

# FUNDAMENTOS TEROTECNOLOGICOS PARA REEMPLAZO DE EQUIPOS INDUSTRIALES EN LA GESTION DE ACTIVOS

## TEROTECHNOLOGICAL FOUNDATIONS FOR REPLACING INDUSTRIAL EQUIPMENT IN ASSET MANAGEMENT

Víctor Martín Pérez Moreno<sup>1</sup>

### RESUMEN

La Terotecnología aplicada al reemplazo de equipos industriales dinámicos y estáticos, alude a la toma de decisiones adecuadas para su sustitución, a fin de estudiar la obsolescencia de los equipos, y el impacto en los costos fundamentales de operación y mantenimiento, pues se han disminuidos los tiempos fuera de servicio, que resultan prioritarios para mantenerlos funcionando y competitivamente, minimizando los mantenimientos; ya que la problemática de este trabajo es que los activos durante sus periodos de utilización, sufren desgaste causando desperfectos. Así, el objetivo del estudio es exponer un modelo, basado en la Terotecnología, para el relevo de unidades empresarias susceptibles a fallas, de acuerdo con la Gestión de Activos. Es una investigación cuantitativa, que presenta un procedimiento matemático, siguiendo la Norma ISO 55000, donde se identifican y evalúan las opciones para instrumentar decisiones cuantitativamente aceptables, a fin de gestionar eficientemente dichos mecanismos; el resultado es una modelización que permite reducir la incertidumbre para la adopción de alternativas en momentos de cambio de los componentes y equipos. Se concluye que el modelo es apropiado para mejorar los costos en el ciclo de vida, y las disposiciones económicas para las empresas y sus usuarios.

**Palabras clave:** Equipos industriales, gestión de activos, obsolescencia de equipos, reemplazo de equipos, mantenimiento, toma de decisiones

---

<sup>1</sup> Universidad de Oriente. Departamento de Sistemas Industriales. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. An-zoátegui- Venezuela. [orcid.org/0000-0001-9466-7954](https://orcid.org/0000-0001-9466-7954)

Autor para correspondencia: [Vmperezm@gmail.com](mailto:Vmperezm@gmail.com)

Recibido:06.04.2020 Aceptado:10.04.2021

## RESUMEN

Terotechnology applied to the replacement of dynamic and static industrial equipment refers to making adequate decisions for its replacement, in order to study the obsolescence of the equipment, and the impact on the fundamental costs of operation and maintenance, as the costs have been reduced. downtime, which is a priority to keep them running and competitive, minimizing maintenance; since the problem with this work is that the assets during their periods of use, suffer wear and tear causing damage. Thus, the objective of the study is to present a model, based on Terotechnology, for the replacement of business units susceptible to failures, in accordance with Asset Management. It is a quantitative research, which presents a mathematical procedure, following the ISO 55000 Standard, where the options to implement quantitatively acceptable decisions are identified and evaluated, in order to efficiently manage said mechanisms; The result is a modeling that allows to reduce the uncertainty for the adoption of alternatives in moments of change of the components and equipment; concluding that it is appropriate to improve costs in the life cycle, and financial gains for companies and their users.

**Palabras clave:** Industrial equipment, asset management, equipment replacement, maintenance, equipment obsolescence, decision making.

## INTRODUCCIÓN

En los procesos industriales, se hace saber que la Terotecnología concebida bajo pertinencias de Ingeniería de Mantenimiento, aparece en el año 1970 en el Oxford English Dictionary (Sevilla, 2017); ella permite relacionar la tecnología y la economía, en la búsqueda de aumentar la productividad al menor costo posible, al evitar errores de medición, y se optimizan los recursos, cuando por ejemplo se trata de favorecer la sustitución o reemplazo de equipos industriales, en lugar de adelantar un prolongado mantenimiento industrial.

En apoyo, Temple *et al.* (2017) expone que, la Terotecnología hace énfasis en la importancia del vínculo entre los costos de mantenimiento y la retroalimentación de la información a los diseñadores, siendo el factor diseño considerado en esta disertación.

La Terotecnología se alimenta de técnicas, modelos, y parámetros que favorecen el funcionamiento de un activo, tal como lo establece para este estudio, la Norma ISO 55000 (2014), definiendo que la existencia de un equipo industrial comprende, el período desde su creación hasta el fin de su vida útil, logrando la minimización de paradas imprevistas.

En tal sentido, en los procedimientos industriales, la Gestión de Activos (GA), la cual durante la última década ha aumentado considerablemente en los procesos industriales que involucran activos tanto estáticos como dinámicos, implica atender y manejar con visión integral, la relación de operaciones y mantenimiento, así como el reemplazo de equipos en la última etapa de su ciclo de vida; esta evolución ha inducido a dimensionar o establecer políticas en

materia de sustitución o cambio de equipos de uso industrial.

Por su parte, Roda y Macchi (2016), consideran que para implementar adecuadamente la Gestión de Activos dentro de las compañías de producción, de acuerdo con la literatura y los estándares existentes, se debe dimensionar el ciclo de vida de un activo, en Principio de la vida, Medio de la vida, y Fase del final de la vida; lo cual establece considerar, la conceptualización de tres (3) etapas en la vida del equipos; es decir, el inicio o diseño, la operación y el mantenimiento, y finalmente el reemplazo. Es así como Depool (2015) plantea que, la implementación de un sistema de Gestión de Activos para el mantenimiento en la industria persigue inequívocamente, incrementar la disponibilidad del activo, a costos razonables y confiables.

Dentro de la Gestión de Activos, la Gestión de Mantenimiento, de acuerdo a lo establecido por Santos y Strefezza (2015), supone administrar y mejorar los recursos (humanos, materiales y financieros) disponibles y dedicados al mantenimiento de equipos, en este caso industriales, y así tomar las mejores decisiones en cuanto a costos, riesgos y beneficios. Así mismo, Ylipää (2017) proponen adoptar una mayor visión de los sistemas sobre mantenimiento, alcances extendidos, integración con otras funciones como la ingeniería de compra, diseños y producción, recalcando una nueva organización completamente integrada, que asuma la responsabilidad sobre los ciclos de vida, considerando el producto y los servicios, lo cual proporciona mayor conocimiento de los costos a la Gestión de Mantenimiento.

Lata *et al.* (2016) agregan que, las empresas en las cuales sus operaciones económicas dependen de la explotación de sus activos, es necesario que se tenga una planificación que garantice a la organización la mayor rentabilidad de sus equipos, lo cual aporta un mejor manejo de datos, para efectuar comparaciones de ganancias y pérdidas asociadas a costos.

Por otro lado, es de notoria importancia aclarar que según Torres (2015), dentro de la Gestión de Activos, la Gestión Sostenible de Activos requiere de la consideración integrada de siete aspectos, siendo ellos los técnicos, económicos, ambientales, financieros, sociales, políticos, e institucionales, destacando para el alcance de esta disertación, los técnicos, económicos, y financieros, en base a costos.

Por su parte, El-Akruti *et al.* (2015) establecen que el análisis del costo del ciclo de vida (LCC), es una actividad importante y crítica para la toma decisiones en el control de la ingeniería económica, que su vez aporta el desarrollo de una política de mantenimiento, para controlar la economía de la reparación de equipos y la práctica de reemplazo de los mismos. Es interesante considerar que el avance en paralelo de la tecnología y el conocimiento, como nunca antes en el mundo con una sociedad globalizada, siente la importancia de alcanzar procesos industriales y financieros, realmente productivos.

De acuerdo a Serebrisky *et al.* (2018), plantean que un mantenimiento adecuado puede ser la opción menos costosa para ofrecer mejores servicios y mayor productividad de los activos. Destacándose en este artículo, una relación para minimizar la incertidumbre en la vida económica del equipo, y la función de los costos de operación.

En este sentido, Ylipää *et al.* (2017) destacan la importancia de la eficiencia operativa y la disponibilidad, como dos principales contribuyentes en términos de pérdidas; por lo tanto, el reemplazo de equipos busca minimizar costos de mantenimiento y operación, así como suministrar criterios para la reposición de las unidades en la Gestión de Mantenimiento. Además, Dunn (1999) plantea la ampliación del alcance del mantenimiento desde una

perspectiva económica, donde varios aportes académicos.

Acerca de la disyuntiva del reemplazo de equipos industriales, para poder establecer el momento adecuado en el cual se encuentran en uso y deben ser substituidos, ha sido ampliamente estudiada desde las ultimas década del siglo XX, encontrándose en la literatura una gran cantidad de aportes, que intentan reducir el uso de prácticas empíricas que no han sido verificadas mediante análisis económicos, técnicos y/o tecnológicos.

De acuerdo con Pérez (2016), y para efectos de este trabajo, los activos o equipos industriales a considerar, pueden ser: dinámicos, o aquellos que tienen alta probabilidad de falla, baja consecuencia, y algunos de sus componentes están asociado al movimiento relativo, siendo ejemplo de ellos las bombas, compresores, electro ventiladores, turbinas, motores, entre otros. Además de los estáticos, que por el contrario tienen baja probabilidad de falla, alta consecuencia, y sus componentes no están asociados al movimiento relativo; pudiéndose mencionar entre algunos, los tanques, bombonas, recipientes a presión, trasformadores, tuberías, contenedores y paneles de control.

En atención a lo anterior, como planteamiento del problema de este estudio, se expone que los equipos industriales tanto dinámicos como estáticos, durante los periodos de utilización sufren desgaste en sus distintas partes, causando fallas que ameritan diversas actividades de mantenimiento para que puedan seguir operando. Por lo tanto, llega un momento en que es técnicamente necesario, o económicamente preferible, no prolongar más el funcionamiento de los equipos o unidades, sino reemplazarlo definitivamente para no generar un costo mayor, destacando los riesgos o daños que en muchos casos puedan ocasionar al ambiente y a los operadores.

Entendiéndose por reemplazar, sustituir algo por otra cosa, y poner en su lugar otra que haga sus veces (RAE, 2018). Por lo tanto, como una fortaleza del reemplazo de equipos, la idea es mejorar el proceso de selección para la debida sustitución, con la finalidad de mejorar la disponibilidad, disminuir los Tiempos Fuera de Servicios (TFS), y aumentar los Tiempo entre Fallas (TEF), para así evitar una redundancia excesiva.

Se agrega que, el criterio de reemplazo tiene en cuenta las siguientes premisas: el establecimiento de obsolescencia técnica y económica, el estudio de condiciones operacionales según la tasa de fallas, tomando en cuenta los TEF, y los costos elevados de operación y mantenimiento, para equipos estáticos y dinámicos. Destacando el mantenimiento como combinación de las técnicas y la administración de las acciones para su ejecución, según como la hacen saber (El-Akruti *et al.*, 2015).

Se postula como hipótesis de este trabajo que el reemplazo de equipos permite reducir los costos tecnológicos y financieros, además de evitar daños humanos y ambientales, valiéndose de una eficiente Gestión de Activos. Este trabajo tiene como objetivo exponer fundamentos Terotecnológicos en la última etapa del ciclo de vida de los activos, es decir el reemplazo de equipos industriales en la Gestión de Activos bajo la Norma ISO 55000.

## MATERIALES Y METODOS

Para dar respuesta a los constructos expuestos se ha desarrollado una investigación cuantitativa siguiendo las directrices planteadas por Mendicoa (2003), documental descrito en Arias (2012), proyectiva de acuerdo con Hurtado de Barrera (2009) y un diseño no experimental según Best (1978).

En este sentido, la población observada y analizada pertenece a los estudios realizados en el Laboratorio para la Investigación y Enseñanza del Mantenimiento (LIEMA), de la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de la Universidad de Oriente (UDO), Venezuela, habiendo adoptado criterios definidos estadísticamente, que permiten encontrar los mejores equipos estáticos y dinámicos, y tomar decisiones en cuanto a la elección de aquellos con posibilidad de fallar, considerando que en un modelo de reemplazo, al relacionar costos, su naturaleza es lograr minimizarlos, así como estudiar la obsolescencia, y maximizar el servicio, entre otros aspectos.

Para el planteamiento del modelo matemático los pasos fueron:

- Primero, se realizó una profunda revisión teórica y análisis de estudios anteriores en distintas áreas de la Ingeniería, para conocer a cabalidad los conceptos de Terotecnología, Gestión de Mantenimiento, y reemplazo de equipos industriales dinámicos y estáticos.

- Segundo, se realizaron observaciones directas de la población objeto de estudio; es decir, los equipos industriales dinámicos y estáticos con posibilidades de fallar y su consecuente reemplazo.

- Tercero, se establecieron los correspondientes criterios del modelo, tales como:  
Obtener la mejor relación de costos en operación y mantenimiento de equipos (estáticos y dinámicos).  
Medir la eficiencia de mantenimiento del equipo.  
Estudiar el factor pérdida dinámica.

- Cuarto, se procedió a la modelización.

- Quinto, se establecieron las políticas de reemplazo de equipos dinámicos, tal como se amplía seguidamente, en atención a las ecuaciones matemáticas correspondientes.

- Sexto, se establecieron las políticas de reemplazo de equipos estáticos de acuerdo a ecuaciones matemáticas.

- Séptimo, se determinó la eficacia de mantenimiento.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El modelo matemático propuesto se puede expresar por la Ecuación 1 (no se tiene en cuenta el costo de interés):

$$C = \frac{I - R_H + \int_0^H Q(t) dt}{H} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

- C = Costo total de un equipo (\$/h).
- I = Valor de la inversión.
- $R_H$  = Valor de reventa en el tiempo h.
- H = Vida de un equipo en horas.
- Q(t) = Función de costos de operación.

Para un estudio de reemplazo necesariamente se debe determinar ante todo la función  $R_{(H)}$  y Q (t).

Generalmente el valor  $R_{(H)}$  se obtiene por experiencia práctica (Fuentes de Información, donde se sugieren, informaciones del fabricante, comportamiento en equipos similares y experiencia de los operadores y/o mantenedores, sugiriendo dinámicas grupales para generar consensos), según Suárez y Pérez (2017), asignando una rata de depreciación al equipo bajo estudio.

La función Q(t) se define como el costo de operación y está integrado por dos componentes fundamentales:

- a) Costo de mantenimiento, reparación y repuestos.
- b) Costo de tiempos perdidos forzosamente TFS.

La función Q(t) fue determinada recopilando los costos de mantenimiento, reparaciones, demoras a intervalos regulares a los datos observados. Determinado  $R_{(H)}$  y Q(t), se calculó el valor de H que “minimiza” el costo total por unidad de tiempo. Este valor de H se obtuvo derivando la Ecuación 1, con respecto a t, e igualando a cero esta primera derivada y resolviendo para H, es decir H es mínimo cuando:

$$\frac{dc}{dt} = 0$$

Este valor particular de H se ha llamado  $H_E$  que da la vida económica del equipo considerado. Para ilustrar el balance anterior se presenta la siguiente relación: Dado los datos de una bomba centrífuga (Pedrollo, CP 200 trifásica, Potencia del motor: 3 HP, PAIS), data obtenida del Laboratorio para la Investigación y Enseñanza del Mantenimiento.

- Valor de inversión  $I = \$ 145 \times 10^3$
- Costo de operación por hora  $Q(t) = 0,004 \text{ \$/h}$ .

Se realiza la siguiente pregunta: ¿Cuál es la vida económica del equipo?

Solución: Sustituyendo estos datos en la Ecuación 1, se obtiene la Ecuación 2:

$$C = \frac{I - R_{(H)} + \int_0^h Q(t) dt}{H} = \frac{145 \times 10^3 R_{(H)} + \int_0^h 0,004 dt}{H} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Evaluando, se logra la ecuación 3:

$$C = \frac{0,002H^2 - R_{(H)} + 145 \times 10^3}{H} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Derivando parcialmente la ecuación 3 se encuentra el valor de H que minimiza el costo C, ver ecuación 4:

$$\frac{(145 \times 10^3 - R_{(H)} + 0,002H^2) \frac{d}{dH} xH - (145 \times 10^3 - R_{(H)} + 0,002H^2) xH \frac{d}{dH}}{H^2} = 0 \quad \text{Ecuación (4)}$$

Se obtiene el siguiente resultado en la ecuación 5:

$$\frac{0,004H^2 - 145 \times 10^3 + R_{(H)} - 0,002H^2}{H^2} = \frac{0,002H^2 + R_{(H)} - 145 \times 10^3}{H^2} = 0 \quad \text{Ecuación (5)}$$

Despejando H se obtiene la ecuación 6:

$$\frac{0,002H^2}{H^2} = \frac{-R_{(H)} + 145 \times 10^3}{H^2}$$

$$0,002 = \frac{145 \times 10^3 - R_{(H)}}{H^2} = \sqrt{H^2} = \sqrt{\frac{145 \times 10^3 - R_{(H)}}{0,002}} = H = H_E \quad \text{Ecuación (6)}$$

Dónde:

- C = Costo total por hora de un equipo  $\text{\$/h}$ .
- I = Valor de la inversión
- $R_{(H)}$  = Valor de reventa en el tiempo H.
- $H_E = H$  = Vida económica de un equipo.
- Q (t) = Función de costos de operación

Se puede ver que la vida económica depende del valor  $R_{(H)}$ , según la naturaleza asociada al trabajo del equipo, la oportunidad de reventa en el lugar donde se adelanta el rendimiento

del equipo.

Para equipos industriales dinámicos, la función de costo mínimo expresada en la ecuación 1, podría ser transformada en la siguiente Ecuación 7.

$$C = \frac{I - R_n + \sum_{i=1}^n (CO_i)}{n} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Dónde:

- C = Costo total esperado para el año n considerado 1 2,3, (...), n.
- CO<sub>i</sub>= Costo de operación durante el período i.
- I = Valor de la inversión.
- R<sub>n</sub>= Valor de reventa en año considerado 1 2, ( ), n.
- N = Periodo considerado.

Tabulando esta función para varios períodos de operación i, se determina el valor mínimo de C y en consecuencia el período n en que ocurre este valor mínimo.

Para las políticas de reemplazo de equipos estáticos, el modelo matemático propuesto para el costo total por hora asociado a una vida útil más prolongada por su naturaleza es básicamente el mismo empleado para equipos dinámicos. Sin embargo, debido a que la inversión se hace a largo plazo, se establece la necesidad de tener en cuenta la devaluación de la moneda (criterios macroeconómicos), el costo de interés, y los adelantos tecnológicos para los diseños futuros de equipos sujetos a confiabilidades altas, como son los asociados en esta gama.

En consecuencia, el costo total por año para un equipo estático puede expresarse por la siguiente función, basado en la Ecuación 8:

$$C = \left[ I - R_n * f_d + \sum_{j=1}^n (CO_j * f_d) \right] * f_a \quad \text{Ecuación (8)}$$

Dónde:

- C = Costo total esperado para el año n considerado 1 2,3, (...), n.
- I = Valor de la inversión.
- R<sub>n</sub> = Valor de reventa en año considerado 1 2,3, (...), n.
- f<sub>d</sub> = Factor de Descuento =  $\frac{1}{(1+i)^n}$
- i = Tasa de interés.
- N = Periodo considerado.
- CO<sub>j</sub> = Costo de operación en el año j

$$fa = \text{factor de amortización} = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

Se recomienda expresar el modelo de acuerdo a la Ecuación 9

$$C = [I - R_n \cdot fd] \cdot fa + \left[ \sum_{j=1}^n (co_j \cdot fd) \right] \cdot fa \quad \text{Ecuación (9)}$$

En una operación industrial, llega un momento en el cual es más económico cambiar un equipo usado (por una elevada frecuencia de acumulación de fallas del punto de vista estadístico), por uno nuevo.

Si la producción por hora de los dos equipos es la misma, para determinar la hora de cambio, se compara el costo marginal del equipo usado, con el costo promedio del equipo nuevo.

Cuando el costo marginal de un equipo usado, sea mayor que el costo promedio de un equipo nuevo, ha llegado la hora de hacer el cambio.

Matemáticamente se puede expresar la regla de reemplazo o cambio de equipos (13) de la siguiente manera: ver la relación en la Ecuación 10 para establecer la decisión.

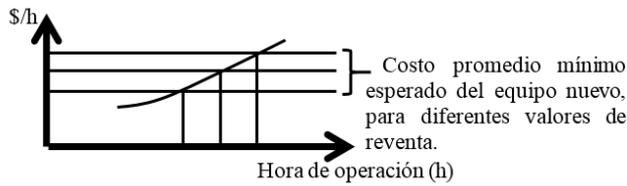
$$\frac{R_n - R_{n-1} + \int_{H_n}^{H_{n+1}} q(t_0) dt_0}{H_{n+1} - H_n} > \frac{I - R_{H_E} + \int_0^{H_E} q(t_1) dt_1}{H_E} \quad \text{Ecuación (10)}$$

Dónde:

- $q(t_0)$  = Función de costo del equipo usado.
- $q(t_1)$  = Función de costo del equipo nuevo.
- $H_E$  = Vida económica del equipo nuevo.
- $R_n$  = Valor de reventa actual.
- $R_{n+1}$  = Valor de reventa al terminar el periodo  $n + 1$ .
- $H_n$  = Número de horas operadas al finalizar  $n$ .
- $H_{n+1}$  = Número de horas operadas al finalizar  $n + 1$
- $I$  = Valor de la inversión.
- 

La solución gráfica de la figura 1 que sigue, aclara el concepto del problema del cambio expresado en la desigualdad señalada en la ecuación de la relación expresada 11.

$$R_i > R_j > R_k \quad \text{Ecuación (11)}$$



**Figura 1.** Tiempo de cambio de una máquina (Elaborado por el Investigador, 2021)

Es notorio que el reemplazo es realizado por un planificador de mantenimiento desde el punto de vista estadístico, de acuerdo a este estudio se apunta a que la mantenibilidad es la probabilidad de que una planta o equipo sea restablecida a una condición especificada dentro de un período de tiempo dado, buscando disminuir el tiempo medio para reparar los activos; donde según Cabrera *et al.* (2015), se toman en cuenta parámetros como: prioridad del equipo (criticidad y/o riesgo), horas de trabajo diario, sugerencia de los fabricantes, y experiencia de los especialistas; los cuales pudieran ser elementos que generen indagatorias en futuros estudios en el área de la Terotecnología, buscando mayores caracterizaciones.

Es interesante poder comparar los resultados alcanzados con un indicador de eficiencia de mantenimiento, donde estudiosos Ylipää *et al.* (2017) destacan la importancia en futuras investigaciones, tomando como parámetro lo vinculando a disponibilidad, velocidad, y calidad en la industria sueca.

En la determinación de la eficacia de mantenimiento, se propuso analizar la disponibilidad, velocidad, y calidad, generando los indicadores para equipos presentados a continuación, en la ecuación 12.

$$OEE = A \times S \times Q \tag{Ecuación 12}$$

Dónde:

A = Indicador de disponibilidad (Ecuación 13)

S = Indicador de velocidad (Ecuación 14)

Q = Indicador de calidad (Ecuación 15)

Disponibilidad :

$$A = \frac{\text{Tiempo de producción planeado} - \text{tiempo muerto o planeado}}{\text{Tiempo de producción planeado}} \tag{Ecuación 13}$$

Velocidad :

$$S = \frac{\text{Cantidad real de producción}}{\text{Cantidad planeada de producción}} \tag{Ecuación 14}$$

Calidad :

$$Q = \frac{\text{Cantidad real de producción} - \text{Cantidad no aceptada}}{\text{Cantidad real}} \tag{Ecuación 15}$$

Destacando que la manufactura de clase mundial establezca como parámetro de referencia

un 80% de eficacia de mantenimiento como bueno (Torres, 2015).

Luego de medir la eficiencia para este caso de estudio, de equipos estáticos y dinámicos, es importante destacar el elemento pérdida dinámica, que influye también en la pérdida del valor del equipo, y la presencia de factores endógenos y/o factores exógenos propios de la situación específica de dicho activo o bien de capital, como pueden ser: desajustes, modificación en el entorno, ambientes corrosivos, desgaste de los activos, y cambios de la tecnología asociados a la obsolescencia.

A este conjunto se les denomina pérdidas dinámicas del valor del equipo. Estos factores se pueden esclarecer en dos (2) variables como lo son: diseño e integridad, destacando la eficiencia que se pudiera asociar a la baja productividad, demostrando incumplimiento del ciclo de vida, e incrementando los costos de mantenimiento.

Por lo tanto, con apoyo Lata *et al.* (2016), se asevera la necesidad de añadir, que las aplicaciones desarrolladas se centran en la naturaleza multiobjetivo del problema en relaciones de costos; para ello ver la ecuación 9.

El factor diseño, afecta al equipo en relación a la construcción, materiales de mayor resistencia, intercambiabilidad, modulación, y accesibilidad. Este puede ser representado por el factor ( $F_o$ ) que comienza en 1, y que refleja la variación (como porcentaje) en el aumento de los costos administrativos y/o perdidos por esperas, a causa de las dificultades por adquirir el repuesto adecuado para la reparación del equipo.

El proceso de integridad también puede ser representado por el factor ( $F_i$ ) de tipo escalón creciente, con valores que parten de 1 y se van incrementando en el porcentaje de pérdida de velocidad, cada vez que el equipo queda disminuido en relación a la línea de producción mejorada.

El factor de pérdidas dinámicas se define como lo muestra la Ecuación 16, seguidamente.

$$F_d = F_o - F_i \quad \text{Ecuación (16)}$$

Dónde:

- $F_d$  = Factor de pérdidas dinámicas
- $F_o$  = Factor de diseño.
- $F_i$  = Factor de integridad.

En este punto cabe destacar que el modelo propuesto permite disminuir la incertidumbre en la toma de decisiones en momentos de reemplazo de equipos tanto estáticos como dinámicos en la industria.

Así mismo es muy probable que en casos particulares y procesos donde dos maquinas tengan diferente producción por hora, para determinar el momento del cambio, existe la necesidad de comparar el costo marginal de producción de un equipo usado, con el costo promedio de producción de un equipo nuevo, para conocer el cálculo económico.

En una empresa que tenga una buena gestión de sus activos y disponga de equipos de

naturaleza estáticos o dinámicos, estos cálculos deben ser una medida rutinaria cada año, ya que esto representa una ventaja significativa en la disminución de los Tiempos Fuera de Servicios (TFS) y la mantenibilidad, mejorando la gestión de desincorporaciones de los equipos. Ya que el reemplazo contempla, la última etapa del Ciclo de vida de un activo (CVA), que establece la Norma ISO 55000 en materia de Gestión de Activos, siendo esta la versión moderna y novedosa del Mantenimiento Industrial.

El modelo desarrollado, proporciona ecuaciones definidas y esclarece los factores involucrados en las relaciones económicas de costos, mantenimiento y producción, los cuales robustecen la toma de decisiones con respeto a los niveles operativos y gerenciales.

El enfoque también implica decidir el valor de la edad restante como criterio límite de reparación, mientras se evita la falla que es causada por la variación en las condiciones de operación. Así mismo, permite estudiar la pérdida dinámica asociada a la tribología y obsolescencia, para situaciones específicas de cada activo, que minimicen la incertidumbre. Por lo cual se sugiere asociar el estudio de estos factores a variables como; diseño e integridad, destacando la eficiencia que se relaciona a la productividad, demostrando incumplimiento del ciclo de vida, y el incrementando de los costos de mantenimiento en un equipo.

Se propone en esta investigación, que en el futuro de las gestiones de mantenimiento, se integre con otras funciones; por ejemplo, confiabilidad operacional, gestión de activos y Terotecnología, luego de profundas caracterizaciones de cada una de esas tres dimensión, amparadas en el manejo de datos e índices que fortalezcan la visión estratégica

Los resultados obtenidos al aplicar el modelo dependen por un lado de la calidad de los datos; y por otro, de los atributos y características de un determinado producto, en relación con su capacidad de satisfacer las necesidades establecidas, explícita o implícitamente, las cuales se describen según el comportamiento del equipo; ello en atención a lo señalado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2012).

Se sugiere que la compañía puede adoptar herramientas de apoyo técnico e ingenieril para ayudar a lograr los objetivos asociados al costo del ciclo de vida (LCC), y el costo total de propiedad (TCO), destacando que estas relaciones de costo por si solas no arrojan información sobre los parámetros de mantenimiento, siendo una limitante muy clara a la hora de tomar decisiones en sistemas industriales.

## CONCLUSIONES

En relación con lo establecido en este trabajo se detecta que es necesario proponer elementos para el acompañamiento en el ciclo de vida de un equipo, con técnicas de reemplazo con una visión holística en condiciones operacionales. No obstante, se demuestra que, estas aplicaciones, es posible determinar el momento oportuno que sugiere el caso para instrumentar el reemplazo o cambio de un activo.

Para el caso en estudio, se permite agrupar elementos en las ecuaciones propuestas, las

cuales representan el comportamiento de los activos a lo largo del tiempo, logrando establecer el tiempo de vida del equipo; por ello, por lo que su funcionamiento en términos rentables de puntos de vista económico y técnico, formulando en este estudio una buena herramienta teórica y práctica en toma de decisión para el reemplazo.

Cabe destacar que este documento resalta la necesidad de generar la evolución en el mantenimiento industrial, el cual cada vez mas parte de la necesidad de utiliza un amplio conjunto de datos con miras a nuevas filosofías para cuantificar niveles y generar índices, e identificar variables multivariantes de los principales factores que obstaculizan las cifras en la gestión de activos. Para este caso en particular se planteó el indicador Efectividad Total del Equipo (OEE), la cual es una razón porcentual con aplicabilidad limitante que sirve para cuantificar el uso adecuado de activos y/o equipos.

Se recomienda desarrollar una caracterización cualitativa y cuantitativa de elementos que mejoren el aprovisionamiento de procesos; donde se gestionen datos para fines de servicios, mantenimiento, producción, confiabilidad operacional y relaciones económicas buscando recopilar, analizar, almacenar y compartir la cantidad correcta de datos para gestiones más integradas de mayor involucramiento que migren de objetivos tácticos a objetivos más estratégicos.

En este caso la modelización, aporta una buena solución para establecer el reemplazo de algún equipo, y por lo tanto tomar la mejor decisión al profundizar en el estudio del costo del ciclo de vida (LCC), siendo esta una herramienta en base solo a costos. Donde la función de mantenimiento sea vista como una contribución a los dividendos y ganancias en la ingeniería de las operaciones y procesos, y la mejor opción para el negocio industrial, en lugar de sólo gastar dinero, todo esto visto bajo una mejor concepción económica además de mayor alcance técnico como es la Terotecnología vista en tres fases: diseño, mantenimiento y remplazo como plantea el estado del arte en la investigación.

El reemplazo de equipos permite reducir los costos tecnológicos y financieros, además de evitarle daños al ambiente y seres humanos, promoviendo una eficiente Gestión de Activos, por lo cual queda aprobada la hipótesis formulada. Se han expuesto los fundamentos Terotecnológicos para la fase de reemplazo de equipos industriales en la Gestión de Activos. Destacando la atención entre la vida útil y el tiempo, ya que la vida útil del activo nos llama a su aprovechamiento en el tiempo de uso y el tiempo nos enseña a valorar la vida útil del activo.

## REFERENCIAS

ARIAS FIDIAS, G. El Proyecto de Investigación: *Introducción a la Metodología Científica*. 5 Ed. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme, C. A, 2012. ISBN: 980-07-8529-9.

BEST, J. W. *Cómo Investigar en Educación*. 7 Ed. Madrid, España: Ediciones Morata, S. A. 1978. ISBN: 847112099.

CABRERA, J., DÍAZ, A., ROMERO, J. *El análisis de confiabilidad operacional*.

Mantenimiento en Latino América, 2015. ISSN2357-6840. Disponible en: [https://issuu.com/mantenimientoenlatinoamerica/docs/ml\\_mayo\\_2019](https://issuu.com/mantenimientoenlatinoamerica/docs/ml_mayo_2019)

DEPOOL, T. A. *Mejora de la gestión de activos físicos según pas 55 – iso 55000 evaluando el desempeño de los roles del marco de competencias del iam*. [Tesis de doctorado], Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, España, 2015. Disponible en: <https://n9.cl/5hlot>

DUNN, R. 1999. Basic guide to maintenance benchmarking. En: *Planet Engineering* [en línea]. Disponible en: <https://www.plantengineering.com/articles/basic-guide-to-maintenance-benchmarking/>

EL-AKRUTI, K., DWIGHT, R., ZHANG, T., y AL-MARSUMI, M. The Role of Life Cycle Cost in Engineering Asset Management. En: Tse P., Mathew J., Wong K., Lam R., Ko C. (eds) *Engineering Asset Management - Systems, Professional Practices and Certification. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2015. ISBN: 978-3-319-09506-6. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09507-3\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09507-3_17)

HURTADO DE BARRERA, J. *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Editorial Fundación Servicios y Proyecciones para América Latina (SYPAL), 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. *Glosario de Estadística Básica*. México, 2012. Disponible en: [https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2014\\_INEGI\\_Glosario\\_estadistica\\_basica.pdf](https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2014_INEGI_Glosario_estadistica_basica.pdf).

ISO 55000:2014. *Gestión de activos. Resumen, principios y terminología*. ISO 55000. [en línea]. ISO. 2014. Disponible en: <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>

LATA, J. P., MEDINA, R. D., BORJA, W. P., y MORALES, D. X. (2016). Descripción de las Pruebas Habituales Aplicadas al Transformador de Potencia en el Contexto de Gestión de la Condición. En: 2016 IEEE International Conference on Automatica. [en línea] Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.. 2016. Disponible en: <https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2016.7778472>

MENDICOA, G. E. *Sobre tesis y tesistas. Lecciones de enseñanza – aprendizaje*. ISBN 10: 9508021497 / ISBN 13: 9789508021496, Buenos Aires, Argentina: Editorial Espacio, 2003.

PÉREZ, V. (2016). *Principios terotecnológicos en gestión de activos para aplicaciones industriales*. *Revista ingeniería y Sociedad* [en línea]. 49(28), 1-6. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/index1.htm>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (RAE). *Diccionario de la Lengua Española* (23 ed.). Madrid, España. 2018. Disponible en: <https://dle.rae.es/?id=Vb008Am>

RODA, I., y MACCHI, M. (2016). Studying the funding principles for integrating Asset Management in Operations: an empirical research in production companies. *IFAC-Papers OnLine*, 49(28), 1-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316324259>

SANTOS, J., y STREFEZZA, M. (2015). *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*. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_)

arttext&pid=S1316-48212015000300004

SEVILLA, A. *Marco de referencia para la gestión de activos de alta capitalización. Definición de procesos de negocio y de técnicas avanzadas de soporte a la gestión.* [Tesis de doctorado], Sevilla: Universidad de Sevilla, España, 2017. Disponible en: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/64008>

SEREBRISKY, T., SUÁREZ-ALEMÁN, A., PASTOR, C. y WOHLHUETER, A. (2018). Lifting the veil on Infrastructure Investment Data in Latin America and the Caribbean. Nota técnica IDB-TN-1366 Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, DC. [en línea]. Disponible en: <https://publications.iadb.org/en/lifting-veil-infrastructure-investment-data-latin-america-and-caribbean>

SUÁREZ, D., y PÉREZ, V. (2017). *Gerencia de Mantenimiento.* Laboratorio para la Investigación y Enseñanza del Mantenimiento (LIEMA). Barcelona, Venezuela: Universidad de Oriente.

TEMPLE, A., MACAULAY, T. y ADANMA, C. (2017). Development of an Optimal Planning and Maintenance System (A Case Study Of Shell Petroleum Development Company, Obigbo Node). *International Journal of Scientific & Technology Research* [en línea]. 6(8),112-124. Disponible en: <http://www.ijstr.org/final-print/aug2017/Development-Of-An-Optimal-Planning-And-Maintenance-System-a-Case-Study-Of-Shell-Petroleum-Development-Company-Obigbo-Node.pdf>

TORRES, C. Optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de infraestructuras de transporte terrestre. [Tesis de doctorado], Valencia, España: Universidad Politècnica de Valencia, España. 2015. Disponible en: <https://n9.cl/h7qi8>

YLIPÄÄ, T., SKOOGH, A., BOKRANTZ, J., y GOPALAK, M. (2017). Identification of maintenance improvement potential using OEE assessment. *International Journal of Productivity and Performance Management* [en línea]. 66(1), 126-143. Disponible en: <https://doi.org/10.1108/IJPPM-01-2016-0028> Disponible en: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-01-2016-0028/full/html>