

UNA VISIÓN EN LA EVOLUCIÓN DE LAS NOCIONES DE CONFIABILIDAD Y MANTENIMIENTO EN LA CIVILIZACIÓN OCCIDENTAL DESDE LA ANTIGÜEDAD HASTA FINALES DE LOS AÑOS CUARENTA DEL SIGLO XX

Joaquín Santos H., Miguel Strefezza B.

Resumen: Este artículo es un trabajo documental, cuyo objetivo principal es establecer que los conocimientos teórico-práctico adquiridos por sociedades humanas en forma continua desde la antigüedad, han conformado el significado, aplicación y uso de la confiabilidad y el mantenimiento, reflejándolo en diseños de infraestructuras, sistemas, equipos, componentes y procesos, así como en modelos específicos de gestión de activos y acciones planificadas sistemáticamente en el tiempo para preservar esos activos, minimizando sus fallas funcionales y mejorando sus condiciones operacionales durante los ciclos de vida esperados. La metodología de trabajo se centró en investigar y correlacionar, el conocimiento y uso de la confiabilidad y el mantenimiento como resultado de un proceso de aprendizaje continuo y sistemático. Finalmente en los años cuarenta del siglo XX, naciones, instituciones y organizaciones dedican recursos a formalizar, documentar y recopilar los conocimientos y aprendizajes adquiridos en el diagnóstico de fallas, la valoración de la confiabilidad y el desempeño de activos, incluyendo además mejoras en los modelos de gestión y administración de recursos dedicados al mantenimiento. Se concluye que el desarrollo del conocimiento y uso de la confiabilidad y el mantenimiento, independientemente de la época facilitará el lograr mejoras en la productividad, minimizar riesgos y promover calidad de vida.

Palabras clave: Activos físicos, confiabilidad, decisiones, mantenimiento, sistemas.

A VIEW ON THE EVOLUTION OF THE NOTIONS OF RELIABILITY AND MAINTENANCE IN WESTERN CIVILIZATION FROM ANTIQUITY TO THE LATE FORTIES OF THE TWENTIETH CENTURY

Abstract: This paper is a documentary work, whose main objective is to establish that theoretical and practical knowledge acquired by human societies continuously since ancient times, have shaped the meaning, application and use of reliability and maintenance, reflecting designs infrastructure, systems equipment, components and processes as well as specific types of asset management and systematically planned actions in time to preserve those assets, minimizing functional failures and improving their operational conditions during the expected life cycles. The methodology is focused on researching and mapping, knowledge and use of reliability and maintenance as a result of a process of continuous and systematic learning. Finally in the forties of the twentieth century, nations, institutions and organizations devote resources to formalize, document and compile knowledge and learning acquired in fault diagnosis, assessment of the reliability and performance of assets, also including improved models management and administration of resources devoted to maintenance. It is concluded that the development of knowledge and use of reliability and maintenance, regardless of the time facilitate improvements in productivity, minimize risk and promote quality of life.

Keywords: Physical assets, reliability, decisions, maintenance, systems.

Recibido (15/06/15), aceptado (13/08/15). MSc. Ing. Joaquín Santos es Director de la Comisión de Planificación y Desarrollo de la Universidad Simón Bolívar (USB) y Director suplente en el consejo directivo del Observatorio Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación ONCTI, correo electrónico. El Dr. Ing. Miguel Strefezza es Profesor Titular del Departamento de Procesos y Sistemas de la Universidad Simón Bolívar, correo electrónico.

I. INTRODUCCIÓN

Los interesados en las nociones de mantenimiento y confiabilidad, así como en su evolución generalmente encuentran numerosa literatura relacionada con el tema que las tiende a ubicar como algo surgido desde los años cuarenta del siglo XX, sin embargo la evolución de las mismas, su aplicación y uso son resultado de la labor de la humanidad a lo largo de su existencia. El trabajo presentará cinco distintos períodos para respaldar que la visión del mantenimiento y la confiabilidad surgen como parte del conocimiento teórico-práctico adquirido por sociedades humanas en forma continua desde la antigüedad, y se documenta y formaliza con gran relevancia a finales de los años cuarenta del siglo. Una vez presentado los períodos, se hace una discusión sobre los mismos resaltando aspectos relevantes de la evolución de los conceptos y su uso, para finalmente establecer unas conclusiones e identificar la bibliografía consultada.

Este trabajo documental hace una revisión desde la antigüedad hasta finales de la segunda guerra mundial sobre las nociones de mantenimiento y confiabilidad como resultado de un desarrollo teórico-práctico que ha contribuido a lograr significativas mejoras en las vidas de las distintas sociedades. La investigación y revisión de las nociones de confiabilidad y mantenimiento en la civilización occidental permite ver su evolución hacia un cuerpo de conocimientos y conceptos que son fundamentales para establecer las bases de los enfoques que surgirán posteriores a la segunda guerra mundial sobre dichas nociones. Al realizar la investigación documental se decidió establecer cinco períodos históricos que permiten identificar a través de ellos la generación de un acervo de conocimiento relacionado con el mantenimiento y la confiabilidad, donde distintos grupos de individuos (y naciones) en la búsqueda de conocimiento, marcados por la curiosidad y según sus motivaciones elaboran, desarrollan y conservan a resguardo, conocimiento que por tradición, por herencia y luego por difusión del conocimiento, se va transmitiendo como parte de explorar en distintos intervalos de tiempo un conjunto de nociones y aprendizajes, que derivan finalmente en establecer las palabras: Mantenimiento y Confiabilidad, en su vinculación a los desarrollos tecnológicos, al concepto de sistemas, a las máquinas complejas y al establecimiento de los procesos artesanales e industriales. Se decidió una numeración para los períodos en la cual el primer dígito señala un período tecnológico (0.*, 1.*, 2.*, 3.*), se hace una separación con un punto para a través del segundo dígito establecer

aceptación y uso a nivel mundial del cambio tecnológico (0.0, 1.0, 2.0, 3.0), además a medida que aumenta la numeración del segundo dígito (3.1, 3.2) comienza un nivel de separación entre las naciones en relación a la aceptación del mantenimiento y la confiabilidad en términos de lograr mejoras en la productividad, minimizar riesgos y promover calidad de vida.

El trabajo muestra que el cúmulo de información y aprendizaje que venía desarrollándose, se confronta con una importante prueba durante la segunda guerra mundial: los tipos y eventos de fallas, las acciones de mantenimiento y la noción de confiabilidad. Un grupo de naciones, instituciones y organizaciones dedican desde entonces recursos y esfuerzos en recopilar, documentar, normalizar y formalizar estudios y conocimientos disponibles, para responder ¿Cómo comprender el fenómeno de una falla? ¿Cómo se comporta un equipo o sistema bajo ciertas condiciones?, ¿cuál es la naturaleza de la confiabilidad?, ¿cómo diagnosticar fallas?, ¿cómo cuantificar la confiabilidad y el desempeño de los activos en condiciones operacionales?

La humanidad ha buscado mejorar los modelos de gestión de mantenimiento y el manejo de recursos dedicados al mismo. Puede afirmarse luego de la investigación, que aquellas sociedades que le prestan la debida atención al desarrollo del conocimiento, la confiabilidad operacional y el mantenimiento, han logrado mejoras en la productividad, minimizado riesgos y promovido calidad de vida, sin embargo aquellas sociedades que no entienden esto, se rezagan y afectan negativamente la vida de sus ciudadanos.

1. Antigüedad hasta el siglo XV (Período 0.0) y finales del siglo XV y siglo XVI hasta mediados del siglo XVIII (Período 1.0)

Se identifica un largo período al cual se le denomina 0.0, a nivel tecnológico se caracteriza por máquinas simples, la palabra mantenimiento es referida a las acciones para lograr que las “cosas” conserven forma y apariencia esperada al ser arregladas para cumplir la función, se hacen rutinas de limpieza, ajuste, etc. Una falla en la función es aceptada como una consecuencia directa del uso y abuso que origina la terminación de la función en muchos casos no recuperable. La confiabilidad no es un concepto elaborado pero se reconoce que algunas cosas funcionan mejor que otras, la robustez es el factor determinante. Los procesos de manufactura y servicios, son de carácter artesanal. A nivel global el conocimiento y uso del mantenimiento-confiabilidad

tiene niveles similares, con diferenciaciones específicas por las particularidades de las regiones.

El siguiente período denominado 1.0 hace necesario adoptar un marco diferente para la primera globalización surgida de los viajes de descubrimiento, de los progresos teóricos-prácticos en el conocimiento y el conjunto de innovaciones que son desarrolladas. Los eventos de este período conducen al desarrollo, construcción y uso de nuevas máquinas, las cuales se ponen a prueba en distintos climas y partes del planeta, interactuando con mayor complejidad tanto con el ser humano como con el ambiente. El enfoque de mantenimiento introduce que una vez ocurrida una falla, ella debe ser reparada para restablecer la función en forma sistemática (ordenada) y rápida, permitiéndole a lo reparado cumplir nuevamente su función individual o en conjunto, pero también se plantean los inicios del mantenimiento que trata de prevenir la ocurrencia de fallas. El desarrollo de la imprenta facilita las posibilidades de un incremento en el intercambio del conocimiento técnico con libros y documentos para mostrar investigaciones y teorías. Esta primera fase de globalización demanda productos y servicios a una escala superior a la conocida, y se hacen importantes las comunicaciones. Los escenarios que se van desarrollando permiten una expansión europea ligada a ventajas tecnológicas y de organización social. En respuesta a esta nueva dimensión económica y social, surgen las primeras acciones para la conformación de un cambio en las actividades artesanales individuales de manufactura y servicio, hacia la consolidación de centros artesanales e incipientes complejos industriales, y promoción de la automatización en labores de manufactura, agricultura, procesamiento de alimentos, fabricación de textiles y enseres, ello además fomenta la creación de gremios especializados. Se inicia la separación entre el concepto de mantenimiento

ejecutado en componentes, máquinas, equipos y aquel que representa acciones para soportar la conservación y arreglo de las edificaciones, casas, utensilios, carretas, caminos, ropa, puentes, etc.

Para este período 1.0 se hace el reconocimiento de que las máquinas para que puedan cumplir su función según lo esperado durante sus usos, deben ser mantenidas antes y después de la falla, lo cual es la visión del mantenimiento preventivo y correctivo. Se reconoce que algunos componentes, equipos y máquinas tienen un mejor desempeño que otros, lo cual incentiva la necesidad de diseños que permitan desempeñar la función requerida para un entorno específico, en especial aquellos que eran robustos en términos de sus diseños mecánicos. La ocurrencia de fallas en los equipos y máquinas siguen asociadas con el uso y abuso, pero se discute y expone sobre temas como: los diseños, los materiales usados, las formas en que fueron manufacturados, donde son usados y la forma en que son mantenidos lo cual apoya la noción de confiabilidad, se inicia el reconocimiento de las visiones de mantenibilidad, logística y el uso de la palabra sistemas para referir la integración del conjunto de componentes y su operación. [1]-[4].

La difusión del conocimiento y el aprendizaje de temas relacionados con mantenimiento y confiabilidad, se restringe fundamentalmente a algunos Países Europeos, Estados Unidos, Rusia, Australia, Canadá, Sur África, Turquía. Los idiomas dominantes en la difusión del conocimiento técnico inician su cambio del Griego y Latín al Francés y al Inglés. Se puede afirmar que comienza una separación importante entre los países, sobre el dominio, manejo y uso del conocimiento vinculado al mantenimiento y la confiabilidad. La tabla I es una referencia para resumir la visión del mantenimiento y la confiabilidad en los períodos 0.0 y 1.0 [1]-[4].

Tabla I. Resumen de la Visión de Mantenimiento, Falla y Confiabilidad entre los grupos de avanzada para los períodos 0.0 y 1.0

Período	Mantenimiento	Falla	Confiabilidad	Actividad
Antigüedad hasta el siglo XV (0.0)	Arreglar y conservar las cosas que cumplan la función El usuario es también mantenedor	Se asocia su origen con el uso y el abuso	Se identifica que algunas cosas funcionan mejor que otras, robustas	La manufactura, servicios, etc., son realizadas por artesanos
Siglo XVI hasta mediados del XVIII (1.0)	Reparar y restablecer en forma sistemática, la función individual o del conjunto. Inicio de la separación entre usuario y mantenedor Inventores y diseñadores orientan el mantenimiento	Inquietud sobre el diseño, los materiales, el proceso de fabricación, condiciones de uso etc.	Identifican el desempeño de la función para un entorno específico, seleccionan las cosas y diseños que lo hacen mejor, Robustas y con adecuado diseño	Se inician las primeras plantas industriales y se establecen gremios

2. La Revolución Industrial (inicio entre 1760-1780) hasta mediados del siglo XIX, (Período 2.0)

El período 2.0 se identifica con la revolución industrial, con el uso del vapor, la automatización de la manufactura y las macro-invencciones en: energía, materiales, productos químicos, medicinas, agricultura, textiles, infraestructuras, la revolución tecnológica y una segunda globalización. Surgen numerosos cambios en los procesos de manufactura y en los métodos de producción orientándose masivamente hacia procesos mecanizados (automatización). Se fomenta: el desarrollo y la fabricación de nuevos productos químicos, se mejoran los procesos de producción del hierro, se hacen mejoras en la producción textil, en el uso y empleo de la energía del vapor, en procesos y máquinas. Se incrementan las innovaciones y desarrollos de máquinas-herramienta, además la competitividad y los costos surgen como un asunto importante en el concepto de diseño de las operaciones industriales.

La complejidad de máquinas y automatismos alcanza niveles no conocidos. Se requiere que el operador se entrene en conocer la máquina y tener habilidad para producir con ella, se selecciona a los “mejores” para trabajar en producción, restándole participación en labores de mantenimiento, se inicia la separación de las funciones entre operadores y mantenedores, surgen las fábricas y plantas industriales, surgen las primeras aproximaciones a la confiabilidad humana. El perfeccionamiento de la producción de papel, hace mayor la impresión de libros y publicaciones en cantidad y calidad, incrementando la difusión de conocimiento e información relacionada con mantenimiento industrial, teorías de diseño, manufactura, fallas, nociones de confiabilidad, mantenibilidad, logística y confiabilidad humana [1]-[7].

Todos estos cambios promueven nuevas palabras, nuevos significados a palabras ya en uso, así como su uso en los trabajos y oficios, hay personas dedicadas o encargadas exclusivamente del mantenimiento industrial, se inicia el uso de “failure” (falla), para establecer el no cumplimiento de una función en los aparatos, equipos y máquinas a los cuales actuando en conjunto se les comienza a conocer como sistemas, los sistemas conforman procesos, los procesos se reconocen que pueden ser: Mecanizados/Automatizados para minimizar la intervención humana directa, los procesos y sistemas están sujetos a ser: Supervisados y Controlados.

La integración del vocabulario referido al mantenimiento, la confiabilidad, los sistemas, la automatización, la supervisión, las fallas y el control surgen en las nacientes plantas industriales, y es aplicado a los diversos procesos de manufactura y servicio. Esas nociones se van adaptando a los desarrollos tecnológicos, a los procesos y a los sistemas.

El personal de mantenimiento en esas plantas industriales no necesariamente tiene los conocimientos para entender las causas de una falla o avería, y con la rapidez de los cambios, innovaciones y complejidad de sistemas y procesos, los fabricantes de máquinas, equipos, pieza, etc., hacen listas de “trouble shooting” (resolución de problemas), las cuales permitían un conjunto de pasos (un algoritmo de acciones) sugerido para restablecer la función perdida por una falla o fallas. La palabra mantenimiento durante la revolución industrial ya inicia su enfoque de identificar-clasificar el nivel de falla, reparar, restablecer la función, documentar y advertir sobre lo que falló. Comienzan el inicio de cuadrillas o grupos, que aún con bajo nivel de formación técnica, se dedican a realizar reparaciones en las máquinas bajo una denominación: Mantenimiento Correctivo, el cual busca restablecer la función. Las plantas industriales comienzan a crear “stock” de repuestos considerados críticos en las acciones de mantenimiento correctivo, para tenerlos disponibles de inmediato y además se crean talleres internos de soporte a la labor de mantenimiento, donde se hacen piezas, se reconstruyen, pintan, adecuan, etc., los componentes, las máquinas y los equipos, la logística como palabra y enfoque de acciones se integra al mantenimiento y la confiabilidad. Surge el enfoque de mantenimientos de rutina como parte de respuestas preventivas a la ocurrencia de fallas.

La Revolución Industrial establece cambios en la vida de los seres humanos, esta segunda globalización afecta lo económico, político y social, se incorpora a todo este movimiento el Japón. Comienza un paulatino crecimiento en los estándares de vida de la humanidad, así como en los ingresos monetarios de los individuos. Durante el inicio de ese período las macro-invencciones se potencian.

El progreso tecnológico impulsa incrementos en la productividad y calidad, usando las contribuciones que aportan las micro-invencciones. Las macro-invencciones retan la efectividad de las actividades de investigación y desarrollo, las cuales a su vez impulsan la micro-invencción con usos prácticos.

Los “consumidores”, comienzan a demandar en forma masiva productos y servicios: mejores, más baratos, con entregas más rápidas y con mayor calidad. Las necesidades de productos y servicio, exigen un uso intensivo de máquinas, equipos, sistemas. Todo ello demanda productos y servicios que justifiquen el valor por el cual se está pagando y que sirvan bien al propósito por el cual se está adquiriendo ese servicio o producto. El término calidad para componentes, máquinas, equipos, sistemas, procesos, productos, comienza a ser usado, y se manifiesta como un aspecto del mantenimiento y la confiabilidad, de procesos y sistemas [5]- [19].

En esta etapa de globalización, la posibilidad de seguir teniendo en un solo grupo de personas al inventor, diseñador, constructor y operador, con un conocimiento experto de las creaciones de componentes, materiales, máquinas, equipos, y con la posibilidad de atender las fallas, corregirlas, evitarlas y rediseñar para mejorar su operación y función, se fragmenta. Ello hace que exista un distanciamiento desde la fase del invento, diseño y construcción hasta la del uso, operación y mantenimiento.

Se promueve al “mejor” trabajador hacia el área de operaciones, relegando al resto hacia las tareas de mantenimiento, con remuneraciones menores, pero en muchos casos con retos y actividades más diversas y estimulantes que las monótonas de un “operador” de esa época.

Los países dominantes en la economía y la política a nivel mundial, junto a sus academias, centros de estudios

y personas del mundo científico y empresarial, inician publicaciones regulares de información científica y técnica vinculada con los sistemas y procesos que surgen de la revolución industrial, se fomenta y potencian conferencias y lecturas, se inician reuniones y congresos técnicos, y un incremento en el registro de patentes. Los idiomas inglés, francés y alemán son los usados y establecen cierta hegemonía, por lo cual las contribuciones importantes en otros idiomas en cuanto al mantenimiento, estadísticas, probabilidades, confiabilidad, automatización, mantenibilidad, son pasadas por alto o relegadas, y en muchos casos serán reconocidas o divulgadas muy entrados el siglo XX. Las universidades y centros de investigación ya trabajaban con años de experticia en temas relacionados con agricultura, textiles, medicina y construcción, pero no con el mantenimiento y la confiabilidad.

Ciertas tecnologías y procesos dominados por algunos países Europeos, comienzan a transferirse al resto de Europa, las Américas, África, parte de Asia y Oceanía. Durante esta etapa la falta de personal calificado en mantenimiento es notoria, aquellos con la mejor formación comienzan a obtener mejores remuneraciones y se inicia la movilidad del personal de mantenimiento entre empresas y países, conllevando ello a la difusión de los conocimientos básicos de las nociones de mantenimiento y confiabilidad de las plantas industriales y sus procesos, además aumenta la brecha entre aquellos países que se encuentran a la vanguardia y los que comienzan a rezagarse. La tabla II es una referencia para resumir la visión del mantenimiento y la confiabilidad en el período 2.0 [20]-[39].

Tabla II. Resumen de la Visión de Mantenimiento, Falla, Confiabilidad y Automatización entre los grupos de avanzada para el período 2.0

Período	Mantenimiento	Falla	Confiabilidad	Automatización	Actividades
1760 hacia mediados del siglo XIX (2.0)	Reparar para restablecer función perdida	La atención a la falla es con enfoque correctivo	Se identifican condiciones del entorno y del diseño que afectan la función	Se incrementa la mecanización y fabricar piezas intercambiables	Surgen las plantas industriales
Revolución Industrial	Grupos de mantenimiento, la posición del encargado de Mantenimiento	Se inician registros de fallas	Inicio del uso estadístico para entender fallas	Impulso a las micro-inventaciones con fines prácticos para nuevos equipos	Costos y competitividad son determinantes
	Formalización de planes y programas de mantenimiento	Se proponen las primeras acciones preventivas	Consideraciones de diseño para minimizar efecto de las fallas	Valorar el conocimiento técnico	Pre inicios de la producción en series
	El diseñador de equipos, es todavía constructor y mantenedor. Se inicia separar la función de mantenedor de la de operador	Se inicia el estudio de causas		Máquinas y equipos para propósitos específicos	Inicios de estudios de productividad y calidad
				Inicio del enfoque de sistemas	Inicios de la Gerencia Científica

3. La segunda mitad del siglo XIX hasta los años 1930 (Período 3.0)

El período 3.0 se distingue por el significativo cambio en los procesos industriales de manufactura y explotación de recursos naturales, el uso de la energía eléctrica y el aumento a nivel global y en distintos países en el diseño y manufactura de máquinas, aparatos, equipos, que se integran en sistemas productivos. La producción en serie y los servicios, requieren niveles de confiabilidad para producir y repetir con cierta calidad lo producido. Las máquinas diseñadas para propósitos específicos deben poder ser mantenidas con cierta facilidad, para asegurar la producción y los servicios. Se requiere respaldo técnico y económico en el tiempo para hacer sustentable los procesos industriales, surge la gerencia científica.

Las actividades de mantenimiento no solo deben dedicarse a la ejecución del mantenimiento correctivo, también deben hacer planificación y programar ejecución, lo cual conlleva al establecimiento de modelos de gestión de activos que consideran el Mantenimiento Preventivo y el Correctivo. En el período de la guerra de 1914 a 1918 se promueve trabajar la producción en forma continua, para suplir la demanda, se analiza y planifican los ciclos y los flujos de trabajo y productos, se reconoce la necesidad de lograr una fuerza laboral con alta productividad, se formalizan en muchas industrias el registro de la cantidad de fallas y se evidencia una diversidad de modos de fallas [5]-[19], [21]-[39].

Durante los primeros años del siglo XX se formaliza en diversos países la necesidad del entrenamiento del personal que realiza el mantenimiento, se inician esfuerzos por identificar las fallas atribuidas al normal uso y las generadas por abuso, se imprimen y distribuyen manuales con recomendaciones sobre la forma de operar los equipos y las rutinas de mantenimiento. Se hacen análisis de fallas mecánicas asociadas con los materiales y el diseño. Se inicia la asignación de labores de prevención para evitar que las máquinas más importantes fallaran, introduciendo los enfoques de criticidad. Grupos de países impulsan la electrificación de sus ciudades, de sus plantas industriales, se inicia la producción masiva en ciertos sectores bajo el esquema de la producción con procesos secuenciales y progresivos, con partes intercambiables (la línea de ensamblaje), otras naciones hacen sus esfuerzos por alinearse con los cambios pero comienza un rezago de ellas en diferentes aspectos tecnológicos y económicos, que se mantiene aún en muchos casos [20]-[30], [32], [35], [37], [38].

Los países que desarrollan y promueven las nuevas tecnologías, la electrificación, el uso de autos y transportes con motores de combustión, el desarrollo de nuevos materiales y sustancias, la instalación del telégrafo, los teléfonos, la radio, la aviación, las mejoras en la construcción de infraestructuras, represas, carreteras, barcos, etc., son los que también invierten en promover la innovación y los inventos, apoyan los estudios científicos y el fomento en la formación de profesionales en los centros de investigación, universidades, escuelas técnicas, etc. Surgen en esos países institutos de normalización, apoyados desde los sectores públicos y privados, se discute y fomenta la visión de mantenimiento y confiabilidad [30]-[36].

Durante este período el mantenimiento comienza su profesionalización, se combina el conocimiento adquirido desde la antigüedad pasando por los diversos períodos, en lo que será el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo. Del lado de fabricantes, diseñadores, constructores y centros de formación, surgen recomendaciones de mantenimiento preventivo. Se reconoce que para realizar mantenimiento a las diferentes aplicaciones tecnológicas y los activos físicos, se requiere de personal entrenado que ayude con: la producción, la disponibilidad de los equipos y la seguridad de la operación. Las gerencias de las empresas inician el reconocimiento de la necesidad de definir estrategias y enfoques de mantenimiento así como la asignación de recursos específicos en los presupuestos (personas, equipos, tecnologías, financieros), la logística y la Mantenibilidad son conceptos que establecen su vinculación, con las acciones de mantenimiento y la confiabilidad operacional.

La administración de programas de mantenimiento y su control, se hacen para satisfacer la exigencia de disponibilidad que demanda la industria de proceso continuo. En diversos países algunas universidades formalizan la promoción, entrenamiento e investigación en temas de automatización, confiabilidad, control y mantenimiento, para incentivar la formación de ingenieros y técnicos calificados, reforzando los enfoques de procesos y sistemas.

Las estrategias del mantenimiento de rutinas como parte del enfoque del mantenimiento preventivo en los sectores industriales durante los años previos a 1930, se fundamentan en las recomendaciones de los fabricantes, quienes en base a su "know how", sugerían las acciones de mantenimiento. Numerosos equipos y

máquinas aun trabajan en ciclos lentos, con tecnología mecánica conocida, con sistemas de instrumentación y control básicos, las capacidades analíticas, las mediciones precisas y los cálculos matemáticos inician su consolidación, rompiendo con el modelo Aristotélico que no consideraba los problemas de medida y de cálculo como un impedimento para desarrollar una física capaz de llegar a predicciones cuantitativas, se invirtió energía en detallar con exactitud lo que estaba ocurriendo y se modificaban las conclusiones siguiendo los hechos y resultados que no se podían ignorar.

Las exigencias en términos de disponibilidad comienzan a ser evaluadas, estos equipos robustos

eran confiables para las exigencias a las que eran sometidos. Los esfuerzos por establecer nuevas estrategias de mantenimiento y el entender el carácter aleatorio de la falla eran aun tímidos, las máquinas y sistemas continúan su evolución hacia la automatización, se hacen más complejos, surgen las primeras formalizaciones de las teorías de confiabilidad y aproximaciones a integrarla junto con la mantenibilidad como un parámetro esencial en el diseño, se establecen modelos de gestión del mantenimiento. La tabla III, se usa como una referencia para resumir la visión entre los grupos de avanzada sobre el mantenimiento y la confiabilidad en este período.

Tabla III. Resumen de la Visión de Mantenimiento, Falla, Confiabilidad y Automatización entre los grupos de avanzada para el período 3.0

Período	Mantenimiento	Falla	Confiabilidad	Automatización	Actividades
Mediados del XIX hasta los años treinta del siglo XX (Período 3.0)	Reparar para restablecer la función perdida documentar lo realizado. Grupos de mantenimiento dedicados por especialidad Entrenamiento específico en mantenimiento Movilidad del personal dedicado a mantenimiento entre empresas y países El diseñador y constructor, no hacen mantenimiento	Avances en verificar el origen de la falla Estudios estadísticos Programas correctivos y acciones preventivas Estudios de causas	Promoción de estudios de confiabilidad Desarrollo de los primeros modelos matemáticos Inicio de los enfoques de criticidad	Automatizaciones en las fabricas y el campo, Introducción de sistemas de control en máquinas, equipos y procesos. Uso de la electricidad en automatizaciones. Se inician estudios de: Confiabilidad, Robustez y Adaptabilidad. Equipos modulares y ciclos de producción más rápidos, sistemas electro-mecánicos	Consolidación de la producción en serie Formalización de modelos y teorías de producción Cuantificación y cualificación de la calidad Formalización de la gestión de mantenimiento en los esquemas organizacionales

4. Desde 1930 hasta la segunda guerra mundial (Período 3.1)

El período 3.1 se establece como una continuación de los avances y desarrollos del período 3,0, pero marcado por dos eventos: la depresión y el inicio de la segunda guerra mundial. Un factor que afecta al mundo es la denominada gran depresión con su impacto global y sus variaciones en los diferentes países. El avenimiento de la guerra incentiva la inversión en la manufactura de los equipos militares y promueve el desarrollo de aparatos, dispositivos, equipos, máquinas, sistemas de transporte y comunicación así como infraestructuras con una complejidad mayor a la conocida hasta el momento y que en sus diferentes formas son el resultado de los aportes al conocimiento y las tecnologías desarrolladas previamente. Se establece a nivel mundial, el reconocimiento de que la tecnología es el conocimiento aplicado, y que la economía de los países avanza con el incremento del

conocimiento “útil” como una variable importante. Las macro-invencciones son un producto marginal de la revolución industrial, pero las micro-invencciones son el nuevo horizonte que impulsa los avances en este período. El conocimiento científico impulsa el conocimiento tecnológico. Los usos y aplicaciones de las nuevas tecnologías, crean una retroalimentación al enfoque del conocimiento científico, lo reenfoca para entender las innovaciones. Se desarrollan mejores instrumentos y equipos para respaldar la investigación científica, ello permite registrar fenómenos, hechos y comportamientos, así como apoyar experimentos e hipótesis durante las investigaciones que bajo el método científico tratan de entender esos fenómenos y modelarlos matemáticamente. La creación de una teoría efectiva es un marco para modelar algunos fenómenos observados, sin necesidad de describir con todo detalle sus procesos subyacentes, ayuda a explicar fallas y comportamiento humano [7], [34]-[40].

Las tecnologías emergentes y sus aplicaciones eran usadas sin necesariamente conocer la naturaleza de los fenómenos y con limitado apoyo en bases científicas, pero las aplicaciones tecnológicas maduras y conocidas contaban con un cuerpo de conocimiento suficiente para atenderlas desde la perspectiva del mantenimiento enfocado a corregir y reparar, así como ciertas acciones preventivas buscando minimizar la ocurrencia de fallas. El mantenedor con experiencia en el uso de tecnologías maduras, trata de extender ese “know how” aplicándose a las emergente, pero no necesariamente sirve. Para ese momento el mantenedor se fundamenta en una formación basada en un cuerpo de conocimientos adquiridos en las actividades de corrección y reparación, las cuales “bien ejecutadas” deben permitir que el equipo funcione. Se puede establecer cuando un equipo funciona, pero no necesariamente se entiende por que funciona o por qué deja de funcionar. Los diseñadores y los fabricantes dejan de hacer mantenimiento, y refuerzan a partir de su conocimiento explicaciones sobre las razones por las cuales los componentes, productos, equipos y sistemas, funcionan y trabajan. Se generan listas de las actividades de mantenimiento como rutinas. Las opiniones para eliminar errores y mejorar la calidad que surgían desde usuarios y mantenedores, representaban la avanzada de innovación en mejorar los diseños así como el mantenimiento y la confiabilidad de lo producido, pero esas opiniones no necesariamente eran aceptadas; este grupo de avanzada percibía lo que pasaba pero aun carecían de una comprensión adecuada de los procesos involucrados para explicar lo que ocurría y además no tenían el músculo para exigir cambios.

Cuatro situaciones afectaran el enfoque mantenimiento-confiabilidad: La producción de los equipos bélicos y su uso, la incorporación de mujeres, jóvenes y minorías a los procesos de manufactura y producción, el impulso a la mecanización-automatización de procesos y sistemas, el afianzamiento de la producción en serie y la construcción modular de aparatos, equipos, máquinas, etc. Estas situaciones influirán en como el mantenimiento y la confiabilidad evolucionan para hacer que los productos, aparatos, equipos, máquinas y procesos sean fácil de usar y de mantener.

La producción y uso de los equipos bélicos en los países beligerantes fomentó actividades y controles de gestión para toda una nueva manera de producir, considerando las dificultades técnicas y de ingeniería inherentes a la producción en masa de novedosos y complejos equipos,

productos y artículos. Además se estableció la gestión de recursos bajo criterios de escasez lo cual complicaba y generaba un ambiente de incertidumbre con relación al como la fuerza laboral venía realizando sus actividades [31]-[40].

La incorporación de las mujeres, jóvenes y minorías a los procesos de manufactura y producción introducen retos en términos de diseño y adaptación de equipos y máquinas a esta fuerza laboral, la cual por su actitud fresca ante las actividades que estaban desarrollando y aprendiendo, introdujeron aportes y sugerencias de sus experiencias, para mejorar los procesos de automatización y mantenimiento. Esta era una fuerza laboral inexperta, pero estaba dirigida bajo los enfoques de la gerencia científica, que promovían el analizar y sintetizar los flujos de trabajo, como una aplicación de la ingeniería de procesos. Se promovía dada la situación beligerante, el mejorar la eficiencia económica, en especial la productividad del trabajo. Estos grupos de nuevos trabajadores no eran reacios a este enfoque [41]-[65].

El impulso a la mecanización-automatización de procesos y sistemas, lleva el enfoque de diseñar equipos y sistemas confiables, robustos y con adaptabilidad, para satisfacer requerimientos de los equipos militares a usar en combate. Se formalizaron estudios en estas áreas y se promueven los modelos y aplicaciones de sistemas de control en procesos y en manufactura. La industria de la aviación, naval y militar, fomentan aplicaciones electrónicas. La función de especialistas en mantenimiento con entrenamientos en áreas de eléctrica, mecánica, electrónica se hace esencial. Se minimizan las producciones artesanales con trabajadores calificados y se intensifica las producciones automatizadas que combinan personal calificado con personal no calificado trabajando en conjunto en la línea de producción, apoyados en la mecanización-automatización. Este proceso se venía realizando y los esfuerzos bélicos, junto con el apoyo de la ingeniería, impulsaron la trasferencia del conocimiento desde lo artesanal hacia lo automatizado, intentando lograr calidad en la producción y requiriendo trabajadores solo con entrenamiento básico.

Las plantas industriales establecieron el mantenimiento como una función inherente al proceso. La cantidad de personal entrenado en mantenimiento no es suficiente, los fabricantes de equipos y las gerencias promueven mantenimientos de rutinas (preventivas) creando un conjunto de actividades discretas y secuenciales que

un personal con entrenamiento básico debe seguir (algoritmos diseñados por otros) y tomar decisiones durante su ejecución. Las recomendaciones (un programa de acciones) a ejecutar del fabricante indicaban que hacer, cuando hacerlo y como hacerlo, aun cuando el personal no entendiera por que había que hacer eso. El fabricante de equipos vincula la garantía del mismo en los lapsos de tiempo, con las rutinas de mantenimiento que se deben hacer. Se esperaba que siguiendo el algoritmo de acciones, se minimizará la aparición de fallas, había pocas oportunidades para una mayor reflexión, para la experimentación, o para sugerencia sobre las decisiones.

Los componentes, productos, equipos y sistemas en los frentes de batallas y durante su uso, presentaron fallas de diversas índoles, dejaron de tener la habilidad para desempeñar la función para la cual fueron diseñados, en un entorno específico, durante un intervalo de tiempo determinado, ello producía una ineficiencia operacional y un incremento del riesgo. Estos componentes, productos, equipos y sistemas fueron manufacturados en plantas industriales y con apoyo de las mejores tecnologías disponibles para su manufactura y ensamblaje. La estandarización de componentes y la fabricación modular, permitía al personal entrenado realizar acciones de mantenimiento preventivo y correctivo en los frentes bélicos. El enfoque de sistema como conjunto de componentes diseñados bajo un arreglo específico, los cuales deben cumplir funciones determinadas (en un ciclo de vida) haciéndolo con un adecuado rendimiento, queda establecido como parte de los futuros desarrollos técnicos y de ingeniería, se inicia el reconocimiento y la aceptación de la existencia de sistemas simples y complejos.

La observación del comportamiento en operaciones de las máquinas, equipos y sistemas, evidencia que aun cumpliendo lo recomendado por los fabricantes desde el punto de vista de mantenimiento, ello no era necesariamente suficiente para la sostenibilidad de los sistemas en el tiempo después de las primeras fases (el ciclo de garantía) y durante el tiempo de uso hasta su descarte (ciclo de vida útil), en especial en los sistemas complejos. Durante y posterior a la Guerra los fabricantes, los gobiernos, los militares, las universidades, los centros de investigación, los entes normalizadores, entre otros, se dedican a recopilar,

documentar, crear bases de datos y hacer análisis con toda esa información, sobre eventos y fallas en las plantas industriales así como en el uso de los equipos en los frentes de batalla.

Un efecto de la guerra es que numerosos países que participaron directamente en el conflicto, promueven el establecimiento en sus centros de formación de lo que se conocerá como la ingeniería de la confiabilidad y la consolidación del mantenimiento como acción para conservar los activos físicos, aquí se establece una separación en conocimiento y dominio de tecnologías emergentes por parte de un grupo de países, y aumenta nuevamente el rezago de otros. Se usaran herramientas teóricas y prácticas que permitirán especificar, probar, proyectar y demostrar la probabilidad y la capacidad, que tendrán los componentes, productos, equipos y sistemas para desempeñar sus funciones específicas, por períodos de tiempos determinados en ambientes específicos y sin presentar fallas.

La experiencia adquirida en mantenimiento aporta nuevos enfoques y estrategias para la atención y prevención de fallas, se reconoce que la logística de empaque, manejo y almacenamiento de los materiales, equipos, productos, influye en la aparición de fallas, así como lo hacen las condiciones operacionales, las acciones del operador, así como las capacidades y habilidades del mantenedor y las herramientas usadas para realizar el mantenimiento, ello conlleva identificar y establecer el concepto de Mantenibilidad: como la característica de diseño e instalación que determina la probabilidad de que un componente, equipo o sistema averiado pueda ser restaurado a su estado operativo normal dentro de un plazo determinado, utilizando las prácticas y los procedimientos prescritos. Este concepto establece dos aspectos: facilidad de realizar las inspecciones programadas y un mantenimiento rutinario, junto con la facilidad de restaurar el servicio después de una falla. Se puede afirmar que hasta este período se consideraba a los diseñadores los únicos responsables de la confiabilidad, y al personal (los mantenedores) que hacían la reparación los únicos responsables de la atención a la falla.

La tabla IV se usa como una referencia para resumir la visión entre los grupos de avanzada sobre el mantenimiento y la confiabilidad para el periodo de 3.1.

Tabla IV. Resumen de la Visión de Mantenimiento, Falla, Confiabilidad y Automatización/Electrónica entre los grupos de avanzada para el período 3.1

Período	Mantenimiento/ Mantenibilidad	Falla	Confiabilidad	Automatización	Actividades
1930 y finales de los años cuarenta siglo XX (Período 3.1)	<p>Enfoque Preventivo y Correctivo para atender fallas</p> <p>Especialización de mantenedores</p> <p>Conflictos entre el “Know How” de mantenedores experimentado y las tecnologías emergentes</p> <p>Nuevo personal no entrenado se incorpora</p> <p>Se formalizan entrenamientos en empresas e institutos de educación</p> <p>La Mantenibilidad es fundamental para equipos complejos</p> <p>Aumenta la movilidad del personal con experiencia en mantenimiento</p> <p>Recomendaciones de mantenimiento para el período de garantía</p>	<p>Fomento de los análisis de origen y causas de la falla</p> <p>Recolección de datos de fallas y clasificación de las mismas</p> <p>Recolección de opiniones de expertos</p> <p>Uso de herramientas estadísticas</p> <p>Bases estadísticas de falla</p> <p>Modelos matemáticos</p> <p>Las fallas de los equipos en los frentes de batalla y durante su logística de manejo se consideran altas</p>	<p>Se identifican condiciones del entorno y del diseño que afectan la función</p> <p>Consideraciones en el diseño para minimizar efecto de las fallas</p> <p>Incorporación de modelo de diseños robustos en el aspecto mecánico que se enfocan a la confiabilidad</p> <p>Promoción de los modelos matemáticos</p> <p>Se fomenta el análisis de criticidad con herramientas matemáticas y modelos</p> <p>Formalización del concepto</p>	<p>Estandarización de piezas intercambiables Micro-inventores con fines prácticos incorporan la electrónica</p> <p>Máquinas y equipos con automatizaciones y controles. Combinan: eléctrica/ mecánica/ electrónica</p> <p>Aceptación de la definición de sistemas complejos</p> <p>Formalización del enfoque de sistemas para el diseño</p> <p>Confiabilidad, Robustez y Adaptabilidad de equipos modulares para ciclos de producción más rápidos</p>	<p>Se profesionaliza la gerencia y se establecen estructuras organizativas que supeditan el mantenimiento a la producción</p> <p>Costos, competitividad, productibilidad, calidad centran la atención de la gestión de producción</p> <p>Surge a través de los modelos de gestión, operación y mantenimiento la importancia de la relación criticidad y mantenimiento de componentes, equipos y sistemas</p>

5. Discusión de la evolución de las nociones de confiabilidad y mantenimiento

El período 0.0 se puede usar la palabra francesa “divertissement” (entretenimiento) como una descripción satisfactoria para los propósitos cotidianos que la humanidad tenía con el mantenimiento, pero es necesario adoptar un marco diferente a finales de este período, para distinguir la visión del mantenimiento dirigido a restablecer la función, de algo que falló y la noción de confiabilidad como el resultado de la habilidad y destreza de los artesanos, al incorporar a sus productos e invenciones, cualidades y características para tener un mejor desempeño en la función para la cual fueron diseñados al ser usados en un entorno específico. El usuario posee conocimiento aprendido sobre que “cosas” tienen un lapso de desempeño más prolongado, y ello hace la diferencia al momento de la selección entre alternativas. Los artesanos en sus talleres, eran también usuarios y mantenedores, lo cual junto con diseñar y construir, los hacía conocedores de las mejores prácticas de mantenimiento relacionadas con sus creaciones.

El conocimiento y los “secretos” sobre mantenimiento y confiabilidad, eran transmitidos de generación en

generación, entre maestro y aprendiz, se aprendía con la práctica. La complejidad de equipos y máquinas era en función de su diseño mecánico y la interacción de los componentes para producir el resultado esperado. Pero se puede afirmar que la asociación de mantenimiento con atender una falla para restablecer la función se inicia en este período, con un uso diferente del tradicional e incluso de la imagen formada por décadas. Los primeros bosquejos de estos conceptos Mantenimiento y Confiabilidad se remontan a este período.

Para el período 1.0 y debido a la ocurrencia de una globalización, los cambios en la manufactura de productos y la prestación de servicios, requieren cambios en las máquinas y equipos. El sentido común basado en la experiencia cotidiana no es suficiente para elaborar un modelo del mundo y de las maravillas tecnológicas. En este período se promueve la interpretación de datos y del modelo que explique satisfactoriamente los acontecimientos y las experiencias de los órganos sensoriales, sobre fallas y la situación física en la cual ocurre. El mantenimiento ahora busca luego de una falla reparar y restablecer en forma sistemática, la función individual o del conjunto, de máquinas y equipos más complejos, ello inicia una visión de sistema para la

acción de mantenimiento. La inquietud sobre el diseño, los materiales, el proceso de fabricación, condiciones de uso etc., así como la relación entre causas y efectos que no son evidente, promueve en los inventores y diseñadores identificar el desempeño de la función para un entorno específico, seleccionando los materiales y diseños que lo hacen mejor, ello ya establece la confiabilidad como un tema de diseño.

El período 2.0 se inicia con la revolución industrial, ciertos países pasan a tener hegemonía política y económica, junto a importantes cambios sociales. En esos países se crean “Industrias” donde un conjunto de operaciones permiten obtener, transformar o transportar productos. Los artesanos que ya eran el núcleo incipiente de los procesos industriales, junto a grupos de inversionistas y gobiernos comienzan asociaciones. Se establecen en ciertas zonas edificios con instalaciones, máquina, equipos y los medios necesarios para desarrollar un proceso de fabricación. Estas fábricas son los núcleos de las plantas industriales (grupos de fábricas) del período de la revolución industrial.

El mantenimiento como concepto y enfoque pasa de ser una actividad de “entretenimiento” a ser una necesidad para mantener operando las máquinas. La confiabilidad, aun sin una definición técnico-académica pasa a ser una actividad que comienza a estudiarse para lograr mejoras en lo que se fabrica y en cómo se usa.

En este período se afianza el enfoque del mantenimiento en plantas industriales hacia aumentar la disponibilidad de los equipos y de las nuevas instalaciones. Los aprendizajes del período orientan las acciones de mantenimiento en lograr establecer una disponibilidad de los diferentes equipos en un tiempo específico a un costo razonable. Los aspectos ambientales y los aspectos de confiabilidad humana, involucrados con el mantenimiento comienzan a ser identificados, el nivel de disponibilidad se vincula con el éxito en las acciones específicas de mantenimiento, así como con la facilidad de su ejecución vía su Mantenibilidad.

El período de la revolución industrial, introduce con gran intensidad la automatización/mecanización, y ello agrega el uso del concepto de sistemas y la difusión del conocimiento entre pares. Se le da un mayor nivel de profesionalización a la actividad de mantenimiento, y se comienza la formación específica, los institutos de enseñanza y las universidades se integran a darle un cuerpo técnico y científico al mantenimiento y la confiabilidad. Los niveles de complejidad y operación

de máquinas, equipos y sistemas son los mayores a cualquier época precedente. Se formaliza la actividad del mantenimiento como parte de las plantas industriales. Se inician los primeros estudios y propuestas sobre los aspectos ambientales y los aspectos de confiabilidad humana, así como los enfoques de criticidad y riesgo, y la confiabilidad comienza a ser parte intrínseca del diseño.

Para inicios del período 3. 0, los grupos de avanzada aceptan que el mantenimiento y la confiabilidad, empiezan en el proyecto del diseño del componente, máquina, equipo, sistema, y que además para poder llevar a cabo el mantenimiento de manera adecuada es vital empezar a actuar desde las especificaciones técnicas vía: normas, tolerancias, planos y demás documentación técnica, las cuales debe conocer el operador-mantenedor, y debe suministrar el fabricante. Se le da importancia a la necesidad de que el personal de mantenimiento participe en la recepción, instalación y puesta en marcha; de máquinas y equipos, así como el crear, establecer y documentar un “dossier” de mantenimiento. El seguimiento y la documentación sirven para apoyar diagnósticos durante la vida de la máquina o equipo y hacer evaluaciones de rendimientos, funcionalidades y demás prestaciones esperadas. Se refuerzan los enfoques de mantenimiento preventivo (vigilancia permanente y/o periódica) y los de mantenimiento correctivo (reparaciones/reemplazo).

El mantenimiento y la confiabilidad desde mediados en este período ya son dos áreas del conocimiento con estudios publicados y además poseen respaldo científico y técnico, sin embargo su difusión como técnica y estrategia de gestión dentro y fuera de los países hegemónicos es escasa. La separación entre países en lo que respecta a visión de la confiabilidad y el mantenimiento en sus sociedades va desde los que tienen una visión de la época antigua pasando por las diferentes visiones hasta la del inicio del siglo XX. Esta situación marcará el resto del siglo XX y también el XXI, en términos de progreso, desarrollo y calidad de vida. Este es un período de consolidación y creación de modelos de mantenimiento y enfoques de confiabilidad según las actividades y las plantas industriales. En estos años surgen numerosas publicaciones ya con rigor técnico sobre modelos y valoraciones del mantenimiento, análisis del carácter aleatorio de las fallas, confiabilidad como un valor probabilístico, enfoques de mantenibilidad en cuanto a tiempo y a facilidad de realizar la labor de mantenimiento como un aspecto logístico. También se promueve la construcción en forma modular de máquinas, equipos y sistemas,

iniciadas a finales del período 2.0, todas realizadas para facilitar el mantenimiento y mejorar su confiabilidad. La existencia de todo este cúmulo de conocimiento, tardará ciertos años en ser aceptado por los distintos sectores en forma general.

El período 3.1 pone a prueba todo el cuerpo de conocimiento en relación al mantenimiento y confiabilidad en las plantas industriales así como en los productos que se fabricaron en ellas, en algunos casos pasaron esas pruebas y en otros no, la aviación, las telecomunicaciones y la electrónica retan los enfoques de mantenimiento y confiabilidad. Al finalizar la guerra al igual que en la antigüedad se aviva el interés por averiguar por qué la naturaleza en este caso de todos los sistemas y equipos artificiales (desarrollados por la humanidad) se comportan como lo hacen en lugar de cómo lo deberían hacer. La automatización agregando dispositivos eléctricos, electrónicos y diversas combinaciones electromecánicas, generó nuevas complejidades en los sistemas y por ende en su mantenimiento y confiabilidad, la generación eléctrica, la aviación y la energía nuclear introdujeron situaciones de fallas en componentes, máquinas, equipos y sistemas, que variaron en magnitudes y consecuencias, agregando la necesidad de ver el mantenimiento y la confiabilidad bajo aspectos de criticidad y riesgo. Los análisis que hacen el sector militar, los fabricantes, los gobiernos, entes normativos, universidades y centros de investigación entre otros, darán un cuerpo de conocimiento renovado para introducir cambios en los enfoques y modelos de confiabilidad y mantenimiento, pero se ha llegado a estos cuestionamientos a finales de la segunda guerra mundial como parte del conocimiento teórico-práctico adquirido por sociedades humanas en forma continua desde la antigüedad, y reflejado en los diseños de: sistemas, equipos, componentes y procesos, así como en modelos específicos de gestión y en las acciones planificadas sistemáticamente en el tiempo para preservar el funcionamiento de los activos físicos (infraestructuras, sistemas, máquinas, componentes etc.), para minimizar sus fallas funcionales y mejorar sus condiciones operacionales en los ciclos de vida esperados.

II. CONCLUSIONES

El mantenimiento y la confiabilidad han evolucionado con el desarrollo de la humanidad; adaptándose en cada etapa en las sociedades de vanguardia según un cuerpo de conocimientos, permitiéndoles el uso de sus

máquinas con adecuado éxito, pero también con fallas y riesgos que han ameritado entenderlas y resolverlas. El mantenimiento como enfoque de todas las acciones sobre un componente, máquina, equipo, sistema para restaurarlo o mantenerlo en un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida, es una definición válida para todos los períodos de la humanidad, lo que ha cambiado es la combinación de las técnicas y la administración de las acciones para su ejecución, su relación con el riesgo, los costos y su estrategia para preservar los activos físico

Independientemente de la época, la acción de mantenimiento busca lograr un aumento en la productividad y mejorar la calidad, pero es a partir de la revolución industrial y con mayor énfasis como resultado de la segunda guerra mundial cuando se formaliza la necesidad de incrementar la confiabilidad en operaciones, minimizar el riesgo en operaciones, controlar los costos y respaldar la toma de decisiones con apoyo de modelos de gestión, orientados a la sustentabilidad.

La interpretación y uso del mantenimiento establece separaciones en los avances y progresos de los países, aquellos que invierten y fomentan el mismo tienen mejor oportunidad de ofrecer calidad de vida a sus sociedades. En específico en América de México a la Argentina, no todos los países se incorporaron en esos períodos a nivelarse con las otras sociedades. Lo mismo en diversos grados sucede en el resto del mundo

La revolución industrial, la automatización/mecanización, la creación de máquinas, equipos y sistemas complejos, la introducción de la electricidad y la electrónica, impulsan la valoración de parámetros de confiabilidad para modelarlos como valores probabilísticos.

En entendimiento de la confiabilidad surgida de los aprendizajes adquiridos desde la antigüedad y con énfasis en los eventos de la segunda guerra mundial, prueba la importancia de establecer la misma como una de las características de calidad y desempeño más importantes para componentes, productos y sistemas complejos.

Los niveles de fallas de los componentes, máquinas, equipos y sistemas, así como las características observadas durante el uso de los mismos durante las acciones bélicas, muestran que la confiabilidad y el mantenimiento requieren estar integradas como algo

inherente desde las etapas conceptuales y del diseño y extenderse a lo largo de su ciclo de vida en operaciones o uso. Diseñar para la confiabilidad y el mantenimiento. La segunda guerra mundial evidencia que aún aquello considerado con el mejor diseño, tiene probabilidades de no sobrevivir al uso en el tiempo, si no recibe las adecuadas atenciones del mantenimiento preventivo y correctivo. Los modelos de mantenimiento aplicados, no atendían adecuadamente la prevención, ni los diagnósticos de las causas de falla.

Se reconoce en todos los períodos que las máquinas y sistemas altamente confiables involucran pocas fallas y para su desarrollo se requieren el uso “inteligente” de todos los datos de falla disponibles así como el conocimiento de la naturaleza promotora de las mismas. Los estudios en confiabilidad surgidos desde la primera mitad del siglo XX, fomentan metodologías aplicadas para conocer la plataforma de vida de productos, equipos, plantas, procesos, que aseguren que estos ejecuten su función prevista, sin fallar por un período de tiempo y en una condición específica.

Los modelos, metodologías y estrategias de mantenimiento que se inician para finales de la segunda guerra mundial, estarán influenciado fuertemente la filosofía, el enfoque para el aprendizaje y la consolidación del conocimiento teórico-práctico adquirido hasta ese momento. Todo lo documentado en los primeros cincuenta años del siglo XX, representa una actividad de recopilación realizada en una forma nunca vista, y establecerá una vanguardia en el tema del mantenimiento y la confiabilidad, lo cual hace que mucha literatura arranque desde estos años, y niegue sin desearlo, el largo camino recorrido por la humanidad desde la antigüedad para adquirir, desarrollar y usar en forma exitosa el conocimiento teórico-práctico del mantenimiento y la confiabilidad. Sin embargo el interés despertado al finalizar la guerra hace que lo que era el dominio de una vanguardia, pase a ser promovido y difundido hacia todo aquel que esté interesado en el tema.

Se evidencia para todos los períodos que aquellas naciones que desean tener la habilidad para producir sistemas tecnológicamente complejos con adecuada confiabilidad, deben formar personal con capacidad de entender y promover los factores de confiabilidad, mantenimiento, automatización y mantenibilidad en forma combinada, para mantener liderazgo en los desarrollos y poder hacerlos en forma segura.

El incipiente desarrollo de la computación luego de finalizada la guerra contribuirá con el desarrollo, a

través de simulaciones, con los estudios y modelos de mantenimiento y confiabilidad. Se resalta la importancia de la reproducibilidad y el control estadístico de procesos para reducir defectos en la manufactura.

III. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hobsbawm, Eric. “The Age of Revolution: Europe 1789–1848”. First Vintage Books Edition, 1996.
- [2] McCloskey, Deirdre. "Review of the Cambridge Economic History of Modern Britain". Times Higher Education Supplement, 15 January, 2004.
- [3] Berg, Maxine; Hudson, Pat. "Rehabilitating the Industrial Revolution". The Economic History Review Vol. 45, No. 1, 1992.
- [4] Smith, Adam (1776). “An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations”. University Of Chicago Press, 1977
- [5] Lucas, Robert E., Jr. “The Industrial Revolution: Past and Future, Lectures on Economic Growth. Cambridge”. Cambridge and London: Harvard University Press, 2002 p. 109-88
- [6] Griffin, Emma. "The ‘industrial revolution’: interpretations from 1830 to the present". School of History, UEA, Norwich. NR2 3HF Palgrave. Retrieved February 2013. A Short History of the British Industrial Revolution
- [7] Mokyr, Joel. “The Second Industrial Revolution, 1870-1914”. Northwestern University 2003.
- [8] Taylor, Frederick Winslow. “The Principles of Scientific Management”. New York, NY, USA and London, UK: Harper & Brothers, 1911.
- [9] Drury, Horace Bookwalter. “Scientific management: A history and criticism”. New York, NY, USA: Columbia University 1918.
- [10] Smil, Vaclav. “Creating the Twentieth Century: Technical Innovations of 1867–1914 and Their Lasting Impact”. Oxford; New York: Oxford University Press, 2005.
- [11] Hartness, James. “The Human Factor in Works Management”. New York and London: McGraw-Hill 1912.

- [12] Gantt, Henry L. "Work, Wages and Profits. Their influences on the cost of Living". The Engineering Magazine. New York 1910.
- [13] Gantt, Henry L. "Organizing for work". Harcourt, Brace and Howe, Inc. New York 1919.
- [14] Weber, Max. "The Protestant Ethic and "The Spirit of Capitalism (1905)". Translated by Talcott Parsons New York: Charles Scribner's Sons, London: George Allen & Unwin Ltd., 1930
- [15] Maier, Charles S. "Between Taylorism and Technocracy: European Ideologies and the Vision of Industrial Productivity in the 1920s". Journal of Contemporary History Volume 5 Number 2, 27-61, 1970.
- [16] Price, Brian. "Frank and Lillian Gilbreth and the Motion Study Controversy, 1907-1930 in a Mental Revolution: Scientific Management since Taylor". The Ohio State University Press, 1990.
- [17] Veblen, Thorstein. "The Instinct of Workmanship and the State of the Industrial Arts". Published March, 1914. New edition published by B. W. Huebsch, July, 1918. Reprinted October, 1922.
- [18] Fayol, Henri. "Notice sur les travaux scientifiques et techniques". Gauthier 1918.
- [19] Fayol, Henri. "L'Incapacité industrielle de l'État: Les P. T. T". Dunod, Paris 1921.
- [20] Muntone, Stephanie. "Second Industrial Revolution". Education.com. The McGraw-Hill Companies. Retrieved 14 October, 2013. U.S. History Demystified (First Edition) Paperback, 496 Pages, Published 2011
- [21] Landes, David. S. "The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present". Cambridge, New York: Press Syndicate of the University of Cambridge, 1969.
- [22] Paxton, John. "Mr. Taylor, Mr. Ford, and the Advent of High-Volume Mass Production: 1900-1912". Wayne State College, Economics & Business Journal: Inquiries & Perspective. Volume 4 Number 1 October 2012.
- [23] Fayol, Henri. "Administración industrial; coordinación, control, previsión, organización, mando". Traducción (Constantino, Dimitru) de Administration industrielle et générale; prévoyance, organisation, commandement, coordination, controle", publicada por H. Dunod et E. Pinat, Paris 1917. Librería El Ateneo Editorial, Buenos Aires, Argentina 1987.
- [24] Taylor, Frederick Winslow. "Shop Management". New York, NY, USA: American Society of Mechanical Engineers (ASME)", 1903. Harper & Brothers, 1912.
- [25] Polakov, Walter N. "Kinetic Statistics as an Aid to Production and Distribution". Journal of the American Statistical Association 18 (139): 359-365, 1922
- [26] Polakov, Walter N. "Mastering Power Production: The Industrial, Economic and Social Problems Involved and Their Solution". The Engineering Magazine Company, New York, 1923.
- [27] Taksa, Lucy. "The Diffusion of Scientific Management: Reconsidering The Reform of Industry Related Training in the USA and NSW during the early 20th Century". School of Industrial Relations and Organisational Behaviour University of New South Wales. Sidney, Australia 1994.
- [28] Yavuz, Erdal. "The Industrial Revolution and Consequences". StudyMode.com. Retrieved 06, 2013, from <http://www.studymode.com/essays/Humanities-1801742.html> June 2013
- [29] Paxton, John. "Taylor's Unsung Contribution: Making Interchangeable Parts Practical". Chapman University's Argyros School of Business and Economics, Journal of Business and Management Vol. 17, No. 1, 2011 (p. 75-83).
- [30] Nelson, Daniel. "Industrial Engineering and the Industrial Enterprise, 1890-1940". Coordination and Information: Historical Perspectives on the Organization of Enterprise, University of Chicago Press. January 1995 (p. 35-54).
- [31] Judith A. Merkle. "Management and Ideology: The Legacy of the International Scientific Management Movement". University of California Press, Berkeley, p.48-49, 1980
- [32] Nelson, Daniel. "Scientific Management in Retrospect". A Mental Revolution Scientific

Management since Taylor. Ohio State University Press, Columbus, p. 5–39, 1992

[33] Sarfatti Larson, Magali. “Acerca de los expertos y los profesionales o la imposibilidad de haberlo dicho todo”. Universidad del Temple Filadelfia, Estados Unidos, 1987.

[34] Case, Karl E.; Fair, Ray C., and Oster, Sharon M. “Principles of Macroeconomics”. Prentice Hall, 2012.

[35] Romer, Christina D. “What Ended the Great Depression?”. The Journal of Economic History, Vol. 52, No. 4, Dec. 1992.

[36] Kuznets, Simon. “Long Swings in the Growth of Population and in Related Economic Variables,” Proceedings of the American Philosophical Society 102, 25-52. 1958. Reprinted in Economic Growth and Structure: Selected Essays, New York: W.W. Norton, 1965.

[37] Mokyr, Joel. “Knowledge, Technology, and Economic Growth during the Industrial Revolution”. Unpublished working paper presented to the Conference on Productivity and Standards of living, Groningen, Sept. 1998.

[38] Mokyr, Joel. “Science, Technology, and Knowledge: What Historians can learn from an evolutionary approach”. Max Planck Institute for Research into Economic Systems, Working Papers on Economics and Evolution, p. 98-03, 1998.

[39] Riefler, Winfield W. “Turning points of the war Our Economic Contribution to Victory”. Foreign Affairs Vol. 26 N01: 90–103. Published by: Council on Foreign Relations, October 1947.

[40] Hayek, F.A. "The Road to Serfdom". The University of Chicago Press, 50th anniversary ed. Chicago, 1994.

[41] Megan Taylor Shockley, "Working For Democracy: Working-Class African-American Women, Citizenship, and Civil Rights in Detroit, 1940-1954". Michigan Historical Review 2003.

[42] Bureau of the Census, Historical Statistics of the United States Chapter D, Labor, Series D p. 29-41, 1976

[43] Miranda Pollard. “Reign of Virtue: Mobilizing

Gender in Vichy France”. The University of Chicago Press, Chicago 1998.

[44] Hanna Diamond, “Women and the Second World War in France, 1939–1948: Choices and Constraints”. Longman, London 1999.

[45] Barber, John and Harrison, Mark. “The Soviet Home Front, 1941–1945: a social and economic history of the USSR in World War II”. Longman, London 1991.

[46] Havers, Robin. “Essential Histories 35: The Second World War (2): Europe, 1939–1943”. Osprey Publishing LTD. Oxford 2002.

[47] Caccia, Ivana “Managing the Canadian Mosaic in Wartime: Shaping Citizenship Policy, 1939–194”. McGill-Queen's University Press, 2010.

[48] Roach Pierson, Ruth. "They're Still Women After All, The Second World War and Canadian Womanhood". McClelland & Stewart, 1986.

[49] Crowley, Frank ed. “A New History of Australia”. William Heinemann, Melbourne 1974.

[50] Deborah Montgomerie. "The Limitations of Wartime Change. Women War Workers in New Zealand". New Zealand Journal of History Vol. 23 N0, pp 68-86. 1989.

[51] Overy, Richard. “War and Economy in the Third Reich”. Clarendon Press 1995.

[52] Homze, Edward L. “Foreign Labor in Nazi Germany”. Princeton University Press, Princeton New Jersey, 1967.

[53] Gordon Williamson, World War II German Women's Auxiliary Services (2003) pp 34-36. Osprey Publishing LTD. Oxford 2003.

[54] Cohen, Jerome B. “Japan's Economy in War and Reconstruction”. University of Minnesota Press. Minneapolis 1949.

[55] Harrison, Mark. "Resource Mobilization for World War II: The U.S.A., UK, USSR and Germany, 1938–1945". University of Warwick, The Economic History Review, 41:2, pp. 171–92. 1988.

[52] Loyd, E. Lee, ed.; “World War II in Europe, Africa,

and the Americas, with General Sources A Handbook of Literature and Research". Greenwood Press. Westport, CT, 1997.

[53] Loyd, E. Lee. "World War II in Asia and the Pacific and the War's aftermath, with General Themes: A Handbook of Literature and Research". Greenwood Press, 1998.

[54] Butlin, S. J. "War Economy, 1939–42". Australian War Memorial, Canberra 1955.

[55] Butlin, Sydney James and Schedvin, C. B. "War economy, 1942-1945". Australian War Memorial, Canberra 1977

[56] Darian-Smith, Kate. "On the Home Front: Melbourne in Wartime, 1939–1945". Melbourne University Press, Melbourne 2009.

[57] Mellor, D.P. "The Role of Science and Industry". Australian War Memorial, the Griffin Press, Adelaide 1958.

[58] Harris, Carol. "Women at War 1939–1945: The Home Front". The History Press, 2000.

[59] Hagemann, Karen. "Mobilizing Women for War:

The History, Historiography, and Memory of German Women's War Service in the Two World Wars". *Journal of Military History* 75:1055–1093, 2011

[60] Kaldor, Nicholas. "The German War Economy". *Review of Economic Studies* 13, Manchester Statistical Society (Manchester, England). Norbury, Lockwood, 1946.

[61] Bosworth, R. J. B. "Mussolini's Italy: Life under the Fascist Dictatorship, 1915–1945". Penguin Books; Reprint edition 2007.

[62] Cohen, Jerome. "Japan's Economy in War and Reconstruction". University of Minnesota Press, 1949.

[63] Duus, Peter, Myers, Ramon H. and Peattie, Mark R. "The Japanese Wartime Empire, 1931–1945". Princeton University Press, 1996.

[64] Barber, John, and Mark Harrison. "The Soviet Home Front: A Social and Economic History of the USSR in World War II". Longman, 1991.

[65] Thurston, Robert W. and Bonwetsch, Bernd. "The People's War: Responses to World War II in the Soviet Union". Board of Trustees of the University of Illinois, 2000.