



PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA EN MANTENIMIENTO ENFOCADO A PYMES

Estudiante investigador:
Jhohan Andrés Piza Méndez.

Director del trabajo dirigido:
M.Sc. Ing. Luis Mauricio Dávila

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Programa de Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C., Colombia
2022

PROPUESTA DE MODELO DE EVALUACIÓN DE LA CONFIABILIDAD HUMANA EN MANTENIMIENTO ENFOCADO A PYMES

Estudiante investigador:
Jhohan Andrés Piza Méndez.

Director del trabajo dirigido:
M.Sc. Ing. Luis Mauricio Dávila

Trabajo dirigido

Línea de Investigación:
Gestión de Activos y Mantenimiento
Grupo de Investigación:
Diseño Sostenible en Ingeniería Mecánica (DSIM)

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Programa de Ingeniería Mecánica
Bogotá D.C., Colombia
2022

*“En lugar de temerle al desafío y al fracaso, ten
miedo de evitarlos y no hacer nada”*

*Soichiro Honda
Fundador de Honda Motors*

Resumen

El análisis de la confiabilidad humana, se ha convertido en una parte muy importante dentro de todas las organizaciones, ya que no solo basta con un buen conjunto de equipos, que trabajen en óptimas condiciones, sino que a su vez y de la mano, se debe contar con metodologías que permitan tener un personal auto-dirigido, el cual se encuentre motivado e inspirado, para poder lograr los resultados esperados. Este documento pretende dar a conocer una recopilación literaria sobre diferentes métodos o modelos, los cuales permiten realizar un cálculo numérico de la probabilidad del error humano (HEP) de diferentes maneras. Estos modelos también permiten tener una mejor visión de cómo enfrentarse a las falencias que se puedan tener dentro del capital humano presente, teniendo como finalidad identificar los aspectos que estén originando errores humanos dentro de las tareas que realizan.

Por otro lado, se propone un modelo de evaluación de confiabilidad humana, este está enfocado esencialmente para ser implementado en pequeñas y medianas empresas, se basa principalmente en un análisis de simplificación, en donde se busca llevar cada fallo desde los aspectos más generales de la organización, hasta llegar a cada factor humano, externo e interno, que puede estar afectando la conducta de las personas, con el objetivo de alinear los procedimientos de mantenimiento, con las adecuaciones de instalaciones, sociales, psicológicas, ambientales y de seguridad, para generar condiciones óptimas de trabajo que reduzcan y anticipen los agentes que afecten el rendimiento de las personas.

Palabras clave: (Confiabilidad humana, HEP, capital humano, factor humano, mantenimiento).

Abstract

The analysis of human reliability has become a very important part of all organizations, since not only is it enough with a good set of teams that work in optimal conditions, but also, hand in hand, It must have methodologies that allow having a self-directed staff, which is motivated and inspired, in order to achieve the expected results. This document aims to present a literary compilation on different methods or models, which allow a numerical calculation of the probability of human error (HEP) to be carried out in different ways. These models also allow a better vision of how to deal with the shortcomings that may exist within the present human capital, with the purpose of identifying the aspects that are causing human errors within the tasks they perform.

On the other hand, a human reliability evaluation model is proposed, this is essentially focused to be implemented in small and medium-sized companies, it is mainly based on a simplification analysis, where each failure is sought from the most general aspects of the organization, until reaching each human factor, external and internal, that may be affecting the behavior of people, with the objective of aligning maintenance procedures, with the adaptations of facilities, social, psychological, environmental and security, to generate optimal working conditions that reduce and anticipate the agents that affect people's performance.

Keywords: (Human reliability, HEP, human capital, human factor, maintenance).

Contenido

Resumen.....	4
Contenido.....	6
Lista de Figuras.....	8
Lista de Tablas.....	9
Lista de símbolos y abreviaturas.....	10
Glosario.....	11
Introducción.....	12
Justificación.....	14
Objetivos.....	15
Capítulo 1. Confiabilidad Humana.....	16
1.1 Confiabilidad operacional.....	16
1.2 Confiabilidad Humana.....	17
1.3 Capital Humano.....	19
Capítulo 2. Modelos de análisis de la confiabilidad humana.....	21
2.1 Métodos de primera generación.....	21
2.1.1 Técnica de predicción de la tasa de error humano “THERP”.....	22
2.1.2 Método del índice de probabilidad de éxito “SLIM”.....	23
2.1.3 Modelo de confiabilidad cognitiva humana “HCR”.....	23
2.1.4 Técnica de Evaluación y Reducción del Error Humano “HEART”.....	24
2.2 Métodos de segunda generación.....	24
2.2.1 Método de análisis de errores y confiabilidad cognitiva “CREAM”.....	25
2.2.2 Técnica para el análisis de errores humanos “ATHEANA”.....	26
2.2.3 Método de evaluación de la realización de un operador en seguridad.....	27
2.2.4 Análisis de riesgo de planta estandarizado “SPAR-H”.....	27
2.3 Métodos de tercera generación.....	28
2.4 Factor humano en la medición del desempeño de mantenimiento.....	29

Capítulo 3. El error humano.....	30
3.1 Tipos de errores.....	30
3.2 Modelo de gestión de factores humanos.....	32
3.2.1 Modelo de gestión de los factores humanos “SHELL”.....	32
Capítulo 4. Modelo de evaluación de la confiabilidad humana.....	34
4.1 Modelo de evaluación de la confiabilidad humana en mantenimiento.....	34
4.1.1 Primera fase del modelo MECH-MP.....	36
4.1.2 Segunda fase del modelo MECH-MP.....	37
4.1.3 Tercera fase del modelo MECH-MP.....	37
4.1.4 Cuarta fase del modelo MECH-MP.....	40
Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones.....	41
5.1 Conclusiones.....	41
4.1 Recomendaciones.....	42
Bibliografía.....	43

Lista de figuras

Figura 1.1: Pilares de la confiabilidad operacional	17
Figura 1.2: Elementos de la Confiabilidad Humana	18
Figura 1.3: Pilares de desarrollo del factor humano	20
Figura 2.2.1: modos de control humano	26
Figura 2.2.4: Modelo de comportamiento humano en SPAR-H	27
Figura 2.3: Simulación de HRA.....	28
Figura 2.4: Propuesta de modelo de calidad y cantidad de auditoría.....	29
Figura 3.1: Tipos de errores.....	31
Figura 3.2.1: Modelo de gestión de los factores humanos “SHELL”.....	33
Figura 4.1: Análisis de simplificación MECH-MP.....	34
Figura 4.2: Metodología MECH-MP.....	35

Lista de tablas

Tabla 4.1.1.1: Control de actividades.....	36
Tabla 4.1.1.2: Categorización HEP.....	36
Tabla 4.1.2.1: Categorización de riesgo.....	37
Tabla 4.1.3.1: Nivel de calificación.....	38
Tabla 4.1.3.2: Diagnóstico de reconocimiento del entorno.....	38
Tabla 4.1.3.3: Diagnóstico de reconocimiento de factores humanos.....	39
Tabla 4.1.4.1: Registro del plan de mantenimiento.....	40

Lista de símbolos y abreviaturas

<i>PYMES</i>	Pequeñas y medianas empresas.
<i>HEP</i>	Probabilidad de error humano.
<i>HRA</i>	Análisis de confiabilidad humana.
<i>THERP</i>	Técnica de predicción de la tasa de error humano.
<i>SLIM</i>	Método del índice de probabilidad de éxito.
<i>HCR</i>	Modelo de confiabilidad cognitiva humana.
<i>HEART</i>	Técnica de Evaluación y Reducción del Error Humano.
<i>CREAM</i>	Método de análisis de errores y confiabilidad cognitiva.
<i>ATHEANA</i>	Técnica para el análisis de errores humanos.
<i>MERMOS</i>	Método para la evaluación de la realización de un operador en materia de seguridad.
<i>SPAR-H</i>	Análisis de riesgo de planta estandarizado.
<i>SHELL</i>	(Soporte lógico “ <i>software</i> ”, equipo “ <i>hardware</i> ”, ambiente “ <i>Environment</i> ”, elemento humano “ <i>Liveware</i> ”).
<i>MECH-MP</i>	Modelo de evaluación de la confiabilidad humana en mantenimiento enfocado a pymes.

Glosario

Mantenedores

Operarios, trabajadores, Personas.

Árbol de eventos

Técnica de análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos

Introducción

Dentro de todos los tipos de empresas se presentan fallos, los cuales en ocasiones son generados por los mismos trabajadores, por diferentes tipos de factores que pueden estar afectándolos. Pero más allá del error cometido, es muy importante detectar y corregir las causas que los generan. Se debe entender primordialmente que una de las características que identifica a la humanidad es la alta probabilidad de cometer errores, como lo dice Amendola “hoy en día sabemos que equivocarse forma parte de la naturaleza humana” (Amendola), y hace referencia a una frase dice “errar es humano”. En este tipo de casos se requiere de un análisis de confiabilidad humana, la cual se define principalmente como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz de todas las personas, en todos los procesos, sin cometer errores o fallas derivados del conocimiento y actuar humano, dentro de un entorno organizacional específico (García, 2006). En otras palabras, la confiabilidad humana es la probabilidad de que las personas puedan realizar sus labores correctamente, sin que cometan errores que conlleven a una falla. Dentro del estudio de la confiabilidad en mantenimiento, la confiabilidad humana juega un papel muy importante, ya que es la encargada de detectar aquellas desviaciones dentro del comportamiento humano, que conllevan a que las actividades, se hagan de una manera errónea, afectando la calidad o la seguridad de los procesos de producción. Aparte de identificar este tipo de comportamientos, el estudio de la confiabilidad humana se encarga de generar diferentes tipos de actividades que permiten minimizar el efecto que estos errores puedan causar dentro del proceso, teniendo actividades preventivas para todos los implicados del proceso.

Este documento se centra en el estudio de los diferentes modelos de análisis de la confiabilidad humana (HRA) y en la creación de un modelo propio, en donde se busca principalmente crear un capital humano auto-dirigido, motivado e inspirado, definiendo principalmente el capital humano o capital intelectual como el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes tanto presentes como potenciales de los empleados en una determinada organización a partir de los cuales desarrollará su propuesta de empresa y alcanzará los objetivos propuestos (Castillo, 2012). En otras palabras el capital humano es el capital propio de las personas, se basa en talentos y habilidades. Dentro de este estudio, se quiere mejorar las diferentes características que representan este capital humano, desarrollando y mejorando las capacidades de los trabajadores, ejercitando el conocimiento y el ingenio con que estos realizan sus labores, ya que en la competitividad industrial que se vive en la actualidad, el capital humano se convierte en un factor primordial, que permite generar actividades de mejor calidad y a un mayor nivel de producción, con la finalidad de poder posicionarse al nivel de los demás competidores (Chiavenato, 2009).

Para lograr tener un buen análisis de los factores que afectan el capital humana se realiza un análisis de confiabilidad humana (HRA) (González & Loroña, 2019). Esta técnica permite identificar, analizar, cuantificar, y documentar todos los posibles modos de falla causados por actores humanos dentro de un proceso, además permite determinar los efectos que estas fallas producen sobre los equipos empleados. Para realizar este tipo de análisis se pueden utilizar diferentes métodos ya establecidos, estos se encuentran divididos en tres generaciones (Cornejo, 2021). Los métodos de primera generación están enfocados en ver los errores humanos como causa de fallas inherentes. Estos métodos se configuran bajo el supuesto de que los humanos fallan por defectos naturales, los métodos principales de esta primera generación son el Therp, Slim, HCR, Heart. Los métodos de segunda generación, dan a conocer una guía de todos los posibles patrones de decisión que pueden ser ejecutados por las personas, otorgan unos modelos de clasificación de errores, donde se reconoce la gran importancia de los errores cognitivos, los métodos principales de esta primera generación son Cream, Atheana, Mermos y Spar-H. Por último los métodos de tercera generación y fueron enfocados hacia la evolución de métodos preexistentes que ya se usaban, y están orientados a los vínculos y Dependencias que existen entre los factores que afectan el desempeño humano, creando aplicaciones computacionales para el buen desarrollo de la gestión de la confiabilidad humana en múltiples procesos e industrias.

Por último se encontrara el modelo de evaluación de la confiabilidad humana en mantenimiento enfocado a pymes "MECH-MP", el cual permite tener una mejor gestión del capital humano, el cual tiene como objetivo encontrar los factores que estén afectando el comportamiento de los trabajadores, llevándolos a que cometan errores. Este método genera una serie de actividades las cuales identifican las causas humanas de error para ser corregidas mediante acciones preventivas y correctivas. Para la implementación de este modelo, se realiza un procedimiento en el cual se identifican los errores que se presentan repetitivamente dentro de las actividades. Para esto se siguen una serie de pasos, que a su vez también tienen como finalidad, identificar los factores que estén influyendo dentro o alrededor de las personas, para así poder tomar acciones frente a estos problemas.

Justificación.

En Colombia, las pequeñas y medianas empresas en su mayoría, están muy alejadas de todo modelo que les permita tener una buena gestión de la confiabilidad humana en sus instalaciones, ya sea por su limitada capacidad de personal o porque en las más pequeñas, los trabajadores se dedican a múltiples tareas lo cual hace que sea un poco más difícil tener un modelo específico. Al no tener un modelo de gestión de la confiabilidad humana en este tipo de empresas, se tiende a tener un estudio de las fallas muy bajo, que solo se limita a ver la falla, reparar el equipo. Pero no se llega a analizar en que pudo influir el capital humano que se tenga en ese momento, esto genera que las fallas puedan repetirse.

Con la realización de este proyecto se pretende mejorar este tipo de comportamientos en este tipo de empresas, donde se pueda implementar este modelo de evaluación y así poder tener un mejor capital intelectual y por esta misma rama mejorar la confiabilidad operacional. Este modelo está enfocado para las PYMES, ya que las grandes empresas tienen sus propios modelos en este ámbito. Se piensa con este trabajo, dar a los pequeños empresarios herramientas que les permita emplear modelos de gestión de confiabilidad humana para así contribuir con una mejor gestión de los activos en sus empresas.

Objetivos.

Principal:

- Proponer un modelo de evaluación de la confiabilidad humana en mantenimiento dirigida a pequeñas y medianas empresas que permita mejorar el capital intelectual de las PYMES y por esta misma rama mejorar la confiabilidad operacional.

Secundarios:

- Ofrecer a las PYMES herramientas que les permitan tener una mejor organización humana en sus instalaciones donde primara la mejora continua de su capital humano.
- Generar en las PYMES una cultura de la confiabilidad humana que motive a los trabajadores y pequeños empresarios a tener una buena capacitación, motivación y excelente conocimiento de las actividades que realizan a diario.

Capítulo 1. Confiabilidad Humana

Dentro del campo de la gestión de activos, se busca un óptimo desarrollo del personal que conforma las empresas, lo que se quiere obtener en mantenimiento dentro del enfoque del comportamiento humano, es obtener mejores resultados, focalizándose primordialmente en las personas que conforman la organización. Para lograr obtener los mejores resultados dentro de este campo y más específico en el campo de las PYMES, se debe hacer un enfoque en la confiabilidad humana que generan los empleados, ya que son los principales responsables de que se haga una buena gestión de los activos (Rodríguez, 2011). La gestión de activos se centrara en este caso, en tener un personal auto-dirigido, el cual se encuentre motivado e inspirado, para poder lograr los resultados esperados y que esto a su vez desemboque en un buen manejo del mantenimiento. Dentro de este análisis se debe tener en cuenta el factor humano principalmente, ya que no solo basta con un buen conjunto de equipos, se tienen que tener metodologías que permitan aumentar la confiabilidad de los mantenedores, teniendo en cuenta esto, la relación que se quiere tener se denomina confiabilidad operacional (González & Loroña, 2019).

1.1 Confiabilidad operacional.

La confiabilidad de un equipo, un proceso, un sistema, etc. es la probabilidad con la que se puede utilizar, sin tener algún tipo de percance o falla que afecte el resultado final del producto. Según Amendola la confiabilidad operacional se define como una serie de procesos de mejora continua, que incorporan en forma sistemática, avanzadas herramientas de diagnóstico, metodologías de análisis y nuevas tecnologías, en búsqueda de optimizar la gestión, planeación y control, de la producción industrial (Amendola).

Otra definición de la confiabilidad operacional dice que es la capacidad que tiene un sistema que está compuesto por procesos, tecnología y personas, para cumplir su función, bajo un contexto operacional definido (Huerta R. , 2000). La confiabilidad operacional está conformada por 4 pilares operativos muy importantes, que encierran todos los procesos de mejora y que a su vez permiten garantizar la sostenibilidad de la producción a lo largo del tiempo, estos pilares son:

- Confiabilidad humana.
- Confiabilidad del diseño.
- Confiabilidad de los procesos.
- Confiabilidad de los equipos.



Figura 1.1: Pilares de la confiabilidad operacional (Amendola).

Como pilar inicial, confiabilidad desde el diseño, se puede entender como el encargado de hacer los respectivos procedimientos desde el momento en que los equipos son adquiridos y que permiten deducir como se van a comportar estos a lo largo del tiempo, su respectivo mantenimiento y debida operación. El segundo, confiabilidad de procesos, es el encargado de establecer cómo se va a manejar el proceso ya después de entrar en operación los equipos, definiendo las variables y las condiciones en que estos van a trabajar. El tercero, confiabilidad de los equipos, el cual es el encargado de todos los procedimientos de mantenimiento que se generen a lo largo del tiempo de funcionamiento de los equipos, para que estos funcionen correctamente. El último y más importante para este estudio, confiabilidad humana, es el encargado de evaluar y generar actividades las cuales mejoren las capacidades de los operarios del proceso para que este se lleve a cabo correctamente y que el proceso productivo cumpla su función a cabalidad (Amendola).

1.2 Confiabilidad Humana.

Dentro de las grandes, medianas y pequeñas empresas, han ocurrido, ocurren y ocurrirán fallos, los cuales pueden ser generados por los mantenedores, ya sea por una mala manipulación, por distracción, indisposición u otro tipo de factores que pueden estar afectando al personal. Pero más allá del error cometido, es muy importante detectar y corregir las causas que generan que las personas lleguen a cometer errores que terminen en un fallo, esto puede servir para prevenir que en un futuro se convierta en una acción que afecte la producción de la empresa o en el peor de los casos que pueda comprometer la vida del mantenedor u otro trabajador.

Se debe entender primordialmente que una de las características que identifica a la humanidad es la alta probabilidad de cometer errores, como lo dice Amendola “hoy en día sabemos que equivocarse forma parte de la naturaleza humana” (Amendola), y hace referencia a una frase en latín que dice “*Errare Humanum est*” que significa “errar es humano”. Viéndolo desde este ángulo, se puede decir que dentro del estudio de la confiabilidad, para obtener una

mejora del mantenimiento, la confiabilidad humana juega un papel muy importante y primordial, ya que va a ser la encargada de detectar aquellas desviaciones dentro del comportamiento humano, que conlleven a que las actividades que realizan los mantenedores, se hagan de una manera errónea, afectando la calidad o la seguridad de los procesos de producción. Aparte de identificar este tipo de comportamientos, el estudio de la confiabilidad humana es la encargada de generar diferentes tipos de actividades que permitan minimizar el efecto que estos errores puedan causar dentro del proceso, teniendo actividades preventivas para todos los implicados del proceso, ya sea que sean los causantes o no, ya que ninguno se encuentra exento que le pueda ocurrir.

La confiabilidad humana también se define principalmente como la probabilidad de desempeño eficiente y eficaz de todas las personas, en todos los procesos, sin cometer errores o fallas derivados del conocimiento y actuar humano, durante su competencia laboral, dentro de un entorno organizacional específico (García, 2006). En otras palabras, la confiabilidad humana es la probabilidad de que las personas puedan realizar sus labores correctamente, sin que cometan errores que conlleven a una falla. Cuenta con 6 elementos primordiales que en conjunto generan una proyección personal que permite mejorar tanto la parte cognitiva y de conocimientos, como la parte física de habilidades y destrezas de los trabajadores dentro de una organización, estos los podemos ver en la figura 1.2 a continuación.



Figura 1.2: Elementos de la Confiabilidad Humana (García, 2006).

Estos seis elementos son los encargados de generar un ambiente óptimo para los trabajadores donde por medio de la capacitación van a lograr obtener un buen entrenamiento y formación que les permitan realizar sus labores de manera correcta, también tendrán por medio de la motivación los incentivos y reconocimientos que ellos necesitan cuando están realizando correctamente sus labores, se tendrá también por medio de la comunicación, unos conocimientos y habilidades que se pueden transmitir entre los mismos integrantes de los equipos de trabajo, también al darles un sentido de pertenencia, se les otorga un componente de empoderamiento y autoridad que ayuda a dar autoridad en el proceso, por medio de la ergonomía se le da al trabajador un ambiente de trabajo óptimo donde prime la salud mental y física de este y por

último el elemento de desarrollo le da al trabajador la experiencia necesaria para hacer una buena labor dentro de la empresa (García, 2006). Al aplicar todos estos elementos tienen la finalidad de generar dentro del grupo de trabajo un Capital Humano óptimo para el proceso.

Una manera cuantitativa de definir la confiabilidad humana (Castillo, 2012), es decir que así como la confiabilidad es el inverso aditivo de la probabilidad de falla $R = 1 - Pf$, en el caso de la confiabilidad humana, el inverso aditivo, es la probabilidad del error humano o en sus siglas “HEP” que significa “*Human Error Probability*” y se muestra en la ecuación 1.2 (Rodríguez, 2011). Este indicador ayuda a tener una visión cuantitativa más clara, y así lograr tener un límite cuantitativo de aceptabilidad para los errores cometidos dentro de un proceso y así a su vez tomar medidas preventivas.

$$HEP = \frac{\text{Número de tareas realizadas con errores}}{\text{Número total de tareas realizadas}} \quad 1.2$$

1.3 Capital Humano.

Dentro de los activos de una organización, uno de los más importantes, por no decir primordial, son los activos intangibles que poseen netamente los integrantes de esta misma, estos activos son propios de cada persona y están enfocados en los conocimientos, habilidades, experiencia etc. A esto le llamamos capital humano o capital intelectual y se define como el conjunto de conocimientos, habilidades y actitudes tanto presentes como potenciales de los empleados en una determinada organización a partir de los cuales desarrollará su propuesta de empresa y alcanzará los objetivos propuestos (Castillo, 2012).

En otras palabras el capital humano es el capital de las personas, se basa en talentos y habilidades propios de cada mantenedor, este capital humano es el encargado de ayudar a generar un incremento en la producción de la organización, desarrollando y mejorando las capacidades de los trabajadores, ejercitando el conocimiento y el ingenio con que estos realizan sus labores. En la competitividad actual dentro de la industria, el capital humano se convierte en un factor principal, que permite generar productos de mejor calidad y a un mayor nivel de producción, con la finalidad de poder posicionarse al nivel de los demás competidores (Chiavenato, 2009).

El capital humano se puede subdividir en tres pilares, Capacidad, comportamiento, y esfuerzo (Castillo, 2012). Teniendo esto, a su vez el comportamiento se puede encontrar en tres componentes, el conocimiento, que es la capacidad intelectual de cada persona que le otorga unas bases fundamentales para el proceso, la habilidad, que es la familiaridad que tiene el operario con los equipos o métodos que se estén utilizando en el proceso para una determinada tarea, esta habilidad puede ser tanto física como mental, y el talento, el cual es la facultad excepcional para realizar la tarea necesaria. Como segundo, el comportamiento, es la buena conducta con que el operario se presente para realizar su trabajo, esta conducta debe estar basada en valores éticos, creencias y relaciones con los demás. Y por último el esfuerzo que es la buena aplicación, de los recursos mentales y físicos propios con el fin de cumplir la tarea requerida a cabalidad, esto va a promover tanto la habilidad del operario, como el conocimiento y el talento del mismo.

Dentro del desarrollo del factor humano, se pueden encontrar 4 pilares necesarios, el primero, es una satisfacción intrínseca, la cual es la encargada que al trabajador se le generen

unos factores inherentes a las tareas que se le otorgan, estimulando el interés en la misma, el uso de la creatividad y hasta obtener una mejor interacción social. El segundo es un reconocimiento de logros, el cual debe estimular mediante el respeto ante los compañeros de trabajo un elogio a las buenas prácticas que conlleven a la finalización óptima de las tareas otorgadas, este reconocimiento puede ser tanto interno de la empresa como también de algún agente externo. El tercero es la oportunidad de desarrollo, el cual es el encargado de darle al operario la oportunidad de generar un conocimiento y aprendizaje que le permita desarrollar sus cualidades para lograr obtener un progreso en la organización. Y por último unas recompensas económicas, las cuales son las encargadas de otorgar a los trabajadores, una serie de compensaciones y beneficios, que les haga notar que entre más puedan hacer mejorar la productividad, más pueden llegar a obtener (Castillo, 2012). Estos 4 pilares en conjunto conllevan a un mejoramiento en la productividad de la empresa, mediante la capacitación y la compensación a quienes son la base principal del proceso.



Figura 1.3: Pilares de desarrollo del factor humano (Castillo, 2012).

Capítulo 2. Modelos de análisis de la confiabilidad humana.

Dentro del campo del mantenimiento se pueden emplear diferentes tipos de análisis, que permitan llegar a encontrar soluciones a los problemas o fallos que se presenten dentro del proceso de producción, provocados por causas humanas. Para este tipo de eventos se emplea lo que comúnmente se conoce como el análisis de confiabilidad humana HRA o “*Human Reliability Analysis*” por sus siglas en inglés (González & Loroña, 2019). Esta es una técnica muy usada la cual permite identificar, analizar, cuantificar y documentar, secuencial y sistemáticamente todos los posibles modos de falla causados por actores humanos dentro de un proceso, además esta técnica permite determinar los efectos que estas fallas producen sobre los equipos empleados.

A la hora de realizar un análisis de confiabilidad humana, se deben tener en cuenta las siguientes tareas (Cornejo, 2021).

- a. Se debe tener una plena identificación de los posibles errores humanos, enfocados al procesamiento de información, que involucre una etapa sensorial, cognitiva y de respuesta motora.
- b. Realizar una búsqueda y análisis de las posibles fuentes de error, que permitan tomar acciones preventivas para mejora de la confiabilidad.
- c. Cuantificar la confiabilidad humana para llevar un registro en caso de ser adoptado en el sistema.
- d. Realizar y aplicar las decisiones de mejoramiento en caso de ser necesario.

Los modelos existentes que realizan un análisis de la confiabilidad humana en los procesos, han surgido dentro de la industria nuclear, química y aeronáutica. Estos diferentes métodos se encuentran clasificados dentro de tres generaciones consecutivas.

2.1 Métodos de primera generación.

Aunque estos métodos tienen origen en los años 60's, lograron tener un mayor desarrollo entre los años 80's a 90's (Cornejo, 2021), estos están enfocados en ver los errores humanos como causa de fallas inherentes. Estos métodos se configuran bajo el supuesto de que los humanos fallan por defectos naturales. Los métodos principales de esta primera generación son el Therp (1983), Slim (1984), HCR (1984), Heart (1988), los cuales se mostraran más en detalle, pero además de estos se pueden encontrar otros métodos los cuales también son válidos como lo son:

- SHARP (*Systematic Human Action Reliability Procedure* - Procedimiento Sistemático de Confiabilidad de la Acción Humana).
- ASEP (*Accident Sequence Evaluation Program* - Programa de Evaluación de Secuencia de Accidentes).

- SHERPA (*Systematic Human Error Reduction and Prediction Approach* - Enfoque sistemático de reducción y predicción de errores humanos).
- FMEA/FMECA (*Failure Modes and Effects Analysis* - Análisis de Modos de Falla y Efectos).
- APJ (*Absolute Probability Judgement* - Juicio de probabilidad absoluta).
- JHEDI (*Justified Human Error Data Information* - Información de datos de error humano justificada).

Aunque este tipo de métodos generan buenas prácticas de corrección y prevención de fallos humanos, tienen varios limitantes en cuanto a la identificación de errores y la cuantificación de la probabilidad de error, estos limitantes se definen en los siguientes puntos (Cornejo, 2021):

- Los métodos carecen de procedimientos para identificar los errores que se encuentren por acción, que pueden ser mucho más riesgosos que los por omisión.
- Los métodos no suministran una base convincente de probabilidades de error, y no hay fundamentos teóricos que respalden los procedimientos cuantitativos.
- Los métodos no proporcionan una imagen específica causal del error del operador.
- Los métodos están muy poco estructurados para evitar una importante variabilidad entre los resultados de diferentes analistas que lo apliquen.

2.1.1 Técnica de predicción de la tasa de error humano “THERP”.

Esta técnica fue desarrollada por *Sandia National Laboratories*, Estados Unidos, y se define como como “la metodología para pronosticar la frecuencia de los errores humanos y valorar la degradación probable del sistema hombre – máquina, debida a los errores personales asociados con el trabajo del equipo, los diversos procesos, las practicas operacionales y las características técnicas y humanas de otros sistemas que influyen en el comportamiento del activo” (García, 2006).

Esta técnica es una de las más importantes, ya que permite la obtención detallada de datos sobre fiabilidad humana dentro del estudio de evaluación de probabilidades de riesgos. La función principal es lograr predecir la probabilidad del error humano y evaluar mediante este, que tan desgastada esta la relación individuo – maquina enfocado al error humano. Con este modelo se puede obtener un análisis minucioso de la tarea o las tareas que se realizan, luego se logra identificar la metodología necesaria para hacer la acción y esto conlleva a poder analizar los posibles errores o fallos que se puedan presentar. Esta metodología presenta 5 pasos principales (González & Loroña, 2019):

- Definir las fallas del equipo.
- Identificar las operaciones humanas y las tareas relacionadas con cada falla de equipo.
- Determinar las probabilidades de error humano asociadas.

- Calcular los efectos de los errores humanos sobre la confiabilidad del equipo.
- Recomendar los cambios básicos para optimizar el sistema hombre / máquina, y regresar al paso 2, si fuere necesario.

Con estos 5 pasos fundamentales, se puede lograr obtener un árbol de eventos, el cual empieza con un reconocimiento de la planta, para identificar y entender las condiciones del proceso que se lleva a cabo, después de esto se realiza un análisis cualitativo, el cual permite tener una evaluación de las situaciones que puedan dar lugar a errores humanos en las tareas que se requieran, luego se realiza un análisis cuantitativo, el cual otorga probabilidades de error nominales a las tareas requeridas dentro del proceso, por último se realiza una incorporación en la cual se utiliza la ecuación de HEP para obtener las probabilidades (Bestratén).

2.1.2 Método del índice de probabilidad de éxito “SLIM”.

Este método es muy interesante, ya que permite tener una evaluación, tanto cualitativa como cuantitativa del desempeño de una persona frente a una tarea que se le asigne, con un detallado diagnóstico de este (Cornejo, 2021). Es un método muy flexible, que aunque fue creado en la industria nuclear, se puede implementar en cualquier proceso que se le requiera. Tiene como objetivo estudiar la posibilidad de que exista un error humano al realizar un trabajo (Santiasih & Ratriwardhani, 2021), el uso de esta técnica en comparación a otros métodos que se puedan tener, tiene la ventaja que se puede tener una medición a cualquier grado del trabajo, donde se puede dividir entre trabajo, sub-trabajo, hasta poder llegar a cada tarea específica, para así por medio de este análisis llegar a saber que tarea tiene un mayor riesgo. Para este método se deben identificar unos factores que determinen el desempeño, luego teniendo esto definido, a cada uno se le asigna un puntaje, que por lo general se encuentran valorados entre 1 y 9, donde el 1 el valor más bajo o malo y 9 el valor más alto o mejor. Luego de tener esto realizado, se encuentra el índice de probabilidad de éxito teniendo en cuenta como base a la suma ponderada de los valores obtenidos y transformándolo en una probabilidad.

2.1.3 Modelo de confiabilidad cognitiva humana “HCR”.

Este método fue desarrollado por Hannaman, Spurgin y Lukic, y es un método el cual permite realizar una debida evaluación del desempeño en una tarea específica, teniendo en cuenta el tiempo disponible en que se realiza, teniendo en cuenta aspectos ergonómicos. Este método tiene en cuenta que al realizar una tarea, el éxito o el fracaso de esta misma, depende directamente del tiempo disponible con el que se cuenta para realizarla, por este motivo la probabilidad de que exista un error, corresponde a la fracción del tiempo que se requiere para realizar un diagnóstico y el tiempo necesario o disponible de respuesta (Cornejo, 2021).

La perspectiva inicial del HCR involucraba comportamientos basados en las habilidades, las reglas y los conocimientos de los operadores, pero se encontró que no es óptimo para el actuar de los seres humanos. La versión actual requiere de ciertas simulaciones previas a las evaluaciones, lo cual restringe el uso de este método a la industria nuclear.

2.1.4 Técnica de Evaluación y Reducción del Error Humano “HEART”.

Este es un método el cual permite evaluar el desempeño de una tarea en específico, no se utiliza para acciones específicas del operario, sino para tareas genéricas que se desprendan de estas. Este método tiene la desventaja en que la precisión con que está definido es insuficiente en algunos casos (Cornejo, 2021). Tiene un manejo sencillo y rápido, pero no es recomendable para calcular la confiabilidad humana de acciones que requieran una rigurosa precisión en su evaluación o que requiera unos resultados muy altos de confiabilidad, pero también el método genera procesos de mejora que abarcan una disminución en los errores humanos y genera una serie de medidas de corrección para compensar la ocurrencia de estos fallos. Este método se basa en la realización de un proceso de toma de datos referente a las tareas, para poder realizar una clasificación de la tarea genérica, luego se procede a realizar un cálculo de la probabilidad de error humano HEP, ya con este se prosigue a la realización de una identificación de los errores que se provocaron por medio del análisis de los datos recopilados, para finalmente evaluar estos resultados y tomar las medidas necesarias (Pratiwi & Furusho, 2018).

2.2 Métodos de segunda generación.

Los métodos de segunda generación tienen origen alrededor del año 2005, y está inmerso dentro de este tipo de análisis de la confiabilidad humana, sumándole la evaluación del contexto en el que está la persona y también una evaluación de su comportamiento, catalogándolos como procesos cognitivos dentro de la toma de decisiones. Estos métodos dan a conocer una guía de todos los posibles patrones de decisión que pueden ser ejecutados por las personas dentro del proceso, y otorgan unos modelos de clasificación de errores, donde se reconoce la gran importancia de los errores cognitivos los cuales se definen como lo dice Cornejo “son el fracaso de una actividad predominantemente de naturaleza cognitiva y/o causa inferida de una actividad que falla”. Los modelos cognitivos más utilizados, se encuentran apoyados en teorías como las siguientes (Cornejo, 2021):

- Paradigma S.O.R. (*stimulus-organism-response* / estímulo-organismo-respuesta), teoría que se enfoca en que la respuesta es función de cómo el estímulo actúa en el organismo que la genera.
- El hombre como sistema de procesamiento de información (IPS), esta teoría se enfoca en que los procesos mentales de las personas son procedimientos estrictamente específicos, y los estados mentales se definen por relaciones causales con otros estados y entradas sensoriales.

- Punto de vista cognitivo (*Cognitive Viewpoint*): esta tiene como finalidad explicar que la cognición se considera más activa que reactiva, y se define como un proceso cíclico y no secuencial.

Aunque este tipo de métodos generan buenas prácticas para la corrección y prevención de fallos humanos, tienen varios limitantes, según Cornejo, un buen resumen de estas limitantes las dan Ekanem, Mosleh y Shen (2016) que las resumen en los siguientes puntos (Cornejo, 2021):

- Falta de base teórica y experimental para elementos clave y supuestos fundamentales de muchos de los métodos.
- Falta de un modelo causal que vincule la respuesta del operador con los factores determinantes del desempeño u otra caracterización del contexto.
- La mayoría de los enfoques propuestos aún son muy simples.
- En varios casos, los números son resultados de la opinión de expertos, del uso de escalas subjetivas, y del uso de probabilidades referenciales infundadas.

Dentro de los métodos de segunda generación, a continuación se explicaran los 4 más importantes:

2.2.1 Método de análisis de errores y confiabilidad cognitiva “CREAM”.

Este método fue creado y desarrollado por Erik Hollnagel en el año 1993, y es uno de los métodos de segunda generación, ya que con este es posible tener un análisis cualitativo de cómo influye el contexto al comportamiento humano de las personas, teniendo en cuenta la toma de decisiones, teniendo a su vez una cuantificación muy acertada. Este método permite realizar evaluaciones rápidas del contexto al que están expuestas las personas cuando se encuentran realizando tareas específicas, esta técnica se basa en clasificar la confiabilidad humana HEP en 4 diferentes modos de control humano (*Contextual Control Modes*), los cuales llevan a determinar las posibles tareas correctivas (Cornejo, 2021).

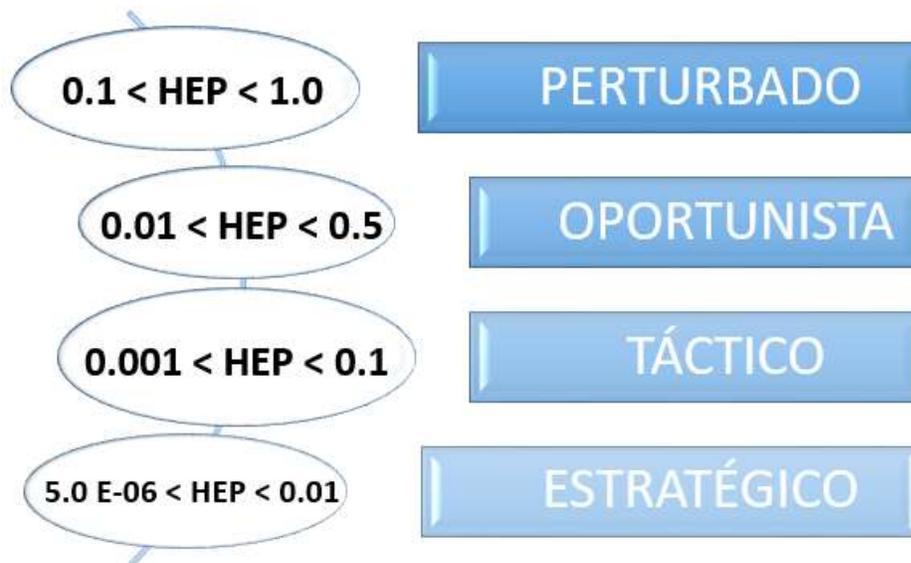


Figura 2.2.1: Modos de control humano (Cornejo, 2021).

Las principales ventajas que tiene este método se centran en que este método se basa en principios de análisis tanto de tiempo pasado como predictivos, cuenta con un enfoque muy directo con un procedimiento muy bien diseñado, así como también permite realizar un cálculo directo de la HEP. También requiere de un conocimiento y experiencia en el campo de los factores humanos para poder utilizar esta técnica (Felice, Petrillo, Carlomusto, & Romano).

2.2.2 Técnica para el análisis de errores humanos “ATHEANA”.

Es un método el cual, mediante un análisis del contexto y de toma de decisiones de las personas, puede llevar a conocer un poco detalladamente que tan buena es la toma de decisiones que los operarios tienen, es un método el cual involucra un amplio marco psicológico que involucra directamente factores ambientales y de organización (Cornejo, 2021). Principalmente es aplicado en el campo nuclear, pero se puede utilizar dentro del análisis de errores posteriores a los accidentes que se puedan presentar debido al contexto en el que se encuentre. Este método permite identificar que eventos de falla o errores se van a caracterizar como inseguros. Una de las mayores ventajas de este método es que provee al operario de un amplio conocimiento del contexto que causó el accidente.

Este enfoque es un cambio significativo de los modelos actuales. Ya que en particular, el método ATHEANA hace que ocurran eventos significativos de fallas humanas, especialmente los errores de comisión, los cuales son el resultado de situaciones en las que el contexto de la tarea está involucrado, prácticamente obligan a los operadores a fallar. En síntesis, este método define la falla humana y su cuantificación se basa en un contexto de forzamiento de errores del evento (Luckas, Taylor, & Barriere, 1996.). Bajo este supuesto existe una significativa desviación de los métodos HRA tradicionales en los que los eventos de falla humana se definen y cuantifican como el resultado de fallas aleatorias del operador que tienen lugar bajo condiciones normales de operación.

2.2.3 Método para la evaluación de la realización de un operador en materia de seguridad “MERMOS”.

Es un método el cual permite tener un análisis cualitativo donde se estudia la influencia que tiene el contexto dentro del comportamiento humano y permite evaluar la toma de decisiones. Este método más que enfocarse en el error humano de enfoca en generar actividades las cuales permitan mitigar la posibilidad de un accidente, este tipo de actividades se deben establecer según el modo en que se esté organizando el proceso, y teniendo muy en cuenta hasta donde se quieren obtener los resultados. Para esto se utiliza un proceso estructurado llamado *Strategy - Action Diagnostic*, SAD, donde se estudia y evalúa una estrategia, una acción y un diagnóstico final, incluyéndolo dentro del sistema de operaciones de emergencia (EOS) (Cornejo, 2021).

2.2.4 Análisis de riesgo de planta estandarizado “SPAR-H”.

Este método fue desarrollado por la *U.S. Nuclear Regulatory Commission*, y es un método el cual permite involucrar de manera un poco limitada temas de la primera y segunda generación, que permitan tener un análisis más detallado del desempeño humano (Cornejo, 2021).



Figura 2.2.4: Modelo de comportamiento humano en SPAR-H (Cornejo, 2021).

Este modelo define que todos los factores tanto individuales, de entrada de información, de demanda de las tareas, ambientales y de memoria tienen que pasar por un proceso de percepción de lo que se está realizando, para luego pasar por un proceso de procesamiento de esta información para así lograr llegar a una respuesta óptima.

El método SPAR-H designa la actividad humana a una de dos categorías generales de tareas, ya sea de acción o de diagnóstico. Las tareas de acción son aquellas que incluyen acciones como, operar, realizar, poner en marcha y otras actividades realizadas durante el transcurso de los procedimientos de la planta o las órdenes de trabajo (Gertman, Blackman, Marble, Smith, & Boring, 2004.). Por otro lado las tareas de diagnóstico consisten en fiar en el conocimiento y la experiencia para comprender las condiciones existentes, poder planificar y primar actividades y determinar la dirección apropiadas de las acciones. Las

tasas de error base para estos dos tipos de tareas del método se midieron frente a otros métodos HRA, esta medición concluyó que las tasas de error humano de SPAR-H se encuentran dentro del rango de tasas predichas por otros métodos HRA.

2.3 Métodos de tercera generación.

Los métodos de tercera generación inician alrededor del año 2005, y fueron enfocados hacia la evolución de métodos preexistentes que ya se usaban, y están orientados a los vínculos y dependencias que existen entre los factores que afectan el desempeño humano (Cornejo, 2021). Ya teniendo en cuenta las limitaciones que tienen los métodos de primera y segunda generación, se empezaron a crear métodos de mejora a los ya preexistentes, permitiendo mezclar los supuestos probables del error humano, basándolos en opiniones de personas expertas, teniendo en cuenta los datos obtenidos del desempeño de las personas. La mayor ventaja de este tipo de métodos es que van a relacionar las probabilidades de los errores humanos con los factores que afectan el rendimiento de las personas.

Debido a la complejidad de la implementación matemática de estos métodos, se recurre al desarrollo de aplicaciones computacionales para el buen desarrollo de la gestión de la confiabilidad humana en múltiples procesos e industrias. También se desarrollan métodos de simulación cognitiva y modelación que ayudan al buen manejo de dinámica de la confiabilidad. Esta simulación cognitiva consiste básicamente en la aplicación de un modelo cognitivo, utilizando un programa en base numérica y/o computacional, con la finalidad de obtener y generar datos necesarios que ayuden en el análisis de la confiabilidad humana. Estos datos se pueden utilizar con los siguientes fines (Cornejo, 2021):

- Los datos obtenidos de las simulaciones pueden ser analizados por expertos, y utilizados para dar a conocer una aproximación de la probabilidad de error humano.
- Se puede utilizar simulación para dar aproximaciones de los factores determinantes del desempeño, que se pueden cuantificar para producir probabilidades de error humano (HEP).
- Se pueden obtener datos y criterios de desempeño específicos por los cual los operadores fallan o aciertan en tareas específicas, y así con estos datos, llegar a obtener un patrón de frecuencia de fracaso o éxito del operador y lograr obtener una aproximación de la probabilidad del error humano (HEP).

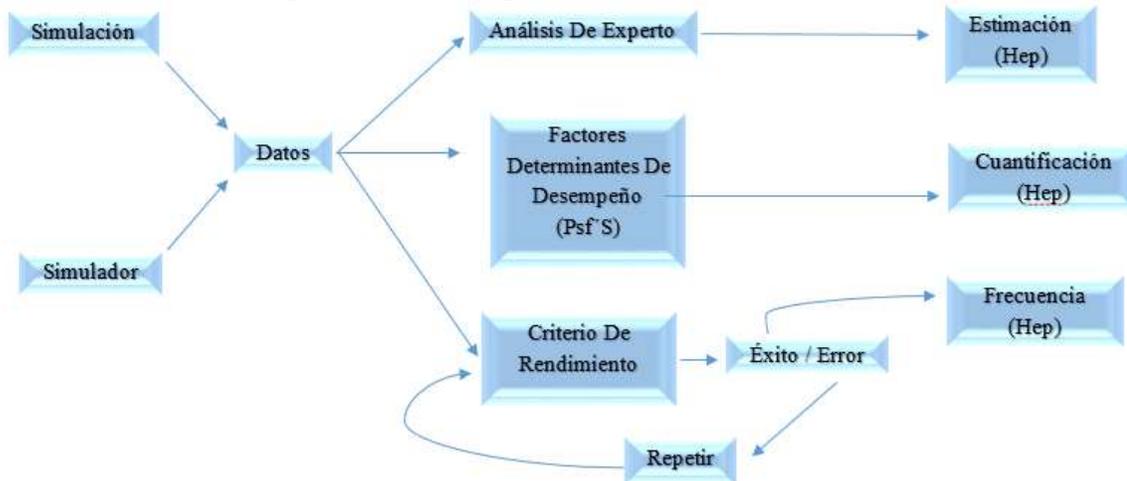


Figura 2.3: Simulación de HRA (Cornejo, 2021).

2.4 Factor humano en la medición del desempeño de mantenimiento.

Este modelo (Galar, Stenström, Parida, Kumar, & Berges, 2011), se compone tanto de aspectos cualitativos como cuantitativos. Los indicadores numéricos se miden a través de sistemas de información, que constituyen la parte cuantitativa, y las encuestas, realizadas en diferentes niveles de jerarquía, constituyen la parte cualitativa. Tanto los indicadores como las encuestas se equilibrarán adecuadamente para dar mayor veracidad a las mediciones obtenidas desde diferentes puntos de vista. Una vez procesadas, se compararán con referencias asociadas a cada medida, que mostrarán variantes de la normalidad, alarmas o facilidad para tener la situación bajo control. Algunos indicadores proporcionarán medidas en unidades monetarias convencionales, unidades de tiempo, o número de acciones, productos, etc. Otros serán cocientes de determinadas cifras representativas de porcentajes, como las de los distintos conceptos y tipos de índices de mantenimiento, eficiencia o ineficiencia, cuyo valor deseado será la unidad o cero, esto se puede ver en la figura 2.4.

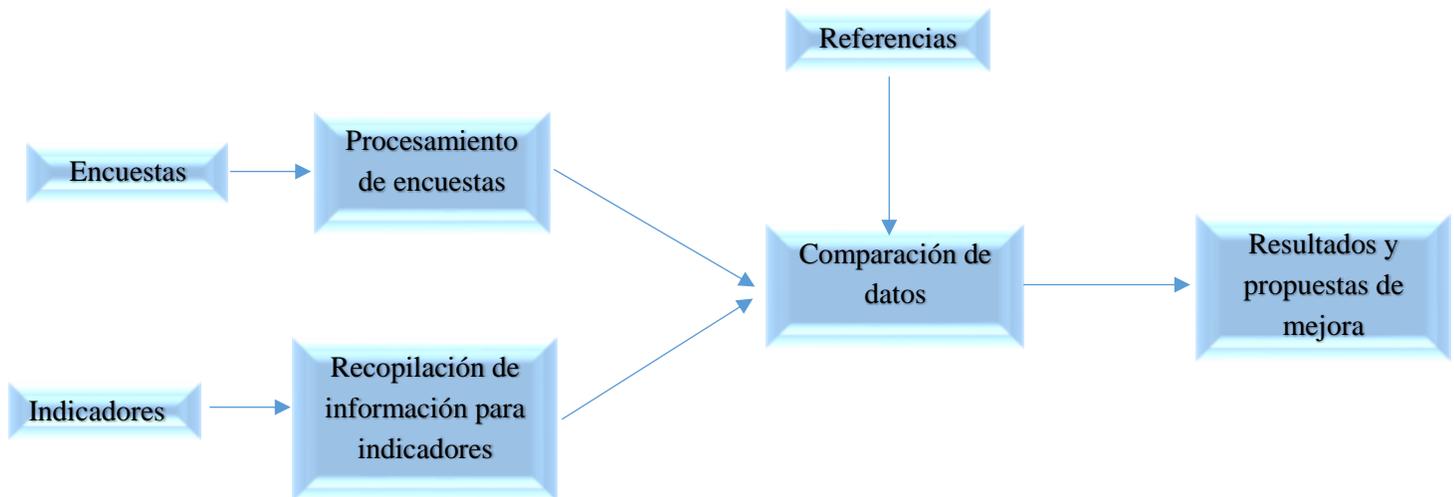


Figura 2.4: Propuesta de modelo de calidad y cantidad de auditoría (Galar, Stenström, Parida, Kumar, & Berges, 2011).

Capítulo 3. El error humano.

Como seres vivos es propio de nuestra naturaleza cometer errores, como dice una frase “es de humanos equivocarse” (García, 2006). Viéndolo desde el punto de vista conceptual, se define como “cualquier conjunto de acciones o actividades humanas que exceda algún límite de aceptabilidad, es decir, una acción fuera de tolerancia en la que los límites de desempeño están definidos por el sistema” (Reaktorsicherheit, 1989), en otras palabras el error humano, son aquellas acciones, las cuales, se salen de los límites comunes y llegan a resultados no deseados. Los errores se pueden ser causados por cuatro factores (García, 2006).

- Factores Antropométricos: Este tipo de factores son aquellos que están relacionados al tamaño y a la resistencia física del mantenedor, esto ocurre cuando el operario no puede acomodarse físicamente a la actividad que esté realizando, ya sea por peso o por dimensiones, esto normalmente es causado por fallos del sistema en el que se encuentre y debe ser modificado.
- Factores sensoriales: Este tipo de factores se relaciona con la pericia con la que los operarios utilizan sus propios sentidos, para lograr ver todo lo que está ocurriendo dentro de su entorno y para realizar las tareas otorgadas.
- Factores fisiológicos: este tipo de factores son aquellos que afectan el medio en el que el operario este trabajando, estos factores pueden afectar físicamente y provocar fatigas que conlleven a los errores, por lo general estos factores se suprimen modificando el medio ambiente del puesto de trabajo para optimizar el agrado del operario.
- Factores psicológicos: Este tipo de factores son aquellos directamente internos de los operarios, tienen un origen psíquico que puede provocar errores intencionales y no intencionales, por lo general en estos casos si se requiere de ayuda especializada.

3.1 Tipos de errores.

Los errores humanos también pueden ser clasificados para dar un mejor enfoque a las causas que los provocan, estos tipos de errores pueden afectar a los operarios a la hora de tomar decisiones, así que se pueden clasificar en errores por omisión, errores por comisión, errores voluntarios y errores involuntarios (Collazo, 2008).

- Errores por omisión: son aquellos errores que son provocados por no hacer algún tipo de acción debido a la falta de conocimiento sobre la tarea que se esté realizando, normalmente ocurren cuando el operario esta poco capacitado para una labor, esto puede ser provocado por la indisposición de algunas organizaciones a la hora de capacitar a sus trabajadores o por la falta de interés de los mismos por aprender.
- Errores por comisión: Estos errores son el opuesto de los errores por omisión, ya que son provocados por el querer hacer más de lo esperado, esto hace que las

acciones se desvíen de lo que se espera y puede desencadenar en resultados inesperados dentro del proceso.

- Errores Voluntarios: Este tipo de errores son los causados por el trabajador mismo, donde no siempre es porque quiera causar el error aunque si pueda que esto pase, sino por no tener claro o no saber las consecuencias que esto contenga.
- Errores involuntarios: Este tipo de errores son aquellos que ocurren cuando el operador realiza o no, algún tipo de acción sin darse cuenta, sea por falta de concentración, distracción, o cualquier otro tipo de factor que lo afecte.



Figura 3.1: Tipos de errores (Collazo, 2008).

Normalmente las acciones que conllevan a errores, son combinaciones de los tipos que se mencionaron anteriormente, como se puede ver en la figura 3.1, cuando hacemos una combinación de errores por omisión e intencionales, cometemos errores que causan la omisión de pasos dentro la actividad que se esté realizando para lograr obtener un resultado más ágilmente. Por otro lado cuando se combinan errores de comisión con errores intencionales, se suelen añadir pasos innecesarios y como se dice coloquialmente, “por hacer más, se hace menos”, se puede llegar a cometer errores para mejorar el resultado. Cuando se hace una combinación de errores de omisión con errores no intencionales, se suelen olvidar pasos en la actividad lo que genera los fallos posteriores. Ya por ultimo cuando se combinan errores no intencionales con errores de comisión, se suelen agregar pasos incorrectos dentro de la actividad lo cual desencadena un error.

3.2 Modelo de gestión de factores humanos.

Los factores humanos suelen ser utilizados a la hora de referirse a cualquier factor que pueda afectar, tanto negativa como positivamente en el comportamiento de una persona. En el caso de ser una influencia negativa dentro del comportamiento, conlleva a que varios de los fallos encontrados dentro de procesos, han sido causados por lo que comúnmente se ha llamado error humano. Estos factores se derivan de las relaciones que tienen las personas con las máquinas, los procedimientos y los ambientes que los rodean, pero a su vez también tienen una amplia afinidad con las relaciones interpersonales con las demás personas de su alrededor, una definición más técnica de los factores humanos, fue propuesta por el profesor Edwards, el cual plantea que : "Los factores humanos tratan de llevar a su óptimo nivel la relación entre las personas y sus actividades, mediante la aplicación sistemática de las ciencias humanas, integrada dentro del marco de la ingeniería de sistemas" (Ballesteros, 2012). Existen diversos modelos los cuales permiten realizar un análisis de los factores que pueden o no estar afectando el comportamiento de los individuos, en este caso se expone un modelo de gestión de factores humanos, el cual es el modelo Shell, creado por Edwards en 1972.

3.2.1 Modelo de gestión de los factores humanos “SHELL”.

Las siglas “Shell” proviene de la derivación de las letras iniciales de cada una de sus componentes en inglés (soporte lógico “*software*”, equipo “*hardware*”, ambiente “*Environment*”, elemento humano “*Liveware*”) este método fue creado inicialmente por Edwards en 1972, y un diagrama reformado que ilustra el modelo, fue formulado por Hawkins en 1975 (Gutiérrez, 2020). Es un modelo estudiado en la aviación, el cual estudia el trabajo en equipo de las personas con otras personas, con procedimientos, con máquinas y con un entorno, con el fin de resolver problemas prácticos dentro de los procesos. En resumen lo que quiere este método es lograr encontrar que tipo de relaciones tienen las personas con su entorno operacional, para esto se define cada una de sus partes a continuación.

- *Software* “S”: Se refiere a los recursos no materiales con los que cuenta la operación, como lo son los manuales, reglamentos, procedimientos, listas de chequeo, sistemas de señalización, entre otros.
- *Hardware* “H”: Son aquellos elementos pertenecientes a la estructura física del trabajo, los equipos, herramientas, y maquinarias.
- *Environment* “E”: Son aquellas condiciones internas y externas del entorno de trabajo.
- *Liveware* “L”: Se refiere a las otras personas con las cuales se interactúa en el lugar de trabajo.
- *Liveware* (central) “L (central)”: La persona sobre la cual se aplica el modelo.

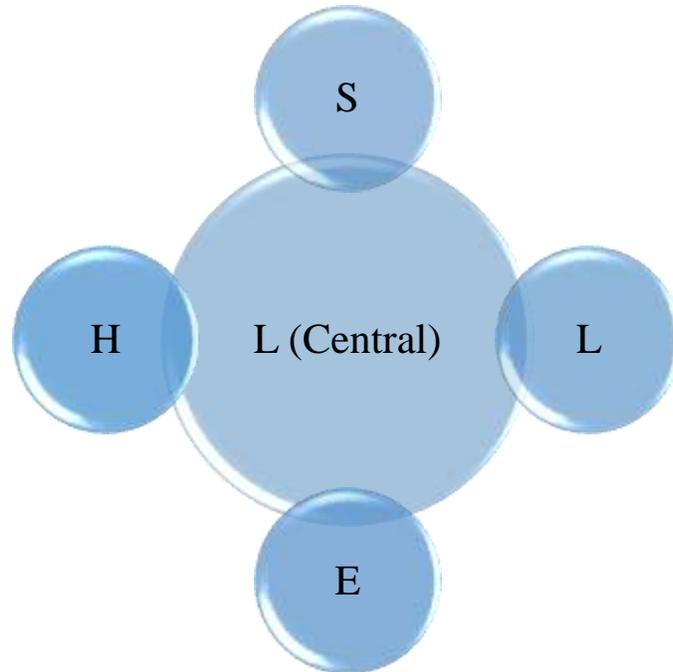


Figura 3.2.1: Modelo de gestión de los factores humanos "SHELL" (Gutiérrez, 2020).

Mediante este modelo, lo que se busca es relacionar el componente humano "L (central)", con los demás componentes del sistema Shell. Como primer interacción se encuentra L (central) con H, en donde se tienen en cuenta factores ergonómicos, los cuales pueden influir en el comportamiento del operario, esta relación humano – maquina debe ser óptima para lograr que la persona se encuentre en las mejores condiciones físicas para realizar su actividad con éxito. Como segunda interacción, se encuentra la L (central) con E, donde se tiene en cuenta la relación humano – ambiente, en este caso se tienen en cuenta factores del entorno en el cual se encuentra, como condiciones de temperatura, medioambiente, iluminación, entre otros. Como tercera interacción, se tiene la L (central) con L, en donde se tienen en cuenta la relación humano - humano, en este caso se tiene en cuenta los factores interpersonales y de comunicación con los demás integrantes de la organización. Por último se tiene la interacción L (central) con S, la cual es una relación que tiene que haber entre las personas y todos aquellos factores no físicos como procedimientos, manuales, reglamentos y demás documentos los cuales permitan tener una visión más clara de los que se debe hacer y cómo se debe realizar (Ballesteros, 2012).

Capítulo 4. Modelo de evaluación de la confiabilidad humana

Para las pymes es muy importante llegar a tener un modelo de confiabilidad humana, el cual permita tener una mejor gestión del capital humano con el que se cuenta, esto ayudara a reducir la probabilidad de que los mantenedores realicen tareas con fallos causados por errores humanos. Para esto se pretende presentar un modelo para la mejora de la confiabilidad humana llamado MECH-MP, el cual por su abreviatura significa “Modelo de evaluación de la confiabilidad humana en mantenimiento enfocado a pymes”. Tiene como finalidad encontrar aquellos factores externos e internos, que puedan estar afectando el comportamiento de los trabajadores dentro de una organización, llevándolos a que cometan errores dentro de la realización de sus labores cotidianas. Para esto se generan una serie de procedimientos los cuales permitirán identificar y tomar acciones preventivas y correctivas, para así reducir la probabilidad de que se repitan.

4.1 Modelo de evaluación de la confiabilidad humana en mantenimiento enfocado a pymes “MECH-MP”.

Para la implementación de este método, se parte de un análisis de simplificación como se ve en la figura 4.1, en donde se quiere llevar cada fallo desde lo general, como lo es cada organización, reduciendo el campo del enfoque pasando por el proceso, la actividad, el operario y lograr llegar hasta cada factor externo e interno, que puede estar afectando la conducta de las personas que están realizando sus labores dentro de la empresa, partiendo desde un reconocimiento del entorno laboral, hasta el análisis de los factores que estén interviniendo en el comportamiento. Este modelo busca alinear los procedimientos de mantenimiento, con las adecuaciones de instalaciones, sociales, psicológicas, ambientales y de seguridad, para así generar condiciones óptimas de trabajo que reduzcan y anticipen los agentes que puedan estar afectando el rendimiento de las personas y poder tener una mejora continua dentro de los operarios.



Figura 4.1: Análisis de simplificación MECH-MP.

Para la implementación del modelo, como se puede ver de manera general en la figura 4.2, se pretende realizar un procedimiento en el cual se puedan identificar los errores que se estén presentando repetitivamente dentro de las actividades que se realicen en la organización. Para esto se pretende seguir una serie de pasos, que a su vez también tienen como finalidad, identificar los factores que estén influyendo dentro o alrededor de las personas que trabajan en el lugar, para así poder tomar acciones frente a estos problemas. El modelo se deriva en 5 diferentes fases las cuales se pueden ver a continuación.

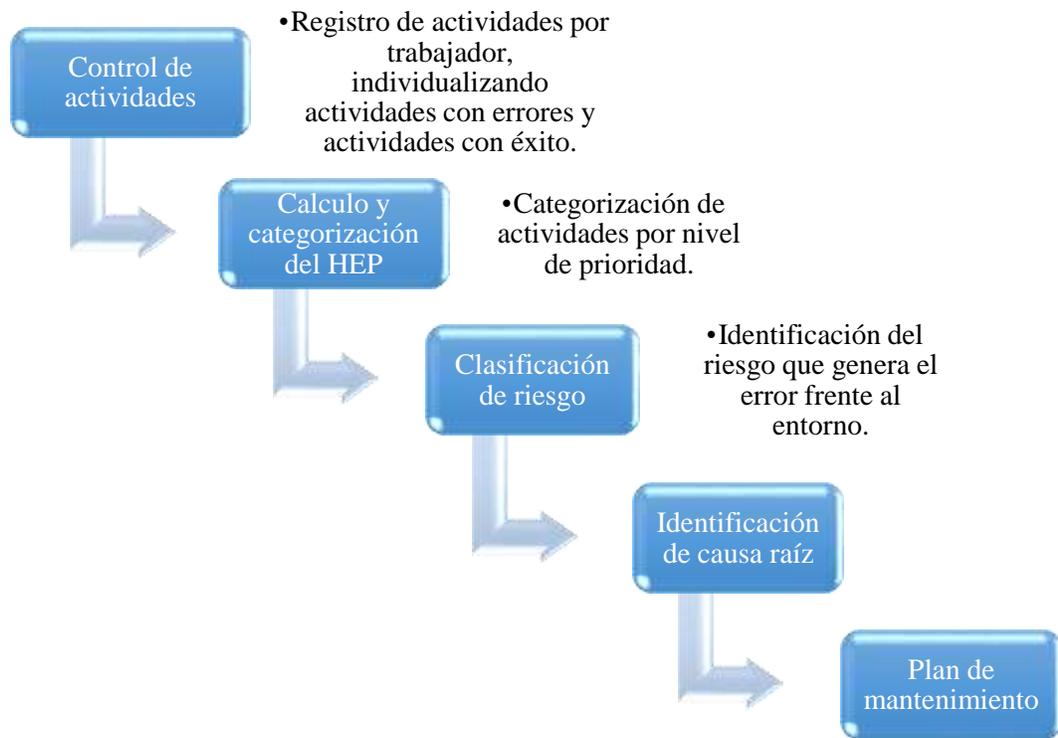


Figura 4.2: Metodología MECH-MP.

Dentro de la metodología del modelo, se encuentran expuestas 4 fases principales en donde como primera fase, se realiza un control de actividades, en donde se registran las actividades junto con el trabajador que las realiza, teniendo en cuenta cuantas se realizaron correctamente y cuantas con error, este registro ayudara al cálculo de la probabilidad del error humano. Ya para la segunda fase del análisis se busca realizar una categorización de riesgo, con la cual se busca primar las actividades con mayor riesgo dentro del proceso. Como tercera fase se encuentra una serie de encuestas, con las cuales se busca, desde la perspectiva del trabajador, encontrar las causas y los factores humanos que influyeron en el desarrollo del error. Ya como cuarta y última fase se busca realizar un plan de mantenimiento que permita mitigar las causas de error humano encontradas anteriormente para así poder prevenir futuras repeticiones. Estas fases se encontraran mejor explicadas a continuación.

4.1.1 Primera fase del modelo MECH-MP.

Para esta fase del análisis se realizara un control de las actividades que se realizaran por cada trabajador, con esto se logra llevar un registro organizado de las mismas, para posteriormente poder realizar el cálculo del HEP. Esto busca tener un análisis de que actividades y que trabajador requiere atención. Esto será enfocado en tareas individuales, en donde se recomienda tener en cuenta una tabla de clasificación como se ve en la tabla 4.1.1, en la cual se llevara un reporte de actividades por trabajador, en donde se tendrá consignado las tareas totales, las tareas con fallo, y el HEP (calculado con la ecuación 4.1.1) por actividad y por trabajador, ya teniendo el valor de HEP se categoriza en cuatro diferentes niveles como se puede apreciar en la tabla 4.1.2, en los cuales no se permitirá una un HEP superior al 10% y se tomara medidas dependiendo del nivel en que se encuentren, en donde de 0-2 % será un trabajador que requerirá una intervención casi nula y así sucesivamente hasta llegar al 10 % donde se tomara medidas correctivas y preventivas frente al error. Esto ayudara a comparar en qué tipo de actividades el trabajador tienen más o menos probabilidad de error. Pero no solo servirá para encontrar errores, sino que también ayudara a la organización a identificar en qué tipo de actividades tienen más fortalezas sus trabajadores, con esto pueden guiar, de manera más acertada a sus trabajadores hacia las actividades en las cuales pueden tener mayor probabilidad de tener éxito.

Tabla 4.1.1.1: Control de actividades.

	actividad	Trabajador	cantidad	# de tareas elaboradas con éxito	# de tareas con fallo	HEP %
1	Limpieza de superficie	Camilo	500	450	50	10
2						
3						

$$HEP = \frac{\text{Número de tareas realizadas con errores}}{\text{Numero total de tareas realizadas}} \quad (4.1.1)$$

Tabla 4.1.1.2: Categorización HEP.

HEP %		
Límite inferior	Límite superior	categoría
0	2	Avanzado - Permisible
2	5	Intermedio - intervención mínima
5	10	Novato - Intervención moderada
10	100	Inexperto - Intervención crítica

4.1.2 Segunda fase del modelo MECH-MP.

Para la segunda fase, luego de tener el paso anterior plenamente identificado, se definen también los efectos de los errores cometidos dentro de las actividades que se estén realizando y se posicionan en un nivel de riesgo acorde como se muestra a continuación en la tabla 4.1.2.1, estos niveles serán un indicador extra para definir la atención que se le prestara al error que este presentando la actividad por trabajador. Esta caracterización ayudara a tener claridad en la urgencia con que se tenga que realizar actividades correctivas y preventivas dentro de la actividad. En esta categorización se tendrán en cuenta 5 niveles de riesgo en donde el nivel más bajo será el nivel 1, en donde el error cometido no tiene consecuencias graves dentro del proceso, ni en la integridad de las personas y no afecta de ninguna manera la operación. El nivel 2 de riesgo se le otorgara a los errores presentados que no intervengan en la operación en gran medida y que no ocasionen perdidas en funciones del proceso. El nivel 3 de riesgo se dará a los errores que presenten como consecuencias, la pérdida de funciones secundarias dentro del proceso pero que a su vez no ocasione una pérdida de funcionabilidad del proceso principal y que tampoco generen afectación en la integridad de algún integrante de la organización. El nivel cuatro se le otorgara a aquellos errores que como consecuencia, ocasionen pérdidas de funciones primarias, las cuales provoquen una detención del proceso. El quinto y último nivel de riesgo será otorgado a aquellos errores que provoquen tanto la pérdida de la funcionabilidad del proceso y/o que provoquen afectaciones a la integridad de alguna persona.

Tabla 4.1.2.1: Categorización de riesgo.

Ítem	Nivel de riesgo	Efecto	Categoría
1	Bajo	Sin efecto	Permisible
2	Medio bajo	Actividad operable con una pequeña perdida de funcionabilidad	intervención mínima
3	Medio	Perdida de alguna función secundaria de la actividad	Intervención media
4	Medio alto	Perdida de alguna función Primaria de la actividad	Intervención inmediata
5	Alto	Perdida la función absoluta de la actividad	Intervención critica

4.1.3 Tercera fase del modelo MECH-MP.

Esta fase del análisis busca encontrar las causas y los factores humanos que originaron los errores cometidos por los operarios, esta se dividirá en dos partes, en las cuales se recomienda realizar una serie de preguntas, con el fin de poder centrar la atención en los factores externos e internos que afecten de alguna forma el comportamiento de las personas. Como primera parte de esta fase se realiza un diagnóstico de reconocimiento del entorno, en el cual se encuentran los operarios, realizando este proceso se quiere lograr enfocar la atención a los aspectos que puedan estar influyendo en el comportamiento del trabajador, dándole un vistazo general al entorno. En esta fase se recurrió a una tabla de caracterización de los aspectos del entorno la cual se encuentra en la tabla 4.1.3.2, en donde se le realizan

varias preguntas al trabajador, en cuestión de instalaciones, ambiente laboral, mantenimiento, guías de operación y experiencia. El trabajador realiza la encuesta en donde califica de uno a cinco el nivel de aceptación que tiene con los diferentes aspectos como se puede ver en la tabla 4.1.3.1, esto llevara a poder identificar qué aspectos están bien dentro del entorno y que aspectos hay que mejorar en mayor o menor grado. Para esto se van a identificar y documentar los siguientes elementos.

Tabla 4.1.3.1: Nivel de calificación.

1	Totalmente en desacuerdo
2	Parcialmente en desacuerdo
3	Parcialmente de acuerdo
4	Muy de acuerdo
5	Totalmente de acuerdo

Tabla 4.1.3.2: Diagnóstico de reconocimiento del entorno.

Conjunto	Aspecto	Descripción	Calificación					
			1	2	3	4	5	NA
Instalaciones	Distribución del espacio	¿El espacio en el que se está trabajando es suficiente para llevar a cabo la actividad sin incomodidades?						
	Herramientales	¿Cuenta con las suficientes herramientas para llevar a cabo la actividad?						
	Maquinaria	¿Cuenta con la suficiente maquinaria para llevar a cabo la actividad?						
	Condiciones estructurales	¿Las instalaciones están adecuadas y distribuidas correctamente para llevar a cabo la actividad?						
Ambiente Laboral	Condiciones atmosféricas externas	¿Está expuesto a condiciones ambientales externas?						
	Condiciones atmosféricas internas	¿Las condiciones ambientales internas de la planta están acordes al trabajo que se realice? (temperatura, humedad, iluminación)						
	Indumentaria	¿Cuenta con indumentaria otorgada por la empresa?						
	Personal	¿Tiene una buena relación con sus compañeros de trabajo?						
Mantenimiento	Métodos de mantenimiento	¿Cuenta con métodos de mantenimiento para los equipos de trabajo?						

	conocimiento en mantenimiento	¿Usted o alguno de sus compañeros tiene conocimiento en mantenimiento para los equipos?							
Guías de operación	Manuales de operación	¿Cuenta con manuales de operación de los equipos?							
Seguridad	Experiencia laboral	¿Qué experiencia laboral tiene en la actividad? (ninguna 0, días 1, semanas 2, meses 3, años 4, décadas 5)							
	Señalización	¿Cuentan con señalización de seguridad alrededor de la actividad?							
	EPP	¿La empresa le otorga elementos de protección personal?							
	Alertas	¿Cuentan con alertas de seguridad alrededor de la actividad?							
	Pólizas de riesgo	¿La empresa le otorga alguna póliza de riesgo laboral?							

En la segunda parte de esta fase, se pretende enfocar el análisis de lo general a lo particular dentro de las actividades que estén presentando errores individualmente, realizando una verificación de los factores internos de los trabajadores que estén implicados en esta actividad como se puede ver en la tabla 4.1.3.3, con esto posteriormente se realiza una estratificación de los factores podrían influir a que el operario cometa errores (FIC - factores externos e internos que influyen en el comportamiento). Para esto se realizara una encuesta similar a la anterior, pero esta vez se enfocara en factores humanos psicológicos, psicosociales, ergonómicos y laborales, individualmente a cada trabajador, en donde este dará una calificación de uno a cinco como lo visto en la tabla 4.1.3.1 y se podrá identificar en que factores se requerirá trabajar posteriormente, definiéndolos como:

Tabla 4.1.3.3: Diagnóstico de reconocimiento de factores humanos.

Conjunto	Aspecto	Descripción	Calificación					
			1	2	3	4	5	NA
Psicológico	Motivación	¿Siente afección por la actividad que realiza?						
	Concentración	¿Mientras realiza la actividad puede realizar otras al mismo tiempo?						
	Seguridad	¿Se siente en la capacidad de realizar la actividad sin equivocarse?						
Psicosocial	Monotonía	¿Realiza actividades repetitivas durante su jornada laboral?						
	Comunicación	¿Le es sencillo comunicarse con sus superiores y compañeros a la hora de requerir ayuda?						

	Aptitudes	¿Tiene la destreza necesaria para realizar las actividades?							
Ergonomía	Diseño del puesto de trabajo	¿El diseño del puesto de trabajo está acorde a sus condiciones físicas, sin que tenga que recurrir a esfuerzos por realizar la actividad?							
	Manipulación de cargas	¿Realiza manipulación de grandes cargas solo con la fuerza de su cuerpo?							
Laboral	Ritmo de trabajo	¿Dentro de su jornada laboral cuenta con descansos o pausar que le permitan descansar?							
	Turnos laborales	¿Está conforme con los turnos laborales a los cuales está realizando sus actividades?							

4.1.4 Cuarta fase del modelo MECH-MP.

Como última fase del modelo y teniendo ya los factores humanos que ocasionaron los errores, se procede a realizar un plan de mantenimiento que involucre capacitaciones, adecuaciones ambientales, adecuaciones estructurales o intervención con profesionales de otras áreas como psicólogos u otros expertos, con el fin de otorgar adecuación a las falencias encontradas tanto en el entorno o en el interior de cada persona, partiendo de soluciones que ayuden a que los trabajadores puedan cumplir sus labores de manera más acertada y confortable, con el único fin de cumplir a cabalidad las tareas. Esto se recomienda consignarlo dentro de una tabla de registro de mantenimiento humano como se puede ver a continuación en la tabla 4.1.4.1, en dónde se encontraran los nombres de cada trabajador que requiera la adecuación y la actividad en la cual se generó el error, estos serán acompañado de los valores en los cual se basó la priorización de la actividad, como lo son el HEP y el nivel de riesgo otorgado a cada una, para por ultimo generar así el plan de mantenimiento específico, el cual genere mejoras graduables dentro de todas las actividades que requiera la organización, minimizando el grado de probabilidad de errores humanos y mejorando la calidad del entorno para los trabajadores.

Tabla 4.1.4.1: Registro del plan de mantenimiento.

Ítem	Trabajador	Actividad	HEP %	Nivel de riesgo	Causa raíz	Plan de mantenimiento
1						
2						
3						

Capítulo 5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Lograr anticipar y prevenir los errores humanos dentro de las pequeñas y medianas empresas requiere de un modelo, que permita de una manera sencilla, mediante diferentes indicadores, realizar un estudio de condiciones externas e internas para así mejorar el capital humano existente. Mediante la investigación realizada se logró crear un modelo de evaluación de confiabilidad humana dirigida a las pequeñas y medianas empresas, el cual permite, mediante un análisis de simplificación de condiciones externas e internas del capital humano, encontrar aquellos factores que estén afectando a los trabajadores de la organización, logrando al final del proceso de análisis, generar diferentes planes y actividades de mantenimiento, tomando en cuenta las capacitaciones, adecuaciones ambientales, adecuaciones estructurales o intervención con profesionales de otras áreas como psicólogos u otros expertos, que permiten esencialmente, mejorar el capital intelectual de la organización y a su vez mejorar la confiabilidad operacional.

Este trabajo otorga a las pequeñas y medianas empresas diferentes herramientas bibliográficas de metodologías de primera, segunda o tercera generación, las cuales pueden ser utilizadas a la hora de querer realizar un análisis de confiabilidad humana, ya que estas permiten identificar, analizar, cuantificar y documentar, todos los posibles modos de falla causados por actores humanos dentro de un proceso, además logran determinar los efectos que estas fallas producen sobre los equipos empleados dentro de la organización. Ya a la hora de querer un modelo más sencillo de entender y de aplicar, el modelo de evaluación de la confiabilidad humana propuesto, cuenta con diferentes indicadores y encuestas las cuales permiten llegar a resultados similares, obtenidos con otras metodologías, de una manera más simplificada, involucrando tanto métodos matemáticos, como estrategias de estudio de los factores humanos. Esta investigación puede ser tomada como guía para generar una mejor construcción del capital humano, para así lograr crear una mejora continua dentro de los activos intangibles y establecer una cultura de confiabilidad humana, que por medio de la capacitación, la motivación y la adaptación de los factores humanos, llevan a una óptima gestión del capital intelectual.

La medición del desempeño del capital humano de las organizaciones, está relacionada directamente con los factores de comportamiento de quienes realizan las tareas. Por tanto, el modelo de evaluación de la confiabilidad humana propuesto, junta aspectos cualitativos y cuantitativos para llegar a conocer los causales de los errores cometidos, Realizando una mezcla entre aspectos de métodos ya establecidos anteriormente mencionados, para lograr obtener aquellos factores que conllevan al error y medidas tanto de probabilidad de error como de nivel de riesgo. Finalmente, el modelo propuesto, permite generar las estrategias necesarias para el mejoramiento de las condiciones en las que se encuentran los miembros de la organización. Estas estrategias son responsabilidad de todos los integrantes de la organización, quienes deben velar porque estas adecuaciones,

capacitaciones, y demás planes de mantenimiento se efectúen a cabalidad, para asegurar una mejora continua.

5.2 Recomendaciones

Este trabajo de investigación es el primer paso de la creación de la metodología planteada, en donde se entrega la propuesta del modelo de evaluación de la confiabilidad humana para las pequeñas y medianas empresas, el segundo paso luego de la entrega de este análisis, será la implementación del modelo dentro de una organización que requiera de un análisis de confiabilidad humana, para lograr ver que los objetivos planteados en este documento, puedan ser cumplidos a la hora de llevar a la práctica esta metodología. Por otro lado, para futuras investigaciones similares al modelo planteado de confiabilidad humana o para lograr fortalecer la presente investigación, se sugiere que lo más importante de trabajar sobre los hallazgos que se hagan en cada empresa, es lograr mediante lo que se encuentre en los resultados de las encuestas realizadas, encontrar y eliminar aquellas barreras administrativas dentro de ciertos procesos, que no permitan el buen desarrollo de las actividades para el fortalecimiento de la confiabilidad humana dentro de la organización.

Bibliografía.

- Amendola, L. (s.f.). *Maintenance & reability strategy series - Confiabilidad humana* .
- Ballesteros, J. (2012). *¿Cómo los factores humanos contenidos en la metodología SHELL influyen en el desempeño laboral del personal de mantenimiento de la empresa TAME en la ciudad de Quito?* Quito: UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Bestratén, M. (s.f.). Análisis de riesgos mediante el árbol de sucesos, centro nacional de condiciones de trabajo. *NTP 328*.
- Castillo, C. (2012). Desarrollo Del Capital Humano En Las Organizaciones. *Estado de México*.
- Chiavenato, I. (2009). *Administración de recursos Humanos - El capital humano de las organizaciones*. Mexico D.F: Mc Graw Hill.
- Collazo, G. M. (2008). Error Humano, Modelo de determinación de raíz causa. *San Juan Puerto Rico*.
- Cornejo, C. (2021). Modelo de confiabilidad humana para mejorar la calidad del mantenimiento minero utilizando bn-slim (bayesian network – success likelihood index method). *Pontificia Universidad Católica De Chile*.
- De la Morena, J. (2011). *Estudio de la influencia de las características del flujo interno en toberas sobre el proceso de inyección Diesel en campo próximo*. Ph.D. dissertation, Universitat Politècnica de València.
- Felice, F., Petrillo, A., Carlomusto, A., & Romano, U. (s.f.). Modelling application for cognitive reliability and error analysis method. *University of Cassino and Southern Lazio via G*.
- Galar, D., Stenström, C., Parida, A., Kumar, R., & Berges, L. (2011). Human Factor in Maintenance Performance Measurement. *Aragon Institute of Engineering Research*.
- García, O. (2006). La confiabilidad Humana en la gestión del mantenimiento. *Universidad Pedagógica y tecnológica de Colombia*.
- Gertman, D., Blackman, H. S., Marble, J. L., Smith, C., & Boring, R. L. (2004.). The Spar-H Human Reliability Analysis Method. *Office of Nuclear Regulatory Research*.
- González, M., & Loroña, J. (2019). Análisis de confiabilidad humana del personal de una empresa de transporte público de pasajeros en Ecuador. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales* .
- Gutiérrez, P. (2020). *Factores Humanos y su Influencia en Incidentes Aéreos en el Área De Seguridad Operacional de la Dirección General de Aviación Civil*. Ecuador: Universidad de las fuerzas armadad ESPE.

Huerta. (s.f.).

Huerta, R. (2000). El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. *ISPJAE*.

Luckas, W. J., Taylor, J. H., & Barriere, M. T. (1996.). A Technique for Human Error Analysis (ATHEANA). *U.S. Nuclear Regulatory Commission*.

Pratiwi, L., & Furusho, M. (2018). Human Error Assessment and Reduction Technique for Marine Accident Analysis: The Case of Ship Grounding. *Kobe University*.

Reaktorsicherheit, G. (1989). Comparative evaluation of methods for human reliability analysis.

Rodríguez, J. (2011). Diseño de un modelo de gestión de la confiabilidad humana, para el proceso de ejecución de mantenimiento de la gerencia refinería Barrancabermeja de Ecopetrol S.A. *Universidad de los Andes*.

Santiasih, & Ratriwardhani. (2021). Materials Science and Engineering: Mater. Sci. *IOP Conf. Ser.*