

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

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

TEROTECHNOLOGICAL FOUNDATIONS FOR REPLACING INDUSTRIAL EQUIPMENT IN ASSET MANAGEMENT

Víctor Martín Pérez Moreno¹

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.

ABSTRACT

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

¹Universidad de Oriente. Departamento de Sistemas Industriales. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Anzoátegui-Venezuela. ORCID: 0000-0001-9466-7954

Autor para correspondencia: Vmperezm@Gmail.Com

Recibido:06.04.2020 Aceptado:10.04.2021

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

35 during their periods of use, suffer wear and tear causing damage. Thus, the objective of the
36 study is to present a model, based on Terotechnology, for the replacement of business units
37 susceptible to failures, in accordance with Asset Management. It is a quantitative research,
38 which presents a mathematical procedure, following the ISO 55000 Standard, where the
39 options to implement quantitatively acceptable decisions are identified and evaluated, in
40 order to efficiently manage said mechanisms; The result is a modeling that allows to reduce
41 the uncertainty for the adoption of alternatives in moments of change of the components
42 and equipment; concluding that it is appropriate to improve costs in the life cycle, and
43 financial gains for companies and their users.

44 **Keywords:** Industrial equipment, asset management, equipment replacement,
45 maintenance, equipment obsolescence, decision making.

46

47

INTRODUCCIÓN

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

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

58 La Terotecnología se alimenta de técnicas, modelos, y parámetros que favorecen el
59 funcionamiento de un activo, tal como lo establece para este estudio, la Norma ISO 55000
60 (2014), definiendo que la existencia de un equipo industrial comprende, el período desde
61 su creación hasta el fin de su vida útil, logrando la minimización de paradas imprevistas.

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

68 Por su parte, Roda y Macchi (2016), consideran que para implementar adecuadamente la
69 Gestión de Activos dentro de las compañías de producción, de acuerdo con la literatura y

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnologicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

70 los estándares existentes, se debe dimensionar el ciclo de vida de un activo, en Principio
71 de la vida, Medio de la vida, y Fase del final de la vida; lo cual establece considerar, la
72 conceptualización de tres (3) etapas en la vida del equipos; es decir, el inicio o diseño, la
73 operación y el mantenimiento, y finalmente el reemplazo. Es así como Depool (2015)
74 plantea que, la implementación de un sistema de Gestión de Activos para el mantenimiento
75 en la industria persigue inequívocamente, incrementar la disponibilidad del activo, a costos
76 razonables y confiables.

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

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

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

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

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

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

108 En este sentido, (7) destacan la importancia de la eficiencia operativa y la disponibilidad,
109 como dos principales contribuyentes en términos de pérdidas; por lo tanto, el reemplazo de
110 equipos busca minimizar costos de mantenimiento y operación, así como suministrar
111 criterios para la reposición de las unidades en la Gestión de Mantenimiento. Además, Dunn
112 (1999) plantea la ampliación del alcance del mantenimiento desde una perspectiva
113 económica, donde varios aportes académicos.

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

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

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

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

140 Se agrega que, el criterio de reemplazo tiene en cuenta las siguientes premisas: el
141 establecimiento de obsolescencia técnica y económica, el estudio de condiciones
142 operacionales según la tasa de fallas, tomando en cuenta los TEF, y los costos elevados
143 de operación y mantenimiento, para equipos estáticos y dinámicos. Destacando el
144 mantenimiento como combinación de las técnicas y la administración de las acciones para
145 su ejecución, según como la hacen saber (6).

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

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

151 **MATERIALES Y METODOS**

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

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

164 Para el planteamiento del modelo matemático lo pasos fueron:

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

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

171 -Tercero, se establecieron los correspondientes criterios del modelo, tales como:

- 172 • Obtener la mejor relación de costos en operación y mantenimiento de equipos
173 (estáticos y dinámicos).
- 174 • Medir la eficiencia de mantenimiento del equipo.
- 175 • Estudiar el factor pérdida dinámica.

176 -Cuarto, se procedió a la modelización.

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

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos tecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

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

181 -Séptimo, se determinó la eficacia de mantenimiento.

182

183

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

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

186

Ecuación (1)

187

188 Dónde:

- 189 • C = Costo total de un equipo (\$/h).
- 190 • I = Valor de la inversión.
- 191 • $R_{(H)}$ = Valor de reventa en el tiempo h.
- 192 • H = Vida de un equipo en horas.
- 193 • Q (t) = Función de costos de operación.

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

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

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

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

205 La función Q(t) fue determinada recopilando los costos de mantenimiento, reparaciones,
206 demoras a intervalos regulares a los datos observados. Determinado $R_{(H)}$ y Q(t), se calculó
207 el valor de H que "minimiza" el costo total por unidad de tiempo. Este valor de H se obtuvo

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnologicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

208 derivando la Ecuación 1, con respecto a t, e igualando a cero esta primera derivada y
209 resolviendo para H, es decir H es mínimo cuando:

$$210 \quad \frac{dc}{dt} = 0$$

211 Este valor particular de H se ha llamado H_E que da la vida económica del equipo
212 considerado.

213 Para ilustrar el balance anterior se presenta la siguiente relación: Dado los datos de una
214 bomba centrífuga (Pedrollo, CP 200 trifásica, Potencia del motor: 3 HP, PAIS), data
215 obtenida del Laboratorio para la Investigación y Enseñanza del Mantenimiento.

- 216 • Valor de inversión $I = \$ 145 \times 10^3$
- 217
- 218 • Costo de operación por hora $Q(t) = 0,004 \text{ \$/h}$.

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

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

$$221 \quad C = \frac{I - R_{(H)} + \int_0^H Q(t)dt}{H} = \frac{145 \times 10^3 R_{(H)} + \int_0^H 0,004 dt}{H} \quad \text{Ecuacion (2)}$$

222 Evaluando, se logra la ecuación 3:

$$223 \quad C = \frac{0,002H^2 - R_{(H)} + 145 \times 10^3}{H} \quad \text{Ecuación (3)}$$

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

$$226 \quad \frac{(145 \times 10^3 - R_{(H)} + 0,002H^2) \frac{d}{dH} xH - (145 \times 10^3 - R_{(H)} + 0,002H^2) xH \frac{d}{dH}}{H^2} = 0 \quad \text{Ecuación (4)}$$

227 Se obtiene el siguiente resultado en la ecuación 5:

$$228 \quad \frac{0,004H^2 - 145 \times 10^3 + R_{(H)} - 0,002H^2}{H^2} = \frac{0,002H^2 + R_{(H)} - 145 \times 10^3}{H^2} = 0 \quad \text{Ecuacion (5)}$$

229 Despejando H se obtiene la ecuación 6:

$$230 \quad \frac{0,002H^2}{H^2} = \frac{-R_{(H)} + 145 \times 10^3}{H^2}$$

$$231 \quad 0,002 = \frac{145 \times 10^3 - R_{(H)}}{H^2} = \sqrt{H^2} = \sqrt{\frac{145 \times 10^3 - R_{(H)}}{0,002}} = H = H_E \quad \text{Ecuación (6)}$$

232 Dónde:

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnologicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

- 233 • C = Costo total por hora de un equipo \$/h.
 234 • I = Valor de la inversión
 235 • $R_{(H)}$ = Valor de reventa en el tiempo H.
 236 • $H_{E=H}$ = Vida económica de un equipo.
 237 • Q (t) = Función de costos de operación

238

239 Se puede ver que la vida económica H_E depende del valor R_H , según la naturaleza asociada
 240 al trabajo del equipo, la oportunidad de reventa en el lugar donde se adelanta el rendimiento
 241 del equipo.

242 Para equipos industriales dinámicos, la función de costo mínimo expresada en la ecuación
 243 1, podría ser transformada en la siguiente Ecuación 7.

$$244 \quad C = \frac{I - R_n + \sum_{i=1}^n (CO_i)}{n} \quad \text{Ecuación (7)}$$

245 Dónde:

- 246 • C = Costo total esperado para el año n considerado 1 2,3, (...), n.
 247 • CO_i = Costo de operación durante el período i.
 248 • I = Valor de la inversión.
 249 • R_n = Valor de reventa en año considerado 1 2, (), n.
 250 • N = Periodo considerado.

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

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

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

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnologicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

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

262

263 Dónde:

264 • C = Costo total esperado para el año n considerado 1 2,3, (...), n.

265 • I = Valor de la inversión.

266 • R_n = Valor de reventa en año considerado 1 2,3, (...), n.267 • $fd = \text{Factor de Descuento} = \frac{1}{(1+i)^n}$

268 • i = Tasa de interés.

269 • N = Periodo considerado.

270 • CO_j = Costo de operación en el año j

$$f_a = \text{Factor de amortización} = \frac{i * (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

271

272

273 Se recomienda expresar el modelo de acuerdo a la Ecuación 9

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

274

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

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

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

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

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

285

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnologicos para reemplazo....

Pérez

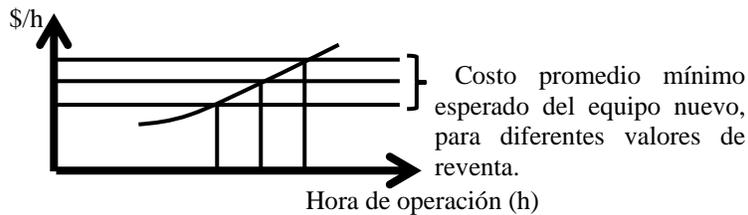
<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

286 Dónde:

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

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

297 $R_i > R_j > R_k$ Ecuación (11)



298

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

300

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

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnologicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

310 Es interesante poder comparar los resultados alcanzados con un indicador de eficiencia de
 311 mantenimiento, donde estudiosos (13) destacan la importancia en futuras investigaciones,
 312 tomando como parámetro lo vinculando a disponibilidad, velocidad, y calidad en la industria
 313 sueca.

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

$$317 \quad \quad \quad OEE = A \times S \times Q \quad \quad \quad \text{Ecuación (12)}$$

318 Dónde:

~~319~~

321 A = Indicador de disponibilidad (Ecuación 13)

322 S = Indicador de velocidad (Ecuación 14)

Q = Indicador de calidad (Ecuación 15)

- 323 • Disponibilidad:

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

324

325

(Ecuación 13)

- 326 • Velocidad:

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

327

328

(Ecuación 14)

329

- Calidad:

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

330

(Ecuación 15)

331 Destacando que la manufactura de clase mundial establezca como parámetro de referencia
 332 un 80% de eficacia de mantenimiento como bueno (13).

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

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnologicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

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

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

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

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

355 El factor de pérdidas dinámicas se define como lo muestra la Ecuación 16, seguidamente.
 356

$$357 \quad F_d = F_o + F_i \quad (\text{Ecuación 16})$$

358 Dónde:

- 359 • F_d = Factor de perdidas dinámicas
- 360 • F_o = Factor de diseño.
- 361 • F_i = Factor de integridad.

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

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

369 En una empresa que tenga una buena gestión de sus activos y disponga de equipos de
 370 naturaleza estáticos o dinámicos, estos cálculos deben ser una medida rutinaria cada año,
 371 ya que esto representa una ventaja significativa en la disminución de los Tiempos Fuera de

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

372 Servicios (TFS) y la mantenibilidad, mejorando la gestión de desincorporaciones de los
373 equipos. Ya que el reemplazo contempla, la última etapa del Ciclo de vida de un activo
374 (CVA), que establece la Norma ISO 55000 en materia de Gestión de Activos, siendo esta
375 la versión moderna y novedosa del Mantenimiento Industrial.

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

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

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

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

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

401

CONCLUSIONES

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

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

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

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

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

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

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

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

440

REFERENCIAS

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

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos tecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

- 445 2. TEMPLE, A., MACAULAY, T., ADANMA, C. *Development Of An Optimal Planning And*
446 *Maintenance System (A Case Study Of Shell Petroleum Development Company, Obigbo*
447 *Node)*. International Journal of Scientific & Technology Research. ISSN 2277-8616.
448 Disponible en: [http://www.ijstr.org/final-print/aug2017/Development-Of-An-Optimal-](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)
449 [Planning-And-Maintenance-System-a-Case-Study-Of-Shell-Petroleum-Development-](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)
450 [Company-Obigbo-Node.pdf](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)
- 451 3. ISO 55000:2014. *Gestión de activos. Resumen, principios y terminología*. ISO 55000.
452 [en línea]. ISO. 2014. Disponible en: [https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-](https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es)
453 [1:v2:es](https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es)
- 454 4. RODA, I., y MACCHI, M. (2016). Studying the funding principles for integrating Asset
455 Management in Operations: an empirical research in production companies. [consulta:
456 1 junio 2016], ISSN: 2405-8963. Disponible en:
457 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316324259>
- 458 5. DEPOOL, T. A. *Mejora de la gestión de activos físicos según pas 55 – iso 55000*
459 *evaluando el desempeño de los roles del marco de competencias del iam*. [Tesis de
460 doctorado], Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, España, 2015.
461 Disponible en: <https://n9.cl/5hlot>
- 462 6. SANTOS, J., y STREFEZZA, M. (2015). *Una visión en la evolución de las nociones de*
463 *confiabilidad y mantenimiento en la civilización occidental desde la antigüedad hasta*
464 *finales de los años cuarenta del siglo XX*. Disponible en:
465 http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-48212015000300004
- 466 7. YLIPÄÄ, T., SKOOGH, A., BOKRANTZ, J., y GOPALAK, M. *Identification of*
467 *maintenance improvement potential using OEE assessment*. ISSN: 1741-0401.
468 Disponible en: [https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-01-2016-](https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-01-2016-0028/full/html)
469 [0028/full/html](https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJPPM-01-2016-0028/full/html)
- 470 8. LATA, J. P., MEDINA, R. D., BORJA, W. P., y MORALES, D. X. (2016). Descripción de
471 las Pruebas Habituales Aplicadas al Transformador de Potencia en el Contexto de
472 Gestión de la Condición. En: 2016 IEEE International Conference on Automatica. [en
473 línea] Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.. 2016. Disponible en:
474 <https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2016.7778472>
- 475 9. TORRES, C. Optimización heurística multiobjetivo para la gestión de activos de
476 infraestructuras de transporte terrestre. [Tesis de doctorado], Valencia, España:
477 Universidad Politécnica de Valencia, España. 2015. Disponible en: <https://n9.cl/h7qi8>
- 478 10. EL-AKRUTI, K., DWIGHT, R., ZHANG, T., y AL-MARSUMI, M. The Role of Life Cycle
479 Cost in Engineering Asset Management. En: Tse P., Mathew J., Wong K., Lam R.,
480 Ko C. (eds) *Engineering Asset Management - Systems, Professional Practices and*

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnológicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

- 481 *Certification. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. 2015. ISBN:
482 978-3-319-09506-6. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09507-3_17
- 483 11. SEREBRISKY, T., SUÁREZ-ALEMÁN, A., PASTOR, C., WOHLHUETER, A. (2018).
484 *Lifting the veil on Infrastructure Investment Data in Latin America and the Caribbean*.
485 Inter-American Development Bank. Disponible en:
486 [https://publications.iadb.org/en/lifting-veil-infrastructure-investment-data-latin-america-](https://publications.iadb.org/en/lifting-veil-infrastructure-investment-data-latin-america-and-caribbean)
487 [and-caribbean](https://publications.iadb.org/en/lifting-veil-infrastructure-investment-data-latin-america-and-caribbean)
- 488 12. DUNN, R. (1999). Basic guide to maintenance benchmarking. *En: Planet Engineering*
489 [en línea]. Disponible en: [https://www.plantengineering.com/articles/basic-guide-to-](https://www.plantengineering.com/articles/basic-guide-to-maintenance-benchmarking/)
490 [maintenance-benchmarking/](https://www.plantengineering.com/articles/basic-guide-to-maintenance-benchmarking/)
- 491 13. PÉREZ, V. (2016). *Principios terotecnológicos en gestión de activos para aplicaciones*
492 *industriales. Revista ingeniería y Sociedad* [en línea], 49(28), 1-6. Disponible en:
493 <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/index1.htm>
- 494 14. REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (RAE). *Diccionario de la Lengua Española* (23 ed.).
495 Madrid, España. 2018. Disponible en: <https://dle.rae.es/?id=Vb008Am>
- 496 15. MENDICOA, G. E. *Sobre tesis y tesisas. Lecciones de enseñanza – aprendizaje*. ISBN
497 10: 9508021497 / ISBN 13: 9789508021496, Buenos Aires, Argentina: Editorial Espacio,
498 2003.
- 499 16. ARIAS FIDIAS, G. 2012 *El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología*
500 *Científica*. 5 Ed. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme, C. A, 2012. ISBN: 980-07-
501 8529-9.
- 502 17. HURTADO DE BARRERA, J. *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela:
503 Editorial Fundación Servicios y Proyecciones para América Latina (SYPAL), 2009.
- 504 18. BEST, J. W. *Cómo Investigar en Educación*. 7 Ed. Madrid, España: Ediciones Morata,
505 S. A. 1978. ISBN: 847112099.
- 506 19. CABRERA, J., DÍAZ, A., ROMERO, J. *El análisis de confiabilidad operacional*.
507 *Mantenimiento en Latino América*, 2015. ISSN2357-6840. Disponible en:
508 https://issuu.com/mantenimientoenlatinoamerica/docs/ml_mayo_2019
- 509 20. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. *Glosario de Estadística Básica*.
510 México, 2012. Disponible en:
511 [https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2014_INEGI_Glosario_est](https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2014_INEGI_Glosario_estadistica_basica.pdf)
512 [adistica_basica.pdf](https://portalsocial.guanajuato.gob.mx/sites/default/files/documentos/2014_INEGI_Glosario_estadistica_basica.pdf).
- 513 21. SUÁREZ, D., & PÉREZ, V. (2017). *Gerencia de Mantenimiento*. Laboratorio para la Investigación

Postprint-Accepted manuscript

ISSN Online 0718-8307

Universidad del Bío-Bío

Fundamentos terotecnologicos para reemplazo....

Pérez

<https://doi.org/10.22320/S07179103/2020.4>

514 y Enseñanza del Mantenimiento (LIEMA). Barcelona, Venezuela: Universidad de Oriente.

515