

CAPITULO 1

El Problema

1.1.- Planteamiento del Problema

El Programa Nacional de Formación en Higiene y Seguridad Laboral (PNFHSL) fue creado bajo la Resolución N° 2963 del Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria (MPPEU), donde se autoriza la participación de los institutos tecnológicos, entre ellos la Universidad Politécnica del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russían” .

Como señaló la Comisión Curricular Interinstitucional del PNF en Higiene y Seguridad (2010):

“El Plan Nacional de Formación en Higiene y Seguridad Laboral, está orientado a la mejora de las condiciones de trabajo, el diseño de controles, la promoción de la salud de los trabajadores y trabajadoras y al fortalecimiento de la conciencia ciudadana. Para ello, tiene como propósito formar profesionales integrales, con conciencia socio crítica de sus actuaciones, corresponsables y comprometidos con el proceso de transformación del país; que trabajen en la defensa de la vida y la salud de los trabajadores y trabajadoras; que fomenten condiciones seguras en los ambientes de trabajo y en las comunidades de manera sostenible y sustentable; y que participen activamente en la investigación para el diseño, innovación y aplicación del conocimiento en la solución de las necesidades de la sociedad, contribuyendo con la independencia tecnológica, y al fortalecimiento de la cultura de la higiene y la seguridad en la vida de las ciudadanas y ciudadanos del país”.

La conformación curricular del PNF en Higiene y Seguridad contempla cuatro trayectos con una duración de un año; las unidades curriculares inmersas en cada uno de los trayectos las cuales pertenecen a un de nominado eje epistemológico, están relacionadas entre sí mediante un eje transversal denominado Eje Proyecto Socio-Productivo.

Específicamente el problema tiene como epicentro, una unidad curricular perteneciente al eje epistemológico del Trayecto II, la cual se denomina “Gestión de Mantenimiento” (Código: HSGMA072203), esta unidad

curricular tiene como propósito establecido en su contenido sinóptico: “...establecer la importancia del mantenimiento seguro en la preservación de las condiciones de las maquinarias, equipos e instalaciones, con el fin de evitar accidentes, enfermedades ocupacionales, pérdidas materiales y garantizar la calidad de los procesos. Demuestra que el mantenimiento es una herramienta útil en la preservación de ambientes de trabajo y desempeño confortable del trabajador.”

Se puede concluir entonces que uno de los aspectos principales en lo que a contenido se refiere, es la relación entre las condiciones operativas de elementos y sistemas industriales y la seguridad laboral, por ende, el propósito esencial de esta unidad curricular, es entrenar estudiante en la identificación, tratamiento, presentación e inferencia de variables operativas, las cuales sino fuesen controladas pudiesen causar desviaciones en las condiciones normales de operación de elementos o sistemas industriales, aumentando así la probabilidad de que se manifieste un accidente laboral.

Una de las variables de mayor importancia dentro del contexto de la Gestión de Mantenimiento, es la Confiabilidad, que según Nava (2004):

“Es la probabilidad de que un componente o equipo no fallara estando en servicio durante un periodo determinado, cuando es operado en condiciones razonablemente uniformes de presión, temperatura, vibración, etc.”.

La confiabilidad a su vez está estrechamente relacionada con otra variable, la falla, que no es más que la manifestación física de la desviación en la operación normal de un elemento o sistema industrial; es en este punto donde la unidad curricular Gestión de Mantenimiento, presenta un reto para los docentes que la imparten, la han impartido o la impartirán, ya que para la comprensión de esta variable, los estudiantes necesitan conocimientos previos de estadística, los cuales no poseen.

Ahora bien, la ausencia de conocimientos previos de estadística básica en los estudiantes del Trayecto II del PNF en Higiene y Seguridad Industrial, ha obligado a los docentes que administran la unidad curricular Gestión de Mantenimiento, a orientar su contenido a un tratamiento teórico obviando el tratamiento práctico la cual viene implícito dentro del contenido sinóptico de la misma, es trae como consecuencia, que los conocimientos impartidos a los estudiantes carezcan de la calidad que el contenido sinóptico de esta unidad curricular exige.

La relación de la variable confiabilidad con la variable falla están importante, que el solo hecho de otorgarle un tratamiento teórico, obvia aspectos tan importantes tales como, la recolección, ordenamiento, presentación y aplicación de datos operativos como: tiempos de operación, tiempos entre fallas, tiempos fuera de servicio, tiempos para reparar, entre otros. De igual manera se estaría obviando el comportamiento operativo de elementos o sistemas industriales en el tiempo y bajo un régimen determinado.

La incursión de los estudiantes de la unidad curricular Gestión de Mantenimiento dentro del mundo de la estadística, no debe ser a un nivel que provoque aversión o rechazo; ahora bien, para tratar de buscar una solución a esta problemática han surgido las siguientes interrogantes: ¿Se podrá de una manera clara, precisa y objetiva de caracterizar el concepto de confiabilidad como variable operativa?, ¿Cómo se establecen relaciones teórico-prácticas entre el concepto de confiabilidad como variable operativa y el concepto de falla operativa?, ¿De qué forma se pueden formular procedimientos prácticos basados en herramientas estadísticas para el análisis de probabilidad de manifestación de fallas, las cuales sean de fácil comprensión y aplicación?, ¿Qué método estadístico alternativo es posible formular, cuando las herramientas estadísticas estándar no sean suficientes, para determinar la probabilidad de

manifestación de fallas? Por las razones anteriormente expuestas se hace necesaria una Propuesta Teórico-Práctica para el cálculo de la probabilidad de falla en elementos y sistemas industriales,

1.2.- Objetivos de la Investigación

1.2.1.- Objetivo General:

Proponer una metodológica teórico-práctica para el cálculo de la probabilidad de falla en elementos y sistemas industriales.

1.2.2.- Objetivos Específicos

- I. Caracterizar la confiabilidad como variable operativa para elementos o sistemas industriales como preámbulo al análisis de fallas.
- II. Establecer relaciones teórico-prácticas de la confiabilidad con respecto al análisis de fallas en elementos y sistemas industriales.
- III. Formular procedimientos teórico-prácticos, basados en herramientas estadísticas para la resolución de problemas de análisis de fallas en elementos y sistemas industriales.
- IV. Definir un método práctico alternativo para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallas en elementos y sistemas industriales.

1.3.- Justificación de la Investigación

Las razones para realizar esta investigación se pueden resumir mediante los siguientes argumentos, contribuir al contenido de la unidad curricular Gestión de Mantenimiento otorgando a esta una orientación desde un contexto práctico, donde se le pueda brindar herramientas al docente y al estudiante para la resolución de problemas operacionales donde se involucren las variables confiabilidad, falla y tiempo.

De igual manera se contribuirá a la línea 3 de investigación de del PNF en Higiene y Seguridad Laboral, denominada: “Innovación en prevención y control de riesgos laborales”, cuyos objetivos específicos son:

- Investigación de los procesos en centros laborales con el fin de establecer métodos que conlleven a la disminución de Accidentes y Enfermedades Ocupacionales, es decir procesos sanos y seguros.
- Establecer estándares en el área de prevención y control de riesgos en ambientes laborales.
- Diseñar sistemas y equipos para detectar variables que pueden resultar nocivas a los trabajadores.
- Diseñar equipos que eliminen o minimicen el impacto de los factores de riesgo.
- Aplicar desde la fase de diseño, tecnologías y procesos seguros.
- Diseñar y acondicionar puestos de trabajo considerando los principios de la Higiene, Ergonomía y Seguridad.

1.4.- Delimitación del Tema

1.4.1.- Delimitación de la Investigación.

Esta investigación se refiere la propuesta de una metodología teórico-práctica para el cálculo de la probabilidad de falla para elementos y sistemas industriales orientado al mejoramiento de herramientas de enseñanzas en la unidad curricular Gestión de Mantenimiento, perteneciente al Plan Nacional de Formación en Higiene y Seguridad Laboral, Trayecto II de la Universidad Politécnica del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”, Cumaná, Estado Sucre.

Primeramente se caracterizará conceptualmente la confiabilidad como variable operativa, se establecerán relaciones entre las variables confiabilidad y la manifestación de fallas, posteriormente se formularan metodologías practicas basadas en herramientas estadísticas para la resolución de problemas de probabilidad de aparición de fallas en elementos y sistemas industriales, por último se propondrá una metodología practica alternativa cuándo las alternativas estadísticas ya presentadas no sean practicas aplicarlas.

1.4.2.- Alcance de la Investigación.

El presente trabajo de investigación estará orientado a docentes y estudiantes de la unidad curricular Gestión de Mantenimiento Trayecto II del PNF en Higiene y Seguridad Laboral de Universidad Politécnica del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”, pero también puede ser usada en otras instituciones donde se imparta la mencionada unidad curricular. De igual manera servirá como punto referencial en las unidades curriculares : Prevención De Riesgos Laborales en Ambientes de Trabajo y Comunidades, Código: HSPPF360112, Seguridad Laboral I, Código: HSSLI090103, Evaluación de Procesos Peligrosos Para La Mejora de los Ambientes de Trabajo y Calidad de Vida, Código: HSPF720224, Seguridad Laboral II, Código: HSSL2144204, Gestión de Sistemas de Higiene, Seguridad y

Ambiente, Código: HSFSC144304, Gerencia en Higiene y Seguridad Laboral, Código: HSAHS072302, Control Estadístico de Procesos, Código: HSCEP072402; pertenecientes de igual manera al Plan Nacional de Formación en Higiene y Seguridad.

CAPITULO 2

Marco Teórico

2.1.- Antecedentes

Nava José. (2004). Teoría de Mantenimiento. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones; Venezuela). En donde se señala que: **“Este trabajo de investigación se refiere al campo de la confiabilidad, la mantenibilidad y disponibilidad aplicada al mantenimiento, además de tratar aplicaciones estadísticas para la resolución de problemas operativos en equipos industriales ”**. Esta investigación sirvió como apoyo teórico para el desarrollo de de la conceptualización de la variable confiabilidad y su relación con la variable probabilidad de falla”

Zambrano, Sony y Leal, Sandra. (2005). Fundamentos Básicos de Mantenimiento. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela. En donde se señala que: **“Este trabajo pretende introducir y hacer del conocimiento a los estudiantes, profesionales y empresarios del área de mantenimiento, sobre la terminología necesaria para la Gestión de Mantenimiento dentro de los procesos productivos.”**. El aporte de esta investigación tiene que ver con conceptos teóricos básicos dentro de la jerga y lenguaje técnico dentro del contexto de la Gestión de Mantenimiento Industrial.

Zambrano, Sony y Leal, Sandra, (2006), Manual Práctico de Gestión de Mantenimiento. Universidad Nacional Experimental del Táchira; Venezuela, en donde se señala que: **“Este manual incorpora la planificación, programación, seguimiento a la ejecución, control y evaluación de la gestión de mantenimiento ayudando a que la implantación del mantenimiento sea lo más orientada posible ala optimización del proceso como un todo”**. Esta investigación sirvió como referencia para

conocer las diversas técnicas operativas e instrumentales en el control y seguimiento de la variable confiabilidad.

2.2.- Bases Teóricas

El Programa Nacional de Formación en Higiene Y Seguridad Laboral (PNFHSL).

El Programa Nacional de Formación en Ingeniería en Higiene y Seguridad Laboral (PNFHSL) se sustenta en el contenido de la Resolución N° 2963 del Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria (MPPEU), donde se autoriza la participación de los institutos tecnológicos en la creación de nuevas propuestas académicas y la gestión de estos programas de formación, bajo la iniciativa del Ejecutivo Nacional, a través del Ministerio del Poder Popular para la Educación Universitaria y en atención a los lineamientos del Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación 2007 - 2013, pudiendo ser administrados en distintos escenarios educativos del territorio Nacional.

En este sentido, el artículo 4 de la mencionada resolución destaca como principales características de los Programas Nacionales de Formación las siguientes:

- a. La formación humanista.
- b. La vinculación con las comunidades y el ejercicio profesional a lo largo de todo el trayecto formativo.
- c. La conformación de los ambientes educativos como espacios comunicacionales abiertos, caracterizados por la libre expresión y el debate de las ideas, el respeto y la valoración de la diversidad, la multiplicidad de fuentes de información, entre otros elementos indispensables para la formación, asociados a la formación y a las

prácticas educativas ligadas a necesidades y características de las distintas localidades, que propicien el vínculo con la vida social y productiva.

- d. La participación activa y comprometida de los estudiantes en los procesos de creación intelectual e integración social, mediante actividades de investigación e innovaciones educativas asociadas con el perfil de su futuro desempeño y conducentes a la solución de la problemática del entorno por la vía científica.
- e. Modalidades curriculares flexibles, adaptadas a las distintas necesidades educativas, disponibilidad de tiempo, recursos y pertinencia social.
- f. El empleo de un sistema de evaluación permanente que permita el control de la calidad del proceso y del impacto educativo generado en los estudiantes y la comunidad.
- g. La promoción, el reconocimiento y la acreditación de experiencias formativas en distintos ámbitos.

En función de lo anterior, el PNFHSL es una propuesta educativa innovadora, que a través de actividades de formación, creación intelectual y vinculación social, forma profesionales integrales con conciencia socio crítica de sus actuaciones, corresponsables y comprometidos con el proceso de transformación del país. Profesionales que trabajen en resguardo de la vida y la salud de los trabajadores y trabajadoras, que contribuyan a fomentar las condiciones seguras en ambientes de trabajo y comunidades y a la protección del Ambiente, y participen activamente en la investigación para el diseño, innovación y aplicación del conocimiento que contribuyan a satisfacer las necesidades de la sociedad, lograr la independencia tecnológica, y favorecer así, la vida de las ciudadanas y ciudadanos del país, apoyando el desarrollo de la conciencia ciudadana y protagónica, para la promoción de la salud, higiene, seguridad y conservación ambiental.

Esta innovación educativa se enmarca en el modelo humanista integrado, el cual está centrado en las cuatro dimensiones del ser humano (conocer, hacer, ser y convivir), integradas a través de un conjunto de experiencias, saberes, principios y valores para ser aplicados en procesos de innovación, creación, producción y transformación en función de las necesidades sociales y de desarrollo de la nación (Perfil de saberes integrados). Se apoya a su vez en la actual legislación laboral y en las políticas nacionales relacionadas con el área de formación, donde se promueve un modelo de desarrollo sustentable, humanista, de cultura autóctona, creador y transformador del conocimiento e innovador en ciencia y tecnología. Es por ello que el enfoque principal está en el proyecto, como eje central que permite al estudiante la interrelación e integración con los entornos y comunidades laborales a lo largo de cada trayecto de formación, favoreciendo el desarrollo de sus conocimientos, habilidades y destrezas, a la vez de fomentar una conciencia ciudadana, donde la responsabilidad y actuación prevencionista y ambientalista se destaque en los ámbitos social, laboral y ambiental, e igualmente se exprese en su quehacer diario el respeto al ambiente y a la vida, en su integridad y diversidad.

Igualmente se promueven a través del diseño curricular, la integración de las actividades de creación intelectual, innovación y vinculación social como herramienta fundamental para la generación de cambios tecnológicos, económicos y sociales necesarios y requeridos para los procesos de transformación del país.

En este mismo orden de ideas, el diseño curricular del PNFHSL se basa en un plan de estudios que comprende un conjunto de Unidades Curriculares donde se interrelacionan conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales que aportan las bases necesarias para desarrollar las tres áreas de conocimiento del perfil de saberes integrados del profesional: Higiene, Seguridad y Ambiente, ampliando las posibilidades de crecimiento

profesional al optar por especializaciones o maestrías propias para cada una de ellas, según las aptitudes, necesidades y preferencias del participante.

Retos Vinculados Al Área De Formación.

La formación humanista integrada, la creación intelectual y la vinculación social del Ingeniero en Higiene y Seguridad Laboral, contribuye con la transformación de la realidad social, económica, política y cultural del país, constituyéndose en el principal reto del programa de formación. Debe considerarse por lo tanto, el papel de la ingeniería en la transformación de los modelos de gestión y producción nacional, sustentando esta formación, en principios morales, éticos, políticos, ideológicos, y conocimientos técnicos y científicos que permitan el logro de este objetivo.

La higiene y seguridad laboral tienen como fin primordial evitar accidentes y enfermedades laborales a los trabajadores y trabajadoras, así como prevenir daños ambientales y ecológicos y los efectos directos o indirectos de las actividades laborales en las comunidades. Para esto se requiere de un profesional integral, con conocimientos integrados, comprometido y sensibilizado ante la problemática social de las distintas organizaciones, capaz de diseñar, desarrollar y dirigir proyectos de investigación y modelos de gestión en Higiene, Seguridad, Ergonomía y Ambiente.

El PNFHSL como programa de formación académica persigue los siguientes propósitos:

- 1) Vincular la formación académica a la estructura económica y social que promueve el Estado venezolano.
- 2) Crear conciencia social relacionada con el enfoque adoptado por el programa y su importancia para el desarrollo económico, social, político y cultural del país.

- 3) Promover la administración del programa en las instituciones venezolanas de educación superior.
- 4) Promover la Transversalidad de la Higiene y Seguridad en los distintos niveles de formación, especialmente en los programas de pregrado, aplicando enfoques particulares y específicos, acordes con los riesgos asociados a la ejecución de las actividades laborales propias de cada profesión.
- 5) Contribuir con el Estado venezolano al vincular el PNFHSL con:
 - a. Los planes de desarrollo comunal, municipal, estatal y nacional, así como con los organismos rectores pertinentes.
 - b. El desarrollo de estructuras y sistemas organizacionales adaptados a las necesidades locales, regionales y nacionales.
 - c. La simplificación de procedimientos y estructuras en las organizaciones.
 - d. El fomento de una cultura organizacional participativa e innovadora que garantice la conjugación de los valores más importantes de la sociedad venezolana con un desempeño eficiente de las organizaciones.
 - e. Hacer énfasis en la corresponsabilidad social de la actuación del profesional de la ingeniería.
 - f. La implementación de controles de los sistemas de aseguramiento de la calidad de la organización, de la producción y de la innovación o desarrollo de métodos y estilos de dirección eficientes.
 - g. La innovación o desarrollo de métodos y tecnologías propios, así como estilos de dirección eficientes.

h. La creación e instrumentación de programas similares en las instituciones de educación superior de América Latina y el Caribe.

6) Formar profesionales integrales, que promuevan los cambios que demanda la población, mediante la apropiación, adecuación, creación e innovación de conocimientos científicos, tecnológicos, culturales, lo que requiere poner en práctica valores que contribuyen con la construcción de la nueva ciudadanía participativa y protagónica.

7) Promover el desarrollo de proyectos orientados a la solución de problemas, a la creación e innovación en las áreas de la seguridad y la higiene laboral, la ergonomía y el ambiente, que respondan además, a las necesidades tecnológicas, contribuyendo al desarrollo endógeno sustentable.

De manera particular el programa se plantea lograr los siguientes objetivos:

- Desarrollar políticas públicas de higiene, seguridad y salud en el trabajo orientadas a la prevención de riesgos laborales y a la promoción de la salud.
- Sensibilizar a las organizaciones y entes gubernamentales sobre el beneficio social y económico que representa la inversión en higiene y seguridad.
- Sensibilizar a la población en general sobre la importancia de la salud en el trabajo como inversión y su impacto económico y social.
- Disminuir la ocurrencia de accidentes y enfermedades laborales en Venezuela
- Incrementar la participación protagónica de los trabajadores en la defensa del derecho a la salud y a ambientes de trabajo sanos y seguros
- Establecer redes de información y sistemas de vigilancia epidemiológica en higiene, seguridad y salud de los trabajadores.

- Desarrollar e impulsar nuevos enfoques e investigaciones en higiene, seguridad, ergonomía y salud de los trabajadores.
- Establecer índices y valores límites de efectos a la salud de los factores de riesgo presentes en los ambientes laborales, basados en las características propias de nuestros trabajadores, centros de trabajo y ambiente en general, actualizándolos frecuentemente.
- Elevar la calidad de vida de los trabajadores, fortaleciendo en ellos la autoestima, valorando una población trabajadora saludable, educada, capacitada, innovadora, creativa y con deseos de superación y de responder sin temor a los retos que la vida le plantee.
- Combatir las maquilas como práctica laboral aberrante.
- Promover la garantía y restitución de sus derechos a personas que sufren discapacidades producto del trabajo, a través de la atención integral y del acondicionamiento de los centros de trabajo.
- Promover la garantía y restitución de sus derechos a personas que efectúan trabajos informales, por cuenta propia, o los encargados del servicio doméstico.
- Disminuir la ocurrencia de accidentes y enfermedades laborales en Latino América y el Caribe, mediante el establecimiento e implementación de criterios para desarrollar normas, con carácter internacional, en relación a efectos nocivos sobre la salud de factores presentes en ambientes de trabajo.

Naturaleza y Alcance del Programa de Formación.

El PFNHSL está orientado a la mejora de las condiciones de trabajo, el diseño de controles, la promoción de la salud de los trabajadores y trabajadoras y al fortalecimiento de la conciencia ciudadana. Para ello, tiene como propósito formar profesionales integrales, con conciencia socio crítica de sus actuaciones, corresponsables y comprometidos con el proceso de transformación del país; que trabajen en la defensa de la vida y la salud de los trabajadores y trabajadoras; que fomenten condiciones

seguras en los ambientes de trabajo y en las comunidades de manera sostenible y sustentable; y que participen activamente en la investigación para el diseño, innovación y aplicación del conocimiento en la solución de las necesidades de la sociedad, contribuyendo con la independencia tecnológica, y al fortalecimiento de la cultura de la higiene y la seguridad en la vida de las ciudadanas y ciudadanos del país.

Generación de Líneas de Investigación.

Las líneas de investigación asociadas al PNFHSL comprenden aquellos estudios que describen la realidad comunal, municipal, estatal, regional y nacional, así como la caracterización, cualitativa y cuantitativa, de las relaciones salud-trabajo-enfermedad condiciones y medio ambiente de trabajo, a los fines de satisfacer las necesidades reales y sentidas a través de las diferentes formas asociativas que se traducen en relaciones económicas, sociales, de participación popular, en redes de cooperación y en nuevas formas de planificación, integración y manejo de recursos, entre otras.

A título referencial (no limitativo), se mencionan las siguientes líneas de investigación asociadas a los campos del conocimiento en Higiene, Seguridad y Ambiente, vinculadas a los proyectos que se desarrollen en cada trayecto de formación. Así mismo, en el cuadro N° 11 pueden observarse los objetivos general y específicos de las mismas.

- Higiene, Seguridad, Ambiente y Calidad de Vida
- Cultura de prevención de riesgos y promoción de ambientes de trabajo seguros.
- Inovación en prevención y control de riesgos laborales

Los proyectos asociados a las líneas de investigación referidas y a otras que surjan para la solución de problemas en el entorno de las instituciones de educación superior, responden a las características y necesidades comunales, locales y regionales.

2.4.- Glosario de Términos.

Aleatorio: Dependiente de algún suceso fortuito.

Análisis: Distinción y separación de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos.

Caracterizar: Determinar los atributos peculiares de alguien o de algo, de modo que claramente se distinga de los demás.

Confiabilidad: Es la probabilidad de que un elemento o sistema pueda llevar a cabo su función operativa sin presentar fallas dentro un tiempo determinado.

Control: comprobación, inspección, intervención, dirección mando, regulación.

Disponibilidad: Es la probabilidad de que un elemento o sistema pueda ser utilizado dentro de un sistema productivo en el momento que se le requiera.

Ecuación: Igualdad que contiene una o más incógnitas.

Estadística: Rama de la matemática que utiliza grandes conjuntos de datos numéricos para obtener inferencias basadas en el cálculo de probabilidades.

Formular: Reducir a términos claros y precisos un mandato, una proposición, una denuncia, etc.

Función: Relación entre dos conjuntos que asigna a cada elemento del primero un elemento del segundo o ninguno.

Gestión: Acción y efecto de gestionar o administrar recursos humano, económicos o materiales con el propósito de su aprovechamiento óptimo dentro de un periodo establecido.

Higiene Laboral: Conjunto de normas y procedimientos que se aplican con el propósito de disminuir la probabilidad de que se manifieste una enfermedad laboral.

Mantenibilidad: Es la probabilidad de que un elemento o sistema pueda ser devuelto a sus condiciones normales de operación dentro de un tiempo programado.

Mantenimiento: Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente.

Operativo: Preparado o listo para ser utilizado o entrar en acción.

Operatividad: Capacidad para realizar una función.

Práctica: Conocimientos que enseñan el modo de hacer algo.

Probabilidad: Proceso aleatorio, razón entre el número de casos favorables y el número de casos posibles.

Proceso: conjunto de fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.

Razón: Cociente de las diferencias entre un primer número y cada uno de los otros dos números.

Seguridad Laboral: Conjunto de normas y procedimientos que se aplican con el propósito de disminuir la probabilidad de que se manifieste un accidente laboral. Condición libre y exenta de todo peligro, daño o riesgo.

Teoría: Conocimiento especulativo considerado con independencia de toda aplicación.

CAPÍTULO 3

Marco Metodológico

3.1.- Tipo de Investigación.

3.1.1.- Nivel de la Investigación

Según Arias, Fidias G. (1999):

“El nivel de la investigación se refiere al grado de profundidad con que se aborda un objeto o fenómeno”

La presente investigación se enmarca dentro de un nivel descriptivo, ya que, caracteriza un hecho o fenómeno para establecer su estructura o comportamiento.

3.1.2.- Diseño de la de la Investigación.

Según Arias, Fidias G. (1999):

“Es la estrategia que adopta el investigador para responder al problema planteado”.

La investigación a realizar esta dentro del contexto documental, ya que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos.

3.2.- Operacionalización de Variables

Tabla Nº 1 Tabla de Operacionalización de Variables. Fuente: Autor

Objetivo Específico	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Dimensión
Caracterizar	Momento Perceptual/Analítico	Diagnóstico Exploratorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Concepto. • Ecuación. • Esquema. • Diagrama. • Procedimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción. • Clasificación. • Identificación. • Explicación.
Establecer	Momento Perceptual/Analítico.	Diagnóstico Exploratorio.	<ul style="list-style-type: none"> • Relación. • Análisis. • Ecuación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción. • Identificación. • Explicación.
Formular	Momento Analítico/Explicativo.	Explicación de la Metodología de Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis. • Ecuación • Procedimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Secuenciabilidad. • Operacionabilidad • Aplicabilidad
Definir	Momento Analítico/Explicativo.	Explicación de la Metodología de Aplicación	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis. • Ecuación • Procedimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Secuenciabilidad. • Operacionabilidad • Aplicabilidad.

3.3.- Población Muestra.

Según Hurtado (2008):

“... la población de una investigación está constituida por el conjunto de seres en los cuales se va a estudiar la variable o evento, y que además comparten, como características comunes, los criterios de inclusión”.

Según Bavaresco (2001):

“...es el conjunto total de unidades de observación que se consideran el estudio (nación, estados, grupos, comunidades, objetos, instituciones, asociaciones, actividades, acontecimientos, establecimientos, personas, individuos), es decir, la población es la totalidad de elementos que forman un conjunto”.

La población para esta investigación está representada por 280 estudiantes de las secciones 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 cursantes de la unidad curricular Gestión de Mantenimiento, durante el periodo académico I-2013, en la Universidad Politécnica del Oeste del Estado Sucre “Clodosbaldo Russián” . La muestra esta representada por 40 estudiantes pertenecientes a la sección 5 cursantes de la unidad cursantes de la unidad curricular Gestión de Mantenimiento, durante el periodo académico I-2013, en la Universidad Politécnica del Oeste del Estado Sucre “Clodosbaldo Russián”

Capítulo 4

4.1) Caracterizar la confiabilidad como variable operativa para elementos o sistemas industriales.

4.1.1) Conceptualización de la confiabilidad.

La confiabilidad de un sistema o elemento industrial se define como la probabilidad de que los mismos operen sin presentar fallas o averiase en un tiempo determinado bajo condiciones de operación establecidas (Zambrano, Leal, 2006). También se puede definir como una característica propia del diseño de máquinas, que permite estudiar mediante principios científicos y matemáticos las fallas de los elementos de los equipos, para el análisis de los procesos de un diseño, la determinación de los costos de ciclo de vida y la seguridad de un producto (Nava, 2004). La probabilidad de manifestación de una falla en un sistema o elemento industrial se puede definir mediante las siguientes expresiones:

Ecuación 1, Probabilidad de Ocurrencia de Falla:

$$P_f = \left(\frac{n}{N} \right)$$

Donde, n son el numero de fallas a analizar, N es el numero de eventos posibles y P_f es la probabilidad de falla.

Ecuación 2, Probabilidad de Ocurrencia de Falla:

$$P_f = \lim_{N \rightarrow \infty} \left(\frac{n}{N} \right)$$

Donde, P_f es la probabilidad de que ocurra un evento n dentro de una serie de infinita de N, eventos posibles.

Se define entonces a la confiabilidad como la probabilidad de éxito o supervivencia en un tiempo a , siendo P_f la probabilidad de Falla, en este instante de tiempo, mediante la expresión:

Ecuación 3

$$R_a = 1 - P_f$$

Ecuación 4

$$C(t) = P[t < T]$$

Donde, $C(t)$ es la función de confiabilidad o de supervivencia, t es el tiempo determinado para evaluar el funcionamiento.

La función confiabilidad se denota como $C(t)$, la utilidad de esta función en el campo de la ingeniería, se refiere a que la confiabilidad decrece a medida que se incrementa el tiempo de operación. Cuando $C(0) = 1$, significa que la confiabilidad antes de iniciar la operación o funcionamiento de un sistema o elemento industrial es máxima o cercana al 100%.

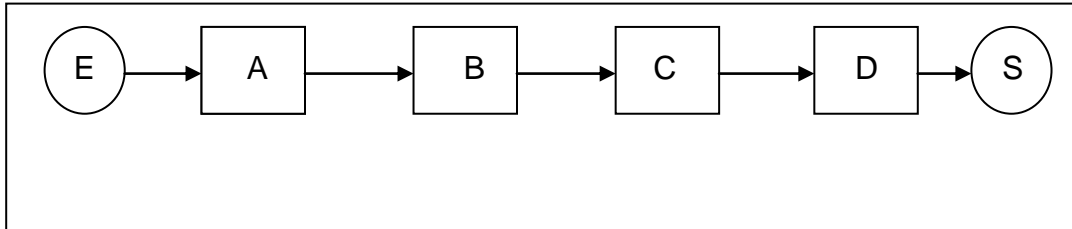
Otra característica de importancia sobre la función confiabilidad es que cuando $\lim_{t \rightarrow \infty} C(t) = 0$, significa que todo elemento o sistema industrial, siempre estará en estado de falla, al alcanzar un tiempo t de operación muy grande o infinito.

4.1.2) La confiabilidad de sistemas productivos en serie y en paralelo.

Los sistemas productivos pueden clasificarse en: dispositivos, equipos, instalaciones y/o edificaciones sujetas a acciones de manteniendo (COVENIN 3049-93); ahora bien, los sistemas de producción pueden estar relacionados operativamente, en serie, en paralelo o una combinación de ambos, la principal característica de un sistema productivo en serie, es que todos sus componentes o elemento de este, están interrelacionados operativamente, de manera que si un componente del sistema se fallase el

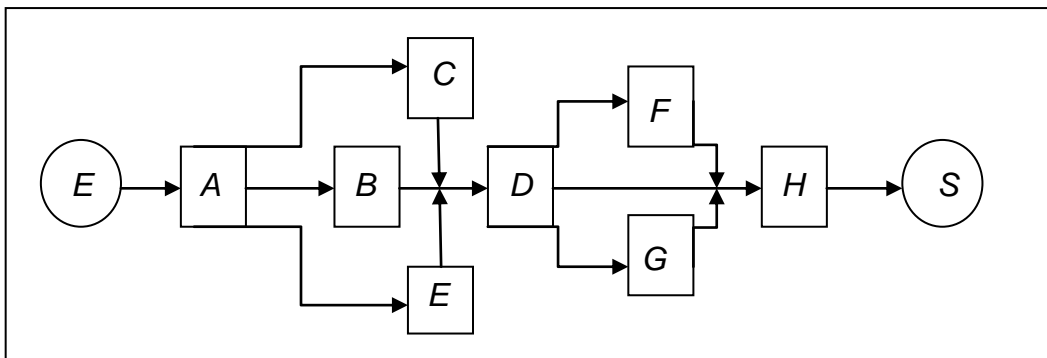
sistema entero fallará, en la figura 1 se muestra un esquema de un sistema en serie.

Figura N° 1, Ejemplo esquemático de un sistema en serie. (Fuente: Autor)



Un sistema en paralelo es aquel conformados por elementos en relación operativa, donde todo el sistema fallará si y solo si todos los componentes que lo conforman fallasen al mismo tiempo. En la figura 2 se muestra un esquema de un sistema en paralelo.

Figura N° 2, Ejemplo esquemático de un sistema en paralelo. (Fuente: Autor)



4.1.3) Procedimiento Práctico Para El Cálculo De La Confiabilidad.

Supongamos que estamos ante la presencia de un sistema conformado por n elementos constitutivos conectados en serie y los mismos no son mutuamente excluyentes en lo que a operacionalidad se refiere, es decir, la operatividad de un elemento no afecta la operatividad del otro. Con estas características de funcionamiento dadas, la probabilidad de que el sistema opere con normalidad viene dada por la siguiente expresión:

Ecuación 4

$$C_s = \prod_{i=1}^n C_i$$

La ecuación 4 se denomina la ley del producto de confiabilidades; esta ecuación es aplicable a los sistemas cuya relación operacional es en serie o componentes en relación operativa independiente. En lo que respecta a la aplicación de esta fórmula para el cálculo de confiabilidades, como se trata de un sistema con una relación operacional en serie y sus componentes son independientes, se debe obtener la confiabilidad general del sistema y posteriormente elevarla a un exponente el cual su valor es directamente proporcional al número de elementos constituyentes del sistema.

Se debe tener claro, que la cantidad obtenida del cálculo de esta potencia debe cumplir la siguiente desigualdad $C_s \leq 1$, ya que lo que se está calculando es una probabilidad. En el ejemplo 1 se ilustra el cálculo de la Confiabilidad de un Sistema en Serie (C_s) para un sistema en serie de componentes independientes.

Ejemplo 1

En una última inspección de un tren de 7 compresores cuya relación operacional es en serie e independientes entre si, la confiabilidad de los mismos es 0,850. Se pide, calcular la confiabilidad del sistema, si el numero de compresores inspeccionados se eleva a 10, ¿Cuál será la confiabilidad del sistema?

Solución:

a) Se calcula la confiabilidad para los 7 compresores:

$$C_s = (0,850)^7 = 0,3206$$

b) Se calcula ahora la confiabilidad ahora para 10 compresores:

$$C_s = (0,850)^{10} = 0,1969$$

Análisis: como se puede observar para un sistema en serie independiente, la confiabilidad del mismo disminuye al incrementarse el número de elementos constitutivos del mismo.

El principal problema operativo de los sistemas industriales en serie es su interdependencia; una alternativa para aumentar la confiabilidad de los sistemas, la cual es, el reemplazo de componentes similares conectados en paralelo.

Ahora bien, un sistema en paralelo que tiene n componentes fallará si y solo si los n componentes fallan; de esta se puede introducir una nueva expresión que complementa el concepto probabilístico de la confiabilidad, este concepto se conoce en la jerga de la gestión de mantenimiento como la “desconfiabilidad” o la “no confiabilidad” de un sistema, siendo la expresión que identifica la siguiente:

Ecuación 5:

$$D_p = \prod_{i=1}^n C_i$$

Donde, D_p es la desconfiabilidad o no confiabilidad en paralelo y C_i es la confiabilidad del iésimo componente.

De esta manera, se puede representar la expresión de confiabilidad, con base en la Ecuación 5, en la nueva expresión de la confiabilidad, será:

Ecuación 6

$$C_p = 1 - D_p$$

Donde, C_p es la confiabilidad en paralelo y D_p es la desconfiabilidad o no confiabilidad en paralelo.

También se puede expresar la confiabilidad de los sistemas en paralelo en función de la ley de productos, mediante la siguiente expresión:

Ecuación 7

$$C_p = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - C_i)$$

Donde, C_p es la confiabilidad en paralelo y $(1 - C_i)$ es la desconfiabilidad o no confiabilidad en paralelo del iésimo componente.

Ejemplo 2

Si se encuentran en funcionamiento 8 bombas rotodinámicas, donde las bombas A, B, H se encuentran bajo relación operacional en serie (ver figura 2) y sus confiabilidades son 0,83; 0,62; 0,77 respectivamente. Las bombas C, D, E, F, G se encuentran bajo relación operacional en paralelo (ver figura 2) siendo sus confiabilidades 0,85; 0,85; 0,85; 0,95; 0,95 respectivamente. Calcular la confiabilidad del sistema.

Solución:

- a) Se calcula la confiabilidad para las bombas C, D, E, cuya relación operacional es en paralelo:

$$C_{p1} = 1 - \prod_{i=1}^3 (1 - C_i) = 1 - (1 - 0,85)^3 = 1 - (0,15)^3 = 1 - 0,003375 = 0,9966$$

- b) Se calcula ahora la confiabilidad de las bombas F y G:

$$C_{p2} = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - C_i) = 1 - (1 - 0,95)^2 = 1 - (0,05)^2 = 1 - 0,0025 = 0,9975$$

- c) Se calcula la confiabilidad para todo el sistema de bombas:

$$C_s = \prod_{i=1}^5 C_i = C_A \times C_B \times C_{p1} \times C_{p2} \times C_H$$

$$C_s = (0,83) \times (0,62) \times (0,9966) \times (0,9975) \times (0,77)$$

$$C_s = 0,39$$

Análisis: en base a los resultados anteriores, se puede concluir, que a medida que la cantidad de n componentes de un sistema industrial aumentan, la confiabilidad del mismo decrece, ya que la interdependencia directa o indirecta entre se hace más compleja, esto se hace más evidente cuando existen componentes en serie en el sistema, por lo que se recomienda diseñar o sustituirlos con arreglos operacionales en paralelo, con lo que se logra disminuir la interdependencia entre ellos.

4.2) Establecer relaciones teórico-prácticas de la confiabilidad con respecto al análisis de fallas en elementos y sistemas industriales.

Una falla en un sistema industrial se puede entender como una desviación en las condiciones normales de operación del mismo, también, se puede definir como la condición inesperada que se manifiesta en un tiempo dado la cual afecta el rendimiento operacional de un sistema o equipo industrial, la cual le impide que cumpla con las funciones para el cual fue diseñado. De esta manera, empíricamente, se puede discernir, que un sistema o equipo industrial, al ponerse en funcionamiento u operación, su confiabilidad es cercana al 100%, pero al transcurrir cierto tiempo de funcionamiento, esta confiabilidad empírica empieza a disminuir. Ahora bien, ¿cómo explicar esta condición característica, de una forma más objetiva?, ¿se podrá predecir el momento de una falla? ¿existirá una ecuación donde se pueda expresar a la falla de forma cuantitativa?

Para darles respuesta a las interrogantes anteriores, primero, se debe tomar como punto de referencia, el momento en que un sistema u equipo haya entrado en operación o funcionamiento y después establecer cómo se manifestarán posteriormente a “su puesta en servicio” la(s) falla(s) durante la vida útil de mismo. Una alternativa práctica para caracterizar como se distribuye una falla en el tiempo, es mediante la definición de la razón de falla instantánea; ahora bien si definimos a $f(t)$ como la densidad de probabilidad del tiempo de falla de un componente, es decir, esto significa la probabilidad

de que un componente falle en un periodo t y $t + \Delta t$ está dada por $f(t) \cdot \Delta t$, por consiguiente la probabilidad de que un componente falle en un intervalo de 0 a t será:

Ecuación 8

$$F(t) = \int_0^t f(x) dx$$

Ahora se puede expresar la función de la confiabilidad, en términos de que la misma exprese la probabilidad de que un sistema industrial, lleve a cabo la función para la cual fue diseñado hasta un tiempo t , mediante la siguiente expresión:

Ecuación 9

$$C(t) = 1 - F(t)$$

De esta manera la probabilidad que un componente de un sistema no lleve a cabo la función para el cual fue diseñado o que falle en un intervalo de t a $t + \Delta t$ vendrá dada por $F(t + \Delta t) - F(t)$. Ahora la probabilidad condicional de falla que significa el componente del sistema sobrevivió hasta un tiempo t , se expresa como:

Ecuación 10

$$\frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{C(t)}$$

Otra expresión útil en la Gestión de Mantenimiento es la razón promedio de falla dentro de un intervalo $t + \Delta t$, esto se obtiene dividiendo la ecuación 10 entre Δt y se obtiene:

Ecuación 11

$$\frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot C(t)^{-1}$$

De igual manera un indicador operativo en el área del mantenimiento industrial, es conocer la denominada razón instantánea de falla, esto se logra tomando el límite cuando $\Delta t \rightarrow 0$, obteniendo la siguiente expresión:

Ecuación 12

$$Z(t) = \frac{F'(t)}{C(t)}$$

Donde $F'(t)$ representa a la derivada de $F(t)$ con t respecto a t

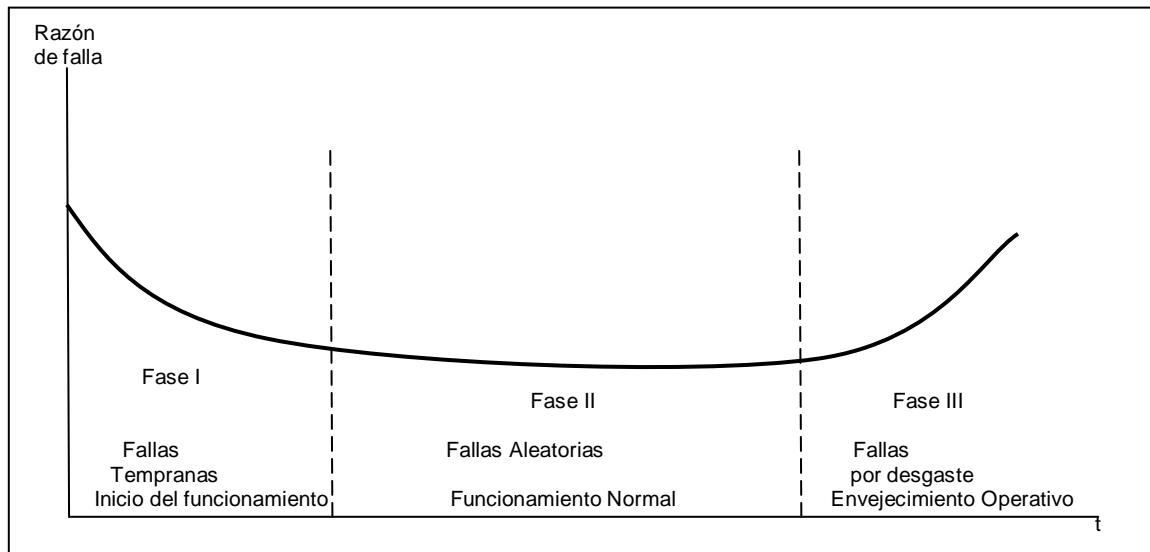
La ecuación que permite establecer cómo se distribuyen los tiempos de falla, ya que esto nos permitirá predecir cuál es el tipo de falla que se manifestará durante la vida del componente o sistema industrial, entonces la ecuación general para la función razón de falla es:

Ecuación 13

$$Z(t) = \frac{f(t)}{C(t)} = \frac{f(t)}{1-F(t)}$$

En el apartado 2.1 se mostraron las distintas expresiones de falla más frecuentes usadas en ingeniería, estableciendo también, que si se conoce como se comporta una falla en el tiempo durante distintos momentos operativos, es decir si conocemos como es el comportamiento de falla en función del tiempo, podemos determinar, en que etapa operativa se encuentra un componente o sistema industrial. La vida útil operativa, se puede representar de manera grafica, mediante una curva de vida operativa, la cual se presenta a continuación.

Figura 3: Curva de vida operativa de un componente o sistema industrial (Fuente: Nava).



En la figura 3 las distintas fases de vida útil aplicable a tanto a elemento como a un sistema industrial, en función de la razón de falla y el tiempo de funcionamiento u operación; esto es si conocemos la razón de falla en un tiempo establecido, se podrá establecer en cual fase de vida útil se encuentran los mismos.

Analizando mas detalladamente la figura 3, las fallas tempranas o fallas de mortalidad infantil se manifiestan al principio de la vida útil, estas fallas se deben principalmente a problemas con la alimentación energética,

cimentación, nivelación, temperatura del ambiente de operación, entre otras la cuales se subsanan con acciones de calibración generalmente.

En la fase de operación, el tipo de fallas que se manifiestan son las fallas aleatorias, las cuales su causa generalmente son, la operación indebida, la sobrecarga en la capacidad de producción, los cambios constantes en las condiciones de funcionamiento, entre otras. La fase III de funcionamiento de un componente o sistema industrial, conocida en la jerga del mantenimiento industrial como fase de envejecimiento, se manifiestan fallas características denominadas, fallas por desgaste, son consecuencia del desgaste, envejecimiento o pérdida de funcionalidad de los elementos constitutivos de un sistema industrial y también por el exceso de uso o desuso o abuso de componentes o sistemas industriales.

4.3) Formular procedimientos teorico-practicos, basados en herramientas estadísticas para la resolución de problemas de análisis de fallas en elementos y sistemas industriales.

La detección de fallas en cualquier fase operativa de un componente o sistema industrial, es uno de los problemas más frecuentes en la gestión de mantenimiento moderna, en el apartado 2.1 se mostraban las ecuaciones, razones y expresiones matemáticas más frecuentes para el análisis de fallas en sistemas industriales, pero los resultados obtenidos mediante estas herramientas cuantitativas no son objetivas ni confiables, ya que se son necesarios una innumerables cantidad de datos numéricos y una metodología compleja para la recolección de los mismos.

Es por ello que en gestión de mantenimiento moderna se utilizan herramientas estadísticas probabilísticas, con la finalidad de disminuir el grado de incertidumbre en los resultados y resumir la cantidad de datos numéricos a recolectar, entre las herramientas estadísticas más usadas en la

gestión de mantenimiento son: la distribución de Poisson, la distribución de Gauss, la distribución exponencial y la distribución de Weibull.

4.3.1) Análisis de Fallas Utilizando Como Herramienta La Distribución de Poisson.

Es una distribución probabilística de tipo discreta, también conocida como la “Distribución de los Sucesos Raros”, debido a que es aplicable a sucesos o manifestaciones de falla (en este caso), cuya probabilidad de ocurrencia en está muy cerca de cero, es decir el producto de n (numero de ensayos o tamaño de la muestra) y p (probabilidad favorable) sea menor a 5, es decir $np < 5$. La ecuación para el cálculo de la probabilidad de Poisson se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 14

$$P_{(x)} = \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{X!}$$

Donde:

λ : Media aritmética de Poisson ($np = \lambda$)

e : 2,7118

$X!$: Factorial de los casos favorables.

Ejemplo 3

La probabilidad de que un compresor falle durante su funcionamiento es 1 por cada 1000 compresores, cuál será la probabilidad de que dentro de un total de 3000 compresores, a) fallen solo 3; b) fallen más de 2.

(Continúa en la siguiente pagina)

Solución:

Incógnitas :

a) $P_{(x=3)} = ?$

b) $P_{(x= 3,4,5,6,\dots,3000)} = ?$

Datos:

- ❖ Calculamos la probabilidad favorable p la cual está implícita dentro del enunciado:

$$p = 1/1000 = 0,001$$

- ❖ Buscamos la probabilidad contraria q despejándola de la expresión $p + q = 1$

$$q = 1 - p = 1 - 0,01 = 0,99$$

- ❖ Otros datos necesarios:

$$\begin{array}{l} n = 3000 \\ x = 3 \end{array}$$

- ❖ Buscamos la media aritmética de Poisson (λ):

$$\lambda = np = (3000)(0,001) = 3$$

Como $np < 5$ se puede aplicar la Distribución de Poisson

Resultados:

a) $P_{(x=3)} = ?$

$$P_{(x=3)} = \frac{(3^3) \cdot (e^{-3})}{(3!)} = \frac{(27) \cdot (0,0498)}{6} = \frac{1,344251}{6} = 0,224 = 22,4\%$$

Análisis: la probabilidad de que dentro de un total de 3000 compresores fallen solo 3 es de 22,4%

$$b) P_{(x=3,4,5,6,\dots,3000)} = ?$$

Observación: Como la cantidad de compresores es muy alta, se tardaría mucho realizando estos cálculos, una alternativa práctica para este caso es calcular la probabilidad contraria donde $x = 0, 1, 2$ de la siguiente manera:

$$P_{(x)} = \sum_{x=0}^2 \frac{\lambda^x \cdot e^{-\lambda}}{X!}$$

$$P_{(x=0)} = \frac{(3^0) \cdot e^{-3}}{0!} = \frac{(1) \cdot (0,0498)}{1} = 0,0498$$

$$P_{(x=1)} = \frac{(3^1) \cdot e^{-3}}{1!} = \frac{(3) \cdot (0,0498)}{1} = 0,1494$$

$$P_{(x=2)} = \frac{(3^2) \cdot e^{-3}}{2!} = \frac{(1) \cdot (0,0498)}{2} = 0,0249$$

Se calcula ahora la probabilidad contraria:

$$P_{(x=0,1,2)} = P_{(x=0)} + P_{(x=1)} + P_{(x=2)}$$

$$P_{(x=0,1,2)} = (0,0498) + (0,1494) + (0,0249)$$

$$P_{(x=0,1,2)} = 0,2241$$

Buscamos ahora la probabilidad de falla para más de 3 compresores:

$$P_{(x=3,4,5,6,\dots,3000)} = 1 - P_{(x=0,1,2)}$$

$$P_{(x=3,4,5,6,\dots,3000)} = 1 - 0,2241$$

$$P_{(x=3,4,5,6,\dots,3000)} = 0,7759 = 77,59\%$$

Análisis: la probabilidad de que fallen más de 2 compresores es del 77,59%

4.3.2) Análisis de Fallas Utilizando Como Herramienta La Distribución de Bernoulli.

También conocida como la Distribución Binomial, es una herramienta útil en el campo de la Gestión de Mantenimiento, en aplicaciones de análisis de fallas, en específico cuando se está ante la presencia de una gran cantidad de elementos de un sistema industrial, tomándose de estos una muestra para calcular la probabilidad de cantidad de fallas que pudiesen manifestarse dentro de un tiempo operativo determinado.

La manera práctica de aplicar esta distribución en el área de Gestión de Mantenimiento es mediante el siguiente enunciado:

Ecuación 15

$$P(x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x}$$

Donde:

$P_{(x)}$: Probabilidad de ocurrencia.

$$\binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$$

n: Número de ensayos.

p: probabilidad favorable en un solo ensayo.

q: probabilidad de no contraria en un solo ensayo.

Ejemplo 4

En una reciente inspección realizada a una banda transportadora, se determinó que el 25% de los rodamientos que conforma la mencionada banda presentan fallas. Posteriormente se tomó una muestra de 10 rodamientos. Calcular: a) La probabilidad de que 5 rolineras presenten fallas; b) La probabilidad de más de 2 rolineras presenten fallas; c) la probabilidad de que por lo menos una presente fallas.

Solución:

Incógnitas :

- a) $P_{(x=5)} = ?$
- b) $P_{(x= 3,4,5,6,.....10)} = ?$
- c) $P_{(x= 1,4,5,6,.....10)} = ?$
- d) $P_{(x=5)} = ?$

Datos:

$$p = 25/100 = 0,25$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,25 = 0,75$$

$$n = 10$$

$$X = 5$$

Ahora aplicamos la ecuación de Bernoulli:

$$P_{(x=5)} = \left[\begin{matrix} 10 \\ 5 \end{matrix} \right] \cdot (0,25)^5 \cdot (0,75)^{10-5} \Rightarrow$$

$$P_{(x=5)} = \frac{(10!)}{(5!) (10-5)!} \cdot (0,00097657) \cdot (0,2373) \Rightarrow$$

$$P_{(x=5)} = \frac{(3.628.800)}{(120) (120)} \cdot (0,00023174) \Rightarrow$$

$$P_{(x=5)} = (252) \cdot (0,00023174) \Rightarrow$$

$$P_{(x=5)} = 0,0584 \quad \text{(Continua en la siguiente pagina)}$$

$$P_{(x=5)} = 0,0584 \cdot 100 = 5,84\%$$

Análisis: Existe una probabilidad del 5,84% de que 5 rolineras presenten fallas.

$$b) P_{(x= 3,4,5,6,.....10)} = ?$$

Datos:

$$p = 25/100 = 0,25$$

$$q = 1 - p = 1 - 0,25 = 0,75$$

$$n = 10$$

$$X = 5$$

Observación: en este caso en particular hay que calcular la probabilidad desde 3 hasta 20, esto resulta muy extenso, una alternativa practica es, calcular la probabilidad para cero, una y dos rolineras y posteriormente la probabilidad contraria.

$$P_{(x=0)} = \begin{bmatrix} 10 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot (0,25)^0 \cdot (0,75)^{10-0} \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = \frac{(10!)}{(0!) (10-0)!} \cdot (1) \cdot (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = \frac{(3.628.800)}{(0!) (10-0)!} \cdot (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = \frac{(3.628.800)}{(1) (3.628.800)} \cdot (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = (1) \cdot (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = 0,05631 \times 100 = 5,631 \%$$

$$P_{(x=1)} = \begin{bmatrix} 10 \\ 1 \end{bmatrix} \cdot (0,25)^1 \cdot (0,75)^{10-1} \Rightarrow$$

$$P_{(x=1)} = \frac{(10!)}{(1!) (10-1)!} \cdot (0,25) \cdot (0,07508) \Rightarrow$$

$$P_{(x=1)} = \frac{(3.628.800)}{(1) (362.880)} \cdot (0,01877) \Rightarrow$$

$$P_{(x=1)} = (10) \cdot (0,01877) \Rightarrow$$

$$P_{(x=1)} = (0,1877) \Rightarrow$$

$$P_{(x=1)} = 0,1877 \times 100 = 18,77 \%$$

$$P_{(x=2)} = \binom{10}{2} \cdot (0,25)^2 \cdot (0,75)^{10-2} \Rightarrow$$

$$P_{(x=2)} = \frac{(10!)}{(2!) (10-2)!} \cdot (0,0625) \cdot (0,1) \Rightarrow$$

$$P_{(x=2)} = \frac{(3.628.800)}{(2) (40.320)} \cdot (0,00625) \Rightarrow$$

$$P_{(x=2)} = (45) \cdot (0,00625) \Rightarrow$$

$$P_{(x=2)} = (0,28125) \Rightarrow$$

$$P_{(x=2)} = 0,28125 \times 100 = 28,125 \%$$

Ahora calculamos probabilidad contraria sumando las probabilidades halladas anteriormente:

$$P(q) = P_{(x=0,1,2)} = P_{(x=0)} + P_{(x=2)} + P_{(x=3)} \Rightarrow$$

$$P(q) = P_{(x=0,1,2)} = 0,05631 + 0,1877 + 0,28125 \Rightarrow$$

$$P(q) = P_{(x=0,1,2)} = 0,52526$$

Buscamos ahora la probabilidad de que fallen más de dos rodamientos mediante la ecuación de la probabilidad contraria:

$$P_{(x=3,4,5,6,\dots,10)} = 1 - 0,52526 = 0,4748$$

$$P_{(x=3,4,5,6,\dots,10)} = 0,4748 \times 100 = 47,48\%$$

Análisis: Existe una probabilidad del 47,48% de que mas de 2 rolineras presenten fallas (Continua en la siguiente pagina).

c) $P_{(x=1,4,5,6,\dots,10)}=?$

Observación: para hallar la probabilidad de que al menos un rodamiento falle dentro de un universo de 10 rodamientos, se deben calcular las probabilidades desde 1 hasta 10, es decir:

$$P(x) = \sum_{x=0}^{10} \binom{n}{k} p^x q^{n-x}$$

Observación: Esto resultaría en un procedimiento demasiado largo, debido a la cantidad de cálculos que conlleva, una alternativa es calcular la probabilidad de que no falle ninguno de los rodamientos es decir $P_{(x=0)}$, que en este caso es la probabilidad contraria y después calcular la probabilidad de que falle por lo menos uno usando la siguiente expresión:

$$P_{(x=1,4,5,6,\dots,10)} = 1 - P_{(x=0)}$$

$$P_{(x=0)} = \left[\begin{matrix} 10 \\ 0 \end{matrix} \right] \cdot (0,25)^0 \cdot (0,75)^{10-0} \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = \frac{(10!)}{(0!) (10-0)!} \cdot (1) \cdot (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = \frac{(3.628.800)}{(0!) (10-0)!} \cdot (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = \frac{(3.628.800)}{(1) (3.628.800)} \cdot (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = (1) \cdot (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = (0,05631) \Rightarrow$$

$$P_{(x=0)} = 0,05631 \times 100 = 5,631 \% \quad (\text{Continua en la siguiente pagina})$$

Ahora buscamos la probabilidad de que por lo menos falle un rodamiento:

$$P_{(x=1,4,5,6,\dots,10)} = 1 - P_{(x=0)} \Rightarrow$$

$$P_{(x=1,4,5,6,\dots,10)} = 1 - 0,05631 \Rightarrow$$

$$P_{(x=1,4,5,6,\dots,10)} = 0,94369 \Rightarrow$$

$$P_{(x=1,4,5,6,\dots,10)} = 0,94369 \times 100 = 94,369\%$$

Análisis: Existe una probabilidad del 94,369% de que por lo menos un rodamiento presente fallas.

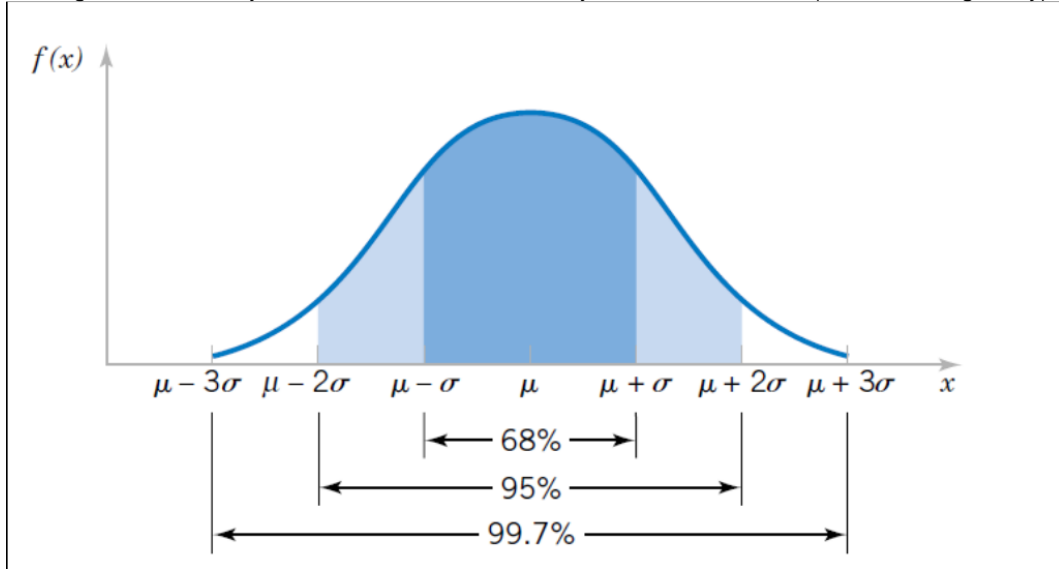
4.3.3) Análisis de Fallas Utilizando Como Herramienta La Distribución de Gauss.

También conocida como la Distribución Normal, esta herramienta de la estadística es muy útil, cuando se requiere conocer del tiempo en donde existe la probabilidad de que una falla se manifieste, en un elemento o sistema industrial, de las aplicaciones de esta distribución radica principalmente en que conocido el tiempo medio de vida útil (dato suministrado por el fabricante) y un y la desviación típica, la cual viene determinado por la severidad del régimen operativo que se le dé al elemento o sistema industrial en estudio.

La Distribución de Gauss es también útil, ya puede visualizar de que tanto se alejan o se acercan los datos del tiempo medio de vida útil o a la mayor densidad de probabilidad de falla.

La grafica de la Distribución de Gauss presenta una forma acampanada (Figura 4), donde bajo el punto máximo de la curva, es en donde se concentran la mayor cantidad de datos, que en este caso representa el punto máximo de vida útil de un elemento o sistema industrial y es en donde existe la probabilidad de que se manifiesten las fallas operativas en mayor numero o densidad.

Figura 4: Porcentaje De Densidad de Datos Debajo la Curva de Gauss (Fuente: Montgomery).



Para el cálculo de la probabilidad de tiempos de falla usando la distribución de Gauss, se ha de hallar primero una variable tipificada Z la cual representa un área bajo la curva, esta variable tipificada viene dada por la siguiente expresión:

Ecuación 16

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

Donde:

Z : Variable tipificada.

X : Tiempo de operación a estudiar.

\bar{X} : Tiempo de operación promedio.

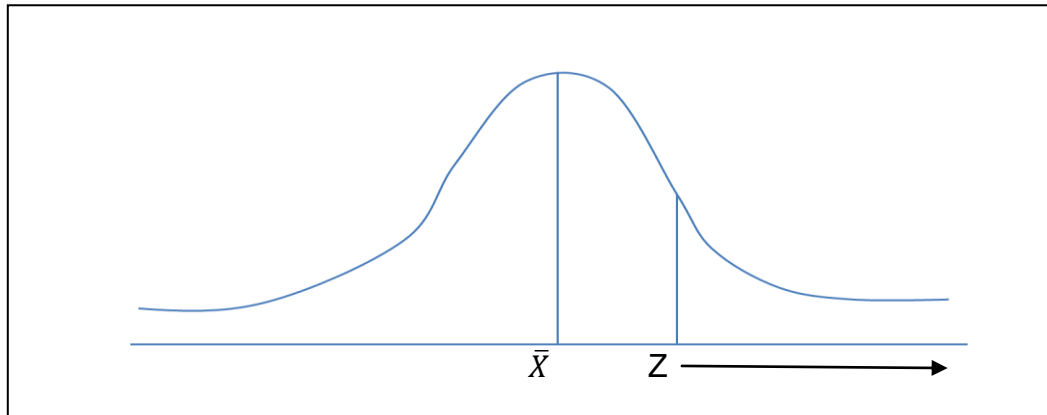
σ : Desviación típica.

Una vez hallada la(s) variable(s) tipificada, se procede mediante el uso de la Tabla 1 (ver anexos), a hallar la probabilidad asociada a dicha variable, esto es, entrando por la primera columna de la izquierda con el valor entero y su primera cifra significativa de Z hallados y posteriormente desplazándose

hacia la derecha hasta hallar la segunda cifra significativa de Z , la cifra que corresponde a la intersección de ambos desplazamientos es la probabilidad correspondiente al área bajo la curva de Gauss. Cabe destacar que el cálculo de probabilidades de tiempos de fallas puede ser con respecto a un tiempo operativo individual, o a dos tiempos establecidos de operación, por ende, el cálculo de la probabilidad o probabilidades puede variar entre condicionamientos tales como:

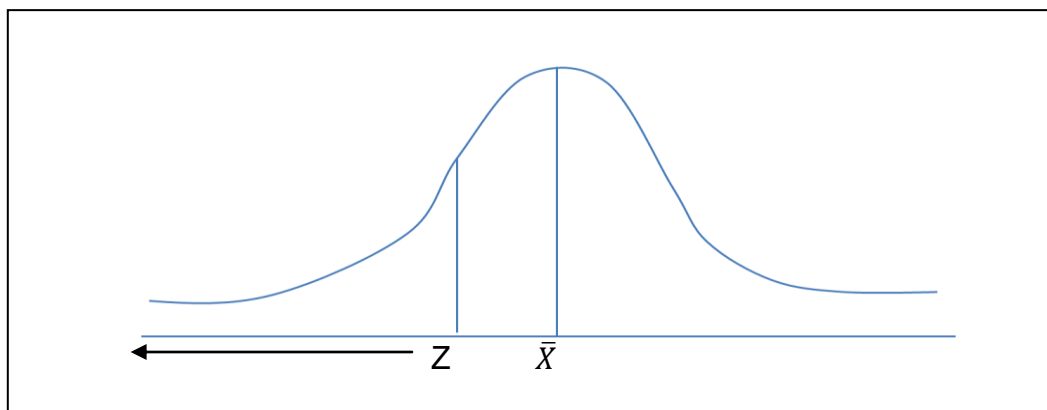
- a) Tiempos operativos superiores a un tiempo operativo menor que un tiempo operativo promedio ($Z > \bar{X}$) :

Figura 5: Grafica de tiempo operativo superior al promedio (Fuente: Autor).



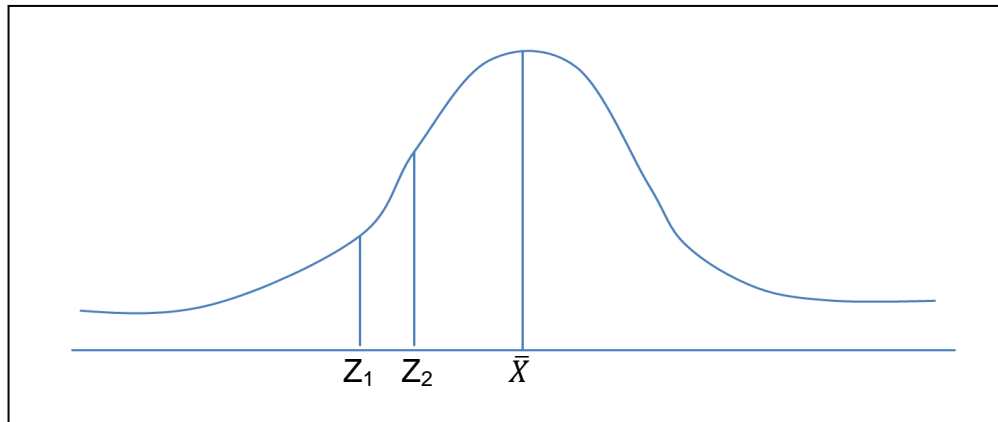
- b) Tiempos operativos inferiores a un tiempo operativo promedio ($Z < \bar{X}$) :

Figura 6: Grafica de tiempo operativo inferior al promedio (Fuente: Autor).



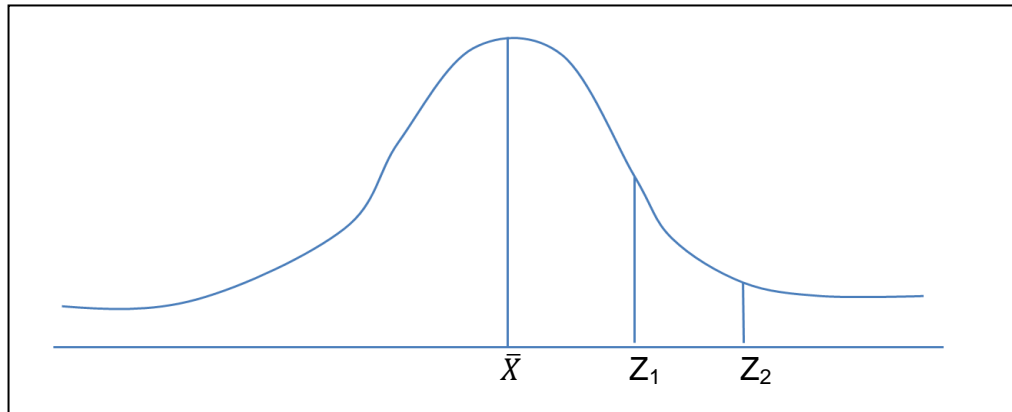
- c) Dos tiempos operativos inferiores a un tiempo operativo promedio ($Z_1, Z_2 < \bar{X}$):

Figura 7: Grafica de dos tiempos operativos inferiores al promedio (Fuente: Autor).



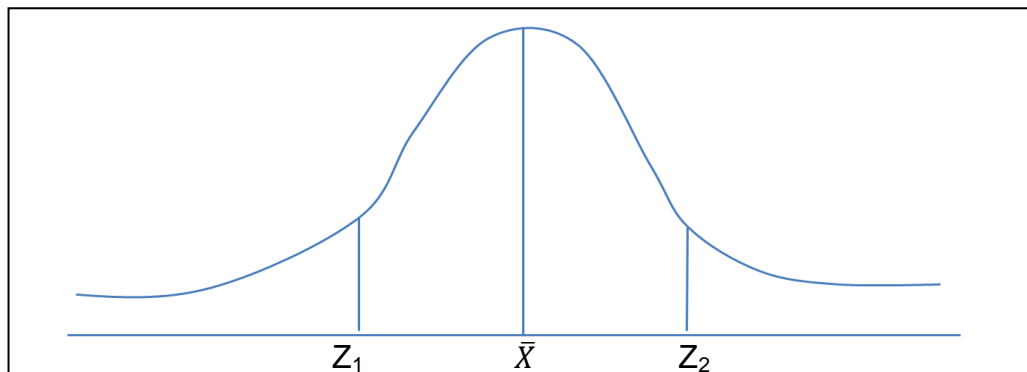
- d) Dos tiempos operativos superiores a un tiempo operativo promedio ($Z_1, Z_2 > \sigma$):

Figura 8: Grafica de dos tiempos operativos superiores al promedio (Fuente: Autor).



- e) Un tiempo operativo menor y otro mayor a un tiempo operativo promedio ($Z_1 \leq \sigma \leq Z_2$):

Figura 9: Grafica de dos tiempos operativos menor y otro mayor promedio (Fuente: Autor).



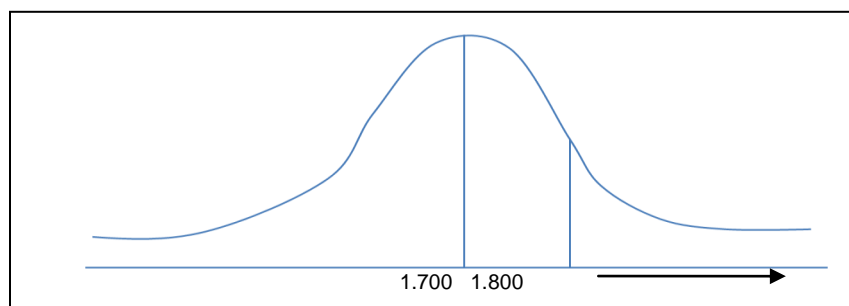
Ejemplo 5

Las fallas súbitas de 80 bombas rotodinámicas se distribuyen normalmente con una $\bar{X} = 1.700$ horas de operación continua, y una desviación típica de $\sigma = 130$ horas. El supervisor de mantenimiento pide que se reporte lo siguiente:

- a) La probabilidad de una bomba falle en un tiempo de operación continua superiores a 1.800 horas de operación continua.
- b) ¿Cuántas de las 80 bombas fallaran en tiempos superiores a 1.800 horas de operación?
- c) La probabilidad de que una bomba falle en tiempos inferiores a 1.250 horas de operación.
- d) ¿Cuántas de las 80 bombas fallaran en tiempos inferiores a 1.250 horas de operación?
- e) La probabilidad de que una bomba falle en tiempos de operación comprendidos entre 1.500 y 1.750 horas de operación.
- f) ¿Cuántas de las 80 bombas fallaran en tiempos de operación comprendidos entre 1.500 y 1.750 horas de operación?
- g) La probabilidad de una bomba falle en tiempos de operación comprendidos entre 1.250 y 1.500 horas de operación.
- h) ¿Cuántas de las 80 bombas fallaran en tiempos de operación comprendidos entre 1.250 y 1.500 horas de operación?

Solución:

- a) $p(> 1.800 \text{ h}) = ?$



Buscamos la variable tipificada:

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} = \frac{1.800 - 1.700}{130} = \frac{100}{130} = 0.76$$

Para $Z = 0,76$ corresponde por la tabla 1 un valor de 0,2764

Para hallar el valor de la probabilidad o el área bajo la curva de Gauss, en este caso se ubica en la primera columna de la tabla 1 el número 0,7 desplazándonos de abajo hacia arriba de la misma columna, una vez ubicado el número, nos desplazamos horizontalmente hasta hallar la segunda cifra significativa de Z que en este caso es el número 6, estas posiciones se interceptan y el número resultante de esta intersección es 0,2764.

El número 0,2764 representa el área bajo la curva de Gauss, desde el tiempo promedio hasta un lado de la curva, se obtiene un área superior a las 1.800 horas operativas, restándole 0,5: (Continúa en la siguiente página)

$$p(>1.800) = 0,5 - 0,274 = 0,226$$

$$p(>1.800) = 22,6 \%$$

La probabilidad de una bomba falle en un tiempo de operación continua superior a 1.800 horas de operación continua es 22,6 %

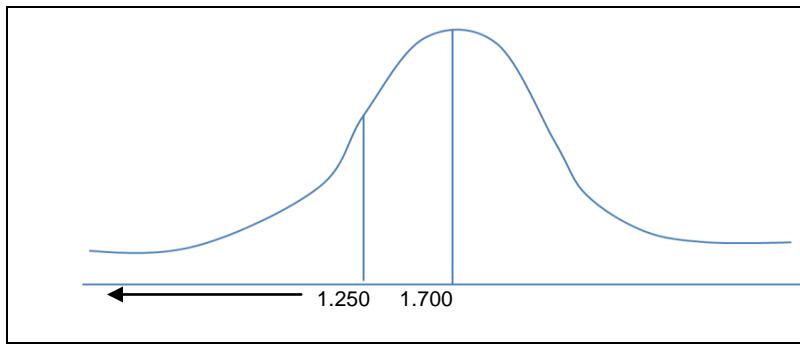
b) ¿Cuántas de las 80 bombas fallaran en tiempos superiores a 1.800 horas de operación?

Para hallar el número de bombas que dentro de un universo de 80 fallaran en tiempos operativos superiores a 1.800 horas se recomienda usar la siguiente relación: (Continúa en la siguiente página)

N ----- 1	80-----1
X----- p	X----- 0,226
$X = \frac{80 \times 0,226}{1} = 18,08$	

El número de bombas que presentaran fallas en tiempos operativos superiores a 1.800 horas de operación continua son 18 bombas.

c) $p(< 1.250 \text{ h}) = ?$



Buscamos la variable tipificada:

$$Z = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} = \frac{1.250 - 1.700}{130} = \frac{-450}{130} = -3,76$$

Para $Z = -3,76$ corresponde por la tabla 1 un valor de 0,4999, el signo negativo significa que está ubicado a la izquierda del tiempo promedio operativo. El número 0,4999 representa el área bajo la curva de Gauss, desde el tiempo promedio hasta un lado de la curva, se obtiene un la probabilidad a las 1.250 horas operativas, restando 0,5:

$$p(>1.800) = 0,5 - 0,4999 = 0,0001$$

$$p(>1.800) = 0,01\%$$

La probabilidad de una bomba falle en un tiempo de operación continua inferior a 1,250 horas de operación continua es 0,01 %

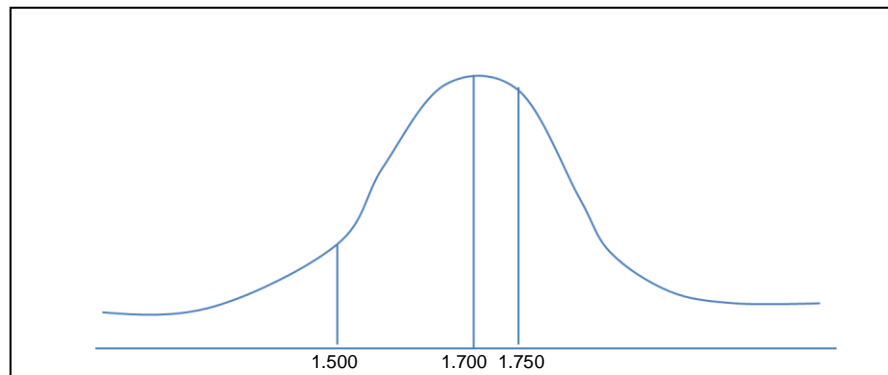
d) ¿Cuántas de las 80 bombas fallaran en tiempos inferiores a 1.250 horas de operación?

Para hallar el número de bombas que dentro de un universo de 80 fallaran en tiempos operativos inferiores a 1.250 horas se recomienda usar la siguiente relación:

$N \text{ ----- } 1$ $X \text{ ----- } p$	$80 \text{ ----- } 1$ $X \text{ ----- } 0,0001$
$X = \frac{80 \times 0,0001}{1} = 0,008$	

El número de bombas que presentaran fallas en tiempos operativos inferiores a 1.250 horas de operación continua son 0,008 bombas, este valor se puede interpretar como la evidencia de que ninguna bomba fallara en tiempos operativos menores a 1.250, es decir existe una alta confiabilidad operativa.

f) $(1.500 \leq 1.700 \leq 1.750) = ?$



Buscamos las variables tipificadas, ya que en este caso se necesita ubicar la probabilidad o área bajo la curva entre dos tiempos operativos.

$$Z_1 = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} = \frac{1.500 - 1.700}{130} = \frac{-200}{130} = -1,54$$

$$Z_2 = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} = \frac{1.750 - 1.700}{130} = \frac{50}{130} = 0,38$$

Para $Z_1 = -1,54$ corresponde por la tabla 1 un valor de 0,4382 el signo negativo significa que está ubicado a la izquierda del tiempo promedio operativo. Para $Z_2 = 0,38$ corresponde por la tabla 1 un valor de 0,1480. Ahora, la probabilidad entre 1.500 y 1750 horas operativas, se obtiene sumando las probabilidades o áreas bajo la curva de Z_1 y Z_2 :

$$p(1.500 \leq 1.700 \leq 1.750) = 0,4382 + 0,1480 = 0,5862 = 58,62\%$$

La probabilidad de una bomba falle entre tiempos de operación de entre 1.500 y 1.750 horas de operación continua es 58,62%.

g) ¿Cuántas de las 80 bombas fallaran en tiempos de operación comprendidos entre 1.500 y 1.750 horas de operación?

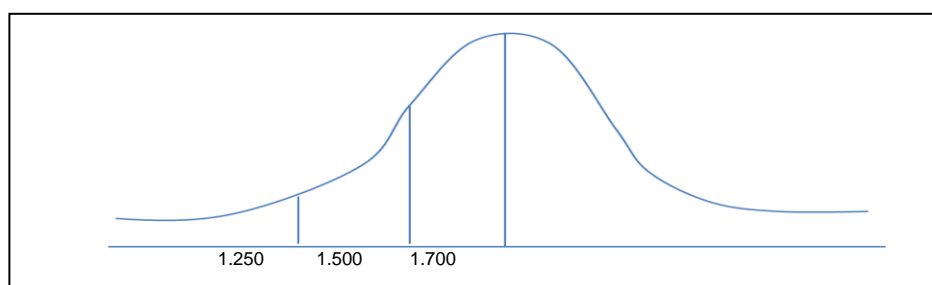
Para hallar el número de bombas que dentro de un universo de 80 fallaran en tiempos operativos de entre 1.500 y 1.750 horas se recomienda usar la siguiente relación: (Continúa en la siguiente página)

N ----- 1	80-----1
X----- p	X----- 0,5862

$$X = \frac{80 \times 0,58962}{1} = 47,1696$$

El número de bombas que presentaran fallas en tiempos operativos de entre 1.500 y 1.750 horas de operación continua son 47 bombas.

h) La probabilidad de una bomba falle en tiempos de operación comprendidos entre 1.250 y 1.500 horas de operación.



Buscamos las variables tipificadas, ya que en este caso se necesita ubicar la probabilidad o área bajo la curva entre dos tiempos operativos.

$$Z1 = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} = \frac{1.250 - 1.700}{130} = \frac{-450}{130} = -3,46$$

$$Z2 = \frac{X - \bar{X}}{\sigma} = \frac{1.500 - 1.700}{130} = \frac{-200}{130} = -1,54$$

Para $Z_1 = -3,46$ corresponde por la tabla 1 un valor de 0,4997, y para $Z_2 = -1,54$ corresponde un valor de 0,4382, la probabilidad entre tiempos operativos de entre 1.250 y 1.500 horas operativas continuas se obtiene restando las probabilidades o áreas bajo la curva, obtenidas para las variables tipificadas Z_1 y Z_2 :

$$p(1.250 \text{ y } 1.500) = 0,4997 - 0,4382 = 0,0615$$

La probabilidad de una bomba falle entre tiempos de operación de entre 1.250 y 1.500 horas de operación continua es 6,15%.

i) ¿Cuántas de las 80 bombas fallaran en tiempos de operación comprendidos entre 1.250 y 1.500 horas de operación?

Para hallar el número de bombas que dentro de un universo de 80 fallaran en tiempos operativos de entre 1.250 y 1.500 horas se recomienda usar la siguiente relación:

N ----- 1	80-----1
X----- p	X----- 0,0615

$$X = \frac{80 \times 0,0615}{1} = 4,92$$

El número de bombas que presentaran fallas en tiempos operativos de entre 1.500 y 1.750 horas de operación continua son 5 bombas.

4.4) Definir un método práctico alternativo para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallas en elementos y sistemas industriales.

En ciertos casos, cuando se está ante la presencia de una muestra n muy grande y la probabilidad de manifestación de fallas esta cercana a cero, además los productos del tamaño de la muestra n y la probabilidad de ocurrencia p son superiores a 5; la distribución Bernoulli puede aproximarse a la distribución de Gauss, debido a que esta aproximación facilita los cálculos a ejecutar, a continuación se presentan la disertación teórica para la mencionada aproximación. Sea p la probabilidad de ocurrencia o manifestación de falla y sea q la probabilidad de no ocurrencia de falla donde $q = 1 - p$. De igual manera sea n el tamaño de la muestra (la cual es muy grande) y x el(los) elemento(s) o sistema(s) industrial a estudiar, entonces si $np > 5$; la distribución de Bernoulli se puede aproximar a la distribución Normal o de Gauss.

Ejemplo:

Se conoce por los resultados de inspecciones con ultrasonido que el 12% de los bloques de motor producidos por una empresa, presentan irregularidades en el diámetro de los cilindros. El gerente de producción de la empresa necesita conocer cuál es la probabilidad de que de una muestra 700, más de 100 bloques de motor presenten irregularidades en el diámetro de los cilindros. (Continúa en la siguiente pagina)

Solución:

a) Datos:

➤ Probabilidad de ocurrencia:

$$p = 12/100 = 0,12$$

(Continúa en la siguiente pagina)

Probabilidad de no ocurrencia:

$$q = 1 - p = 1 - 0,12 = 0,88$$

➤ Tamaño de la muestra :

$$n = 700 \text{ Motores.}$$

➤ Variable de estudio:

$$X = 101, 102, 103, \dots, 700$$

➤ Buscamos la probabilidad de ocurrencia de falla:

$$p = 12/100 = 0,12$$

➤ Buscamos la probabilidad de no ocurrencia de falla:

$$q = 1 - p = 1 - 0,12 = 0,88$$

b) Aplicamos la distribución Bernoulli:

$$P_{(x)} = \binom{n}{x} = \frac{n!}{x!(n-x)!}$$

Sustituyendo los datos en la ecuación:

$$P_{(X = 101, 102, 103, \dots, 700)} = \sum_{x=101}^{700} \binom{n}{x} p^x q^{n-x}$$

La resolución de esta ecuación no sería práctica de resolver, así que en este caso, se comprueba si se puede relacionar con la distribución normal o de Gauss, de la siguiente manera: (Continúa en la siguiente página)

$$np = (700) \cdot (0,12) = 84$$

$$nq = (700) \cdot (0,88) = 616$$

Como $84 > 5$ y $616 > 5$, entonces la distribución de Bernoulli se puede relacionar con la distribución de Gauss, entonces se debe para esto se obtener la media aritmética y la desviación típica de la siguiente manera:

$$\bar{X} = np = (700) \cdot (0,12) = 84$$

$$\sigma = \sqrt{n \cdot p \cdot q} = \sqrt{(700) \cdot (0,12) \cdot (0,88)} = \sqrt{73,92} = 8,60 = 9$$

Ahora podemos aplicar la distribución de Gauss:

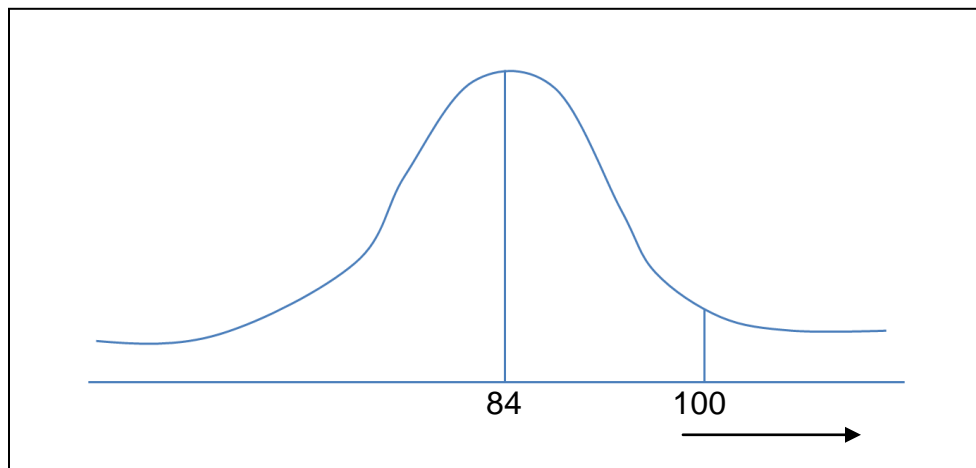
Datos:

$$\bar{X} = 84$$

$$\sigma = 9$$

$$X_1 = 100$$

$$P(> 100) = ?$$



Se calcula la variable tipificada:

$$Z_1 = \frac{X_1 - \bar{X}}{\sigma} = \frac{100 - 84}{9} = \frac{16}{9} = 1,77$$

Para la variable tipificada $Z_1 = 1,77$; corresponde un área bajo la curva o probabilidad de 0,4616 (por tabla 1); para obtener ahora la probabilidad de que más de 100 bloques de motor presenten irregularidades en el diámetro de los cilindros, se le suma al valor hallado 0,5:

$$P(> 100) = 0,5 + 0,4616 = 0,9616 = 96,19\%$$

Análisis: La probabilidad de que más de 100 bloques de motor presenten irregularidades en el diámetro de los cilindros es del 96,19%.

CONCLUSIONES

- Se caracterizó dentro de un contexto teórico la confiabilidad como variable operativa, en función de las ecuaciones de probabilidad de ocurrencia de fallas, estableciendo de esta forma un punto referencial para el posterior desarrollo práctico de este concepto.
- Se definió la confiabilidad para sistemas en serie y sistemas en paralelo, esto con la finalidad de establecer un enlace entre su caracterización teórica y el significado operativo de esta variable.
- El cálculo de la confiabilidad mediante el producto de confiabilidades, para sistemas en serie y paralelo, solo es útil si conocen previamente las confiabilidades de cada uno de los componentes del sistema y no toma en cuenta las características operativas de los mismos.
- Las herramientas estadísticas utilizadas para el cálculo de las probabilidades de manifestación de falla fueron basadas en las distribuciones de Poisson, Bernoulli, Gauss; ya que las mismas facilitan la definición de la naturaleza de un fenómeno operativo para elementos y sistemas industriales.
- La distribución de Poisson, es útil cuando en condiciones operativas ya establecidas la probabilidad de ocurrencia o manifestación de una falla es cercana a cero, esta distribución es aplicable a elementos y sistemas industriales donde la velocidad y la resistencia a los impactos son factores determinantes.
- La distribución de Bernoulli es útil dentro del campo del cálculo de la probabilidad de fallas, solo cuando la proporción de fallas dentro de un periodo operativo es constante para elementos y sistemas industriales cuya actividad operativa es rutinaria.

- La distribución de Gauss o distribución normal, es una herramienta estadística útil dentro del campo de la gestión de mantenimiento para determinar la probabilidad de manifestación de falla cuando el tiempo de operación es un factor determinante.
- El método práctico alternativo para el cálculo de la probabilidad de ocurrencia de fallas en elementos y sistemas industriales, se basó en la aproximación de la distribución de Bernoulli a la distribución de Gauss, ya que son casos frecuentes en la práctica encontrar muestras muy grandes.

RECOMENDACIONES

- Conceptos básicos de estadística tales como, frecuencia, frecuencia relativa, frecuencia absoluta, frecuencia acumulativa, intervalos de clases, razones, promedios, proporciones, concepto clásico y moderno de la probabilidad, entre otros, deben ser impartidos por el docente que administre la unidad curricular Gestión de Mantenimiento, antes de explicar la resolución de problemas prácticos para de probabilidad de fallas presentados en este trabajo de investigación.
- Otros indicadores operacionales tales como Mantenibilidad, Disponibilidad y Capacidad Efectiva de un sistema, son elementos importantes dentro de la línea de investigación número 3 del PNF en Higiene y Seguridad Laboral, por ende, el desarrollo teórico práctico de los mismos se hace imprescindible en futuros trabajos de investigación.
- El desarrollo en la aplicabilidad de herramientas estadísticas para futuros trabajos de investigación en esta materia, debe ser apoyado y respaldado por herramientas informáticas, ya que esto ampliara el espectro de aplicación en lo que respecta a una gran cantidad de datos numéricos.

BIBLIOGRAFÍA

ARIAS, F. 1999. *El proyecto de Investigación*. Editorial Epísteme Caracas.

BATISTA, L., HERNANDEZ, P. SAMPIERI, R. COLLADO, C., 2001 *Metodología de la Investigación*. Editorial McGraw Hill. México.

BAVARESCO, A. 2001. *Proceso Metodológico de la Investigación: como hacer un diseño de investigación*. Editorial EDILUZ. Maracaibo.

CANAVOS, G; 1998; *Probabilidad y Estadística, Aplicaciones y Métodos*. McGraw-Hill/ Interamericana de México.

HURTADO DE BARRERA, J. 2008. *El proyecto de investigación*. Fundación Sygal – Editorial Magisterio. Bogotá

HURTADO DE BARRERA, J. 2000. *Metodología de la Investigación Holística*. Sygal. Caracas.

IUETAEB BARQUISIMETO, IUTCABIMAS, IUT CUMANÁ. 2010. *Programa Nacional De Formación De Ingeniería En Higiene Y Seguridad Laboral (PNFHYSL) En El Marco De La Misión Alma Mater*; Ministerio del Poder Popular Para Educación Universitaria. Caracas.

MONTGOMERY, D. ; RUNGER, G. 2003. *Probabilidad y Estadística Aplicada Para Ingenieros*. McGraw-Hill/ Interamericana de México.

NAVA JOSÉ. 2004. *Teoría de Mantenimiento*. Universidad de los Andes. Consejo de Publicaciones. Venezuela.

MORA, A.; 2009; *Mantenimiento, Planeación, Ejecución y Control*; Editorial Alfaomega. México.

ZAMBRANO, SONY; LEAL, SANDRA. 2005. *Fundamentos Básicos de Mantenimiento*. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela.

ZAMBRANO, SONY; LEAL, SANDRA. 2006, *Manual Práctico de Gestión de Mantenimiento*. Universidad Nacional Experimental del Táchira. Venezuela

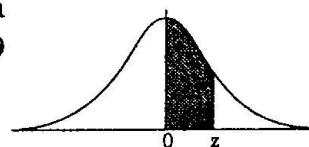
ANEXOS

Tabla N°2: Valores de Probabilidad o Área Bajo la Curva de Gauss para la Variable Tipificada Z (Fuente : Montgomery).

DISEÑO ESTADÍSTICO PARA INVESTIGADORES EN CIENCIAS SOCIALES Y DEL COMPORTAMIENTO

Tabla III: Áreas de la curva de probabilidad normal

Esta tabla proporciona las áreas bajo la distribución normal entre $z = 0$ a $z = 3,99$ en pasos de 0,01.



	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	.0000	.0040	.0080	.0120	.0160	.0199	.0239	.0279	.0319	.0359
0.1	.0398	.0438	.0478	.0517	.0557	.0596	.0636	.0675	.0714	.0754
0.2	.0793	.0832	.0871	.0910	.0948	.0987	.1026	.1064	.1103	.1141
0.3	.1179	.1217	.1255	.1293	.1331	.1368	.1406	.1443	.1480	.1517
0.4	.1554	.1591	.1628	.1664	.1700	.1736	.1772	.1808	.1844	.1879
0.5	.1915	.1950	.1985	.2019	.2054	.2088	.2123	.2157	.2190	.2224
0.6	.2258	.2291	.2324	.2357	.2389	.2422	.2454	.2486	.2518	.2549
0.7	.2580	.2612	.2642	.2673	.2704	.2734	.2764	.2794	.2823	.2852
0.8	.2881	.2910	.2939	.2967	.2996	.3023	.3051	.3078	.3106	.3133
0.9	.3159	.3186	.3212	.3238	.3264	.3289	.3315	.3340	.3365	.3389
1.0	.3413	.3438	.3461	.3485	.3508	.3531	.3554	.3577	.3599	.3621
1.1	.3643	.3665	.3686	.3708	.3729	.3749	.3770	.3790	.3810	.3830
1.2	.3849	.3869	.3888	.3907	.3925	.3944	.3962	.3980	.3997	.4015
1.3	.4032	.4049	.4066	.4082	.4099	.4115	.4131	.4147	.4162	.4177
1.4	.4192	.4207	.4222	.4236	.4251	.4265	.4279	.4292	.4306	.4319
1.5	.4332	.4345	.4357	.4370	.4382	.4394	.4406	.4418	.4429	.4441
1.6	.4452	.4463	.4474	.4484	.4495	.4505	.4515	.4525	.4535	.4545
1.7	.4554	.4564	.4573	.4582	.4591	.4599	.4608	.4616	.4625	.4633
1.8	.4641	.4649	.4656	.4664	.4671	.4678	.4686	.4693	.4699	.4706
1.9	.4713	.4719	.4726	.4732	.4738	.4744	.4750	.4756	.4761	.4767
2.0	.4772	.4778	.4783	.4788	.4793	.4798	.4803	.4808	.4812	.4817
2.1	.4821	.4826	.4830	.4834	.4838	.4842	.4846	.4850	.4854	.4857
2.2	.4861	.4864	.4868	.4871	.4875	.4878	.4881	.4884	.4887	.4890
2.3	.4893	.4896	.4898	.4901	.4904	.4906	.4909	.4911	.4913	.4916
2.4	.4918	.4920	.4922	.4925	.4927	.4929	.4931	.4932	.4934	.4936
2.5	.4938	.4940	.4941	.4943	.4945	.4946	.4948	.4949	.4951	.4952
2.6	.4953	.4955	.4956	.4957	.4959	.4960	.4961	.4962	.4963	.4964
2.7	.4965	.4966	.4967	.4968	.4969	.4970	.4971	.4972	.4973	.4974
2.8	.4974	.4975	.4976	.4977	.4977	.4978	.4979	.4979	.4980	.4981
2.9	.4981	.4982	.4982	.4983	.4984	.4984	.4985	.4985	.4986	.4986
3.0	.4987	.4987	.4987	.4988	.4988	.4989	.4989	.4989	.4990	.4990
3.1	.4990	.4991	.4991	.4991	.4992	.4992	.4992	.4992	.4993	.4993
3.2	.4993	.4993	.4994	.4994	.4994	.4994	.4994	.4995	.4995	.4995
3.3	.4995	.4995	.4995	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4996	.4997
3.4	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4997	.4998
3.5	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998	.4998
3.6	.4998	.4998	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.7	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.8	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999	.4999
3.9	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000	.5000

Tabla N° 3 Perfil del Profesional en HYSL (Fuente: Documento Constitutivo PNF)

	Qué	Para qué
Ing. En Higiene y Seguridad Laboral	Investiga, innova, analiza para la transformación, generación, gestión y desarrollo de sistemas e instalaciones para el control de riesgos laborales. Elabora normas y especificaciones técnicas referidas a higiene y seguridad.	Proteger la salud y vida de los trabajadores y dar respuesta a las necesidades del entorno socio-laboral en organizaciones y comunidades; participando activamente en el logro de un desarrollo sustentable y la soberanía e independencia tecnológica del país
TSU en Higiene y Seguridad Laboral	Planifica, programa, coordina, ejecuta y evalúa acciones, técnicas y procedimientos de higiene y seguridad en el trabajo, participando en equipos interdisciplinarios, con ética, sensibilidad social, sentido crítico, analítico y de manera responsable en la transformación de las condiciones de trabajo en las comunidades y organizaciones. .	Prevenir los riesgos laborales que puedan ser originados por procesos peligrosos, evitar accidentes laborales, enfermedades ocupacionales y otros siniestros; respondiendo a las necesidades del entorno socio- laboral y promoviendo el desarrollo local, nacional y sustentable, dentro de principios biocéntricos, de equidad y de justicia social
Lic. en Gestión de la Prevención y Seguridad en el Trabajo	Administra y monitorea las políticas internas y los requisitos externos de SS en el trabajo; elabora manuales de capacitación de salud y seguridad; desarrolla sistemas de información para el análisis de las condiciones de trabajo y establece sistemas de control epidemiológico de riesgos laborales	Capacitar, monitorear y controlar estadísticas de siniestralidad en los ambientes de trabajo, estableciendo relación causa-efecto y proponiendo estrategias de mejora.

**Tabla N°4: Certificaciones y titulaciones que otorga el PNFHSL
(Fuente: Documento Constitutivo PNFHYSL)**

FORMACIÓN	TRAYECTO	TITULOS Y CERTIFICACIONES
PREGRADO	1	Certificación de Inspector de Factores de Riesgos Laborales
	2	Título de Técnico Superior Universitario en Higiene y Seguridad Laboral
	4	Título de Ingeniero en Higiene y Seguridad Laboral
POSTGRADO	DURACIÓN	TÍTULOS
	1 AÑO	Especialista en: <ul style="list-style-type: none"> • Seguridad en los Procesos <ul style="list-style-type: none"> • Seguridad Laboral • Higiene Ocupacional <ul style="list-style-type: none"> • Ergonomía • Educación en Salud y Seguridad de los Trabajadores
	2 AÑOS	<ul style="list-style-type: none"> • Título de Magister en Seguridad, Higiene y Ambiente • Título de Magister en Gestión de la prevención, condiciones y medio ambiente de trabajo

**Tabla N° 5: Sistematización del Proyecto Trayecto II del PNFHSL
(Fuente: Documento Constitutivo PNF)**

TRAYECTO 2	TITULACIÓN: TSU en Higiene y Seguridad Laboral		
Descripción:			
Identifica y evalúa técnicamente procesos peligrosos en diferentes ambientes de trabajo, formulando propuestas y contribuyendo a la puesta en práctica de acciones para reducir o eliminar los riesgos laborales, en base al modelo de desarrollo del país y formas de organización del trabajo			
Proyectos	Área de Conocimiento	Actividades	Productos
<p>Evaluación de procesos peligrosos y formulación de propuestas para la mejora de los ambientes de trabajo y calidad de vida.</p> <p>- Evaluación de Higiene y Seguridad Laboral para la toma de decisiones, formulación y ejecución de Planes y/o Programas.</p> <p>- Asistencia técnica a los trabajadores para el mejoramiento de las condiciones y el ambiente de trabajo.</p> <p>Objetivos</p> <p>- Evaluar factores de riesgo, que pudiesen originar accidentes y/o enfermedades ocupacionales en el ambiente laboral, detectando fuentes de generación de contaminantes, en base a la normativa legal vigente y/o estándares establecidos.</p> <p>- Proponer mejoras para reducir o eliminar riesgos laborales y/o ambientales</p> <p>Descripción</p> <p>El participante evaluará factores de riesgo en los centros de trabajo y en las comunidades</p> <p>Aprovechará la experticia de los trabajadores en la generación de propuestas para reducir o eliminar los riesgos laborales</p> <p>Áreas de aplicación</p> <ul style="list-style-type: none">• Procesos laborales diversos (artesanales, industriales, productores de bienes y servicios).• Comunidades en general.	<ul style="list-style-type: none">• Higiene Laboral• Procesos Laborales• Seguridad Laboral• Química y Física• Procesos termodinámicos• Factores de riesgo Psicosocial.• Metodología de la Investigación• Lenguaje y comunicación.• Técnicas de capacitación y promoción.• Manejo de software para realización de documentación y presentaciones.• Ingles• Gestión de Mantenimiento <p>Conocimientos del Trayecto:</p> <ul style="list-style-type: none">- Técnicas de inspecciones.- Programas de capacitación para la promoción de la SST.- Factores de riesgos en Higiene y Seguridad laboral.- Procesos productivos de bienes y servicios.- Aspectos legales referentes a Higiene, Seguridad y ambiente.- Equilibrio ecológico- Socialización con el entorno.- Programas de prevención de riesgos	<ul style="list-style-type: none">○ Ejecuta inspecciones a instalaciones, áreas, equipos por puestos de trabajo, identificando factores de riesgo laboral y fuentes de generación de contaminantes.○ Aplica métodos de evaluación cuantitativa para determinar las variables asociadas a los factores de riesgo laboral.○ Propone estrategias de prevención, corrección y control en higiene y seguridad laboral○ Aplica la metodología de investigación para evaluar riesgos y/o peligros que puedan generar incidentes, accidentes y enfermedades ocupacionales.○ Elabora y actualiza planes, programas y manuales que incluyan procedimientos preventivos, correctivos y establecimiento de parámetros de control de factores de riesgo de accidentes y enfermedades ocupacionales○ Organiza Brigadas de emergencia y Comités de seguridad y salud en el trabajo○ Diseña y administra programas de capacitación e información en materia de prevención, protección y control de factores de riesgo que generan accidentes y enfermedades ocupacionales, y daños ambientales.○ Desarrolla planes de emergencia y contingencia en respuesta a las problemáticas sociales	<ul style="list-style-type: none">- Informe técnico de incidentes y accidentes.- Informe técnico de investigación de incendio.- Análisis estadístico en HSL- Informe técnico de evaluación de procesos peligrosos para la salud, análisis de los factores de riesgo laboral y la legislación, con el fin de emisión de recomendaciones para su control.- Reporte de accidentes- Planes de mantenimiento seguro- Planes de mantenimiento a sistemas de detección y extinción de incendios- Fichas de productos químicos.- Plan de emergencia- Programa de Seguridad y Salud en el trabajo.-Manuales de capacitación e información en materia de HSA, Manuales de Trabajo Seguro, Manuales de seguridad, Programa de Vigilancia Epidemiológica de procesos peligrosos, Programa de suministros de EPP y protección de equipos y máquinas, programa de orden y limpieza.- Creación y organización de Brigadas de emergencia- Organización de Comités de Seguridad y Salud en el Trabajo.

Tabla N° 7: Línea de Investigación N° 3 del PNFHSL
(Fuente: Documento Constitutivo PNFHYSL)

Línea 3: Innovación en prevención y control de riesgos laborales	
<i>Objetivo general</i>	<i>Objetivo específicos</i>
Desarrollar nuevos procesos, equipos, tecnologías y estándares en el área de la Prevención y Control de Riesgos en Ambientes Laborales.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ -Investigación de los procesos en centros laborales con el fin de establecer métodos que conlleven a la disminución de Accidentes y Enfermedades Ocupacionales, es decir procesos sanos y seguros. ➤ Establecer estándares en el área de prevención y control de riesgos en ambientes laborales. ➤ Diseñar sistemas y equipos para detectar variables que pueden resultar nocivas a los trabajadores ➤ Diseñar equipos que eliminen o minimicen el impacto de los factores de riesgo. ➤ Aplicar desde la fase de diseño, tecnologías y procesos seguros. ➤ Diseñar y acondicionar puestos de trabajo considerando los principios de la Higiene, Ergonomía y Seguridad.