficiente

NO

Fluor Salfa

ENTREVISTA DE CONFIABILIDAD HUMANA
"de carácter confidencial"



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA

¿Hay alguna condición o situación en la que sientas que aumenta la probabilidad de cometer errores? ¿Hay algo o alguien?

NO

¿Crees que tienes todo el equipo y recursos necesarios para trabajar de forma segura?

SI

¿Qué sugerencias darías para reducir el riesgo de errores en las tareas que realizas?

MAS RADIOS MEJOR COMUNICACION

¿Sientes que recibes suficiente apoyo y supervisión durante las tareas críticas?

SI

Fuente: Elaboración propia en base a entrevista realizada a trabajadores

Anexo 5: Ejemplo de entrevista respondida realizada a trabajador