

Aplicación de indicadores de clase mundial para la gestión del mantenimiento en máquinas de inyección (Original)

Application of World Class Indicators for Maintenance Management in Injection Molding Machines (Original)

Ernesto Rodríguez Alba. Licenciado en Educación Especialidad Mecánica. Máster en Nuevas Tecnologías para la Educación. Profesor Auxiliar. Universidad de Granma. Bayamo. Granma.

Cuba. erodrigueza@udg.co.cu 

Karenia Téllez Villardi. Licenciada en Contabilidad y Finanzas. Profesor Instructor. Universidad

de Granma. Bayamo. Granma. Cuba. ktellezv@udg.co.cu 

Recibido: 22-10-2022 Aceptado: 16-03-2023

Resumen

El presente trabajo se realizó en la Unidad Empresarial de Base de Plástico de la Empresa de Producción de Medios de Enseñanza Granma, con el objetivo de determinar los indicadores de clase mundial para la gestión del mantenimiento en las máquinas de moldeo de plástico por inyección. Se asumió la metodología de cálculo de los Índices de Clase Mundial, con el fin de determinar la calidad técnica de cada equipo bajo las condiciones de trabajo u operación de los mismos, así como la calidad en el mantenimiento aplicado a estos para la mejora del desempeño técnico. Se aplicaron las fórmulas correspondientes que permiten revelar la calidad de los servicios técnicos realizados como el Tiempo Medio Para la Reparación, la Disponibilidad Técnica y el Costo de Mantenimiento por Facturación, observándose que para las máquinas analizadas los resultados se consideran aceptables para los indicadores analizados.

Palabras clave: Índices de Clase Mundial; gestión del mantenimiento; metodología de cálculo; servicios técnicos

Abstract

This work was carried out in the Plastic base business unit of Granma Teaching Aids Production Enterprise, with the objective to determine the world class indicators for maintenance management in plastic injection molding machines. It was assumed the world-class Index Calculation Methodology in order to determine the technical quality of each piece of equipment within its working or operating conditions, as well as the quality of the maintenance applied to them to improve their technical performance. The corresponding formulas to reveal the quality of the technical services performed were applied, such as Average Time for Repair, Technical Availability and Maintenance Cost per Billing. It was observed that in the machines under analysis the results are considered acceptable, according to the indicators analyzed.

Keywords: World class indicators; maintenance management; calculation methodology; technical services

Introducción

La aparición de las máquinas en los inicios de la Revolución Industrial ocurrida en Europa a finales del siglo XVIII y con ella los consiguientes avances tecnológicos en el campo de los materiales, nuevas fuentes de energía y fuerzas motrices, trajo aparejado también la aparición del mantenimiento como una forma de conservarlas trabajando adecuadamente y en buenas condiciones de explotación.

Al respecto García (2003) expresa: “Definimos habitualmente mantenimiento como el conjunto de técnicas destinado a conservar equipos e instalaciones en servicio durante el mayor tiempo posible (buscando la más alta disponibilidad) y con el máximo rendimiento” (p.1).

Con el decursar del tiempo los avances se fueron haciendo más frecuentes y las máquinas más complejas, por lo que fueron apareciendo en ese contexto los primeros departamentos

dedicados al mantenimiento, con actividades fundamentalmente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las fallas que se producían en los equipos durante su trabajo.

En el pasado siglo, posterior a la Segunda Guerra Mundial aparece el concepto de fiabilidad, basado fundamentalmente en la búsqueda de soluciones a las roturas que se producen en los equipos y a su prevención, y paralelamente aparece el Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM, por sus siglas en inglés).

Según García (2003):

El RCM como estilo de gestión de mantenimiento, se basa en el estudio de los equipos, en el análisis de los modos de fallo y en la aplicación de técnicas estadísticas y tecnología de detección. Podríamos decir que RCM es una filosofía de mantenimiento básicamente tecnológica. (p.1)

Ya en la década de los 80 del pasado siglo y con un desarrollo industrial avanzado en todas las ramas de la industria, se retoman viejos conceptos y se renuevan los trabajos de mantenimiento realizados por los propios operarios de las máquinas, basándose sobre todo en la búsqueda de una mayor rentabilidad y el abaratamiento de los costos de mantenimiento, dando lugar a la aparición del Mantenimiento Productivo Total (TPM, según sus siglas en inglés).

En ese sentido, en el II Congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC, 1981) se estableció, como un lineamiento para el desarrollo de la industria:

Ejecutar una política sistemática de mantenimiento y reparaciones generales que permitan garantizar o restituir las capacidades potenciales a las unidades (...) y, a partir de la política trazada en el país en relación con el mantenimiento, la mayoría de las empresas cubanas asumieron el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado, conocido por las siglas MPP, adaptándolo a sus características. (p. 78)

La llegada del periodo especial a inicios de los años 90 del pasado siglo trajo como consecuencia un deterioro progresivo de las instalaciones fabriles del país y complejizó aún más las labores de mantenimiento en las máquinas y equipos, realidad a la que no escapa la Empresa de Producción de Medios de Enseñanza Granma (EMEG) perteneciente al Ministerio de Educación (MINED) la cual desempeña un importante papel dentro de las industrias destinadas a la producción de medios destinados a la educación.

La empresa cuenta dentro de sus áreas de trabajo con máquinas de moldeo por inyección, algunas con más de 25 años de explotación y carentes de un plan de mantenimiento efectivo, por lo que se desconocen los valores reales de los parámetros de trabajo. Actualmente se encuentran sometidas a un alto régimen de explotación dado su uso diario y la influencia del medio ambiente, destacando que por la cercanía del mar que esta posee, el salitre atenta gravemente contra toda la implementación metálica de la misma, unido a otros factores como son la humedad y las altas temperaturas ambientales.

En los últimos años ha habido un interés creciente por parte de los directivos de la empresa para realizar los mantenimientos correspondientes pues, aunque se han hecho algunos trabajos estos han sido sobre la marcha, del tipo correctivo sin abarcar todos los componentes y, por consiguiente, no se han podido resolver todas las afectaciones, repercutiendo esto en los parámetros de explotación y eficiencia.

Por todo lo antes expuesto en el artículo se plantea como objetivo, determinar los Indicadores de Clase Mundial (ICM) para la gestión del mantenimiento en las Máquinas de Moldeo de Plástico por Inyección de la EMEG para su aplicación en la empresa. Ello permite realizar mantenimientos de forma sistemática, cumpliendo con un programa planificado que

prolongue la vida útil de las máquinas y posibilite cumplir con los planes de producción que le son asignados cada año.

Materiales y Métodos

La EMEG perteneciente al MINED, es una empresa cubana, que se constituye amparada por la Resolución R/12/1990, con domicilio legal en Avenida Camilo Cienfuegos y entrada al reparto Dagamal, municipio Manzanillo, provincia Granma.

Su objeto social es diseñar y producir medios de enseñanza, mobiliario, artículos plásticos y metálicos de uso social e industrial y de medios para la educación, así como brindar servicios factibles con los equipos y edificaciones instaladas. Entre los elementos a tener en cuenta para una correcta política de mantenimiento, es de señalar que existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha y en función a los recursos utilizados (figura 1).

Figura 1. Tipos de operaciones de mantenimiento



Fuente: Navarrete & Treto, 1995.

Según Valdivieso (2010):

El propósito del mantenimiento es el medio que tiene toda empresa para conservar operable con el debido grado de eficiencia y eficacia su activo fijo. Engloba al conjunto de actividades necesarias para:

- mantener una instalación o equipo en funcionamiento,
- restablecer el funcionamiento del equipo en condiciones predeterminadas. (p.40)

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente el mantenimiento preventivo no es más que el conjunto de acciones y operaciones realizadas por el personal de mantenimiento con vistas a prevenir las posibles fallas en las máquinas e instalaciones de una determinada empresa.

Índices e indicadores de gestión de mantenimiento

Los indicadores de gestión se pueden utilizar para el análisis de factores que se interrelacionan con la función mantenimiento y permite resaltar las principales causas de falla de los equipos, rendimiento de la mano de obra y/o recursos, frecuencia de ocurrencia de averías con vistas a establecer mejoras en los planes de inspecciones y reparaciones correspondientes para el buen desempeño de la organización (Leal & Zambrano, 2007).

Para la realización de la propuesta nos basamos en el análisis y la aplicación de los ICM. Según Tavares (2008, pp.52-55), son llamados "Índices Clase Mundial" aquellos que,

son utilizados según la misma expresión en todos los países. De los seis "Índices Clase Mundial", cuatro son los que se refieren al análisis de la gestión de equipos y dos a la gestión de costos los cuales son:

- Tiempo medio entre fallas (TMEF)
- Tiempo medio para reparación (TMPR)
- Tiempo medio para la falla (TMPF)

- Disponibilidad de equipos (DISP)
- Costo de mantenimiento por facturación (CMFT)
- Costo de mantenimiento por el valor de reposición (CMRP).

TMEF: Relación entre el producto del número de ítems por sus tiempos de operación y el número total de fallas detectadas, en esos ítems en el periodo observado.

$$TMEF = \frac{NOIT \cdot HROP}{\sum NTMC} \quad (1)$$

Donde:

- NOIT: Número de ítems.
- HROP: Tiempo de operación.
- NTMC: Número total de fallas detectados en esos ítems.

Este índice debe ser usado para ítems que son reparados después de la ocurrencia de una falla.

TMPR: Relación entre el tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems con falla y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

$$TMPR = \frac{\sum HTMC}{NTMC} \quad (2)$$

Donde:

- HTMC: Tiempo total de intervención correctiva en un conjunto de ítems.
- NTMC: Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

Este índice debe ser usado para ítems en los cuales el tiempo de reparación es significativo con relación al tiempo de operación.

TMPF: Relación entre el tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables y el número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

$$TMPF = \frac{\sum HROP}{NTMC} \quad (3)$$

Donde:

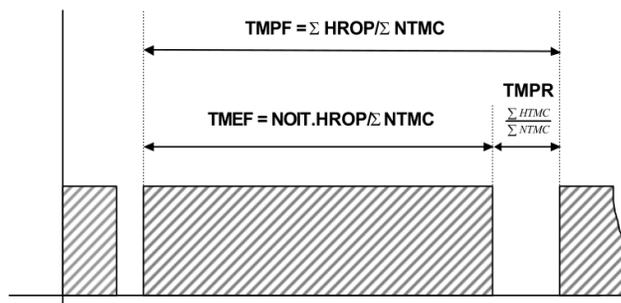
- HROP: Tiempo total de operación de un conjunto de ítems no reparables.
- NTMC: Número total de fallas detectadas en esos ítems, en el periodo observado.

Este índice debe ser usado para ítems que son sustituidos después de la ocurrencia de una falla.

Es importante observar la diferencia conceptual existente entre los índices Tiempo medio para la falla y Tiempo medio entre fallas. El primer índice TMPF es calculado para ítems que no son reparados tras la ocurrencia de una falla, o sea, cuando fallan son sustituidos por nuevos y, en consecuencia, su tiempo de reparación es cero. El segundo índice TMEF es calculado para ítems que son reparados tras la ocurrencia de la falla. Por lo tanto, los dos índices son mutuamente exclusivos, o sea, el cálculo de uno excluye el cálculo del otro, para ítems iguales.

El cálculo del TMEF debe estar asociado al cálculo del TMPR. La interpretación gráfica entre estos índices, está representada en la figura 2.

Figura 2. Interpretación gráfica de los índices TMPF, TMEF y TMPR



Fuente: Adaptado de Tavares (2008).

Debido a que dichos índices presentan un resultado promedio, su exactitud está asociada a la cantidad de ítems observados y al periodo de observación. Cuanto mayor sea la cantidad de datos, mayor será la precisión de la expectativa de sus valores.

En caso de no existir gran cantidad de ítems, o en el caso que se desee obtener los tiempos promedios entre fallas de cada uno, es recomendable trabajar con periodos bastante amplios de observación (cinco años o más), para garantizar la confiabilidad de los resultados.

Atención especial se debe prestar al desarrollo de programas informatizados para el cálculo de todos estos índices, ya que puede ocurrir que, en el periodo considerado, el número de ocurrencias (fallas) sea cero, lo que llevaría a la computadora a realizar un cálculo, que daría como resultado un valor "infinito" (división entre cero), haciendo que el programa se aborte por no encontrar solución. Como sugerencia para este tipo de acontecimiento, debe ser hecha la consideración de la existencia de una falla con tiempo igual a cero, que daría un valor constante para cualquier condición de cálculo.

El indicador DISP, según Silva (2007), debe estar lo más cercano al 100%, sin embargo, cuando supera el 90% se considera aceptable en términos prácticos.

Una expresión muy común, utilizada para el cálculo de la disponibilidad de equipos sometidos exclusivamente a la reparación de fallas es obtenida por la relación entre el TMEF y su suma con el TMPR y los Tiempos Ineficaces del Mantenimiento (tiempos de preparación para desconexión y nueva conexión y tiempos de espera que pueden estar contenidos en los tiempos promedios entre fallos y de reparación).

$$DISP = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \cdot 100 \% \quad (4)$$

Donde:

- TMEF: Tiempo Medio Entre Falla.

- **TMPR: Tiempo Medio Para Reparación.**

Es posible observar que esta es la expresión más simple ya que es obtenida a partir de la relación entre dos índices normalmente ya calculados.

El índice de disponibilidad es de gran importancia para la gestión del mantenimiento, pues a través de este, puede ser hecho un análisis selectivo de los equipos, cuyo comportamiento operacional está por debajo de estándares aceptables.

Una vez definidos los cuatro índices de "clase mundial" para la gestión de equipos, se presentan los dos restantes, aplicados en la gestión de costos.

CMFT: Relación entre el costo total de mantenimiento y la facturación de la empresa en el periodo considerado.

$$CMFT = \frac{CTMN}{FTEP} \cdot 100 \% \quad (5)$$

Donde:

- **CTMN:** Costo total de mantenimiento acumulado.
- **FTEP:** Facturación de la empresa en el periodo considerado.

Este índice es de fácil cálculo ya que los valores, tanto del numerador como los del denominador, son normalmente procesados por el órgano de contabilidad de la empresa.

CMRP: Relación entre el costo total acumulado en el mantenimiento de un determinado equipo y el valor de compra de ese mismo equipo nuevo (valor de reposición).

$$CMRP = \frac{\sum CTMN}{VLRP} \cdot 100 \% \quad (6)$$

Donde:

- **CTMN:** costo total acumulado en el mantenimiento de un determinado equipo.
- **VLRP:** Valor de compra de ese mismo equipo nuevo (valor de reposición).

Este índice debe ser calculado para los ítems más importantes de la empresa (que afectan la facturación, la calidad de los productos o servicios, la seguridad o al medio ambiente).

Análisis y discusión de resultados

La evaluación de la situación actual de las máquinas objeto de análisis cuyas características aparecen en la tabla 1 y los resultados del diagnóstico realizado al estado de la gestión de mantenimiento a partir de la recopilación de la documentación técnica, así como las puntuaciones en cada categoría de los ICM permitieron obtener los siguientes resultados.

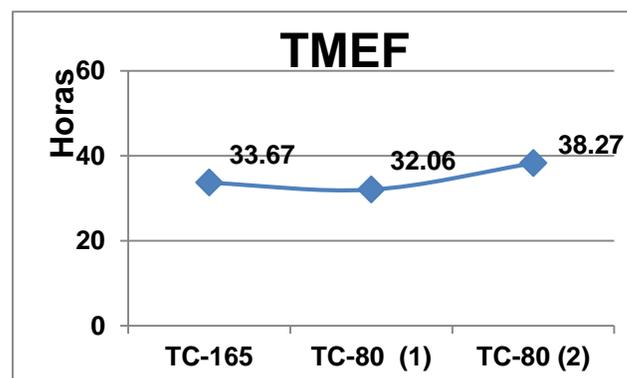
Tabla 1. Características de las máquinas de moldeo por inyección de plástico

Marca	Modelos	Voltaje	Peso máximo de producto	Potencia de la resistencia	Potencia del Motor
Golden	DGT-ZS80	440 V	113 g	65 kW	11 kW
Time	DGT-ZS165		413 g	133 kW	15 kW

Fuente: Elaboración propia.

En la figura 3 se aprecia, mediante un gráfico de líneas los valores obtenidos del TMEF para las máquinas de moldeo de plástico por inyección analizadas.

Figura 3. Tiempo Medio entre Falla (TMEF)



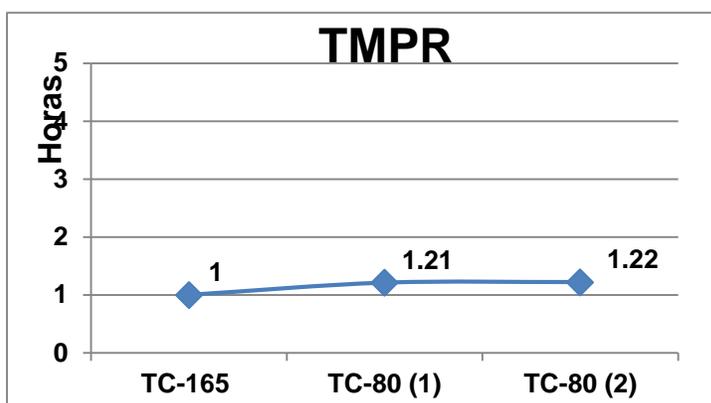
Fuente: Elaboración propia.

La máquina con modelo TC-80 (2) fue la que obtuvo mayor valor de explotación sin que ocurriera la falla técnica, con magnitud de 38,27 h de tiempo medio entre falla TMEF. Valor que

representa que esta máquina presenta una falla cada un día y medio de trabajo. Investigadores como Mesa et al. (2006), Amendola (2003) y Christensen (2013), refieren que entre mayor sea el valor de este indicador, mayor es la confiabilidad y disponibilidad del equipo. Los valores metas de este indicador dependerán de la correcta aplicación del mantenimiento que se le puedan dar a dichos equipos. Es preciso destacar que este estudio tiene un período de tiempo de cuatro meses.

En la figura 4, se aprecia el TMPR de las máquinas objeto de estudio. De estas, la máquina con modelo TC-165 es la de menor TMPR en el período analizado, con un valor de 1 h.

Figura 4. Tiempo medio para reparación (TMPR)



Fuente: Elaboración propia.

Christensen (2013) refiere que este indicador debe ser lo más bajo posible para que el equipo disponga de mayor tiempo para producir y que se eleve la disponibilidad, por lo que se puede decir que este valor es aceptable. Plantea, además, que el TMPR se mejora con tres puntos característicos:

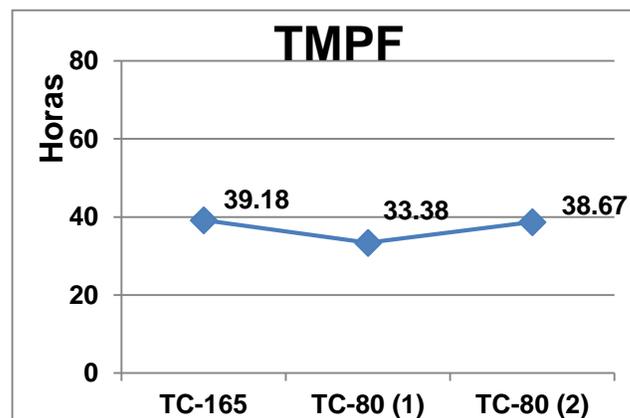
- Procedimientos claros.
- Herramientas adecuadas.
- Capacitación del personal.

También se puede observar que los equipos de modelo TC-80 (1) y TC-80 (2) tuvieron un tiempo medio entre falla de 1,21 y 1,22 h respectivamente, lo que evidencia que estos equipos

tuvieron valores similares de tiempo para reparar la falla, sin embargo el equipo con modelo TC-80 (2) tuvo una ocurrencia de TMEF de 6 h con respecto a la máquina TC-80 (1), evidenciándose que a pesar de las horas que tienen de diferencia para la ocurrencia de la falla, esta se repara con un tiempo similar a la del modelo TC-80 (1), de forma que este indicador se puede catalogar de aceptable.

En la figura 5, se observa que la máquina modelo TC-165 alcanzó mayor cantidad de tiempo medio para la ocurrencia de la falla con una magnitud de 39,18h.

Figura 5. Tiempo medio para la falla (TMPF)



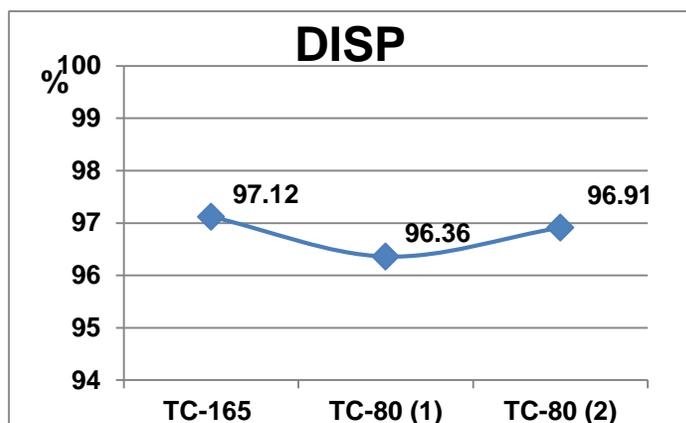
Fuente: elaboración propia.

Según Tavares (2008), este indicador solo es determinado para ítems que no sean reparables tras la ocurrencia de una falla. Es decir, que se calculan para aquellas fallas que presentan las piezas de los equipos y no pudieron ser reparadas y hubo que acudir al cambio, sustitución o rediseño de la misma.

El resultado anterior se puede considerar aceptable para las tres máquinas evaluadas en el periodo, que es de cuatro meses; pues si el período a tener en cuenta fuese mayor este indicador sin dudas mejoraría.

En la figura 6 se observa que la máquina modelo TC-165 alcanzó el mayor valor de disponibilidad con el 97,12%, concordando con lo descrito por Christensen (2006), el cual refiere que a menor tiempo medio para reparación será mayor la disponibilidad de un equipo.

Figura 6. Disponibilidad de equipos (DISP)



Fuente: Elaboración propia.

Otros autores como Mesa et al. (2006) reportaron que la disponibilidad también depende del tiempo medio entre falla, pues mientras mayor sea este, la disponibilidad del equipo será más elevada, al disponer de un mayor rendimiento técnico y por consiguiente se prolonga aún más su vida útil.

Estos valores de disponibilidad se obtienen mediante la relación existente entre el TMEF y la suma de este con el TMPR y toda la expresión multiplicada por 100 %, así se puede obtener la disponibilidad técnica de las máquinas de moldeo en el periodo evaluado, lo cual muestra valores aceptables.

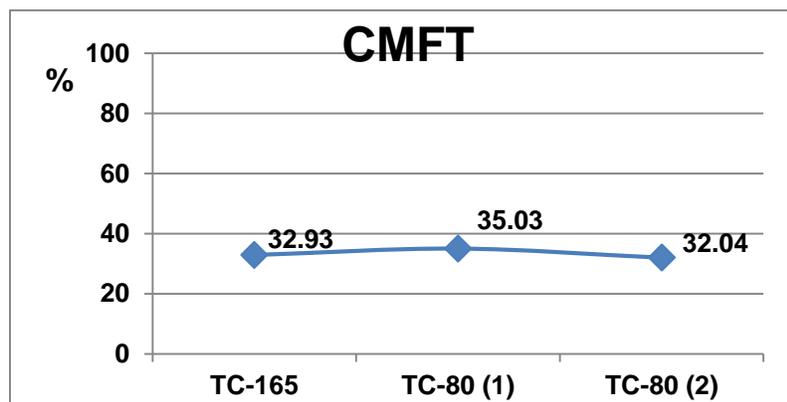
Según Tavares (2008):

Un valor de disponibilidad de equipo que se encuentre entre 81-90 % se puede considerar de aceptable ya que demuestran la eficiencia de trabajo bajo las condiciones de

explotación, considerando el tiempo de operación y las fallas obtenidas en el periodo analizado. (p.55)

En la figura 7, se muestra el CMFT de las máquinas de inyección en estudio, apreciándose que la que presenta modelo TC-80 (1) arrojó un valor de 35,03%; seguido de la máquina modelo TC-165 y la TC-8 (2) con magnitudes 32,93 y 32,04 respectivamente. Lo cual implica un aumento en los costos de mantenimientos, provocando un sobregiro en este indicador. Las causas fundamentales fueron un mayor gasto de recursos materiales y financieros.

Figura 7. Costo de mantenimiento por facturación (CMFT)

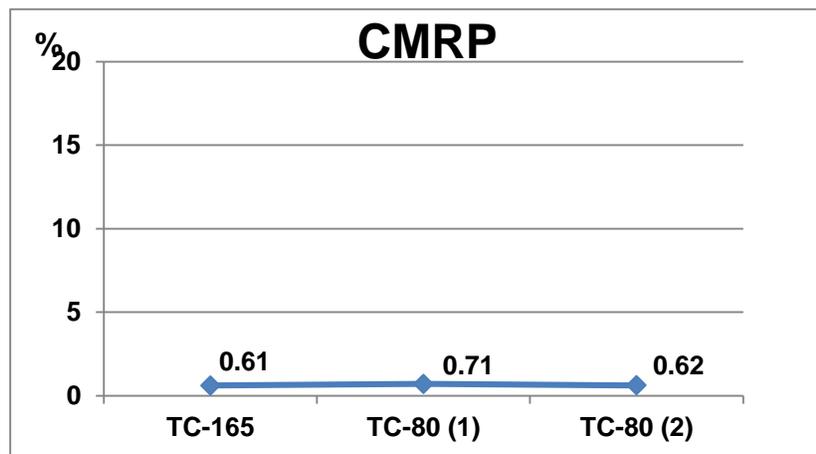


Fuente: Elaboración propia.

Este indicador de forma general se comportó con valores inferiores al 40 % de los costos. Esto pudiera ser menor, aunque para las magnitudes obtenidas pudiese catalogarse para este indicador, de aceptable.

En la figura 8 se aprecia el CMRP, indicador que en las máquinas analizadas se mantuvo por debajo del 1 %. Teniendo en cuenta esto, se puede observar claramente que para el precio que tiene cada uno de estas máquinas en el mercado internacional y el valor de los costos acumulados en el mantenimiento de cada una durante el periodo analizado, se puede deducir que los mismos no son elevados en correspondencia con su valor de reposición.

Figura 8. Costo de mantenimiento por el valor de reposición (CMRP)



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

1. Se determinaron los ICM para la gestión del mantenimiento en las máquinas de moldeo de inyección plástica de la EMEG, destacándose los altos valores de disponibilidad, los cuales superan el 95 % en período evaluado.
2. Los valores de disponibilidad y tiempo medio para la reparación están dentro de los rangos establecidos con los reportados por otros investigadores, con magnitudes de 97,12 % y 1,22 h respectivamente.
3. Los valores del TMEF, TMPF y TMPR pudieran ser mejores, si se realiza una mejor gestión en el tiempo para la ejecución de los mantenimientos correctivos.

Referencias Bibliográficas

Amendola, L. (2003). *Indicadores de confiabilidad propulsores en la gestión del mantenimiento*.

Universidad Politécnica Valencia.

https://mantenimientoplanificado.com/Articulos%20gesti%C3%B3n%20mantenimiento_archivos/indicadores%20confiabilidad%20amendola.pdf

- Christensen, C. H. (2006). Indicadores de Mantenimiento (4ª Parte). *Revista Club del Mantenimiento*, 16 (5), 9-10. <http://www.clubdemantenimiento.com.ar>
- Christensen, C. H. (2013). *Gestión del mantenimiento. Indicadores del mantenimiento* (1 parte). *Revista Club del Mantenimiento*, 13(4).
<http://www.clubdemantenimiento.com/indicadores-de-mantenimiento-1a-parte/>
- García, S. (2003). *Organización y Gestión Integral de Mantenimiento: manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial*. Ediciones Díaz de Santos. <https://books.google.com.ec/books?id=PUovBdLi-oMC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Leal, S. L., & Zambrano, S. A. (2007). Índices e indicadores de gestión de mantenimiento en las Pymes del estado Táchira. 3er Congreso Uruguayo de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad, Montevideo, Uruguay. <https://docplayer.es/51717725-Indices-e-indicadores-de-gestion-de-mantenimiento-en-las-pymes-del-estado-tachira.html>
- Mesa, D. H., Ortiz, Y., & Pinzón, M. (2006). La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento. *Scientia Et Technica*, 1(30), 155-160. <https://www.redalyc.org/pdf/849/84920491036.pdf>
- Navarrete, P. E. & Treto, O. (1995). *Gestión del mantenimiento asistido por computadoras*. Folleto para la Maestría de Mantenimiento. La Habana.
- Partido Comunista de Cuba. (1981). *Congresos del PCC. Tesis y Resoluciones. Compendio Informativo para cobertura periodística*. Editora Política.
- Silva, C. E. (2007). *Diseño de un sistema de mantenimiento para equipos móviles de transporte de carga terrestre* [Trabajo de Diploma, Universidad Tecnológica de Pereira].

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/bc931ca5-8923-4d99-8a44-6ba78beafdf8/content>

Tavares, L. A. (2008). *Administración Moderna de Mantenimiento*. Editorial Nuevo Polo Publicaciones. <https://soportec.files.wordpress.com/2010/06/administracion-moderna-de-mantenimiento.pdf>

Valdivieso, J. C. (2010). *Diseño de un plan de mantenimiento preventivo para la empresa Extruplas S.A.* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/831/12/UPS-CT001680.pdf>