

Fecha de elaboración: 12.04.2012			
Tipo de documento	TID:	Obra creación:	Proyecto investigación: X
Título: El Error humano en la operación de Sistemas ITS para túneles viales			
Autor(es): Paola Carolina Vera García			
Tutor(es): Kenia Marcela Gonzalez Pedraza			
Fecha de finalización: 10 – 05- 2021			
Temática: Probabilidad del Error Humano			
Tipo de investigación: Mixto, Cualitativo y Cuantitativo.			
Resumen: Esta investigación podremos encontrar el desarrollo de cada uno de los objetivos ya que se analizan metodologías que se han aplicado a través de los años en su mayoría de carácter cualitativo, sin embargo la necesidad de aplicar una metodología cuantitativa nos lleva al método HEART que no ha sido aplicada en los operadores de Sistema ITS en los túneles viales, este método nos permitió primero identificar una serie de tareas que son realizadas por los operadores, segundo aplicar las tareas genéricas y darles un valor nominal y tercero aplicar los valores de Condiciones de probabilidad de Error para dar como resultado la probabilidad de que en cada tarea el error humano se pueda producir, se concluyó que los operadores presentan alta probabilidad de cometer errores en tareas donde se requiere un mayor conocimiento y en situaciones de agilidad mental y física por falta de capacitación principalmente.			
Palabras clave: Error Humano, confiabilidad Humana, túnel vial, operarios			
Planteamiento del problema: La modernización de las carreteras en Colombia más conocidas como carreteras 4G, han llevado a la aplicación de sistemas inteligentes de transporte o más conocido como sistemas ITS en las cuales es un sistemas control de cada uno de los aparatos electrónicos y electromecánicos que los integran como son PMV, Semáforos, Ventiladores, gálibos, Sistema de Control de tráfico, entre otros, Esta modernización también conlleva personal no solo para su mantenimiento sino también para su manejo el cual debe ser realizado por personal en el centro de control las 24 horas del día. Este personal son conocidos como Operarios de Sistemas ITS , en nuestro caso la investigación la llevaremos en el túnel daza ubicado en Pasto – Nariño. Estos operadores de sistemas ITS deben llevar a cabo una serie de tareas en su mayoría rutinarias ya que no se enfrentan constantemente a emergencias de gravedad como son el apagado de los sistemas o catástrofes dentro del túnel.			
Pregunta: ¿Como mitigar el error humano en accidentes ocasionados por los operarios de los sistemas de control para los sistemas inteligentes de transporte?			
Objetivos: Objetivo Principal: Plantear las medidas necesarias que permitan reducir la probabilidad de accidentes causados por error humano atribuibles a los operadores de Sistemas ITS. Objetivos específicos: Identificar los diferentes modelos existentes sobre el error humano.			

Determinar el método aplicable a las condiciones que presentan el túnel, para estudiar y encontrar la probabilidad de error humano que puedan generar accidentes atribuibles a los operadores.

Analizar el error humano como causa de accidentes en sistemas de túneles viales.

Marco teórico: A través de los años han sido muchos las personas que han estudiado el error humano y la confiabilidad humana en los diferentes accidentes como es el caso de Chernóbil, por lo que es necesario aclarar estos dos conceptos; el primero según el doctor Bárbaro debe partir del estudio de la salud en el ser humano no tanto físico sino en el aspecto Psicosocial ya que estos repercuten en la producción y en la capacidad de afrontar un problema (pag 20) ; por otro lado tenemos el error humano según Escalante y Tejedo va relacionado con los factores del entorno que rodean al ser humano y que por eso los errores humano son difíciles de predecir, por otra parte Reason nos muestra que el error humano ha sido ignorado ya que cuando los accidentes tienen componente tecnológico solo se centra en este aspecto ignorando que estos son operados por Seres humanos. (pag 21); por otro lado también encontraremos las taxonomías o metodologías como las de Reason (pag 23) o la de Rasmussen (pag27) en la que se muestra que so basadas en análisis cualitativos ya que estudian el comportamiento del ser humano y de cómo estos pudieron o pueden actuar ante una determinada situación. Y por último encontramos la metodología de Reinch y Viale (pag 30) en la que muestra que es importante analizar los accidentes de transportes pero siempre desde un aspecto cualitativo donde se analice cada uno de los factores que influyen sobre el ser humano y por otra parte el análisis de los sistemas en cada una de sus fases.

En el Marco teórico encontraremos los apartes del Decreto 1072 de 2015 el cual regula el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo y el parágrafo 2 el cual da plena libertad a los empleadores y empleados de usar la metodología que mejor le parezca que ayuden a mitigar el riesgo de accidente. (pag 32-33); encontraremos la NTP 360 y algunos conceptos básicos como la fiabilidad humana, error humano pero que a diferencia de las normas nacionales estas recomiendan metodologías para aplicar según el tipo de accidente que implique el error humano.

Método: El método que se aplicó en esta investigación es un método Mixto ya que es cualitativo y cuantitativo, lo cualitativo que es la observación de algunas tareas que realizan el grupo objetivo en sus jornadas de trabajo, y el cuantitativo fue necesario aplicar el Método HEART, el cual se basa en la identificación de las tareas ponerlas en términos de tareas genéricas, colocarles un valor según las tabla de tareas genéricas y por otro lado darle un valor según las tabla de EPC, para si finalmente obtener las probabilidad de error que pueden ocasionar el grupo objetivo en la realización de determinadas tareas. Para realizar esta investigación era necesario poner en términos numéricos la investigación ya que de esta forma se puede tomar medidas o se pueden realizar ajustes sobre las tareas más relevantes sin ir a alterar las tareas que se están realizando bien. Por otro lado, se escogió el grupo de los operadores de sistemas de ITS ya que los otros cargos no son relevantes para el funcionamiento del túnel como es el caso del supervisor o los vigilantes y también se apartó de la muestra los Técnicos de mantenimiento ya que es una población muy pequeña y muchas veces su riesgo está controlado, sin embargo los operadores de los sistemas no cuentan con un supervisor 24 horas, por lo que deben estar tomando decisiones rápidas. (pag 37)

Resultados, hallazgos u obra realizada: Una vez realizada la aplicación del método HEART en los operadores de Sistemas ITS en el túnel vial de Daza, arrojo como resultado que las actividades rutinarias no son realizadas con minuciosidad, como en el caso de la entrega de la descripción del mantenimiento y personas que están trabajando dentro del túnel omiten muchos detalles y muchas veces son entregados con rapidez y sin la importancia relevante que esta implica. Igualmente, las tareas en los que nos arrojó el estudio los más altos de probabilidad de error humano, son las tareas que se deben realizar en caso de emergencia, ya que desconocen el manejo adecuado del sistema, además que se encuentran bajo mucha presión, en el cual deben reaccionar lo más asertivamente posible pero también con calma. Deben dirigir personal y comunicarse con fluidez, pero en esos momentos los operadores sufren estrés y hasta bloqueo, ya que no cuentan con entrenamientos permanentes que los ponga en situación. Es decir que en estas situaciones la probabilidad de error humano es sumamente alta y pueden desencadenar accidentes más graves por falta de entrenamiento, por otro lado, también no hace cuestionarnos si el personal que está en sitio es el adecuado, porque aunque cuenta con experiencia y algo de conocimiento, este personal debe tener una forma integral, la cual es bastante difícil conseguir en Colombia y más en la ubicación del túnel daza que es pasto – Nariño. (pag 48)

Conclusiones: Como conclusión se obtuvo de que el personal debe contar con entrenamiento multidisciplinario como el que se realiza al personal de ambulancias y bomberos, ya que han llegado a un momento de confort en el que solo realizan tareas específicas y que no sea de manejo del sistema ITS. Por otro lado, se vio que no se les puede exigir mucho ya que no cuentan con el conocimiento específico que permita realizar tareas más complejas, para esto se necesita conocer ciertos términos técnicos y los operadores actuales no lo tiene. Igualmente es difícil por parte de las empresas especializadas en sistemas ITS contar con esa clase de personal ya que como en el caso del túnel daza este es infraestructura Pública a cargo del INVIAS y su operación se da a empresas privadas por medio de Licitación pública, además los altos costos que lleva entrenar una persona con las características necesarias para este cargo, el cual no es retribuido monetariamente de igual manera. (pag 49)

Productos derivados: No Aplica.

El Error Humano en la Operación de Sistemas ITS para Túneles Viales

Paola Carolina Vera García

Cod. 11206369

Corporación Universitaria UNITEC

Escuela Ciencias Económicas y Administrativas

Especialización en Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Bogotá, Distrito Capital

Mayo 10 de 2021

El Error Humano en la Operación de Sistemas ITS para Túneles Viales

Paola Carolina Vera García

Cod. 11206369

MSc. Kenia Marcela González Pedraza

Corporación Universitaria UNITEC

Escuela Ciencias Económicas y Administrativas

Especialización en Gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo

Bogotá, Distrito Capital

Mayo 10 de 2021

Tabla de Contenido

<i>Resumen</i>	11
<i>Palabras Clave</i>	11
Introducción	1
Planteamiento del problema	3
Justificación	5
Pregunta De Investigación	6
Objetivos	7
<i>Objetivo General</i>	7
<i>Objetivos Específicos</i>	7
Marco Teórico	8
<i>Confiabilidad Humana</i>	8
<i>Error Humano</i>	9
<i>Taxonomía de Reason</i>	11
<i>Taxonomía de Rasmussen</i>	15
<i>Taxonomía de Reinach y Viale</i>	18
<i>Metodología HEART</i>	20
<i>Marco Legal</i>	26
<i>Decreto 1072 de 2015</i>	26
<i>NTP 360: Fiabilidad Humana: Conceptos Básicos</i>	27
<i>Estado del Arte</i>	28
Método	30
<i>Contexto Demográfico</i>	30
<i>Tipo, Diseño y alcance del estudio</i>	30

<i>Participantes o Fuentes de datos</i>	31
<i>Recolección de Datos</i>	33
<i>Análisis</i>	36
Resultados y hallazgos	55
<i>Análisis y discusión de resultados</i>	64
<i>Medidas para reducir la Probabilidad de Accidentes</i>	67
Conclusiones	70
Referencias	72
Cronograma de Actividades	74

Tabla de Figuras

Figura 1	Confiabilidad Humana	21
Figura 2	Taxonomía de los errores humanos – Reason	24
Figura 3	Etapas de Tratamiento de Información y toma de decisiones y niveles de Funcionamiento de la persona, Rasmussen	28
Figura 4	Interfaz Humano – Maquina	29
Figura 5	La versión adaptada de Factores Humanos, análisis y clasificación del Sistema de Control de tráfico aéreo	31

Lista de Tablas

Tabla No.1 Clasificación de tareas Genéricas	34
Tabla No. 2 Ccuantificación de EPC	34
Tabla No. 3 Tabla de tareas de Operadores de Sistemas ITS	49
Tabla No. 4 Descripción tareas genéricas y nivel nominal de Error	52
Tabla No. 5 Valoración de los EPC en los operadores de sistemas ITS	55
Tabla No. 6 Valor del Efecto total	59
Tabla No. 7 Probabilidad de Fallo Humano	63
Tabla No. 8 Análisis de Las metodologías para establecer el método a aplicar	66
Tabla No. 9 Resultados Tarea Genérica A	68
Tabla No. 10 Resultados tarea Genérica C	70
Tabla No. 11 Resultados tarea Genérica D	71
Tabla No. 12 Resultados tarea Genérica E	72
Tabla No. 13 Resultados tarea Genérica F	73
Tabla No. 14 Resultados tarea Genérica G	73
Tabla No. 15 Resultados tarea Genérica H	74

Lista de Abreviaturas

HAS: Sistemas Híbridos Automatizados.

ITS: Sistemas Inteligentes de Transporte

NTP: Norma técnica de Prevención

BURNOUT: patología asociada al agotamiento mental, emocional y físico causado por el trabajo.

HFACS: Human Factor Analysis and Clasification System Framework- Marco del sistema de análisis y clasificación de factores humanos.

ATC: Air Traffic Control – controlador de Tráfico aéreo.

FAA: Federal Aviation Administration – Administración Federal de Aviación.

GEP: Probabilidad de error genérico

EPC: Error Producing Conditions, Productor de Error Relevante o condiciones de Producción de Error.

Ei: Efecto Incrementador

HEART: Human Error Assesment and Reduction Technique / Técnica de evaluación y reducción de errores humanos.

Resumen

Las diferentes metodologías de análisis de accidentes e incidentes náuticos, férreos de aviación a través de los años ha llevado a la conclusión de que el aspecto humano ha sido factor clave para desencadenarlo o para su prevención. Sin embargo hoy en día con nuevos oficios, profesiones, enfermedades laborales y no laborales, factores a los que el ser humano se encuentra en su día a día, son importantes y por eso en esta investigación se ha querido llevar esos análisis que han sido cualitativos a una forma cuantitativa, empleando el método más conveniente sobre una población en la cual no se han realizado los estudios suficientes, para decir que el cargo lo debe desempeñar un ser humano con unas características especiales y son personas que tiene gran responsabilidad sobre los humanos y las infraestructura física del país, estos son los operadores de Sistemas Inteligentes de Transporte. En esta investigación veremos que, aunque los sistemas ITS se encuentran configurados y prácticamente no hay que realizar mayores mantenimientos en él, también veremos en este estudio que cuando fallan los sistemas de ITS, las probabilidades de incremente el error humano, además la aplicación de la metodología HEART nos ayudo a analizar los puntos exactos donde se deben tomar medidas correctivas por parte de la empresa, para minimizar el error, igualmente nos muestra que el factor humano es importante pero las condiciones laborales o las condiciones a las que son obligadas las empresas por parte de las instituciones gubernamentales hacen que su rango de acción se limite y no deja llevar una coherencia entre las actividades haciendo que la empresa privada asuma responsabilidades y riesgos.

Palabras Clave

Confiabilidad Humana, error humano, Operadores de Sistemas ITS.

Introducción

La Inversión realizada en el sector transporte en Colombia desde el año 2010 hasta la actualidad, ha traído consigo la modernización del sector transporte no solo en lo civil sino también en cuanto a la ingeniería eléctrica y electrónica, implementando sistemas de Automatización o de control en los equipos electromecánicos, eléctricos, sensores electrónicos, sistemas de comunicación los cuales son operados y controlados desde un centro de control remoto tanto por operadores humanos como sistemas programados para hacer acciones automáticas dentro de los mismos, la unión de estos son conocidos como Sistemas Inteligentes de Transporte.

También trajo con ello unos nuevos trabajos como son los Operadores de Control de Túneles viales y los operadores de Mantenimiento de los equipos de los sistemas ITS. El primero mantiene desde su puesto de trabajo la visual de todo lo que ocurre en el túnel como es por ejemplo la cantidad de tráfico, accidentes, Incendios y desde su puesto controla y/o opera los diferentes sistemas. El segundo por el contrario tiene el trabajo de “campo” como comúnmente se le conoce es decir está dentro del túnel realizando trabajos de mantenimiento para que los equipos que conforman el sistema ITS funcionen adecuadamente. Uno depende del otro. No funcionan por separado ya que lo haga uno influye directa o indirectamente en el otro. Por lo que sus trabajos deben estar debidamente coordinados, requieren responsabilidad, compromiso y dedicación para prevenir accidentes que pueden ser trágicos.

Debido a lo anterior se detectó la importancia del operador de los sistemas de ITS en cuanto a su capacitación, estado psicosocial, las cuales antes no habían sido valorada, encontrando similitudes entre este tipo de operadores y los controladores de tráfico aéreo, el cual trabaja sistemas similares para evitar riesgos de accidentalidad en los trabajadores de campo, infraestructura crítica y usuarios. Al finalizar este trabajo se pretende obtener una metodología

que permita la prevención de accidentes generados por los operadores del sistema de control hacia los trabajadores que ejecutan los mantenimientos en los sistemas ITS, Donde se documente todo lo relacionado a los accidentes, las actividades de formación y prevención, riesgos y peligros a los que están expuestos los operadores y que pueden influir en las decisiones tomadas cuando se están realizando operaciones de mantenimiento sobre los sistemas en mención. Este trabajo se realizará en el Túnel vial Daza ubicado en la ciudad de Pasto – Nariño – Colombia y que sirva de modelo para que sea aplicado por los profesionales en Seguridad y salud en el trabajo en los diferentes túneles ubicados en el territorio nacional.

Planteamiento del problema

Colombia está ingresado desde hace pocos años en la era de la automatización para los sistemas de tráfico y transporte los cuales ya eran comunes en los países industrializados, esto conlleva a la empleabilidad de nuevos puestos de trabajo en cuanto a operación y mantenimiento de estos, al mismo tiempo encontrándonos con un posible problema en cuanto a los operadores del centro de control, quienes son los encargados de realizar las tareas de revisión y control de los sistemas ITS y de los trabajadores de mantenimiento de los equipos. los cuales se encuentran bajo diferentes condiciones de trabajo ambientales, psicosociales, entre otros, y que pueden generar accidentes de trabajo o incidentes al personal de mantenimiento del sistema mientras trabaja, a la infraestructura o a las personas que por el transitan.

Lo anterior nos muestra que Colombia no está o estará ajena a los accidentes de trabajo que puedan generar los operadores de Control de los sistemas ITS y que este inconveniente se ha venido presentando en países que cuentan con tecnología de automatización de medios de transporte vial, fluvial, aéreo, etc. Tal como se muestra a continuación:

En un estudio finlandés (Kuivanen 1990) se indicaba que aproximadamente la mitad de las perturbaciones en fabricación automatizada disminuyen la seguridad de los trabajadores. Las causas principales de las perturbaciones fueron errores de diseño del sistema (34 %), fallos de componentes del sistema (31 %), errores humanos (20 %) y factores externos. La mayoría de los fallos de las máquinas se debían al sistema de control y, dentro de éste, a los sensores. Una forma eficaz de aumentar el nivel de seguridad de las instalaciones de CIM es reducir el número de perturbaciones. Aunque las acciones humanas en sistemas perturbados impiden que se produzcan accidentes en el entorno de HAS, también contribuyen a ellos. Por ejemplo, un estudio de accidentes relacionados con fallos de funcionamiento de sistemas técnicos de control mostró que un tercio aproximadamente de

las secuencias de accidentes incluía intervención humana en el circuito de control del sistema perturbado. (Kenneth Gerecke, 2017)

Detectada esta falencia en el factor humano que trabaja en los túneles viales ¿como mitigar el riesgo de accidentes laborales ocasionados por los operadores de los sistemas de control en los sistemas inteligentes de transporte?, para responder este interrogante esta investigación pretende crear una metodología basada en las mejores prácticas como son las normas nacionales e internacionales de Seguridad y salud en el trabajo, donde los operadores de Control no ocasionen accidentes a los trabajadores de mantenimiento de los Sistemas ITS cuando están realizando su labor, este estudio se realizará en el túnel vial Daza ubicado en la ciudad de Pasto – Colombia.

El enfoque en cuanto a seguridad y salud en el trabajo, dado por las diferentes empresas que operan los túneles en Colombia y en especial el túnel Daza ubicado en la ciudad de Pasto Departamento de Nariño, se encuentran orientado principalmente en los trabajadores que realizan los mantenimientos de los equipos del Sistema ITS y que hacen parte fundamental del mismo. Sin embargo, a los operadores de los túneles viales los cuales se sitúan en los centros de control de este, no se les ha dedicado la importancia en los sistemas de Seguridad y salud en el trabajo quedando relegados, ya que solo cuentan con sillas ergonómicas y EPP's para cumplir con los requisitos establecidos por la ley.

Es importante resaltar que estos operadores son humanos y como humanos siempre tienen problemas, tristezas, alegrías y sus cambios de humor se refleja en la productividad el trabajo que deben realizar, y uno de esos trabajos tan importante es la verificación, control, buenos procedimientos y prácticas que deben realizar cuando se están ejecutando los trabajos de mantenimiento de los sistemas ITS en el túnel Daza; Este trabajo requiere la atención Cien por ciento (100%) del operario y sus decisiones puede desencadenar en accidentes graves.

Justificación

Encontrándome de cerca con el trabajo que realizan día a día los operadores de control de los sistemas ITS en el Túnel Daza en la Ciudad de Pasto, y realizando la especialización de Seguridad y salud en el trabajo, me encuentro con que este tema es mucho más que una normativa de obligatorio cumplimiento; Sino que viene del análisis de todas las condiciones o factores que pueden afectar al trabajador para el desempeño de sus tareas, estos factores van desde condiciones organizacionales a condiciones socio económicos, ambientales y de conocimiento entre otros, para poder definir si una persona es apta o no para realizar el trabajo y/o tarea.

Por esta razón es necesario crear una metodología basada en la normatividad Colombiana de Seguridad y salud en el trabajo, donde el operador es la fuente primaria y se puedan visualizar e identificar sus riesgos y peligros a que se encuentran sometidos, se establezcan procesos y metodologías para cumplir las normas, y donde estos puedan ser controlables por los supervisores. De esta manera se puede prevenir los accidentes generados por el error humano en los operadores hacia los trabajadores en el momento en que se realizan los trabajos de mantenimiento de los sistemas ITS o hacia las personas que transitan por el túnel o a la infraestructura física.

Se pretende con esta investigación ser un referente para los estudio de los accidentes que son generados por operadores en los túneles viales de Colombia pero sobre todo identificar los incidentes o posibles riesgos y tomar las medidas necesarias para la prevención de los accidentes o incidentes que pueden ser generados por los operadores y los sistemas ITS, por lo que es necesario estudiar y analizar las diferentes metodologías que nos dan otras investigaciones y ajustarlas para los Colombianos, sus ambientes de trabajo y su cultura.

Pregunta De Investigación

¿Cómo mitigar el error humano en accidentes ocasionados por los operarios de los sistemas de control para sistemas inteligentes de transporte?

Objetivos

Objetivo General

Plantear las medidas necesarias que permitan reducir la probabilidad de accidentes causados por error humano atribuibles a los operadores de Sistemas ITS.

Objetivos Específicos

- Identificar los diferentes modelos existentes sobre el error humano.
- Determinar el método aplicable a las condiciones que presentan el túnel, para estudiar y encontrar la probabilidad de error humano que puedan generar accidentes atribuibles a los operadores.
- Analizar el error humano como causa de accidentes en sistemas de túneles viales.

Marco Teórico

Aunque el ser humano ha sido sustituido en muchas tareas por la tecnología, o muchas de las tareas del ser humano han sido automatizadas, este sigue siendo factor importante ya que las tareas realizadas en los sistemas de automatización deben tener el componente humano en alguna parte del proceso y como nos muestra Mauro Marchitto

la perspectiva optimista de los partidarios de la automatización <<fuerte>>, que persigue la eliminación de los errores humanos por medio de una automatización completa de muchas operaciones, está lejos de realizarse, aunque los progresos tecnológicos sean efectivamente sensacionales. Las razones residen, muy probablemente, en el hecho de que no es tanto el nivel de automatización de un sistema el que determina la presencia/ausencia de conductas erróneas o incorrectas, sino el conjunto de factores que afectan y regulan la ejecución humana en determinados sistemas. (Marchitto, 2011)

Por esta razón es necesario conocer que, a través de los años, muchos han estado estudiando el tema del error humano y la confiabilidad humana, aplicándola a accidentes ya sea en el plano psicológico, físico del ser humano, y es necesario tener los conceptos claros que aplicaremos y desarrollaremos a lo largo de esta investigación.

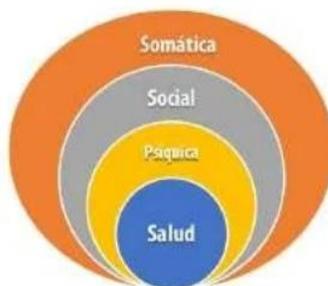
Confiabilidad Humana

EL Doctor Bárbaro j. Giraldo Centeno. (2014) en su artículo La Confiabilidad Humana para la Gestión de Activos nos muestra que el ser humano es un ser Bio-Psicosocial es decir que no solo debe evaluarse desde los aspectos Salud como son la diabetes, hipertensión arterial, isquemia, entre otros sino también del aspecto Psicosocial como la depresión o psicosis maniaca y el aspecto Psico- Somático dados por el desbalance emocional del individuo o síndrome de burnout, ya que cada uno de estos aspectos repercuten en la producción o en la

capacidad de afrontar o asumir un problema, un accidente o incluso un incidente, esta mezcla de aspectos en el ser humano se conoce como Confiabilidad Humana.

Figura 1

Confiabilidad Humana (Barbaro j. Giraldo Centeno, 2014)



En un cargo como el de Operador de control para túneles viales es necesario que se evalué la confiabilidad humana de los individuos ya que tienen a cargo no solo la infraestructura física de una parte pequeña del país, sino que también tiene a cargo la vida de cada una de las personas que transitan o que trabajan cada día en este espacio confinado y con unos riesgos mecánicos, eléctricos, etc., inherentes a él. Las situaciones cotidianas dentro y fuera del área del trabajo repercuten en la actividad normal de cada uno de los Operadores de Control causando Stress, Distress o Burn Out llevándolo a cometer Errores humanos.

La Confiabilidad humana debe ser evaluada con la aplicación de los 5 factores influyentes en el desempeño humano (performance shaping factors) (A.D Swain, 1983) y que son aplicables al contexto de Seguridad y salud en el trabajo estos factores son Experiencia, Entrenamiento, motivación, características del lugar de trabajo y calidad del ambiente laboral, Ya que el ser humano sigue siendo imprescindible en los procesos de control de los sistemas ITS, es decir es actor fundamental en la comunicación Humano-Tecnología.

Error Humano

Tal como lo indica Escalante y Tejedo (2004) en El error humano y el control de las causas de los accidentes

Por ello debería estar claro lo de que «todos los errores son humanos...» (Jaques Leplat), y de ahí la necesidad de clasificar, al menos, los errores humanos en operativos y no operativos, de modo que lo que habitualmente se conoce como «error humano» se identifique con los errores operativos, y se pueda concluir la reflexión de Leplat de que «todos los errores son humanos, pero nunca solamente humanos». (Escalante & Tejedo, 2004).

Por esto, muchas veces en el manejo de los sistemas de Control o ITS, no se sabe que salió mal o porque ocurrió un accidente y es porque su estudio se centra en el aspecto de hardware pero no se ha evaluado a profundidad los 5 factores influyentes en el desempeño humano de los operadores de Control de los sistemas ITS en donde se presentan accidentes con o sin intención y donde no se ha reconocido que existe un problema el cual lleva a la conclusión de que algo está mal.

Un objetivo del presente documento es la prevención de accidentes provocados por los operadores de Control de los sistemas ITS en el túnel (Daza) y para esto es necesario controlar las causas que pueden generarlos ya sea a la infraestructura o las personas

“Ya se ve que, si algo caracteriza al «error humano», además de lo indicado, es que es un factor interno de las personas, y, por tanto, muy difícil de constatar anticipadamente, y también un factor inmediato, muy «pegado» cronológicamente al accidente, y resulta, además, un factor inestable”(Escalante & Tejedo, 2004).

El ser humano es muy complejo en el aspecto emocional, racional y de capacidad y sus características pueden llevarlo a cometer errores o realizar comportamientos sobre los sistemas que puedan producir o desencadenar accidentes, afectando su calificación de confiabilidad humana.

Para analizar el error humano y los sistemas tecnológicos no puedo dejar de mencionar al catedrático emérito de Psicología en las Universidades de Manchester y Leicester en el reino Unido, James Reason (1990), el cual ha dedicado sus estudios al error humano en diferentes áreas incluyendo la del transporte, quien nos ha mostrado a través de diferentes ejemplos que un error humano ha sido el causante de grandes accidentes en la historia mundial como es el caso de Chernóbil o el Challenger en 1986 y que estos han debido analizarse también desde su parte organizacional en todos los niveles. Sus investigaciones nos muestran como las empresas solo tenían en cuenta los elementos de seguridad como la aplicación de forma correcta de la

ingeniería, última tecnología, y procedimientos, pero ignoraron totalmente el componente humano y sus acciones con respecto a las máquinas (tecnología) que estaban manejando,

Estos errores activos son en muchas ocasiones el resultado de la normal variabilidad de la actuación humana, aunque sea en un contexto fuertemente reglamentado por unos procedimientos operacionales, y en gran medida determinado por las decisiones de gestión. Como consecuencia, solo el estudio en el que se adopta una perspectiva sistémica puede ser la mejor aproximación a la vez que se adoptan las medidas proactivas de seguridad. (Marchitto, 2011, p. 6).

Tal como nos muestran los diferentes autores es que el error humano puede ser evitado siempre y cuando se realice un análisis a profundidad de los accidentes que ya ocurrieron y de los factores que puedan desencadenar otros, pero también todos coinciden en que es necesario que los operadores ya sean de control aéreo, náutico, férreo o vial no solo deben tener una formación técnica sino que deben ser incluidos en una formación basada en la comunicación, confianza y trabajo en equipo.

Taxonomía de Reason

El Modelo o la taxonomía de Reason (1984) tendremos en cuenta para nuestra investigación ya que se ajusta a los Operadores de Control donde ejecutan en su mayoría tareas automatizadas, es decir tareas que son repetitivas o que son sobre aprendidas.

Figura 2

Taxonomía de los errores humanos – Reason, j, (Romera Romero, 2010)



Reason desprende los errores humanos en dos acciones: las acciones intencionales “Se definen como errores en que la intención es correcta (la persona sabe lo que debe de hacer, pero durante la ejecución se equivoca).”(Romera Romero, 2007), pero también está la Acción no intencional o la no prevista la cual se divide en: Deslices “ Se vinculan a hechos observables comúnmente asociados a falta de atención como la intromisión, omisión, Inversión, órdenes mal impartidas, acciones a destiempo” (Romera Romero, 2007) y el Lapsus, tiene que ver con fallas en la memoria, repetición de las tareas o actividades planeadas o la pérdida de Ubicación, entre otros, este es un aspecto psicológico que se debe tener en cuenta en los operadores de control ya que como sus tareas son repetitivas pueden llegar al momento de - Pensar que lo saben Todo sobre su trabajo- , pero al evaluarlos o cambiarles las metodologías o actividades pueden no acoger bien el cambio de tareas o el cambio del entorno, en otras palabras es deficiente su capacidad humana para el desempeño del trabajo en los sistemas de Control de ITS.

En las Acciones Intencionales podemos encontrar las equivocaciones

“en Los cuales la persona percibe que ha cometido un error, pero le es dificultoso reconocerlo dado que éste se basa en el conocimiento y en las reglas establecidas. Son errores de concepción. Son difíciles de detectar, pueden estar latentes durante largos periodos de tiempo. Y pueden ser cuestionados cuando se detectan.” (Romera Romero, 2007).

Se subdivide en Violaciones las cuales se dan cuando el operador de control de los sistemas ITS conoce los procedimientos que deben seguir, pero con intención no las realiza. Estas acciones intencionales en los operadores en Túnel Daza se pueden dar ya que sus actividades son rutinarias y están basados en actividades que no incluyen esfuerzo físico y el esfuerzo mental es muy limitado. Otras acciones son las Excepcionales que como indican son actividades que se realizan en ocasiones muy esporádicas y el operador siente la presión por los tiempos deben cumplirse a cabalidad, debe estar atento en un cien por ciento.

Las equivocaciones también pueden darse por estar establecidas en las Reglas que es cuando las tareas o actividades se han realizado basados en las normas o en los procedimientos de la organización, sin embargo, al aplicarse no se han obtenido buenos resultados, son los conocidos en el campo laboral como errores de Procedimiento. O podemos encontrar las equivocaciones sobre el conocimiento que se aplican cuando ya se han acabado todos o algunos de los recursos en los procedimientos, se deben pensar en buenas y nuevas soluciones, estas son muy propensas al error ya que los factores de capacidad, los factores de salud, psicológicos y presión a que se siente sometido en ese instante el ser humano, porque en este momento no hay un tiempo que permita a los trabajadores al ensayo y error; sino que sus decisiones deben estar enfocadas a la solución satisfactoria.

Podríamos afirmar que toda esta obra gravita alrededor de este concepto clave: los errores y las ejecuciones correctas son dos aspectos complementarios de la actuación humana. Tras un enorme esfuerzo orientado a comprender los accidentes, los errores que a ellos contribuyen, las causas de los mismos a varios niveles de una organización considerando contexto de ocurrencia (y la cultura que en buena medida lo determina), llega un momento en que cabe preguntarse por qué cuando las cosas van bien, van bien. Y sobre todo, porque cuando las cosas van mal, la contribución humana puede ser el elemento fundamental para recuperar una situación diversamente sin salida.” (Marchitto, 2011, p. 7).

En este escrito Marchito nos muestra que el ser humano en la cadena de operación es considerado el eslabón débil ya que, así como puede cometer errores, debido también a sus habilidades, conocimiento, actitudes, aptitudes puede cambiar una situación trágica, a una situación favorable, pero también lo muestra como el Anillo Fuerte ya que es esencial en el sistema de gestión de seguridad y en la gestión de actividades de alto riesgo.

Igualmente, Reason, (1984), nos muestra que en la vida cotidiana se presentan 5 tipos de errores que llevan a la ejecución de actos no deseados.

- a) Errores de discriminación: son los que se presentan por una confusión,
- b) Errores de Ensamblaje de Programas: Se presentan cuando los programas en los sistemas van unidos a otros programas y los operadores olvidan la hoja de ruta para ejecutar una acción.
- c) Errores de comprobación: cuando la acción se desvía de su propósito.
- d) Errores de Subrutinas: este error se presenta cuando se realizan acciones erróneas dentro de un conjunto de secuencias.
- e) Errores de Almacenamiento: Olvido de planes y acciones.

Estos 5 tipos de errores se presentan en las rutinas de trabajo en los operadores de Control de los sistemas ITS, algunos porque no están constantemente capacitándose sobre las rutinas que deben seguir en el trabajo, otros porque bajo presión pueden olvidar las rutinas, y otros porque se sienten muy confiados ejecutando las rutinas.

Todos los casos ocurren a un nivel casi automático del proceso atencional. Según Reason, (1984), estos errores ocurren bajo condiciones relativamente uniformes: durante la ejecución de tareas automatizadas, en contextos muy familiares y cuando la atención ha sido reclamada por preocupaciones internas o por distracciones externas, lo que indican que ocurren durante la ejecución de actividades altamente adiestradas y sobre aprendidas. (Pastor & Pollock, 1999).

Esta taxonomía que nos muestra Reason es muy importante ya que nos enseña los pasos que debemos seguir para realizar el análisis de un accidente o un incidente y de aquí se desprenden una cantidad de procesos y procedimientos activos que finalmente conforman el sistema de Seguridad de una organización. Igualmente nos enseña la importancia de que esta

información sea tomada por las personas de primera línea y esas personas son los operadores, en este caso los Operadores de los Sistemas ITS de los túneles viales.

Taxonomía de Rasmussen

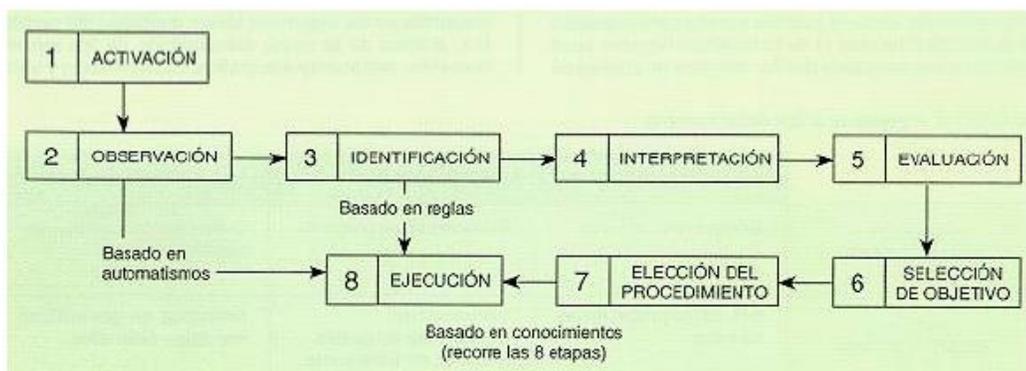
Jens Rasmussen, Senior Member, IEEE, en su libro *Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models* (1983), nos introduce al desempeño del ser humano en la interfaz Hombre – Maquina, así como nos muestra los diferentes modelos en los que se estudia las habilidades, reglas y conocimientos del ser humano y su desempeño en diferentes niveles. Sin embargo, enfatiza de que la maquina no puede subsistir sin el ser humano ya que este último es fundamental para mantener las condiciones de funcionamiento satisfactorio del primero, hacer frente a lo que puede estar mal estructurado en el sistema y a las situaciones imprevistas en él. Por lo que es tan importante en caso de accidente extraer toda la información desde la observación para poder cubrir toda una gama de situaciones laborales que se presentan en la rutina diaria.

“Algunas veces la selección de las acciones ha de ser repentina e inmediata (poco reflexiva), otras veces las acciones siguen un lento período de evaluación de información de una gran variedad de fuentes.” (García Maza, 2000,p. 73), este es una buena introducción para conocer de la taxonomía de Rasmussen quien decía que los procesos no dependen de la tarea sino de la experiencia que tiene la persona que las ejecuta, además indicaba que era necesario seguir ocho etapas en el procesamiento de la información y la toma de decisiones ya que la gente solo veía y se informaba de lo que quería.

1. Activación.
2. Observación.
3. Identificación.
4. Interpretación.
5. Evaluación.
6. Selección de objetivo.
7. Elección del procedimiento.
8. Ejecución.

Figura 3

Etapas de Tratamiento de Información y toma de decisiones y niveles de Funcionamiento de la persona (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1992)



Los saltos entre diferentes etapas de tratamiento son posibles: cuando una persona tiene un comportamiento basado en automatismos pasará de las etapas de "activación y observación" a la de "ejecución"; cuando tiene un comportamiento basado en las reglas y procedimientos, el salto hacia la "ejecución" se hará desde la etapa de "identificación" y por último, cuando el comportamiento se basa en los conocimientos, la persona recorre las ocho etapas mencionadas. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1992).

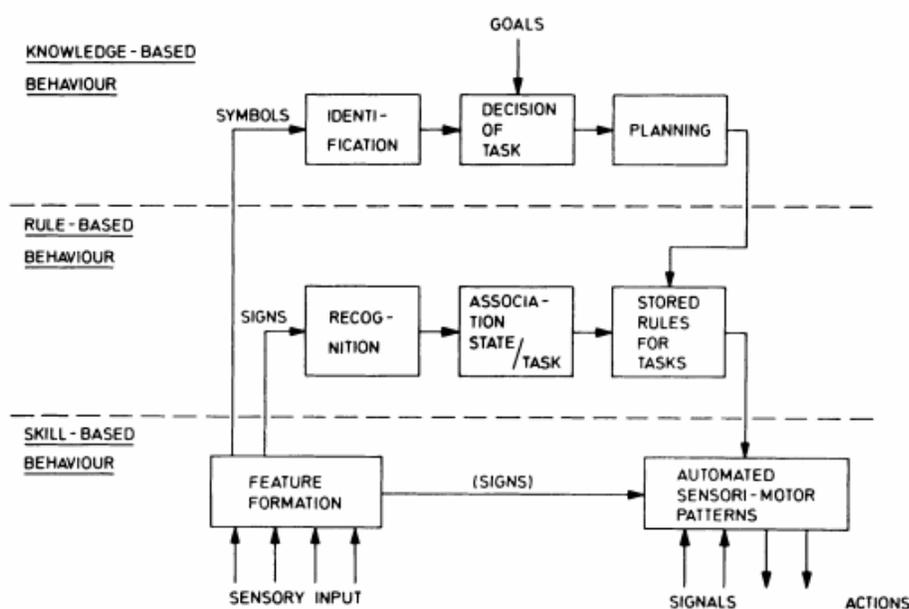
Y es que en el análisis sobre capacidad humana y error humano en los operadores de control para evitar accidentes en los sistemas ITS del túnel Daza no solo se debe investigar los sistemas sino que estos deben ser estudiados con las intenciones humanas, es necesario seguir cada una de las etapas de información ya que el enfoque que se le pretende dar a esta investigación debe permitir la profundización y la importancia del factor humano para la prevención de los accidentes de trabajo hombre-maquina.

Rasmussen dividió en tres niveles de comportamiento para los operadores de sistemas y así medir la confiabilidad humana: la primera la Habilidad que son las respuestas a un estímulo o varios estímulos en un tiempo determinado, la segunda las Reglas: el comportamiento basado en las reglas para la realización de una o varias tareas, el tiempo no es factor determinante, y por último el Conocimiento: donde los comportamientos basados en el conocimiento requieren que sean aplicados en un mínimo de tiempo. Este modelo que nos

presenta Rasmussen se complementa con el método de Reason, en cuanto a los dos evalúan el ser humano y sus factores más importantes, pero llevando siempre a la evaluación del conocimiento de los sistemas que son utilizados en los sistemas de control y llevan a una conclusión una habilidad, un lapsus o un fallo. Estas reglas son las que se basan los diseñadores del interfaz Humano- Maquina ya que puede haber una misma indicación pero que puede ser percibida en diferentes maneras, por esto el uso de signos o símbolos es importante para que exista un solo razonamiento entorno a una información y derive en la planificación.

Figura 4

Interfaz Humano – Maquina (Rasmussen, 1983)



García, (2000), en el Capítulo II de su tesis “ El Factor Humano como causa de los Accidentes Marítimos” nos muestra que Rasmussen en su taxonomía la cual es de las que más se acercan a evaluar las causa de los accidentes en los sistemas de Control manejados por operadores, ha categorizados los hechos causales que los producen como son los Modos externos o de entorno; de la mala función de los sistemas realizados por errores humano (actualmente estudiados o detectados), Las Malas funciones Humanas (problemas de decisión), Mecanismos de las malas funciones Humanas (Problemas en el proceso de información), Causas

de las malas funciones humanas (variabilidad Humana), Factores de realización de la tarea (Metas e Intenciones), Factores personales de la tarea (Diseño de Equipo, Problemas de instalación).

“Lo que necesitamos no es un modelo cuantitativo global del desempeño humano, sino un conjunto de modelos que es confiable para categorías definidas de condiciones de trabajo junto con un marco cualitativo que describe y define su cobertura y relaciones” (Rasmussen, 1983). Y es que si conectamos y evaluamos los diferentes modelos o taxonomías que son aplicables a los operadores de Sistemas ITS, podremos encontrar y analizar su capacidad humana para realizar este tipo de trabajos y predecir su rendimiento, todo basado en los factores internos y externos.

Taxonomía de Reinach y Viale

Stephen Reinach y Alex Viale en su artículo *Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations* (Reinach & Viale, 2006), nos muestran que en las investigaciones de accidentes e incidentes es importante comprender y gestionar la seguridad del transporte desde un enfoque cualitativo realizando un análisis profundo sobre los factores humanos y todos los niveles de los sistemas en cada una de las fases de los accidentes.

Igualmente hace referencia en que el uso de la tecnología en los controladores ferroviarios ha reducido significativamente los accidentes, ya que le ha dado al operador una mejor comunicación entre el operador y la locomotora, sin embargo, también destaca que la tecnología (interfase humano- Maquina) ha tenido problemas en la gestión de seguridad sobre todo en la mala formación de los operadores (operadores sin experiencia o poca educación de este tema). “Sin embargo, con demasiada frecuencia se culpa a un operador de un accidente / incidente porque él o ella está asociada con la última actividad que sale mal” (Reinach & Viale, 2006).

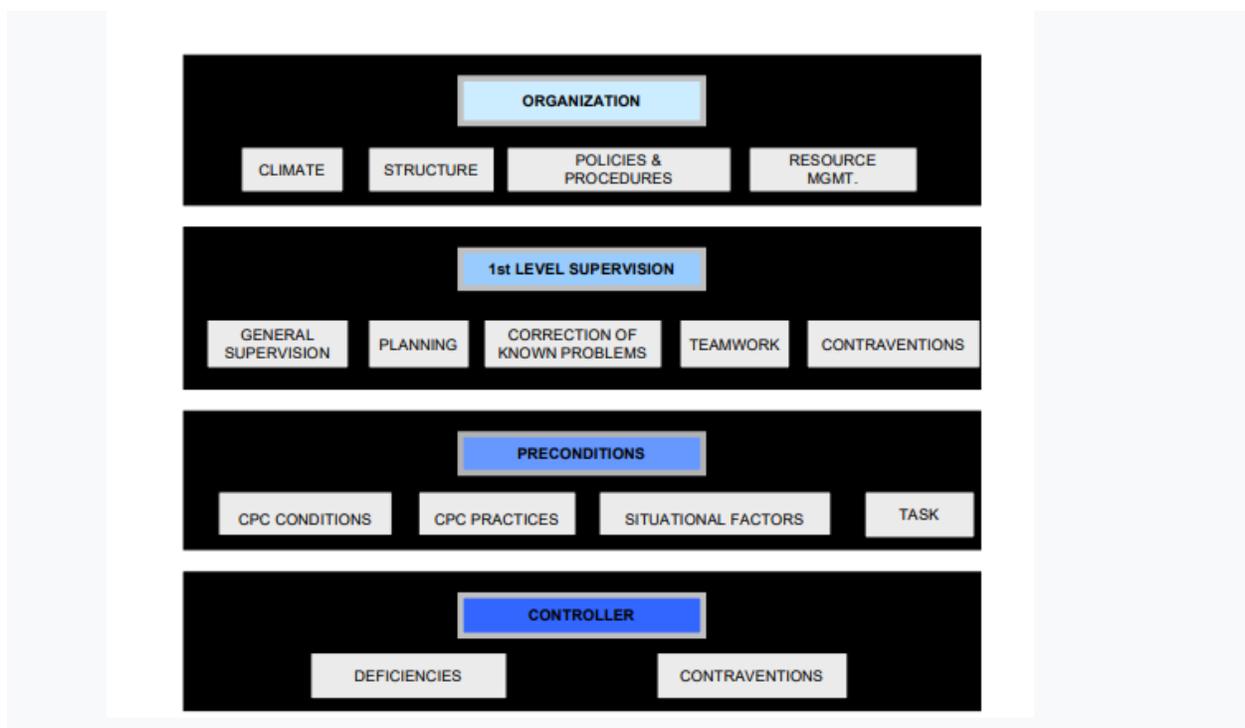
La taxonomía que nos presentan Reinach y Viale, (2006), se basa en la HFACS (Human Factors Analysis and Classification System framework) el cual es un método basado en el método de GEMS de Reason (1990) y su Modelo del queso Suizo, donde se describen 4 niveles de error en una organización empezando desde los operadores a través de todo el

sistema de organización de la empresa, el método HFACS de Wiegmann y Shappell fue presentada en el 2003 para realizar los análisis de accidentes aéreos sin embargo fue rediseñada para orientar las investigaciones de los accidentes o incidentes, como realizar la recopilación de los datos sobre todos los que están relacionados con el ser humano, este método ha sido tan efectivo que es utilizada para investigar los accidentes por diferentes agencias estatales en el mundo como es el caso de la Guardia Costera de los Estados Unidos (U.S. Coast Guard) o el Departamento de Defensa. Para los Operadores de control de tráfico aéreo se utiliza el HFACS-ATC.

El HFACS-ATC es un método diseñado por Scarborough y J. Pound para la FAA para los operadores de tráfico aéreo, donde adaptan el modelo de Wiegmann y Shappell y las enmarcan en actividades relacionadas con el tráfico aéreo específicamente.

Figura 5

La versión adaptada de Factores Humanos, análisis y clasificación del Sistema de Control de tráfico aéreo. (Scarborough et al., 2000)



En este gráfico se muestra los niveles de organización y nivel de supervisión se encuentra a nivel empresarial como son el clima organizacional, la estructura de la empresa, políticas o procedimiento, recursos, supervisión, planeación, corrección de problemas, trabajo en equipo, más abajo se puede encontrar los factores de las precondiciones o condiciones previas como son las condiciones, prácticas, tareas y las condiciones que afectan directamente al Operador o controlador de sistemas y en como son las condiciones del clima, entorno; aunque se debe definir cada uno de los puntos ninguno es independiente y deben ser estudiados individualmente y en conjunto.

Reinach y Viale (2006), presentan una taxonomía con cinco factores que deben ser estudiados en caso de un accidente o incidente y que llaman los HFACS-RR enfocados a los operadores de los sistemas de Ferrocarril y son acciones de los operadores, precondiciones para las acciones de los operadores, factores de supervisión o control, factores organizacionales y factores externos, donde estudian no solo que paso en el momento del accidente sino cuales fueron las condiciones previas del operador, la supervisión y el factor organizativo. En este mismo estudio nos muestran que la categoría más grande es la tecnológica ya que tuvieron que estudiar la clase de tecnología que estaba aplicada, los sistemas automatizados y sus protecciones y este asociado con las tareas del Operador. En este último se identificaron problemas de memoria, y fallas de atención, malas prácticas y procedimientos en las operaciones y el uso de la tecnología, mala supervisión y toma de decisiones y aplicación por parte de estos, Esta taxonomía nos permite aplicar la Gestión en seguridad y salud en el trabajo ya que evalúa desde la dotación del personal, Experiencia, capacidad entre otros.

Metodología HEART

La Metodología de Williams o metodología HEART, es una técnica de Evaluación y Reducción de Errores Humanos, Fue creada por Jeremy Williams en 1985 en una conferencia sobre la seguridad y confiabilidad, donde se busca facilitar la búsqueda del error Humano aplicada en la industria nuclear, aviación, ferroviaria, entre otras. El principal objetivo de la aplicación de este método es que sea Simple, fácil comprensión y donde se demuestre el rendimiento humano en las tareas o actividades asignadas. Según Williams creador de la metodología,

HEART se basa en el principio general de que para cada Tarea en la vida hay una probabilidad de Fracaso. Afectando a cada una de estas tareas, existen, en todo momento, diferentes niveles de condiciones de producción de errores (EPCs) que pueden influir en la fiabilidad humana que realmente se puede lograr en las operaciones de los sistemas (Jeremy C. Williams & Bell, 2015)

Este método se diferencia de los anteriores metodologías de Reason y Rasmussen, en que los datos son totalmente cuantificados, de forma que puedan los investigadores realizar pronósticos que sean fiables, consistentes y permita tomar decisiones que favorezcan a disminuir la probabilidad de error en las tareas o actividades que realizan los operadores que manejan los sistemas de control.

“Como la ingeniería humana es barata en comparación, cualquier técnica que logre la evaluación y reducción de errores a bajo costo parece ser una inversión atractiva. Fue con estos pensamientos en mente que el autor se propuso diseñar tal técnica” (J. C. Williams, 1988)

Raúl Pérez Fernández en su trabajo de master modelización matemática de la fiabilidad humana, nos muestra que el objetivo de la aplicación este método es estudiar los factores que tienen efecto o que influyen sobre la ejecución de una actividad y calcular las probabilidades de Fallo humano, Para después determinar cuáles fueron los factores que mas influyeron a la hora de que se produzca un accidente por fallo o error humano. también realiza la observación de que es un método sencillo y fácil de usar tiene el problema de que es un método subjetivo y muchas veces no termina de adaptarse a todas las situaciones de la vida real que se están estudiando.

Pero para entender este método es necesario entender los siguientes concepto de EPCs o PSF que significa Condiciones de producción de Errores; estos son importantes ya que pueden desempeñar un papel importante en la determinación de la fiabilidad humana. Ruiz-Moreno, J. M., & Trujillo, H. M. (2012). Modelos para la evaluación del error humano en estudios de fiabilidad de sistemas nos explican que los EPCs son fundamentales para el análisis de las tareas complejas, ya que el modelo HEART es multiplicativo

El método HEART descrito por JC Williams en un Método Basado en datos para evaluar y reducir los errores humanos para mejorar el rendimiento de operacionizado, establece que este modelo se basa en la fiabilidad humana la cual depende de la naturaleza genérica a realizar, segundo son cuando las condiciones son perfectas la fiabilidad tiende a ser consistente con la probabilidad nominal dada dentro de los límites y tercero es cuando las condiciones perfectas no existen se puede esperar que la fiabilidad humana se degrade.

Este método se basa en la experiencia de Williams como ingeniero donde ha evaluado una serie de factores humanos, aunque no es exhaustiva ni ha sido validada este método ha sido utilizado en la última década en la evaluación de operadores de ferrocarriles y sistemas náuticos ayudando a la toma de decisiones para disminuir el error humano en aquellas tareas donde las probabilidades son altas.

La aplicación del método HEART en los operadores se basa en dos tablas las cuales fueron realizadas por Williams y un equipo multidisciplinario donde han asignado valores nominales a una serie de tareas genéricas.

Tabla No.1

Tabla de probabilidades Nominales del Error Humano – Raúl Pérez Fernández – Modelización matemática de la fiabilidad Humana

Tareas genéricas	PNEH
A) Totalmente desconocida, ejecutada a velocidad sin una idea real de las consecuencias probables.	0,55 (0,35 – 0,97)
B) Cambio o restablecer el sistema a uno nuevo o al estado original en sólo un intento sin supervisión.	0,26 (0,14 – 0,42)
C) Tareas complejas que requieren un alto nivel de comprensión y habilidad.	0,16 (0,12 – 0,28)
D) Tarea bastante simple realizada rápidamente o prestada escasa atención.	0,09 (0,06 – 0,13)
E) Rutina, altamente practicada, tareas rápidas que implican relativamente bajo nivel de habilidad.	0,02 (0,007 – 0,045)
F) Restablecer o cambiar un sistema al original o siguiendo un estado nuevo de procedimientos, con cierta comprobación.	0,003 (0,0008 – 0,007)
G) Completamente familiar, tarea bien diseñada, altamente practicada, con el tiempo para corregir el error potencial.	0,0004 (0,00008 – 0,009)
H) Responde correctamente al sistema de comando incluso cuando es aumentado o automatizado el sistema de supervisión.	0,00002 (0,000006 – 0,0009)

Y la segunda tabla en la que se apoya para la aplicación de la metodología HEART

Tabla No. 2

Tabla de efectos incrementadores del Error Humano

EPC	Ei
1. Una situación desconocida la cual es potencialmente importante pero que solo ocurre raramente o que es nueva.	X17
2. Escasez de tiempo disponible para la detección y la corrección del error.	X11
3. Una señal Baja- proporcional al ruido.	X10
4. Ninguna manera de esconder o sobre escribir información fácilmente accesible.	X9
5. Ninguna forma clara de expresar información de una forma que puedan entender los operadores.	X8
6. Desacople entre el modelo del mundo operador y el imaginado por el diseñador.	X8
7. Ningún medio obvio de invertir una acción involuntaria.	X8

8. Una sobrecarga de la capacidad del medio particularmente causado por la presentación simultanea de información no redundante.	X6
9. Una necesidad de desacostumbrar una técnica aprendida y aplicar una que requiera el uso de una filosofía opuesta.	X6
10. La necesidad de transferir conocimiento específico de tarea a tarea sin pérdida.	X5,5
11. Ambigüedad en los estándares de funcionamiento requeridos.	X5
12. Confusión entre el riesgo percibido y el verdadero.	X4
13. Pobre, ambiguo o feedback del sistema mal engranado.	X4
14. Ninguna confirmación directa y clara de una acción prevista del sistema sobre el cual el control está siendo ejercido.	X4
15. Inexperiencia del operador.	X3
16. Calidad empobrecida de comunicar la información por procedimientos e interacción de persona a persona	X3
17. Poca o ninguna comprobación o prueba independiente de la salida.	X3
18. Conflicto entre periodos de objetivos de inmediato y largo plazo.	X2,5
19. Ninguna diversidad de entrada de información para comprobar la veracidad.	X2,5
20. Desacoplamiento entre el nivel de realización educativo de un individuo y los requerimientos de la tarea	X2
21. Incentivo para utilizar otros procedimientos más peligrosos	X2
22. Poca oportunidad de ejercitar la mente y el cuerpo fuera de los límites inmediatos de un trabajo.	X1,8
23. Instrumentación poco fiable o nada fiable.	X1,6
24. Necesidad de Juicios absolutos que están más allá de las capacidades o de la experiencia de un operador.	X1,6
25. Asignación confusa de la función y de la responsabilidad.	X1,6
26. Ninguna manera obvia de no perder de vista el progreso durante una actividad.	X1,4
27. Moral baja.	X1,2

28. Poco o ningún significado intrínseco de una tarea	X1.3
29. Estrés emocional Alto	X1.2
30. Evidencia de enfermedad entre los operarios (especialmente fiebre)	X1.2
31. Baja moral de la fuerza de trabajo	X1.2
32. Inconsistencias entre el significado de los displays y su procedimiento	X1.15
33. Un ambiente hostil (por debajo del 75% de salud o severidad que pone en riesgo la vida)	X1.1
34. Inactividad prolongada/actividades altamente repetitivas/tareas de baja carga de trabajo mental	X1.05
35. Interrupción de los ciclos normales de sueño	X1.1
36. Estimulación de tareas causada por la intervención de otros	X1.06
37. Miembros adicionales del equipo, además de los necesarios, para realizar la tarea de manera normal y satisfactoria	X1.03
38. Edad del personal que realiza tareas perceptivas	X1.02

Ei: Efecto Incrementador.

EPC: Condiciones de producción de Error

Contamos con 38 condiciones de producción de Error diferentes, donde cada una de estos EPC's está asociado a un efecto incrementador que es la cantidad nominal máxima prevista por la cual la falta de confiabilidad puede cambiar en condiciones buenas o malas. Hasta donde sabemos, desde la publicación de HEART, nadie ha cuestionado la importancia operativa de este EPC, ni nadie ha cuestionado la cantidad por la que el multiplicador debe cambiar. Aparte de las 7 referencias dadas en la década de 1988 (Jeremy C. Williams & Bell, 2015)

Marco Legal

Decreto 1072 de 2015

El decreto 1072 de 2015 del Ministerio de Trabajo de la Republica de Colombia, la cual regula el sistema de Gestión de seguridad y salud en el trabajo y su implementación en el recopila todas las normas, los derechos y deberes del Empleador y del empleado en materia de Seguridad y salud en el trabajo y es de obligatorio cumplimiento.

En este decreto el empleador está obligado a identificarlos peligros y evaluar los riesgos a los que se encuentran los empleados, buscar soluciones, para prever enfermedades de tipo laboral ya sea físico o mental, evaluar las actividades en rutinarias y no rutinarias si incluyen o no máquinas y buscar alternativas para prevenir los accidentes y los incidentes. Y el empleado también debe ser capacitado para identificar los riesgos y buscar soluciones que le ayuden a hacer sus actividades sin afectar su salud. Esta norma también nos dice que todas las actividades deben ser documentadas ya actualizadas constantemente mínimo cada año.

Sin embargo, en el Parágrafo 2 del Decreto 1072 de 2015 nos habla de la Metodología a emplear en caso de accidentes:

PARÁGRAFO 2. De acuerdo con la naturaleza de los peligros, la priorización realizada y la actividad económica de la empresa, el empleador o contratante utilizará metodologías adicionales para complementar la evaluación de los riesgos en seguridad y salud en el trabajo ante peligros de origen físicos, ergonómicos o biomecánicos, biológicos, químicos, de seguridad, público, psicosociales, entre otros. Cuando en el proceso productivo, se involucren agentes potencialmente cancerígenos, deberán ser considerados como prioritarios, independiente de su dosis y nivel de exposición. (Ministerio del Trabajo, 2015)

Este parágrafo le da la libertad a los empleadores o empleados o entidades privada o públicas de usar una o más metodologías que ayuden a mitigar el riesgo de accidentes y las consecuencias en caso de que esto ocurra, además teniendo la libertad de manejar varias metodologías hace que la mitigación de accidentes por parte de los operadores de ITS en el túnel Daza, sea visto desde diferentes perspectivas como son las físicas, Sociales, de Entorno, Culturales, Ambientales, entre otros, y se concluya la relación Humano- Maquina para poder ser más analítico de los posibles puntos de falla o puntos de riesgos para así tomar acciones

concretas que realmente descuidan la posibilidad de error Humano en el manejo de los sistemas ITS.

NTP 360: Fiabilidad Humana: Conceptos Básicos

La NTP 360 (s.f) del ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España y el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, a diferencia de las normas colombianas, estas si nombran los aspectos más relevantes en cuanto al factor humano. Los sistemas o diferentes metodologías utilizadas por Reason o Rasmussen entre otros, para ser aplicadas en los análisis de riesgos probabilísticos, determinación de la fiabilidad humana, factores técnicos que puedan ser evaluados para prevenir el riesgo o para estudiar los accidentes o incidente y sus implicaciones.

En cuanto a la fiabilidad humana

Para la valoración de la fiabilidad de un sistema es importante tener en cuenta que la persona no sólo juega un papel negativo en cuanto que fuente de error, sino que también es elemento de sobre fiabilidad, ya que es capaz de anticipar, prevenir, confirmar y recuperar las desviaciones no previstas del sistema, incidentes relacionados con fallos técnicos, errores propios y ajenos (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1992)

Debido a que el ser humano puede anticiparse a los sucesos, tiene capacidad de aprendizaje, y de adaptabilidad a situaciones de trabajo o del entorno.

En cuanto al error humano la NTP 360 también nos señala “ El análisis de los errores es importante y muy utilizado en ergonomía, pues el error, sobre todo aquel que se comete durante el aprendizaje, aporta gran información acerca de los elementos esenciales del puesto de trabajo” (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 1992). Siguiendo la línea de Leplat y Terssac donde estudian el error humano desde el comportamiento de lo que se espera que realice hasta el comportamiento de lo inesperadamente realizado para así determinar el grado de fiabilidad o confiabilidad del trabajador.

Igualmente señala a Rasmussen y su taxonomía con la necesidad de comprender el error tomándolo desde el enfoque cualitativo de comprender el error y la situación en el que se presentó. Finalmente, esta norma nos lleva a analizar las tareas que han sido asignadas o desarrolladas por el trabajador, identificar los errores humanos y clasificarlos para finalmente cuantificarlos y valorarlos para conocer la probabilidad de aparición del error.

Estado del Arte

La bibliografía que trata los temas de capacidad humana y error humano en los equipos de Control de sistemas ITS en túneles viales es escasa y en Colombia no existe estudio alguno sobre este tema en concreto, sin embargo se encuentran estudios, tesis y publicaciones sobre el error humano o la confiabilidad humana en diferentes campos como son el farmacéutico, laboratorios, petrolero, etc.; y algunos sobre los accidentes que han ocurrido en los sistemas de transportes Náutico, ferroviario, en otros países como son el caso de España y Argentina principalmente.

En Colombia pocos estudios se encuentran sobre error o la confiabilidad humana, pero si existen casos en los cuales se habla sobre este tema de forma general como es el caso de trabajo de grado para optar al título de Especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo de Isabel Cristina García, 2018, Confiabilidad humana y su aplicación en la investigación de incidentes y accidentes laborales, en su trabajo nos muestra como el ser humano tiene la posibilidad de cometer errores y para esto ha expuesto los modelos en que los investigadores de accidentes o incidentes se basan (casos de Reason o Rasmussen), además analiza los causales de accidentalidad según la confiabilidad humana y describe modelos que aportan a la conceptualización del tema de accidentes.

La Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo en la Organización Internacional de Trabajo [OIT] publicada por el instituto nacional de Seguridad y salud en el trabajo del Gobierno de España, Ministerio de Trabajo, nos habla de cada una de las enfermedades, detección y prevención, gestión y política y cada una de las disciplinas relacionadas con el estudio y la aplicación de la seguridad y salud en el trabajo como son los temas de higiene y seguridad industrial, así también como trata de los riesgos a los que se encuentran sometidos los trabajadores a nivel mundial.

Otras publicaciones Como Gonzalez, 2017. *Human Mistake In The Analysis Of Railway* [El Error Humano En El Análisis De Accidentes Ferroviarios],. donde hace un recorrido de las metodologías que se han usado a través de los años como es el caso de Reason y Rasmussen en el análisis de los accidentes férreos en especial dos ocurridos en argentina en los años de 2001 y 2012, sin embargo a través de su trabajo no solo se enfoca en el estudio de los factores de los trabajadores de primera línea sino también en la administración del sector, igualmente

abre debate sobre la fiabilidad humana y si existe un modelo ideal para el estudio y análisis de los accidentes férreos. También en este artículo nos muestra un nuevo método, la pirámide de Heinrich, la cual considera importante para el análisis del éxito de un accidente, pero también muestra como con el estudio y correcto análisis de los factores en los incidentes o cuasi – accidentes se puede evitar los accidentes severos.

Otro estudio interesante de Ecuador. Manuel Fernando González Puente y Jorge Luis Loroña Alarcón (2019): “Análisis de confiabilidad humana del personal de una empresa de transporte público de pasajeros en Ecuador”, Revista Caribeña de Ciencias Sociales (agosto 2019). Estos dos ingenieros muestran que la gestión y mantenimiento de los activos en una empresa de transporte son muy importantes para la competitividad, sin embargo muestra que el factor de Ingeniero y las tareas asociadas a estos hacen que se tenga ese factor de Confiabilidad Humana Operacional, pero también demuestran que el error humano es una parte importante del Riesgo total.

Más recientemente encontramos publicaciones como la de Jian-Lan Zhou^{a,b}, Yi Leia^b, Yang Chen llamada *A hybrid HEART method to estimate human error probabilities in locomotive driving process* (Zhou et al., 2019), donde nos muestra el método HEART por sus siglas en inglés Human Error Assessment and Reduction Technique es decir la técnica de evaluación y la reducción de los errores para garantizar la seguridad en el proceso de conducción de locomotoras. Sin embargo, aclaran que esta técnica, aunque es aceptable para conocer la probabilidad de error, tiene muchas deficiencias ya que no incluye factores importantes en el desempeño operativo ferroviario por lo que se hace necesario hacer un híbrido de teorías y métodos para determinar la confiabilidad, este método lo simulan en Montecarlo.

Método

Contexto Demográfico

Para el estudio del error humano en las Operación de sistemas ITS para túneles viales no ubicaremos en el túnel Carretero de Daza ubicado en Colombia en la Variante oriental de Pasto de la carretera Rumichaca-Pasto-Mojarras, rutas 2501 y 2502, el túnel cuenta con una longitud aproximadamente de 1.71. m. el cual requiere de operación por parte de la Entidad tendiente a brindar condiciones de seguridad para los usuarios de este, de manera tal que se minimicen los riesgos de accidentalidad que se puedan presentar.

Con este fin se pretende llevar a cabo acciones encaminadas a operar el túnel en mención, incluyendo la totalidad de LOS SISTEMAS DE CONTROL Y LOS EQUIPOS ELECTROMECAÑICOS necesarios para el adecuado funcionamiento de este, disponiendo en todo momento de capacidad logística y operativa para atender de inmediato cualquier eventualidad que se presente en el mismo. (Invias, 2019)

Tipo, Diseño y alcance del estudio

Esta investigación es de tipo Mixto, por un lado tenemos que es Cuantitativo ya que la fiabilidad humana se puede cifrar realizando un análisis exhaustivo y estimando la probabilidad de error humano en una tarea específica o en un listado de tareas que pueden y deben desarrollar los operadores de los sistemas ITS en el túnel Daza en un determinado tiempo, igualmente es Cualitativo ya que se debe realizar la observación en sitio de cada una de las tareas que desempeñan los operadores y después realizar una descripción detallada de cada una de estas tareas y clasificarla en rutinaria, normal. Emergencia, etc.

El alcance es Descriptiva y no Experimental ya que al utilizar un método de medición sobre un grupo de personas en específico y una tareas o roles ya establecidos, se necesita

estudiar las variables para poder realmente establecer las medidas que se deben adoptar para cumplir con las normativas del ministerio de Trabajo en Colombia y minimizar los accidentes e incidentes que son ocasionados por los operadores de los sistemas ITS en Colombia.

Participantes o Fuentes de datos

La población en el túnel Daza. Lugar donde se ubica la investigación, trabaja el siguiente personal:

1. *Personal de Mantenimiento de Equipos Electrónicos, Eléctricos y Electromecánicos*, este puesto es ocupado por tres hombres mayores de 30 años, padres de familia, con estudios a nivel técnico o profesional en Electricidad, Electrónica, y electromecánica. Realizan actividades que requieren alto conocimiento ya que presentan peligro su manipulación, sus actividades se rigen según el cronograma de actividades de Mantenimiento; deben realizar mantenimiento preventivo como limpieza de equipos de emergencia (mangueras, extintores, señalización etc.), realizar mediciones de aceite como el caso de las plantas eléctricas, mediciones de electricidad, con equipos especializados como amperímetros de alto voltaje para las subestaciones, Cambio de correas a ventiladores, cambio de lentes para las cámaras, Cambio de bombillos a semáforos, entre otras actividades y por otro lado realizan Mantenimiento Correctivo; que incluye cambio de equipos o repuestos a los equipos electromecánicos según se presenten.
2. *Operadores de Sistemas ITS*. En este puesto se encuentran 08 personas, tres mujeres y 5 hombres, realizan jornadas de trabajo de 8 horas diarias o nocturnas en parejas, los turnos son rotativos y van de 6 am a 2 de la tarde, el segundo turno es de 2 de la tarde a 10 de la noche, y el tercer turno es de 10 de la noche a 6 de la mañana. Sus estudios son variados van desde estudios administrativos, de sistemas, entre la población más joven a excepción de uno que tiene más edad 51 años con nivel educativo bachiller. Sus tareas incluyen en revisar las bitácoras de tiempo de uso de los equipos (para programar mantenimientos), revisar que todos los sistemas de túnel estén Prendidos, en funcionamiento, que estén reportando al sistema el conteo de vehículos pequeños, Vehículos de carga, revisar las cámaras para no permitir el paso

de Motos , bicicletas y personas a Pie, animales que puedan provocar accidentes. Accionar los equipos para cerrar el túnel – en caso de sr necesario), cambiar los mensajes en los Paneles de Mensaje Variable, Activar los planes de emergencia en caso de accidentes, catástrofes naturales, siniestro, Bombas, etc.; reportar mal funcionamiento de los equipos electromecánicos y de sistemas; reiniciar sistemas en caso de presentar fallas, entre otros.

3. *Vigilantes:* en el túnel Daza se cuenta con Dos vigilantes de tiempo completo los cuales cuidan los vehículos y las infraestructuras de oficinas que se encuentra en el complejo.
4. *Interventoría:* Consta de Un (1) ingeniero Civil y un conductor los cuales se encuentran de lunes a sábado de 8 a 7 de la Noche. Verificando que el personal (de mantenimiento, operadores, vigilantes) cumpla con los horarios de trabajo. Además de realizar otras tareas de tipo administrativo asignadas por el Invias como el que se realicen los mantenimientos, que funcionen los sistemas.; que se accionen los planes de emergencia, verifica que se realicen los cierres del túnel en los horarios programados.

Para la aplicación del método HEART se realiza el muestreo por Muestra No Probabilístico por conveniencia, en esta investigación se tomará la población de Muestra que realiza la Función de Operadores de Sistemas ITS, ya que se tuvieron en cuenta varios aspectos, primero es el puesto de trabajo que cuenta con más personal ocho personas en total siendo más fácil la recolección de información y realizar el análisis de los problemas para así tomar medidas pertinentes; segundo el puesto cuenta con personal 24 horas los 365 días del año; tercero el personal desarrolla una serie de tareas específicas, concretas y repetitivas, lo que los hace ideal para aplicación de la metodología escogida.; Cuarto el personal se encuentra en disponibilidad y es de fácil acceso para realizar la investigación, ya que se puede observar sus hábitos, opiniones de manera más asequible; Quinto: Se toma en cuenta esta muestra ya que deben contar con el conocimiento mínimo de los equipo electromecánicos, y conocimiento técnico de los sistemas, y finalmente el sexto punto por el que se escogió esta muestra es que según las investigaciones realizadas sobre la capacidad humana el personal deben tener ciertas cualidades para ocupar el cargo, entre esas esta la Capacidad de Razonar, Ser y transmitir serenidad, no tener déficit de

atención, ser tranquilo, metódico, comunicación asertiva, seguir la metodología para seguir con la tarea en cuestión, compromiso, Habilidades para trabajo en equipo, Capacidad mental, seguridad y rapidez ante la emergencia.

Los demás personas que realizan actividades dentro del túnel no se tomaran como muestra como es el caso del personal de Mantenimiento ya que estos son solo tres personas y al tomar la muestra no me permite ser más analítica ya que los tres trabajan en conjunto todo el tiempo siguiendo los lineamientos del sistema de Gestión y Seguridad en el Trabajo de la empresa, además con los equipos que trabajan no se pueden hacer pruebas sin supervisión de profesionales especializados ya que estos equipos mal trabajados pueden ocasionar graves accidentes o incluso la muerte. Por otro lado están los vigilantes que no hacen parte de la operación del túnel como tal son de empresas externas, y su supervisión y entrenamiento no hace parte fundamental para la operación de los sistemas ITS y funcionamiento del túnel. Y el personal supervisor que no conoce los sistemas (no tiene entrenamiento sobre los sistemas ITS) sus tareas son más de revisar que el personal cumpla con los horarios y ser el encargado de solicitar ante la autoridad los permisos de cierre parcial o total cuando se necesite.

Recolección de Datos

Como se mostró en el análisis de los diferentes modelos como el de Reason, Rasmussen, Reinach y Viale y otros tantos que a través de la historia de los accidentes les han realizado modificaciones para volverlos más coherentes, dinámicos y exactos, estas técnicas son cualificables ya que buscan es buscarle una explicación a los accidentes realizando análisis basados en la observación y en los datos históricos de la evidencia. Además le dan la perspectiva desde la experiencia de los investigadores. En esta investigación se aplicará el modelo HEART ya que esta metodología permite Evaluar, analizar y tomar medidas aplicables en la gestión que reduzcan la probabilidad de error en una tarea asignada, ya que no se cuentan con datos históricos de Accidentes e incidentes que pudieron ser causados por los operadores de los sistemas ITS en los túneles carretables, y todas las demás metodologías como son la SLIM (Metodología del índice de probabilidad de Éxito) basada en la metodología THERP se basa en la evaluación de equipo de expertos multidisciplinario en el cual identifiquen los errores y den la

calificación que consideren apropiada, la metodología THERP (técnica para la Predicción de tasa de error humano) es aplicada en diferentes actividades de la empresas pero se considera subjetiva y complicada por la cantidad de datos y valores que debe manejar por lo que se considera que no hay uniformidad para la identificación de los errores y en el análisis de la fiabilidad según Ruiz y Trujillo. , otras metodologías como CREAM (método de Fiabilidad Cognitiva y análisis de errores), basan sus estudios en Errores que ya han sido cuantificables y donde un panel experto y multidisciplinario dan su opinión y conclusión sobre lo ocurrido. Por lo contrario , en este trabajo de investigación y depues de una exploración y estudiar los diferentes metodologías se decidió aplicar la metodología HEART (Human Error Assesment and Reduction Technique) “ya que es una metodología fácil de comprender, rápido y confiable, y es un enfoque fiable para comparar HEP basado en el grado de recuperación y uso de errores en dominios que involucran a operadores humanos realizando tareas bajo diferentes condiciones”(Islam et al., 2017).

Akyuz y Celik en el 2016 en su libro un enfoque hibrido de determinación de probabilidad de error humano, nos muestran que el método HEART es una herramienta sencilla para calcular el HEP o probabilidad de Error Humano, teniendo en cuenta aspectos , tareas específicas y rendimiento. introducido por Williams en 1988 con el fin de evaluar el error humano con valores definidos, además el HEART por ser flexible y aplicable, se ha usado en diferentes categorías como son las plantas nucleares, transporte, Náutico; este método nos permitirá cuantificar la fiabilidad humana de una forma sencilla ya que se estudian los diferentes tareas que desempeña un operador y su magnitud para favorecer la producción del error. EL Método HEART se compone de dos parámetros fundamentales: Probabilidad de error genérico (GEP o PEG) “La mayoría de los métodos de cuantificación del error humano proponen valores de probabilidad asociados a diversos tipos de tareas genéricas, a estos valores se les denomina Probabilidad de error humano. (Torres-Medina, 2020); y el Productor de Error Relevante o (EPC) que son los factores internos y factores externos (Edad, Estrés, Familiaridad, experiencias, etc.) que influyen en la vida cotidiana del ser humana que pueden producir error y por ende afecta la confiabilidad humana.

Los datos de esta investigación como son las tareas y los valores que se le han asignado a cada una de ellas, fueron cuidadosamente asignado, ya que en etapas donde el operador tenía un turno “normal” es decir sin novedades, no se presentaban ni se evidenciaban errores. Sin

embargo, para poder realizar bien el estudio se simularon situaciones de Emergencia para verificar las reacciones de los operadores ante una situación de estas.

El método empleado para la recolección de datos fue la observación in situ, una observación minuciosa donde se verifico el comportamiento, actitudes, aptitudes de los operadores mientras realizan sus tareas asignadas. Por otro lado, para llegar a esta investigación se tuvo que pasar por varias fases que a continuación se describen

1. Fase 1: Selección del tema: Se realizo un análisis del entorno en el cual me desempeño diariamente, con que personas se está en constante contacto y en las cuales podría realizar una investigación; además que se observaron situaciones en la que el ser humano presentaba problemas y como reaccionaba a ello; no sabía que era toda esos factores internos y externos que mueven a los trabajadores desencadena en accidentes y que esto se llama Error Humano y que estaba asociado con la Confiabilidad humana.
2. Fase 2: Fuentes de Información: se investigó por medio de Google las fuentes de información en la que se encontraron, la cantidad de estudio través de los años que estos dos términos Error Humano y confiabilidad humana estaban asociados y como eran implementados los diferentes métodos para estudiar los accidentes o incidentes, por lo que me parece más interesante no esperar al accidente sino con la fuentes primarias que se tienen a la mano como son los operadores de los sistemas ITS, como puedo estudiarlos, que probabilidad de que comentan un error pueden tener.
3. Fase 3: Fase conceptual: Una vez escogido el tema base de la investigación y la población sobre la que se va a realizar, se procede a realizar la pregunta de investigación y los objetivos para encaminar el trabajo.
4. Fase 4: Fase Metodología: Se plasma en el trabajo de investigación los diferentes estudios que se han realizado sobre el error humano y la confiabilidad, las diferentes metodologías, además se estudian los casos más actuales y como están aplicando para de esta forma escoger la metodología más recomendable aplicar.
5. Fase 4: Fase de Datos: Por medio de la observación in situ, se realiza la recogida de los datos, posteriormente el análisis y su interpretación para finalmente sacar una conclusión y poder realizar las recomendaciones consideradas.

Análisis

Para la investigación y la aplicación del método HEART se siguió cada uno de los puntos establecidos por Williams para aplicar la metodología.

1. *Definición del Escenario:* Los operadores del túnel Daza, deben realizar tareas de manejo de los sistemas según las condiciones climáticas o factores ambientales y vehiculares, tiempos de mantenimiento, que se encuentren dentro del túnel en determinados tiempos. El personal cuenta con tiempos de descanso aceptables, los operadores deben llegar a sitio de trabajo 15 minutos antes de empezar la jornada laboral para atender el turno.
2. *Análisis de la Tarea:* el análisis de la tarea se desarrolla a través de la observación de quien realiza la investigación a cada uno de los operadores de sistemas ITS, por medio de la observación de las grabaciones que tiene el centro de control, las cuales datan de 6 meses del año 2020, desde el momento que ingresan al turno, ya que hay procedimientos que deben realizar y que son en momentos específicos. Se evalúan actitudes y/o procesos que puedan desencadenar un error. Para realizar la tabla de tareas de los Operadores de sistemas ITS en los túneles se realizaron en dos tiempos con el manejo de los sistemas funcionando al 100% y el otro realizando apagado de sistemas en porcentajes del 50 o 60 por ciento (recomendado por el Ingeniero del proyectos de la empresa, ya que los sistemas de túnel no pueden ser apagados en su totalidad por temas de redundancia y manejo de tráfico), en este paso se, analizan las reacciones, actitudes, procesos y procedimientos que realiza el personal.
3. *Selección de Tipo de Tarea:* se verificaron las tareas que deben realizar los operadores y se tomaron algunas tareas que realizan sin presentar error los sistemas y otras generando fallas en los sistemas para analizar si se ajustaban a los procedimientos establecidos y cuales era sus actitudes frente a la recuperación del sistema. Algunas de las acciones eran incorrectas y empeoraban la situación. O cuales acciones tomaban hacían una situación o tarea principal. Para el desarrollo de este punto se eligieron las tareas más relevantes además se realizó un análisis

cualitativo basado en la observación para poder analizar los conocimientos y actitudes del operador del sistemas ITS.

A partir de esta tarea de observación se separaron las actividades en 4 campos o tareas principales que se realizan y esta tarea principal dio a otras 9 subtareas y estas a su vez en 52 subtareas de la subtarea ya que para la investigación es importante tener el mayor detalle de las tareas para poder encontrar el punto exacto en el que cometen el Error y poder analizarlo con mayor veracidad.

Tabla No. 3

Tabla de tareas de Operadores de Sistemas ITS – túnel Daza.

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA
recibo de las instalaciones por parte del operador de turno	Verificar la condición física del personal que ingresa a turno; se debe encontrar en buenas estado de salud, sin beber, sin estar trasnochado (las condiciones no son excluyentes)	Buen estado de Salud
		Sin beber (prueba con el alcoholímetro)
		No estar trasnochado
	El personal debe tomar las medidas de Bioseguridad	* Toma de Temperatura -37,5 oC
		*lavarse las Manos,
		* Usar tapabocas
	Verificar que el personal entrante cuente con la dotación adecuada,	* Desinfección General para el ingreso a las instalaciones.
		Overol de Dotación reflectivo
		Identificación en brazo Izquierdo
	Recibo de Novedades	Botas Dieléctricas y con puntera - Dotación
		Chaqueta de dotación reflectiva
		horarios de actividades planeadas del día que se realizan en las instalaciones
		Listado Personal que se encuentra en las instalaciones en ese turno
Check de novedades de las instalaciones		
Confirmación del Personal de Mantenimiento dentro del túnel.	revise el cuaderno de novedades en los equipos	
	Revise que los equipos y sistema estén funcionando correctamente	
	confirmar que personal de mantenimiento se encuentra en las instalaciones	
	Confirmar si según la tabla de actividades del día el personal de mantenimiento se encuentra realizando mantenimiento programado	

Revisión de Sistemas por el operador de turno	Confirmación de Equipos se encuentran encendidos y que Equipos se encuentran apagados	Revisión de equipos Electromecánicos en funcionamiento.
		Revisión de Equipos de Seguridad en Funcionamiento.
		Revisión de Equipos de Comunicación dentro del túnel.
		confirmación de Información de Paneles de Velocidad
		Revisión de Sistema Semafórico
		Revisión de Sistema de Ventilación.
		Revisión Sistema CCTV
		Revisión de Sistemas de Electricidad - Planta.
		Revisión de Sistemas de Detección de Incendios
		Revisión de las subestaciones en Funcionamiento
fallas en el sistema	En caso de presentarse alarmas o fallas de funcionamiento en menos de 50% de los equipos	Verificar el sistema que alarmas Presenta
		Accionar los comandos para desactivar alarmas presentadas
		Accionar los comandos para restablecer los sistemas afectados
		Reestablecer el sistema ITS – sin afectar movilidad según el Manual del sistema
		Ingresar los Datos del Sistema ITS Correctamente
		coordinación con compañero de turno. Para realizar la parada (STOP) de equipo.
	En caso de presentarse Salida total del sistema	No permitir el ingreso al túnel de vehículos.
		Llamar a los Vigilantes para detener el ingreso al Túnel de vehículos
		Se bajan las Barreras de ingreso manualmente
		Restablecer el Sistema ITS con cerramiento de movilidad en el Túnel.
		Ingresar los Comandos para activar el sistema total
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de energía
		Ingresar los comandos para activar el sistema de Comunicaciones
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de CCTV
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Ventilación
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Semaforización
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Detección de Incendios
		Realizar inspección física - restablecer los Sistemas ITS físicamente

emergencia dentro del túnel	en caso de Presentarse emergencias dentro del túnel	Intervención frente a las emergencias por avería mecánica de los usuarios.
		Intervención en las emergencias por accidente de circulación.
		Intervención en las emergencias por incendio, atentado, explosión u otras causas.
		Señalización de obras de emergencias o de operaciones de mantenimiento.
		Atención inmediata de las llamadas de los nichos de auxilio S.O.S,
		Petición de intervención a los servicios externos de emergencia, según necesidades de la situación.

4. *Identificación de Probabilidad Nominal de Error humano y Condiciones de Producción del Error:* En este punto se debe analizar cada una de las tareas de la tabla No. 3 y se le asigna un valor según la tabla No. 1 Tabla de probabilidades Nominales del Error Humano de Williams para asignar la proporción de importancia que le dan los operadores del sistema a cada una de las tarea. Si son tareas rutinarias y los operadores están familiarizados según la tabla de Williams tiene un valor nominal de error humano de 0.00002 pero por si el contrario es una tarea inhabitual y es realizada por el operador de forma rápida y sin idea de las consecuencias Williams le da un valor de probabilidad Nominal de error de 0.55.

Por lo tanto a cada una de las subtareas se le proporciona un valor de probabilidad Nominal de error

Tabla No. 4

Descripción tareas genéricas y nivel nominal de Error

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR	DESCRIPCION TAREAS GENERICAS	
recibo de las instalaciones por parte del operador de turno	Verificar la condición física del personal que ingresa a turno; se debe encontrar en buenas estado de salud, sin beber, sin estar trasnochado (las condiciones no son excluyentes)	Buen estado de Salud	0,16	Tarea Compleja con nivel de comprensión y habilidad	D
		Sin beber (prueba con el alcoholímetro)	0,16		D
		No estar trasnochado	0,16		D
	El personal debe tomar las medidas de Bioseguridad	* Toma de Temperatura -37,5 oC	0,09	Tarea Sencilla realizada Rápidamente	D
		*lavarse las Manos,	0,02	Tarea Monotona y rápida	E
		* Usar tapabocas	0,02		E
		* Desinfección General para el ingreso a las instalaciones.	0,09	Tarea Sencilla realizada Rápidamente	D
	Verificar que el personal entrante cuente con la dotación adecuada,	Overol de Dotación reflectivo	0,09		D
		Identificación en brazo Izquierdo	0,09		D
		Botas Dieléctricas y con puntera - Dotación	0,09		D
		Chaqueta de dotación reflectiva	0,09	D	
	Recibo de Novedades	horarios de actividades planeadas del día que se realizan en las instalaciones	0,16	Tarea Compleja con nivel de comprensión y habilidad	C
		Listado Personal que se encuentra en las instalaciones en ese turno	0,16		C
		Check de novedades de las instalaciones	0,16		C
		revise el cuaderno de novedades en los equipos	0,16		C
		Revise que los equipos y sistema estén funcionando correctamente	0,16		C
	Confirmación del Personal de Mantenimiento dentro del túnel.	confirmar que personal de mantenimiento se encuentra en las instalaciones	0,16		C
		Confirmar si según la tabla de actividades del día el personal de mantenimiento se encuentra realizando mantenimiento programado	0,16		C

Revisión de Sistemas por el operador de turno	Confirmación de Equipos se encuentran encendidos y que Equipos se encuentran apagados	Revisión de equipos Electromecánicos en funcionamiento.	0,16	Tarea Compleja con nivel de comprensión y habilidad	C
		Revisión de Equipos de Seguridad en Funcionamiento.	0,16		C
		Revisión de Equipos de Comunicación dentro del túnel.	0,16		C
		confirmación de Información de Paneles de Velocidad	0,16		C
		Revisión de Sistema Semafórico	0,16		C
		Revisión de Sistema de Ventilación.	0,16		C
		Revisión Sistema CCTV	0,16		C
		Revisión de Sistemas de Electricidad - Planta.	0,16		C
		Revisión de Sistemas de Detección de Incendios	0,16		C
		Revisión de las subestaciones en Funcionamiento	0,16		C
fallas en el sistema	En caso de presentarse alarmas o fallas de funcionamiento en menos de 50% de los equipos	Verificar el sistema que alarmas Presenta	0,00002	Tarea rutinaria sin asistencia técnica	G
		Accionar los comandos para desactivar alarmas presentadas	0,003	restituir el sistema según procedimientos	F
		Accionar los comandos para restablecer los sistemas afectados	0,55	inhabitual sin idea real de las consecuencias	A
		Reestablecer el sistema ITS – sin afectar movilidad según el Manual del sistema	0,003	restituir el sistema según procedimientos	F
		Ingresar los Datos del Sistema ITS Correctamente	0,003		F
		coordinación con compañero de turno. Para realizar la parada (STOP) de equipo.	0,003		F

fallas en el sistema	En caso de presentarse Salida total del sistema	No permitir el ingreso al túnel de vehículos.	0,16	Tarea Compleja con nivel de compresion y habilidad	C
		Llamar a los Vigilantes para detener el ingreso al Túnel de vehículos	0,09	Tarea Sencilla realizada Rapidamente	D
		Se bajan las Barreras de ingreso manualmente	0,09		D
		Restablecer el Sistema ITS con cerramiento de movilidad en el Túnel.	0,00002	responde correctamente al comando	H
		Ingresar los Comandos para activar el sistema total	0,55	inhabitual sin idea real de las consecuencias	A
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de energía	0,55		A
		Ingresar los comandos para activar el sistema de Comunicaciones	0,55		A
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de CCTV	0,55		A
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Ventilación	0,55		A
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Semaforización	0,55		A
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Detección de Incendios	0,55		A
		Realizar inspección física - restablecer los Sistemas ITS físicamente	0,16	Tarea Compleja con nivel de compresion y habilidad	C
emergencia dentro del túnel	en caso de Presentarse emergencias dentro del túnel	Intervención frente a las emergencias por avería mecánica de los usuarios.	0,16	Tarea Compleja con nivel de compresion y habilidad	C
		Intervención en las emergencias por accidente de circulación.	0,16		C
		Intervención en las emergencias por incendio, atentado, explosión u otras causas.	0,16		C
		Señalización de obras de emergencias o de operaciones de mantenimiento.	0,16		C
		Atención inmediata de las llamadas de los nichos de auxilio S.O.S,	0,16		C
		Petición de intervención a los servicios externos de emergencia, según necesidades de la situación.	0,16		C

Una vez establecido el primer paso se procede a analizar las diferentes condiciones de producción de error Conocidos como EPC y se aplican a cada una de las actividades desglosadas en la tabla No. 3, la tabla No. 2 de Williams nos muestra 38 Condiciones de Probabilidad de Error o EPC. Cada EPC tiene asignado un valor nominal de falta de confiabilidad.

Por lo tanto, la asignación de EPC a las actividades realizadas por los operadores nos da la siguiente tabla:

Tabla No. 5

Valoración de los EPC en los operadores de sistemas ITS

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	CANTIDAD NOMINAL DE CONDICIONES DE PRODUCCION DE ERROR	DESCRIPCION	No. EPC EN LA TABLA DE W.
recibo de las instalaciones por parte del operador de turno	Verificar la condición física del personal que ingresa a turno; se debe encontrar en buenas estado de salud, sin beber, sin estar trasnochado (las condiciones no son excluyentes)	Buen estado de Salud	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
		Sin beber (prueba con el alcoholímetro)	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
		No estar trasnochado	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
	El personal debe tomar las medidas de Bioseguridad	* Toma de Temperatura -37,5 oC	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
		*lavarse las Manos,	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
		* Usar tapabocas	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
		* Desinfección General para el ingreso a las instalaciones.	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
	Verificar que el personal entrante cuente con la dotación adecuada,	Overol de Dotación reflectivo	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
		Identificación en brazo Izquierdo	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
		Botas Dieléctricas y con puntera - Dotación	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
		Chaqueta de dotación reflectiva	X5	Ambigüedad del estandar de rendimiento	11
	Recibo de Novedades	horarios de actividades planeadas del día que se realizan en las instalaciones	X11	Escasea de tiempo disponible para la detección y corrección del error	2
		Listado Personal que se encuentra en las instalaciones en ese turno	X4	Retroalimentación pobre, ambigua y desajustada	13
		Check de novedades de las instalaciones	X4	Retroalimentación pobre, ambigua y desajustada	13
		revise el cuaderno de novedades en los equipos	X4	Retroalimentación pobre, ambigua y desajustada	13
		Revise que los equipos y sistema estén funcionando correctamente	X2,5	Es deficiente el chequeo de salidas del sistema	17
	Confirmación del Personal de Mantenimiento dentro del túnel.	confirmar que personal de mantenimiento se encuentra en las instalaciones	X4	Retroalimentación pobre, ambigua y desajustada	13
		Confirmar si según la tabla de actividades del día el personal de mantenimiento se encuentra realizando mantenimiento programado	X4	desfase entre el riesgo percibido y el real	12

Revisión de Sistemas por el operador de turno	Confirmación de Equipos se encuentran encendidos y que Equipos se encuentran apagados	Revisión de equipos Electromecánicos en funcionamiento.	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		Revisión de Equipos de Seguridad en Funcionamiento.	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		Revisión de Equipos de Comunicación dentro del túnel.	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		confirmación de Información de Paneles de Velocidad	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		Revisión de Sistema Semafórico	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		Revisión de Sistema de Ventilación.	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		Revisión Sistema CCTV	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		Revisión de Sistemas de Electricidad - Planta.	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		Revisión de Sistemas de Detección de Incendios	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
		Revisión de las subestaciones en Funcionamiento	X2	falta de diversidad en los chequeos de veracidad	19
fallas en el sistema	En caso de presentarse alarmas o fallas de funcionamiento en menos de 50% de los equipos	Verificar el sistema que alarmas Presenta	X2,5	deficiente el chequeo	17
		Accionar los comandos para desactivar alarmas presentadas	X17	Poca relacion con una situacion potencialesmente importante	1
		Accionar los comandos para restablecer los sistemas afectados	X17	Poca relacion con una situacion potencialesmente importante	1
		Reestablecer el sistema ITS – sin afectar movilidad según el Manual del sistema	X3	Operario inexterto	15
		Ingresar los Datos del Sistema ITS Correctamente	X3	Operario inexterto	15
		coordinación con compañero de turno. Para realizar la parada (STOP) de equipo.	X1,2	estrés emocional alto	29

fallas en el sistema	En caso de presentarse Salida total del sistema	No permitir el ingreso al túnel de vehículos.	X1,2	estrés emocional alto	29		
		Llamar a los Vigilantes para detener el ingreso al Túnel de vehículos	X4	desfase entre el riesgo percibido y el real	12		
		Se bajan las Barreras de ingreso manualmente	X4	desfase entre el riesgo percibido y el real	12		
		Restablecer el Sistema ITS con cerramiento de movilidad en el Túnel.	X3	Operario inexterto	15		
		Ingresar los Comandos para activar el sistema total	X11	Escasea de tiempo disponible para la deteccion y correccion del error	2		
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de energía	X11	Escasea de tiempo disponible para la deteccion y correccion del error	2		
		Ingresar los comandos para activar el sistema de Comunicaciones	X11	Escasea de tiempo disponible para la deteccion y correccion del error	2		
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de CCTV	X11	Escasea de tiempo disponible para la deteccion y correccion del error	2		
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Ventilación	X11	Escasea de tiempo disponible para la deteccion y correccion del error	2		
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Semaforización	X11	Escasea de tiempo disponible para la deteccion y correccion del error	2		
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Detección de Incendios	X11	Escasea de tiempo disponible para la deteccion y correccion del error	2		
		Realizar inspección física - restablecer los Sistemas ITS físicamente	X17	Poca relacion con una situacion potencialesmente importante	1		
		emergencia dentro del túnel	en caso de Presentarse emergencias dentro del túnel	Intervención frente a las emergencias por avería mecánica de los usuarios.	X1,4	No es evidente el proceder	26
				Intervención en las emergencias por accidente de circulación.	X4	desfase entre el riesgo percibido y el real	12
Intervención en las emergencias por incendio, atentado, explosión u otras causas.	X17			Poca relacion con una situacion potencialesmente importante	1		
Señalización de obras de emergencias o de operaciones de mantenimiento.	X11			Escasea de tiempo disponible para la deteccion y correccion del error	2		
Atención inmediata de las llamadas de los nichos de auxilio S.O.S.	X1,2			estrés emocional alto	29		
Petición de intervención a los servicios externos de emergencia, según necesidades de la situación.	X17			Poca relacion con una situacion potencialesmente importante	1		

Una vez asignados a cada una de las tareas desarrolladas por los operadores de Sistemas ITS, los valores de Probabilidad nominal de Error Humano y el valor de condiciones de producción de error, aplicamos en cada una de las tareas la siguiente formulada planteada por Williams

$$ET_i = (E_i - 1) P_i + 1$$

Donde:

ET_i corresponderá al Valor de Efecto Total

E_i corresponde al Valor nominal del incremento del fallo humano- valores dados en la tabla No. 5 de valoración

P_i corresponde a la proporción de importancia, estos valores ya fueron asignados a cada una de las tareas según tabla No. 4

Por ejemplo en la subtarea Verificar la condición física del personal que ingresa a turno; se debe encontrar en buenas estado de salud, sin beber, sin estar trasnochado (las condiciones no son excluyentes) - Buen estado de Salud tenemos los siguientes valores

E_i: 0,16 ya que es una tarea compleja que requiere un alto nivel de comprensión y habilidad. Para determinar el estado de salud del operador.

P_i: 5 ya que es una tarea ambigua según el estándar. Además, por medio de la observación se determinó que era una tarea ambigua ya que los operadores presentaban dudas al determinar si se encontraban bien o no de salud.

Ampliación de la formula:

$$ET_i = (5-1) * 0.16 + 1$$

$$ET_i = (4) * 1.16$$

$$ET_i = 1.64$$

Dádonos como resultado la

tabla No. 6

Valor del Efecto total

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR (Pi)	CANTIDAD NOMINAL DE CONDICIONES DE PRODUCCION DE ERROR (Ei)	ETi= (Ei-1) Pi+1
recibo de las instalaciones por parte del operador de turno	Verificar la condición física del personal que ingresa a turno; se debe encontrar en buenas estado de salud, sin beber, sin estar trasnochado (las condiciones no son excluyentes)	Buen estado de Salud	0,16	X5	1,64
		Sin beber (prueba con el alcoholímetro)	0,16	X5	1,64
		No estar trasnochado	0,16	X5	1,64
	El personal debe tomar las medidas de Bioseguridad	* Toma de Temperatura -37,5 oC	0,09	X5	1,36
		*lavarse las Manos,	0,02	X5	1,08
		* Usar tapabocas	0,02	X5	1,08
		* Desinfección General para el ingreso a las instalaciones.	0,09	X5	1,36
	Verificar que el personal entrante cuente con la dotación adecuada,	Overol de Dotación reflectivo	0,09	X5	1,36
		Identificación en brazo Izquierdo	0,09	X5	1,36
		Botas Dieléctricas y con puntera - Dotación	0,09	X5	1,36
		Chaqueta de dotación reflectiva	0,09	X5	1,36
	Recibo de Novedades	horarios de actividades planeadas del día que se realizan en las instalaciones	0,16	X11	2,6
		Listado Personal que se encuentra en las instalaciones en ese turno	0,16	X4	1,48
		Check de novedades de las instalaciones	0,16	X4	1,48
		revise el cuaderno de novedades en los equipos	0,16	X4	1,48
		Revise que los equipos y sistema estén funcionando correctamente	0,16	X2,5	1,24
	Confirmación del Personal de Mantenimiento dentro del túnel.	confirmar que personal de mantenimiento se encuentra en las instalaciones	0,16	X4	1,48
		Confirmar si según la tabla de actividades del día el personal de mantenimiento se encuentra realizando mantenimiento programado	0,16	X4	1,48

Revisión de Sistemas por el operador de turno	Confirmación de Equipos se encuentran encendidos y que Equipos se encuentran apagados	Revisión de equipos Electromecánicos en funcionamiento.	0,16	X2	1,16
		Revisión de Equipos de Seguridad en Funcionamiento.	0,16	X2	1,16
		Revisión de Equipos de Comunicación dentro del túnel.	0,16	X2	1,16
		confirmación de Información de Paneles de Velocidad	0,16	X2	1,16
		Revisión de Sistema Semafórico	0,16	X2	1,16
		Revisión de Sistema de Ventilación.	0,16	X2	1,16
		Revisión Sistema CCTV	0,16	X2	1,16
		Revisión de Sistemas de Electricidad - Planta.	0,16	X2	1,16
		Revisión de Sistemas de Detección de Incendios	0,16	X2	1,16
		Revisión de las subestaciones en Funcionamiento	0,16	X2	1,16
fallas en el sistema	En caso de presentarse alarmas o fallas de funcionamiento en menos de 50% de los equipos	Verificar el sistema que alarmas Presenta	0,00002	X2,5	1,00003
		Accionar los comandos para desactivar alarmas presentadas	0,003	X17	1,048
		Accionar los comandos para restablecer los sistemas afectados	0,55	X17	9,8
		Reestablecer el sistema ITS – sin afectar movilidad según el Manual del sistema	0,003	X3	1,006
		Ingresar los Datos del Sistema ITS Correctamente	0,003	X3	1,006
		coordinación con compañero de turno. Para realizar la parada (STOP) de equipo.	0,003	X1,2	1,0006

fallas en el sistema	En caso de presentarse Salida total del sistema	No permitir el ingreso al túnel de vehículos.	0,16	X1,2	1,032
		Llamar a los Vigilantes para detener el ingreso al Túnel de vehículos	0,09	X4	1,27
		Se bajan las Barreras de ingreso manualmente	0,09	X4	1,27
		Restablecer el Sistema ITS con cerramiento de movilidad en el Túnel.	0,00002	X3	1,00004
		Ingresar los Comandos para activar el sistema total	0,55	X11	6,5
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de energía	0,55	X11	6,5
		Ingresar los comandos para activar el sistema de Comunicaciones	0,55	X11	6,5
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de CCTV	0,55	X11	6,5
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Ventilación	0,55	X11	6,5
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Semaforización	0,55	X11	6,5
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Detección de Incendios	0,55	X11	6,5
		Realizar inspección física - restablecer los Sistemas ITS físicamente	0,16	X17	3,56
emergencia dentro del túnel	en caso de Presentarse emergencias dentro del túnel	Intervención frente a las emergencias por avería mecánica de los usuarios.	0,16	X1,4	1,064
		Intervención en las emergencias por accidente de circulación.	0,16	X4	1,48
		Intervención en las emergencias por incendio, atentado, explosión u otras causas.	0,16	X17	3,56
		Señalización de obras de emergencias o de operaciones de mantenimiento.	0,16	X11	2,6
		Atención inmediata de las llamadas de los nichos de auxilio S.O.S.	0,16	X1,2	1,032
		Petición de intervención a los servicios externos de emergencia, según necesidades de la situación.	0,16	X17	3,56

Finalmente ya teniendo el valor del efecto Total vamos calcular la Probabilidad Nominal de Error en cada una de las tareas

Aplicando la siguiente Formula

$$PFH = PNEH \times ETi$$

Donde:

PFH: Probabilidad de Fallo Humano

PNEH: Probabilidad Nominal de Error Humano

ETi: Valor de Efecto Total

Por lo que obtenemos

Tabla No. 7

Probabilidad de Fallo Humano

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR (Pi)	VALOR DEL EFECTO TOTAL ETi= (Ei-1) Pi+1	PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO
recibo de las instalaciones por parte del operador de turno	Verificar la condición física del personal que ingresa a turno; se debe encontrar en buen estado de salud, sin beber, sin estar trasnochado (las condiciones no son excluyentes)	Buen estado de Salud	0,16	1,64	0,2624
		Sin beber (prueba con el alcoholímetro)	0,16	1,64	0,2624
		No estar trasnochado	0,16	1,64	0,2624
	El personal debe tomar las medidas de Bioseguridad	* Toma de Temperatura -37,5 oC	0,09	1,36	0,1224
		*lavarse las Manos,	0,02	1,08	0,0216
		* Usar tapabocas	0,02	1,08	0,0216
		* Desinfección General para el ingreso a las instalaciones.	0,09	1,36	0,1224
	Verificar que el personal entrante cuente con la dotación adecuada,	Overol de Dotación reflectivo	0,09	1,36	0,1224
		Identificación en brazo Izquierdo	0,09	1,36	0,1224
		Botas Dieléctricas y con puntera - Dotación	0,09	1,36	0,1224
		Chaqueta de dotación reflectiva	0,09	1,36	0,1224
	Recibo de Novedades	horarios de actividades planeadas del día que se realizan en las instalaciones	0,16	2,6	0,416
		Listado Personal que se encuentra en las instalaciones en ese turno	0,16	1,48	0,2368
		Check de novedades de las instalaciones	0,16	1,48	0,2368
		revise el cuaderno de novedades en los equipos	0,16	1,48	0,2368
		Revise que los equipos y sistema estén funcionando correctamente	0,16	1,24	0,1984
	Confirmación del Personal de Mantenimiento dentro del túnel.	confirmar que personal de mantenimiento se encuentra en las instalaciones	0,16	1,48	0,2368
		Confirmar si según la tabla de actividades del día el personal de mantenimiento se encuentra realizando mantenimiento programado	0,16	1,48	0,2368

Revisión de Sistemas por el operador de turno	Confirmación de Equipos se encuentran encendidos y que Equipos se encuentran apagados	Revisión de equipos Electromecánicos en funcionamiento.	0,16	1,16	0,1856
		Revisión de Equipos de Seguridad en Funcionamiento.	0,16	1,16	0,1856
		Revisión de Equipos de Comunicación dentro del túnel.	0,16	1,16	0,1856
		confirmación de Información de Paneles de Velocidad	0,16	1,16	0,1856
		Revisión de Sistema Semafórico	0,16	1,16	0,1856
		Revisión de Sistema de Ventilación.	0,16	1,16	0,1856
		Revisión Sistema CCTV	0,16	1,16	0,1856
		Revisión de Sistemas de Electricidad - Planta.	0,16	1,16	0,1856
		Revisión de Sistemas de Detección de Incendios	0,16	1,16	0,1856
		Revisión de las subestaciones en Funcionamiento	0,16	1,16	0,1856
fallas en el sistema	En caso de presentarse alarmas o fallas de funcionamiento en menos de 50% de los equipos	Verificar el sistema que alarmas Presenta	0,00002	1,00003	0,00002
		Accionar los comandos para desactivar alarmas presentadas	0,003	1,048	0,003144
		Accionar los comandos para restablecer los sistemas afectados	0,55	9,8	5,39
		Reestablecer el sistema ITS – sin afectar movilidad según el Manual del sistema	0,003	1,006	0,003018
		Ingresar los Datos del Sistema ITS Correctamente	0,003	1,006	0,003018
		coordinación con compañero de turno. Para realizar la parada (STOP) de equipo.	0,003	1,0006	0,0030018
fallas en el sistema	En caso de presentarse Salida total del sistema	No permitir el ingreso al túnel de vehículos.	0,16	1,032	0,16512
		Llamar a los Vigilantes para detener el ingreso al Túnel de vehículos	0,09	1,27	0,1143
		Se bajan las Barreras de ingreso manualmente	0,09	1,27	0,1143
		Restablecer el Sistema ITS con cerramiento de movilidad en el Túnel.	0,00002	1,00004	0,000002
		Ingresar los Comandos para activar el sistema total	0,55	6,5	3,575
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de energía	0,55	6,5	3,575
		Ingresar los comandos para activar el sistema de Comunicaciones	0,55	6,5	3,575
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de CCTV	0,55	6,5	3,575
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Ventilación	0,55	6,5	3,575
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Semaforización	0,55	6,5	3,575
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Detección de Incendios	0,55	6,5	3,575
		Realizar inspección física - restablecer los Sistemas ITS físicamente	0,16	3,56	0,5696

emergencia dentro del túnel	en caso de Presentarse emergencias dentro del túnel	Intervención frente a las emergencias por avería mecánica de los usuarios.	0,16	1,064	0,17024
		Intervención en las emergencias por accidente de circulación.	0,16	1,48	0,2368
		Intervención en las emergencias por incendio, atentado, explosión u otras causas.	0,16	3,56	0,5696
		Señalización de obras de emergencias o de operaciones de mantenimiento.	0,16	2,6	0,416
		Atención inmediata de las llamadas de los nichos de auxilio S.O.S.	0,16	1,032	0,16512
		Petición de intervención a los servicios externos de emergencia, según necesidades de la situación.	0,16	3,56	0,5696

Resultados y hallazgos

Estudiar cada una de las metodologías que según el estudio se encontró que han sido aplicadas en el análisis de la capacidad y Error Humano específicamente en los operadores de los diferentes sistemas de ITS en Transporte como el náutico, aéreo o férreo, ya que como se evidenció No se han realizado estudios directamente en los operadores de Sistemas ITS de Túneles viales o carretables, estas metodologías nos mostraban que a partir de la Observación y de la experiencia de las personas que realizaban las investigaciones sus conclusiones respecto a estas no eran específicas para determinar en que se fallaba, sin embargo al trabajar en una empresa donde el 70% del personal son ingenieros electrónicos y eléctricos, las observaciones que se habían realizado no eran del todo satisfactorias, ya que su formación académica se basa en números. A continuación, se ponen en perspectiva las metodologías estudiadas y determinar la que se aplica en los operadores de Sistemas ITS de túneles viales

Tabla No. 8

Análisis de Las metodologías para establecer el método a aplicar

METODOLOGIA	DESCRIPCION	ENFOQUE		CONCLUSION	ESTUDIO DE ACCIDENTE	
		CUALITATIVO	CUANTITATIVO		ANTES DEL ACCIDENTE	DESPUES DEL ACCIDENTE
Reason (1984)	Describe su metodo basado en dos factores que pueden llevar al error humano, las acciones intencionales o factores no intencionales una basada en las rutina de actividades y la segunda basada en la habilidades finalmente para determinar las condiciones que provoca un error Humano.	x		Sus conclusiones pueden ser subjetivas, ya que estan basadas solo en la observacion que pueda realizar el investigador y en su propia experiencia. La aplicación de esta metodologia sirve para determinar las causas que hicieron que se produjera el accidente.		x
Rasmusen (1983)	Se basa en el analisis del ser humano en cuanto a habilidades, reglas, conocimientos y su desempeño en los diferentes niveles jerarquicos de la organizacin	x		Conclusiones subjetivas "ya que la gente solo ve y se infoma de lo que quiere", igual que Reason su aplicación sirve para determinar las razones que condujeran a un accidente.		x
Reinach y Viale (HFACS)	Se basa en el conocimiento que tiene el investigador sobre los factores que influyen en el ser humano y los niveles de los sistemas	x		Es aplicada para la investigación de accidentes que han sido relacionados con el ser humano. Se enfoca al estudio de los accidentes.		x
HEART	Se basa en la asignacion de valores establecidos a una serie de tareas, para determinar la probabilidad de Error del ser humano al realizarla.	x	x	Este metodo al ser cualitativo ayuda a determinar por medio de la observacion las tareas que puede realizar un operador en un sistema de control, igualmente al ser cuantitativo ayuda a que cada tarea obtenga un resultado determinando finalmente la probabilidad de que se produzca un accidente por causa del Error Humano. Su estudio se basa en determinar cuales son las tareas en el que el operador puede errar o cuales son manejadas apropiadamente. Esta metodologia es predictiva y sirve para evitar la ocurrencia de un accidente.	x	

Al encontrar el método HEART el cual es un método Cuantificable y el cual se combina la observación y análisis desde el punto de vista del investigador fue un punto a favor para escoger este método el que se aplicó en la investigación. Además de ser la metodología aplicada en este momento en China para medir la capacidad que tienen los operadores al manejar los sistemas de transporte y evitar accidentes en los proyectos de Ingeniería, en esta metodología se evalúa el conocimiento y la habilidad, experiencia, se ejecutaron tareas con nivel de complejidad realizadas por los operadores ante las situaciones o tareas que pueden presentarse en tiempos y lugares de trabajo. Otra de las razones por la que es seleccionada esta metodología fue que esta

es aplicable antes de que ocurra el accidente a diferencia de otras como las Reason, Rasmussen, por otro lado, la HFACS donde se realiza el análisis de las tareas por Jerarquías, el cual no aplicaba en esta investigación ya que la muestra se realizó sobre el personal que ejercen las mismas funciones y tiene el mismo rango jerárquico dentro de la empresa.

Una vez tenemos clara la metodología que se aplica en esta investigación que es la Metodología HEART, y habiendo recolectado las tareas y dividir las en subtareas y estas a la vez en Sub-Sub tareas que realiza el operador de sistemas ITS, que en nuestro caso son 52 sub-sub tareas, y teniendo los valores de probabilidad Nominal de error humano de cada una de las subtareas podemos observar que lo siguientes:

1. (A) una Situación totalmente inhabitual realizada de forma rápida sin una idea real de las consecuencias.

Tabla No. 9

Resultados Tarea Genérica A

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO
fallas en el sistema	En caso de presentarse alarmas o fallas de funcionamiento en menos de 50% de los equipos	Accionar los comandos para restablecer los sistemas afectados	5,39
		Ingresar los Comandos para activar el sistema total	3,575
	Ingresar los Comandos para activar el sistema de energía	3,575	
	Ingresar los comandos para activar el sistema de Comunicaciones	3,575	
	En caso de presentarse Salida total del sistema	Ingresar los Comandos para activar el sistema de CCTV	3,575
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Ventilación	3,575
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Semaforización	3,575
		Ingresar los Comandos para activar el sistema de Detección de Incendios	3,575

En estas Tareas donde el Probabilidad Nominal de Error humano corresponde a 0.55 donde se realizan tareas que son inhabituales ya que el sistema funciona y se restablece automáticamente, pero ya que los fallos del sistema fueron provocados por Ingenieros expertos

en estos sistemas para estudiar la reacción de los operadores, podemos analizar que la probabilidad de que el Operador realice actividades inherentes que permitan desencadenar una serie de situaciones erróneas empeorando la situación. Los valores de probabilidad de Error Humano son demasiado altas ya que esta por encima de los 3, el ítem esto se da principalmente por la falta de estudio de los manuales por parte de los operadores del sistema y por la falta de reentrenamientos por parte del empleador.

2. (C) Tarea compleja requiriendo un alto nivel de comprensión y habilidad.

Tabla No. 10

Resultados tarea Genérica C

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR (Pi)		PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO
recibo de las instalaciones por parte del operador de turno	Verificar la condición física del personal que ingresa a turno; se debe encontrar en buenas	Buen estado de Salud	0,16	C	0,2624
		Sin beber (prueba con el alcoholímetro)	0,16	C	0,2624
		No estar trasnochado	0,16	C	0,2624
	Recibo de Novedades	horarios de actividades planeadas del día que se realizan en las instalaciones	0,16	C	0,416
		Listado Personal que se encuentra en las instalaciones en ese turno	0,16	C	0,2368
		Check de novedades de las instalaciones	0,16	C	0,2368
		revise el cuaderno de novedades en los equipos	0,16	C	0,2368
		Revise que los equipos y sistema estén funcionando correctamente	0,16	C	0,1984
	Confirmación del Personal de Mantenimiento dentro del túnel.	confirmar que personal de mantenimiento se encuentra en las instalaciones	0,16	C	0,2368
		Confirmar si según la tabla de actividades del día el personal de mantenimiento se encuentra realizando mantenimiento programado	0,16	C	0,2368
Revisión de Sistemas por el operador de turno	Confirmación de Equipos se encuentran encendidos y que Equipos se encuentran apagados	Revisión de equipos Electromecánicos en funcionamiento.	0,16	C	0,1856
		Revisión de Equipos de Seguridad en Funcionamiento.	0,16	C	0,1856
		Revisión de Equipos de Comunicación dentro del túnel.	0,16	C	0,1856
		confirmación de Información de Paneles de Velocidad	0,16	C	0,1856
		Revisión de Sistema Semafórico	0,16	C	0,1856
		Revisión de Sistema de Ventilación.	0,16	C	0,1856
		Revisión Sistema CCTV	0,16	C	0,1856
		Revisión de Sistemas de Electricidad - Planta.	0,16	C	0,1856
		Revisión de Sistemas de Detección de Incendios	0,16	C	0,1856
Revisión de las subestaciones en Funcionamiento	0,16	C	0,1856		
		Realizar inspección física - restablecer los Sistemas ITS físicamente	0,16	C	0,5696
emergencia dentro del túnel	en caso de Presentarse emergencias dentro del túnel	Intervención frente a las emergencias por avería mecánica de los usuarios.	0,16	C	0,17024
		Intervención en las emergencias por accidente de circulación.	0,16	C	0,2368
		Intervención en las emergencias por incendio, atentado, explosión u otras causas.	0,16	C	0,5696
		Señalización de obras de emergencias o de operaciones de mantenimiento.	0,16	C	0,416
		Atención inmediata de las llamadas de los nichos de auxilio S.O.S.	0,16	C	0,16512
		Petición de intervención a los servicios externos de emergencia, según necesidades de la situación.	0,16	C	0,5696

Se encontraron que las sub - tareas tipo C son tareas complejas pero sobre todo se necesita un nivel de habilidad son aquellas tareas de Recibo de Instalaciones donde se realizan actividades de recibo de novedades, se confirma que personal se encuentra dentro de las instalaciones, confirmación de equipos encendidos y cuales equipos apagados en caso de presentarse emergencias dentro del túnel, los operadores realizan estas subtareas algunas ambiguamente, no le prestan mucha atención ya que es una actividad habitual por lo que se ha vuelto monótona, la retroalimentación es pobre. Aunque estas Su-subtareas son importantes el sistema avisa como es el caso de las alarmas del fallo de algún equipo y también presenta un

código para identificarlo. En el caso de la tarea emergencia dentro del túnel se pudo observar que estas tareas se necesita un nivel de habilidad y entendimiento y el entrenamiento para saberlas llevar por buen cause, sin embargo presenta probabilidades de Error bastante bajos ya que el sistema es confiable, tiene pocos fallos, y las situaciones de Emergencia son pocas o nulas (como es el caso de Incendios, cerramiento total del túnel, accidentes de vehículos). El grupo C presenta un promedio de 0.26 de Probabilidad de Error, lo cual es bastante bajo

3. (D) Tarea Sencilla realizada rápidamente.

Tabla No. 11

Resultados tareas Genérica D

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR (Pi)		CANTIDAD NOMINAL DE CONDICIONES DE PRODUCCION DE ERROR (Ei)	PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO
recibo de las instalaciones por parte del operador de turno	El personal debe tomar las medidas de Bioseguridad	* Toma de Temperatura -37,5 oC	0,09	D	X5	0,1224
		* Desinfección General para el ingreso a las instalaciones.	0,09	D	X5	0,1224
	Verificar que el personal entrante cuente con la dotación adecuada,	Overol de Dotación reflectivo	0,09	D	X5	0,1224
		Identificación en brazo Izquierdo	0,09	D	X5	0,1224
		Botas Dieléctricas y con puntera - Dotación	0,09	D	X5	0,1224
		Chaqueta de dotación reflectiva	0,09	D	X5	0,1224
fallas en el sistema	En caso de presentarse Salida total del sistema	Llamar a los Vigilantes para detener el ingreso al Túnel de vehículos	0,09	D	X4	0,1143
		Se bajan las Barreras de ingreso manualmente	0,09	D	X4	0,1143

En las subtareas que le dimos nivel nominal de error D el promedio de la probabilidad de error es de 0.12, bastante bajo ya que las tareas que realizan en estos ítems como el de tomar las medidas de bioseguridad, el adecuado uso de la dotación, son tareas sencillas que las pueden realizar sin supervisión pero a no realizarse adecuadamente puede llevar el riesgo de la vida de ellos mismos o de sus compañeros, por ejemplo en el caso de la toma de temperatura o una mala desinfección del lugar puede elevar el nivel de riesgo de contagio de enfermedades como el COVID 19 o si el operario no lleva la dotación adecuada por ejemplo sin reflectivos puede haber un accidente si sale sin estos a atender un accidente dentro del túnel ya que no se ve. Entonces son importantes realizar estas subtareas bien, a conciencia, para no poner en riesgo la vida ni e ellos ni de sus compañeros y de las personas que transitan por el túnel o sus alrededores.

4. (E) Tarea monótona y rápida de un perfil bajo

Tabla No. 12

Resultados tareas Genérica E

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR (Pi)		CANTIDAD NOMINAL DE CONDICIONES DE PRODUCCION DE ERROR (Ei)	PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO
recibo de las instalaciones por parte del operador de turno	El personal debe tomar las medidas de Bioseguridad	*lavarse las Manos,	0,02	E	X5	0,0216
		* Usar tapabocas	0,02	E	X5	0,0216

Las tareas que se tomaron como monótonas y rápidas no necesitan de mayor conocimiento sin embargo son necesarias realizarlas como medidas de Protocolo de bioseguridad tanto de la empresa como de las medidas a nivel nacional, con el fin de mitigar el contagio por enfermedades como la COVID 19. En este punto no hay mucho que decir ya que los operadores de los sistemas ITS en el túnel Daza toman las medidas y acatan el lavado de manos constante. Igualmente son medidas que protegen la salud de cada uno y de sus compañeros de trabajo. Su promedio de probabilidad de Error humano es bajo 0.02 ya que tienen conciencia de las consecuencias que puede acarrear el no tomar las medidas necesarias.

5. (F) Restituir el Sistema según procedimientos

Tabla No. 13

Resultados tareas Genérica F

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR (Pi)		CANTIDAD NOMINAL DE CONDICIONES DE PRODUCCION DE ERROR (Ei)	PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO
fallas en el sistema	En caso de presentarse alarmas o fallas de funcionamiento en menos de 50% de los equipos	Accionar los comandos para desactivar alarmas presentadas	0,003	F	X17	0,003144
		Reestablecer el sistema ITS – sin afectar movilidad según el Manual del sistema	0,003	F	X3	0,003018
		Ingresar los Datos del Sistema ITS Correctamente	0,003	F	X3	0,003018
		coordinación con compañero de turno. Para realizar la parada (STOP) de equipo.	0,003	F	X1.2	0,0030018

En este punto podemos encontrar que los operadores del sistema ITS cuando presenta fallas el sistema realizan ingreso de comandos al sistema que permite la restitución del sistema de forma rápida, podemos observar que el promedio de Error humano es bastante bajo de 0.003, esto se puede deber a varias razones, primero porque el sistema es confiable y no presenta constantemente fallos, segundo el comando para restituir el sistema es simple y no requiere de gran cantidad de pasos y tercero este procedimiento de restituir el sistema lo realizan constantemente no porque el sistema presente fallos como se dijo anteriormente es bastante confiables, sino que lo realizan casi todos los días debido a que se debe restituir los sistemas después de las ventanas de mantenimiento realizadas por el personal a los diferentes sistemas electromecánicos.

6. (G) Tarea rutinaria sin asistencia técnica.

Tabla No. 14

Resultados tareas Genérica G

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR (Pi)		CANTIDAD NOMINAL DE CONDICIONES DE PRODUCCION DE ERROR (Ei)	PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO
fallas en el sistema	En caso de presentarse alarmas o fallas de funcionamiento en menos de 50% de los equipos	Verificar el sistema que alarmas Presenta	0,00002	G	X2.5	0,00002

Se puede observar que la probabilidad de error es baja, ya que los comandos que debe ingresar el operador son los mismo de la restitución del sistema para borrar alarmas y como se está realizando esta tarea rutinariamente no presentan fallas en el procedimiento, ya que lo conocen a la perfección.

7. (H) Responde correctamente al Comando del sistema incluso cuando hay un sistema de supervisión automático que facilite una interpretación precisa del sistema

Tabla No. 15

Resultados tareas Genérica H

TAREA PRINCIPAL	SUB TAREAS	SUBTAREAS DE LA SUBTAREA	NIVEL NOMINAL DE ERROR (Pi)		CANTIDAD NOMINAL DE CONDICIONES DE PRODUCCION DE ERROR (Ei)	PROBABILIDAD DE ERROR HUMANO
fallas en el sistema	En caso de presentarse Salida total del sistema	Restablecer el Sistema ITS con cerramiento de movilidad en el Túnel.	0,00002	H	X3	0,000002

El punto H ya que el sistema responde correctamente al ingreso de los comandos por esta razón se le asigno esta tarea genérica igualmente el sistema tiene una programación para restituirse automáticamente sin embargo el operario presenta fallas en el procedimiento por eso se asigno el EPC de X3 porque no tiene la experiencia para realizar programaciones, sus reacciones no son rápidas, ya que entran en estado de estrés y la cantidad de tareas que deben realizar en segundos los abruma, ya que deben llamar a los vigilantes, deben salir un operario a bajar la barrera manualmente, llamar al personal de mantenimiento e informar en caso de que estén realizando trabajos, y no tienen un conocimiento exacto del procedimiento ya que muchos se les olvidaba llamar a los vigilantes para pedir respaldo, o al operario se le olvida llevar con él las paletas de señalización.

Con estos resultados que nos arrojó el estudio, podemos analizar que los objetivos de la investigación se han cumplido ya que se ha aplicado una metodología en este caso la metodología HEART donde se ha podido cuantificar todos esas tareas que realizan los operadores de los sistemas ITS del túnel daza que eran tareas que ya se conocían, por medio del análisis y la observación pero este método cuantificable nos mostró que no es en todas las tareas donde hay que intervenir sino unas pocas pero que son de suma importancia para la seguridad de todos y el mantenimiento de la infraestructura sin contratiempos. Para la aplicación de esta metodología se tuvo primero que conocer las diferentes metodologías que a través de los años han aplicado a los operadores y donde la combinación de Hombre- Maquina han hecho una buena combinación o ha desencadenado grandes accidentes. El método HEART nunca había

sido aplicado a los operadores de los sistemas ITS y mucho menos en Colombia, pero cuantifico lo que ya la parte administrativa y de ingeniería de la empresa conocía.

Por otro lado también se puede identificar los diferentes modelos como el Reason – Rasmussen nos pueden ayudar en un principio pero puede desencadenar muchas variables haciendo que las conclusiones sean vagas y complejas, por lo que finalmente se optó por aplicar la metodología HEART llevándonos al cumplimiento del segundo objetivo, donde se determina un método aplicable a las condiciones que presenta el túnel, a las actividades o tareas que realizan los operadores de los sistemas ITS en el túnel. Para luego analizarlas y determinar si la tarea puede causar un accidente atribuible al operador o al sistema. Igualmente la aplicación de esta metodología nos da una visual clara de en donde se debe enfatizar específicamente o fortalecer para que se reduzca la posibilidad de Error al realizar una tarea o una sub tarea o una sub sub tarea, y con qué personal debe contar la empresa para la operación del Túnel en cuestión.

Análisis y discusión de resultados

Analizando las tablas producto de esta investigación podemos examinar que el observador debe conocer bien los procedimientos de los operadores del sistema ITS para tener una visión clara y objetiva del desarrollo de cada una de las tareas que se realizan, además debe mirar actitudes, se debe analizar la cultura y los factores externos que influyen en el desempeño del operador. Los operadores del sistema ITS en el túnel Daza presentan limitaciones en conocimiento en el sistema y aunque muchos tienen cursos sobre sistemas es necesario saber que estos sistemas ITS no son como manejar un Word o un Excel, se necesita cierto conocimiento en sistemas de control de equipos, deben saber de electricidad, de manejo de emergencias, primeros auxilios, entre otros, pero la falta de conocimiento en estos temas se ve reflejado cuando analizamos los resultados producto del desarrollo de la metodología HEART y nos muestra los altos índices de probabilidad de Error cuando el personal no conoce realmente el sistema y no se ha preparado para las emergencias que se pueden presentar, ya que están en zona de alto riesgo y su cercanía con el volcán Galeras el cual presenta movimientos frecuentes y por otro lado está la montaña donde se encuentra ubicado el túnel que por fenómenos naturales puede causar deslizamientos. los nariñenses ven esa la actividad volcánica como su día a día y

con más razón deben realizar su preparación para emergencias constantemente para saber qué hacer cuando se presente algo más grave.

Los resultados nos muestran que su conocimiento en el manejo del sistema es limitado, ya que aplican pocos comandos para realizar tareas muy específicas como es el comando para restitución del sistemas y comando para borrar alarmas, pero que comando es usado y como debe restituirse el sistema en caso de presentarse fallas más graves su conocimiento es nulo y eso se ve reflejado en las tabla No. 9 donde la probabilidad de error es muy alta va de 3.57 a 5.39 y siempre es cuando deben ingresar comandos más complejos al sistema, en este punto se hizo un experimento en el que se les dio algo más de conocimiento sobre los comandos del sistema, pero no fue suficiente no los volvieron a utilizar se quedaron en los que ya habían aprendido hace mucho tiempo atrás, pero un operador mostro tanto interés que en hora de poco trafico vehicular, los ingreso bloqueando el sistema. Y acá encontramos otro problema, primero que el personal debe ser bien seleccionado por sus habilidades mentales y físicas, mentales ya que no puede ser hiperactivo, debe ser una persona centrada para poder impartir y saber escuchar ordenes, y físicas porque no puede ser propenso a infartos ya que manejan en ocasiones niveles de estrés altos; segundo se debe contar con un centro de control o simuladores del sistema ITS donde se les pueda capacitar y realizar reentrenamientos del sistema, ya que al no haber donde entrenar lo hacen en el sistema principal y pueden causar bloqueos de configuración, volver el equipo propenso a ataque cibernéticos, etc.

Por otro lado también se muestra en los resultados obtenidos que tareas como la verificación de los informes no lo hacen de forma dinámica, ya que los operadores realizan esta tarea rápidamente, porque ya se encuentran cansados o los que llegan porque no están motivados, se encuentran preocupados, y es que son tareas rutinarias que realizan 6 veces a la semana en diferentes horarios, encontrándose que cuando llegan a trabajar chatean constantemente, o ven películas sobre todo en los turnos nocturnos ya que la afluencia de trafico es bastante baja a veces nula, mas cuando este estudio se realizó en época de Cuarentena en el año 2020.

¿El sistema de supervisión automática que tiene el sistema ITS ha ayudado a disminuir los Errores en el manejo de emergencias y en las actividades realizadas, esto nos ha mostrado los resultados enfocándonos en el punto más importante y que nos abre la pregunta de que tanto deben saber los operadores de sistemas ITS sobre el manejo de este? Y esto nos ha expuesto el Método HEART que tanto se puede confiar en el sistema Hombre- Maquina, si todo fuera a

manos de Solo Hombre o solo Maquina que tan confiable seria la operación, y es que uno no puede separarse del otro ya que el sistema ITS no es totalmente inteligente y requiere de la supervisión contante del ser humano en este caso de los operadores para su funcionamiento.

El método HEART para ser aplicado en el estudio de probabilidad de Error en los operadores de sistemas ITS en el túnel daza, es innovador ya que los estudios que mas se acercan a este son los estudios de operadores de Ferrocarriles, pero no se evidenció estudio sobre los operadores de estos sistemas en los túneles carreteables, por lo que se presentaron fortalezas como que los valores ya habían sido designados por Williams, ayuda a mostrar el enfoque que se quería dar con esta investigación que era mostrar los puntos débiles de los operadores pero de forma cuantificable ya que el personal interesado son Ingenieros electrónicos y necesitaban cifras para demostrar la veracidad, pero como mayor debilidad fue escoger una serie de tareas de los operadores del túnel daza, ponerlas en unas tareas genéricas que en principio fueron creadas para las plantas nucleares y los sistemas férreos, Por lo que escoger el definir si esta tarea era compleja, sencilla, rutinaria, necesitaba de extremo conocimiento o si se reconocían los comandos de sistema fue complicado pero aun mas cuando se llevo a colocar un EPC ya que es un listado de tareas demasiado generales y buscar cual era el que mejor lo identificaba a la tarea del operador del túnel fue bastante extenuante y se necesitó ayuda de los ingenieros de la empresa que mejor conoce este sistema y a los operadores para poder tener un concepto mas real; de esta forma se pudo identificar puntos donde sabíamos que los operadores fallaban y era cuando el sistema fallaba, pero en que medida, porque cuando el sistema fallaba e ingresan el comando de restituir todo el sistema, el sistema queda funcionando, pero cuando falla el sistema y necesitan restituir el sistema por partes no tenían conocimiento de que pasos seguir y los comandos no los tenían claros haciendo evidente que tienen a su cargo tareas que les exceden sus conocimientos y como no se tiene como evaluarlos muy posiblemente también físicas. Un obstáculo que se presento fue que la presencia en el centro de control del investigador y los ingenieros puso en alerta a los operadores realizando las tareas o simulando realizar las tareas mostrando gran capacidad e interés en la realización, por lo que se realizó la observación por medio de los videos pregrabados que se tenían y aquí se tuvo mejor criterio para saber que tareas realizaban y cuanto se demoraban en realizarlas.

Esta claro que muchas personas que tienen los trabajos necesitan supervisión constante para evitar que cometan errores que pueden comprometer las vidas de las personas y la

infraestructura, pero el supervisor debe ser la persona mas coherente, estudiada, con experiencia en uno o varios campos que se están analizando o que se aplican en su entorno de trabajo, para verdaderamente evitar los errores, pero si el supervisor o interventor tiene menor conocimiento de los sistemas, planes de emergencia, manejo de equipos el error puede ser igual o hasta mayor ya que no sabe cómo actuar o puede dar una mala instrucción.

El entorno de trabajo es bueno, pero también tanto compañerismo es perjudicial porque en ocasiones cuando un operador llega tarde el otro lo cubre y no dejan reportado en ninguna planilla, está siempre muestra que todos cumplieron turno y llegaron a las horas indicadas, además que si se coloca un compañero a revisarle por ejemplo la dotación este dirá que esta perfecta, entonces sus criterios pueden no ser claros y objetivos. El supervisor por parte de la empresa no puede permanecer en sitio ya que también nublaría su objetividad ya que podría haber creado lazos de compañerismo.

El estudio nos evidencia que es necesario mejorar los procedimientos es cada una las tareas que realiza un operador de sistema ITS, además el personal debe estar motivado, y esto se puede hacer dejando en claro cómo debe actuar cuando se presenta un incidente o un accidente o una emergencia de mayores proporciones, el reentrenamiento del personal es fundamental para mantenerlos en posición de alerta siempre y evitar los momentos de relajación sobre la situación ya que esto los puede desenfocar del cumplimiento de las tareas. Además, me parece interesante que el personal vea como está actuando y que un experto les diga las fallas o las mejoras que deben realizar. Pero todo esto se hace con entrenamientos constantes, siendo critico y autocritico, tomado las criticas con madurez y seriedad.

Se deben determinar los factores que deben tener los operadores de sistemas ITS, como son las habilidades, conocimientos, aptitudes mentales, aptides físicas, experiencia, analizar sus responsabilidades, para obtener un perfil mas acorde a la realidad y a los requerimientos que presenta el mercado nacional y mundial, así se lograría disminuir la probabilidad de error en los Sistemas ITS del túnel vial, igualmente la empresa debe replantear los procedimientos, tareas, responsabilidades, que parten de sus experiencia y conocimiento.

Medidas para reducir la Probabilidad de Accidentes

Una vez aplicado el Método HEART y obteniendo los resultados de la investigación hemos observado que es necesario plantear o estipular una medidas que ayudaran a reducir esos valores tan altos que nos dieron en la tabla No. 9 Resultados Tarea Genérica A, donde se muestra el desconocimiento por parte del operador de los comandos necesarios para ser utilizados en momentos en que se requiera.

Una de las medidas necesarias para la reducción de la probabilidad de accidentes causados por error humano por los operadores de los sistemas ITS en el túnel daza, es necesario mejorar el perfil académico, físico y mental del personal que desempeña o desempeñará el cargo debe ser ingenieros Eléctricos, electrónicos o electromecánicos con conocimientos en sistemas de Control para que la rutina que ingresar o desactivar comando no sea una tarea extra o extraña, sino que sea una tarea que realice con plena capacidad y entendimiento de lo que está ocurriendo en el sistema y en su entorno. Debe tener entrenamiento en manejo de emergencias principalmente en las relacionadas con la infraestructura como es Incendios, espacios confinados, alturas, manejo de derrames de aceites o combustibles.

Otras de las medidas que se debe plantear es que las evaluaciones que se realicen al personal se debe tener en cuenta las metodología aplicada en esta investigación para determinar y analizar la probabilidad de error Humano, que puede tener la persona que se está evaluando, esta metodología debe ser aplicada desde antes de que la persona sea contratada para realizar el trabajo, y después de contratada, cada año, esto ayuda a reducir la probabilidad de error y se pueden identificar los factores que influyen en cada uno los operadores, permitiendo que la empresa realice planes de acción reduciendo aun mas la probabilidad de error. Igualmente al personal se le debe realizar un seguimiento en el que se tenga en cuenta, cargas de trabajo, problemas, dudas, sugerencias, inquietudes para que se le pueda realizar acciones mas concluyentes y que permita realizar gestión en las situaciones en las que se vean afectados, todo en pro de reducir la probabilidad de Error de los operadores en cada una de las tareas que realice.

Se deben escuchar las sugerencias que tienen los operadores acerca del manejo del sistema para saber si los procesos que tiene el sistema establecido pueden ser mejorados y sean mas compatibles en fases Hombre- Maquina. Se le pueda dar mas responsabilidades a los operadores o minimizar algunas tareas menos relevantes. Todo se basa en el conocimiento de los procesos por parte del operador y que también permite conocer sus propios límites.

Mejorar las relaciones personales realizando rotaciones de grupos de trabajo, para fortalecer la buena comunicación y la profesionalidad de cada uno de los miembros.

Y finalmente los directivos deben conocer bien la infraestructura que están administrando al igual que el personal y para esto es necesario que las empresas sean especializadas en manejo de sistemas de control y equipos electromecánicos para evitar su detrimento y mantener los equipos con las actualizaciones necesarias.

Conclusiones

La probabilidad de error humano en el manejo de los sistemas ITS en Colombia nos lleva a concluir que es bastante alto sobre todo cuando se presentan fallas en el sistema ITS y su recuperación no es fácil, ya que el personal que se encuentra en muchos trabajos son afectados por los factores externos de la economía colombiana, trabajos mal remunerados,

También se concluye que el personal no siempre es el más calificado para realizar la tarea, aunque este cuenta con la experiencia en tiempo y algo de conocimiento, no cuentan con las capacitaciones que les permitan hacer uso real de los sistemas ITS,

El mayor inconveniente es que al ser el túnel una infraestructura pública que es manejada por el INVIAS su funcionamiento es por licitación Pública y no hay garantías de continuidad de empresas especializadas en el manejo de los sistemas ITS, por lo que no garantizan de que todos los sistemas funcionan y el personal no se les garantiza la continuidad y menos las capacitaciones a los que deberían ser sometidos como es el caso del personal de emergencias de Ambulancia y bomberos.

Este material de investigación también nos muestra que la brecha en conocimiento entre los operadores es grande ya que como se mostró el personal no cuentan con estudios relacionados con el manejo de los sistemas por ejemplo con ingenierías electrónica (que es la que más se acerca al manejo de los sistemas ITS), incluso la ingeniería de sistemas, pero esta debe ser complementada con metodologías de Control e instrumentación. Por lo que el manejo y el conocimiento del sistema deben ser limitados ya que los operadores no cuentan con conceptos técnicos para poder entender algunos temas más a fondo.

Esta conclusión nos ayuda a responder nuestra pregunta de investigación ¿Cómo mitigar el error humano en accidentes ocasionados por los operarios de los sistemas de control para sistemas inteligentes de transporte? Y la respuesta es clara haciendo planes de inversión de tiempo y dinero para realizar calificación del personal requerido en esta clase de infraestructura,

por medio de capacitaciones, retroalimentación, cursos que les ayuden a los operadores a complementar o faciliten la realización de las tareas diarias, actividades de recreación para evitar el estrés en los trabajadores, crear planes de nutrición ya que existe personal con sobrepeso y obesidad.

Se deben realizar manuales fáciles de comprender y darles la capacitación necesaria para que los pongan en práctica sobre como debe ser su uso. Entonces vemos que si se pueden mitigar el error humano, pero hasta donde está la empresa interesada o tiene los recursos económicos para capacitar y reentrenar a los operadores de Túneles carretables.

Esta investigación nos muestra que el método HEART puede ser aplicado para la evaluación de un operador de Sistemas ITS en los túneles del país, ya que permite analizar las tareas a las que está expuesto, sus actitudes frente al trabajo rutinario o de emergencia, sus falencias, debilidades, fortalezas, igualmente facilita a la empresa a evaluar sus puntos débiles y donde debe enfocar sus recursos humanos, económicos, tiempo, para así evitar desgastes en puntos que se creían que eran importantes para enfocarse en los que realmente se necesitan.

Referencias

- Escalante, J., & Tejedo, J. (2004). El error humano y el control de las causas de los accidentes. *Mapfre Seguridad*, 94, 13–23.
- García Maza, J. Á. (2000). El Factor Humano En La Toma De Decisiones De Los Oficiales De Puente En Las Tareas De Navegación. In *El factor humano en la toma de decisiones de los oficiales de puente en las tareas de navegación: Vol. Capítulo 3* (Issue UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA Departament de ciència i enginyeria nàutiques). UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUÑA.
- Gonzalez, N. L. (2017). Human Mistake in the Analysis of Railway Accidents. *Revista De Ciencias Sociales-Costa Rica*, 2017(158), 149–165.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1992). NTP 360 : Fiabilidad humana : conceptos básicos. *Guías de Buenas Prácticas*, 4, 1–8.
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_360.pdf
- Islam, R., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F. (2017). Development of a human reliability assessment technique for the maintenance procedures of marine and offshore operations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 50, 416–428.
<https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.10.015>
- Kenneth Gerecke, C. P. (2017). Aplicaciones De La Seguridad. In P. Jeanne Mager Stellman (Ed.), *ENCICLOPEDIA DE SALUD Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO* (Copyright, p. 88).
<https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/58.pdf>
- Marchitto, M. (2011). El error humano y la gestión de seguridad: la perspectiva sistémica en las obras de James Reason. *Laboreal*, 7(2), 13. <https://doi.org/10.4000/laboreal.7750>
- Ministerio del Trabajo. (2015). Decreto 1072 de 2015. *Ministerio Del Trabajo*, 326.
<http://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/0/DURSector+Trabajo+Actualizadoa+15+de+abril+de+2016.pdf/a32b1dcf-7a4e-8a37-ac16-c121928719c8%0Ahttp://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/50711/DUR+Sector+T>

- rabajo+Actualizado+a+Abril+de+2017.pdf/1f52e341-
- Pastor, G., & Pollock, D. (1999). Conceptualización Y Analisis Psicologico Del Error Humano En La Conduccion De Vehiculos. *Anuario de Psicologia*, 30(1), 39–64.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and Other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, SMC-13(3), 257–266. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1983.6313160>
- Reinach, S., & Viale, A. (2006). Application of a human error framework to conduct train accident/incident investigations. *Accident Analysis and Prevention*, 38(2), 396–406. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2005.10.013>
- Romera Romero, J. (2007, July). Causalidad Del Error Humano En Los Accidentes Laborales. *Instituto Regional de Seguridad y Salud En El Trabajo- Comunidad de Madrid, Sección Técnica*, 43, 9.
- Torres-Medina, Y. (2020). El análisis del error humano en la manufactura: un elemento clave para mejorar la calidad de la producción. *Revista UIS Ingenierías*, 19(4), 53–62. <https://doi.org/10.18273/revuin.v19n4-2020005>
- Williams, J. C. (1988). Data-based method for assessing and reducing human error to improve operational performance. *IEEE Conference on Human Factors and Power Plants*, 436–450. <https://doi.org/10.1109/hfpp.1988.27540>
- Williams, Jeremy C., & Bell, J. L. (2015). Consolidation of the Error Producing Conditions Used in the Human Error Assessment and Reduction Technique (Heart). *Safety and Reliability*, 35(3), 26–76. <https://doi.org/10.1080/09617353.2015.11691047>
- Zhou, J. L., Lei, Y., & Chen, Y. (2019). A hybrid HEART method to estimate human error probabilities in locomotive driving process. *Reliability Engineering and System Safety*, 188(March), 80–89. <https://doi.org/10.1016/j.res.2019.03.001>

Cronograma de Actividades

Por intermedio del presente documento en mi calidad de autor o titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra que adjunto, titulada El Error humano en la operación de Sistemas ITS para túneles viales, autorizo a la Corporación universitaria Unitec para que utilice en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador o titular de la obra objeto del presente documento.

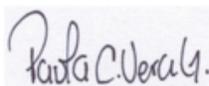
La presente autorización se da sin restricción de tiempo, ni territorio y de manera gratuita. Entiendo que puedo solicitar a la Corporación universitaria Unitec retirar mi obra en cualquier momento tanto de los repositorios como del catálogo si así lo decido.

La presente autorización se otorga de manera no exclusiva, y la misma no implica transferencia de mis derechos patrimoniales en favor de la Corporación universitaria Unitec, por lo que podré utilizar y explotar la obra de la manera que mejor considere. La presente autorización no implica la cesión de los derechos morales y la Corporación universitaria Unitec los reconocerá y velará por el respeto a los mismos.

La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato electrónico, y en general para cualquier formato conocido o por conocer. Manifiesto que la obra objeto de la presente autorización es original y la realicé sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es de mi exclusiva autoría o tengo la titularidad sobre la misma. En caso de presentarse cualquier reclamación o por acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión asumiré toda la responsabilidad, y saldré en defensa de los derechos aquí autorizados para todos los efectos la Corporación universitaria Unitec actúa como un tercero de buena fe. La sesión otorgada se ajusta a lo que establece la ley 23 de 1982.

Para constancia de lo expresado anteriormente firmo, como aparece a continuación.

Firma



Nombre PAOLA CAROLINA VERA GARCIA
CC. 25.281.489de Popayán

Página 1
