

IMPACTO DE LAS AVERÍAS E INTERRUPCIONES EN LOS PROCESOS. UN ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN

IMPACT OF THE FAILURES AND INTERRUPTION IN PROCESS. AN ANALYSIS OF VARIABILITY IN PRODUCTION PROCESSES

CARLOS ALBERTO SÁNCHEZ ALZATE

Ingeniero Industrial. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

Recibido para revisar 2 de Febrero de 2004, aceptado 25 de Febrero de 2004, versión final 30 de Septiembre de 2004

RESUMEN: En este artículo se analiza la influencia que tienen las interrupciones dominantes de un centro de trabajo sobre el desempeño de la línea de producción. El análisis presentado se lleva a cabo utilizando dos técnicas: la simulación, para obtener una idea del comportamiento de la línea y los modelos matemáticos, para estimar las medidas de desempeño de la misma cuando está sometida tanto a interrupciones cortas y frecuentes, como a interrupciones largas y poco frecuentes. Los resultados de este análisis se comparan con los planteamientos de la filosofía TOC (Teoría de Restricciones) y TPM (Mantenimiento Productivo Total).

PALABRAS CLAVES: Física de la planta, Interrupciones dominantes, Teoría de restricciones, Mantenimiento productivo total, Manufactura, Simulación, Procesos.

ABSTRACT: In this paper the preemptive outages influence of a workcenter over the production line performance is analyzed. Two techniques were used to carry out the analysis: process simulation to get a behavioral insight of the production line and mathematical models to estimate performance measures when it is submit to short and frequents outages and when it is submit to long and non frequent outages. Results of this analysis are compared with some enouncements of TOC philosophy (Theory of Constraint) and TPM (Total Productive Maintenance).

KEY WORDS: Factory Physics, Preemptive outages, TOC, TPM, Manufacturing, Simulation, Process.

1. INTRODUCCIÓN

Es común en las empresas manufactureras de cualquier sector encontrar máquinas y equipos que si bien realizan la misma función, tienen diferencias en su nivel de disponibilidad, esto puede deberse a diversos factores entre los cuales se tiene:

- La tecnología.

- Los programas de mantenimiento a los cuales han sido sometidos los equipos.
- La calidad de sus componentes.
- La utilización que se les ha dado.

Estos y otros aspectos habilitan la posibilidad de que aún cuando en una planta de producción se tengan dos máquinas de la misma tecnología y de la misma marca, se presenten diferencias en sus niveles de

disponibilidad, es decir, una tenga patrones de averías diferentes a los de la otra.

En el análisis tradicional de capacidad se considera la disponibilidad de un equipo como un porcentaje del tiempo total del equipo o recurso, es decir, esta representa el tiempo que en promedio la máquina o el recurso no está ausente ni parado, ya sea por daño, accidente del operario o cortes de energía, (a este tipo de imprevistos que paran por completo la ejecución de un trabajo y que generalmente no son programados se les denomina Interrupciones Dominantes). Por ejemplo, si un análisis de ingeniería dice que el nivel de disponibilidad de una máquina es del 70% quiere decir que en promedio el 70% del tiempo disponible la máquina está habilitada para trabajar y el 30% restante la máquina está parada por algún imprevisto. Nótese que las interrupciones a las que se hace referencia son solamente las dominantes. Aunque el porcentaje de disponibilidad es de amplio uso, no refleja la variabilidad de las interrupciones, es decir, no ilustra cada cuánto se presentan tales interrupciones (diariamente, semanal, mensual o anualmente), ni que duración tienen tales interrupciones. Obsérvese que un nivel de disponibilidad del 70% se presenta cuando la máquina tiene por ejemplo un tiempo promedio entre fallas de 630 minutos y un tiempo de reparación de 270 minutos. Pero ese mismo nivel de disponibilidad lo tiene también una máquina que falle cada 35 minutos y cuyo tiempo de reparación sea de 15 minutos, es decir:

$$\text{Disponibilidad}(A) = \frac{630}{630+270} = \frac{35}{35+15} = 70\%$$

Pero entonces surgen varios interrogantes:

¿Existe alguna diferencia entre una línea con una máquina que tenga interrupciones cortas y frecuentes y otra que tenga interrupciones largas y poco frecuentes?, ¿Puede afectar esto al desempeño de la línea en alguna medida?, ¿Qué será mejor para una empresa?

En el presente artículo se analiza con ayuda de la estadística y de la simulación las implicaciones de tener una máquina con interrupciones largas y poco frecuentes, frente a otra con interrupciones cortas y frecuentes.

2. SIMULACIÓN

La simulación puede arrojar indicios de si existen diferencias entre las situaciones planteadas, por eso, se modelarán dos líneas de producción cada una con una sola máquina (máquina 1 y máquina 2), ambas máquinas hacen el mismo producto y tienen una capacidad (r_0) de 6 trabajos por hora (tiempo medio de proceso de $t_0 = 10$ minutos) y desviación estándar del tiempo de proceso de $\sigma_0 = 3,5$ minutos, ambas máquinas están sujetas a interrupciones periódicas e impredecibles, sin embargo, la máquina 1 tiene interrupciones largas y poco frecuentes (tiempo promedio entre fallas ($MTTF_1$) de 630 minutos y un tiempo promedio de reparación ($MTTR_1$) de 270 minutos) en tanto que la máquina 2 tiene interrupciones cortas y mucho más frecuentes (el tiempo promedio entre fallas ($MTTF_2$) es de 35 minutos y el tiempo promedio de reparación ($MTTR_2$) es de 15 minutos). Se asumirá que tanto los tiempos entre fallas como los de reparación son variables y tienen un coeficiente de variación (σ/μ) de 1,0, lo cual significa que ambos tiempos tienen moderada variabilidad para sendas máquinas. Como se calculó anteriormente para estos mismos valores, la disponibilidad (A) es decir, la fracción de tiempo que la máquina no está parada es de 70%. Por lo tanto, la capacidad efectiva de ambas máquinas es:

$$\begin{aligned} \text{Capacidad}_{\text{efectiva}} &= \text{Capacidad}_{\text{equipo}} * \text{Disponibilidad} \\ &= (6 \text{ trabajos/hora}) * 0,70 = 4,2 \\ &\text{trabajos por hora.} \end{aligned}$$

Es decir, los dos máquinas tienen la misma capacidad. Los datos básicos se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Información básica de las dos líneas de producción.

Table 1. Basic information in the two production lines

LÍNEA	t_o (min)	σ_o (min)	MTTF m_r (min)	MTTR m_r (min)	A	Capacidad (Unidades/ h)
Línea con máquina 1	10	3,5	630	270	70%	4,2
Línea con máquina 2	10	3,5	35	15	70%	4,2

Dado que ambas líneas tienen la misma capacidad y están sujetas a la misma demanda, las dos deben tener el mismo desempeño: WIP (Inventario promedio en proceso, tiempo de ciclo, servicio al cliente. De acuerdo con las herramientas de análisis tradicionales y con la percepción que generan los resultados, las dos líneas deberían ser consideradas equivalentes.

Se asumirá que los tiempos entre fallas y los tiempos de reparación se distribuyen exponencialmente (los coeficientes de variación para ambos tiempos en cada máquina son de 1,0 lo cual concuerda con el coeficiente de variación de una distribución exponencial que siempre es 1,0)

Para determinar las diferencias se plantean dos modelos:

- **Modelo 1.** Está compuesto por una máquina (*Máquina 1*) que tiene interrupciones largas y poco frecuentes (los parámetros de las interrupciones aparecen en la Tabla 1), previo a la máquina hay un buffer que tiene capacidad de almacenamiento infinita. El tiempo entre llegadas de trabajos es exponencial con una media de 20 minutos.
- **Modelo 2.** Este modelo tiene una máquina (*Máquina 2*) con un patrón de interrupciones diferente al anterior (interrupciones cortas y frecuentes, ver Tabla 1) y las características del buffer y el tiempo entre llegadas son iguales a las del modelo 1.

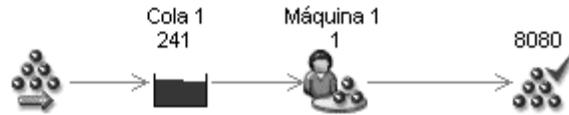


Figura 1. Representación gráfica del modelo para la línea 1

Figure 1. Graphic representation of model to line 1

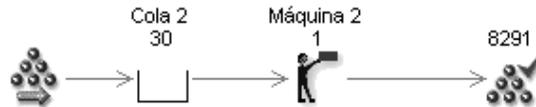


Figura 2. Representación gráfica del modelo para la línea 2.

Figure 2. Graphic representation of model to line 2

Al simularlo en repetidas ocasiones durante un año, es decir, durante 124.800 minutos correspondientes a 52 semanas, 5 días por semana y 8 horas por día se obtiene que efectivamente no existe una diferencia marcada en el throughput (Unidades/minuto) de los dos modelos: En promedio el modelo 1 produce 8080 unidades (para un throughput de $0.064 \frac{\text{unidades}}{\text{minuto}}$) mientras que el modelo 2 produce 8291 artículos (con un throughput de $0.066 \frac{\text{Unidades}}{\text{minuto}}$). Los resultados obtenidos en la simulación se pueden observar en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de la corrida de simulación para los dos modelos.**Table 2.** Results of simulation for the two models

Línea	UNIDADES PRODUCIDAS	THROUGH PUT (Unidades/minuto)	Tiempo promedio en el Sistema o Media del Tiempo de ciclo (minutos)	Desviación estándar del tiempo de ciclo	Coficiente de variación del Tiempo de ciclo
Línea 1	8080	0,064	1553,93	1575,00	1,01
Línea 2	8291	0,066	206,95	160,36	0,77

Por lo tanto, si en una empresa un ingeniero presenta un plan de inversiones con el fin de reducir la duración de las interrupciones y hacerlas más frecuentes, su iniciativa es rechazada de plano, ya que el incremento en el throughput no es significativo. Pero, si se analizan los resultados del valor del tiempo promedio en el sistema, de la desviación estándar de tal tiempo y del coeficiente de variación de ambas líneas (ver Tabla 2), se puede notar que hay una marcada diferencia. Si se libera un trabajo en la línea 1, éste tarda en promedio 1553,93 minutos y en la línea 2 se demora 206,95 minutos; de igual forma, al liberar un trabajo en la primera línea la incertidumbre (variabilidad) del tiempo de ciclo es mayor que en la segunda línea, ya que la desviación estándar del tiempo de ciclo promedio de ambas líneas es diferente y el coeficiente de variabilidad es mayor para la primera que para la segunda. Las herramientas tradicionales de la manufactura no consideran tales diferencias. Hasta este punto, se concluye que existe diferencia entre las dos líneas, pero ¿cómo se puede estimar esta diferencia y a qué se debe? y ¿qué influencia tiene en el desempeño de la línea?. La respuesta a este interrogante ha sido dada por los autores Hopp y Spearman (2000).

3. MODELO MATEMÁTICO

Sea:

Tiempo de proceso natural: Tiempo que se tarda un centro de trabajo en procesar una unidad bajo condiciones ideales, es decir, excluyendo todos los elementos aleatorios externos que pueden incrementar el tiempo de

proceso (paros de máquinas, alistamientos, entre otros)

Tiempo de proceso efectivo: Es el tiempo que realmente permanece el trabajo en la máquina ya sea esperando su turno o siendo procesada. Este tiempo a diferencia del anterior si considera todos los factores que pueden alargar la permanencia de un trabajo en una máquina o puesto de trabajo.

El modelo que tiene en cuenta la variabilidad de las interrupciones dominantes es:

$$\text{Con } A = \frac{\text{MTTF}}{\text{MTTF} + \text{MTTR}} = \frac{m_f}{m_f + m_r}$$

$$C_e^2 = C_o^2 + A(1 - A) \frac{m_r}{t_o} + C_r^2 A(1 - A) \frac{m_r}{t_o}$$

Los parámetros utilizados en el modelo son:

C_r : Coeficiente de variación del tiempo de reparación.

σ_r : Desviación estándar del tiempo de reparación

μ_r : Media del tiempo de reparación

C_e : Coeficiente de variación del tiempo de proceso efectivo

t_o : Medida del tiempo de proceso natural

.

σ_o : Desviación estándar del tiempo de proceso natural

C_o : Coeficiente de variación del tiempo de proceso natural.

A: Disponibilidad de la máquina

m_r : Tiempo promedio de reparación

m_f : Tiempo promedio entre fallas

t_e : Media del tiempo de proceso efectivo

Recuérdese que si σ es la desviación estándar de una variable y μ es la media de la misma variable entonces el coeficiente de variación está definido como $C = \sigma/\mu$.

En el modelo anterior se pueden apreciar algunas ideas:

La variabilidad efectiva del tiempo de proceso aumenta conforme se incrementa en promedio la duración de las interrupciones dominantes (m_r) a las cuales éste se ve sometido. Es decir, mientras más cortas sean las interrupciones, menor será su efecto sobre la variabilidad del tiempo efectivo de proceso. Esto, desde luego contradice la intuición de sentido común de que es mejor un dolor de cabeza grande cada mes que varios pequeños cada día; los resultados muestran que es preferible tener interrupciones cortas así estas sean más

frecuentes, esto es siempre válido cuando se tiene la misma disponibilidad en ambas máquinas. Nótese que este resultado concuerda con lo obtenido en la simulación.

La variabilidad de un proceso aumenta conforme se incrementa la variabilidad de las interrupciones (C_r). Es decir, que mientras más variables (más irregulares) sean los tiempos de reparación o de interrupción, mayor será su efecto en la variabilidad del proceso.

En este ejemplo, el coeficiente de variación del tiempo de reparación de las dos máquinas se ha supuesto igual a uno ($C_r = 1$), lo que indica que hay moderada variabilidad de las interrupciones. Los datos de ambas líneas se presentan en la Tabla 3.

Tabla 3. Datos necesarios para el modelo

Table 3. Data to the model

Máquina	C_o	A	m_r	C_r	t_o
1	0,35	70%	270	1	10
2	0,35	70%	15	1	10

$$C_e^2(\text{Máquina 1}) = 11,46 \Rightarrow C_e = 3,39$$

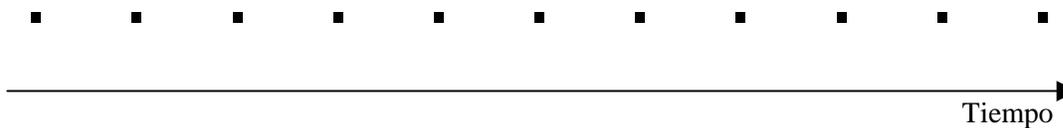
$$C_e^2(\text{Máquina 2}) = 0,75 \Rightarrow C_e = 0,87$$

Por lo tanto, se puede concluir que la máquina 1 tiene mayor variabilidad. Esto se puede explicar de la siguiente manera: mientras más tiempo tarde la reparación de una máquina, mayor será la incertidumbre (variabilidad) del tiempo de proceso de una unidad, ya que el tiempo de proceso efectivo depende de si el producto se ve obligado a esperar que la máquina sea reparada para que

trabajen sobre él o no, incluso puede darse el caso de que un mismo producto tenga que esperar varias reparaciones, la ocurrencia de este fenómeno depende del nivel de utilización de la máquina.

La diferencia en la variabilidad de una línea se ve en la regularidad de la salida de los trabajos.

En una línea con baja variabilidad ($CV < 0.75$) los trabajos salen de la siguiente manera:



Mientras que en una línea con alta variabilidad (CV > 1.33) la salida de los trabajos se ve de la siguiente manera:



Este modelo matemático presentado corrobora los resultados de la simulación y va aún más allá al permitir estimar en qué grado las interrupciones afectan la variabilidad del tiempo de ciclo de una línea, posibilitando de esta manera hacer predicciones sobre cualquier línea e incluso tomar decisiones. La simulación da la idea del posible comportamiento del sistema pero hay que tener en cuenta que sus resultados son completamente empíricos y no permiten predecir el comportamiento del sistema con un nivel adecuado de precisión.

4. CONSECUENCIAS PARA UN PROCESO

En este momento se sabe que una línea con interrupciones largas y poco frecuentes tiene mayor variabilidad en el tiempo de ciclo y mayor tiempo de ciclo que una línea con interrupciones cortas y frecuentes. Ahora la pregunta es ¿Qué implicaciones tiene el hecho de tener mayor o menor variabilidad del tiempo de ciclo en el desempeño de una línea?

Para responder a este interrogante también es posible apoyarse en modelos estadísticos con los cuales se hallan diferentes indicadores de desempeño.

LÍNEA 1:

De acuerdo con la notación de Kendall (clasificación y notación estándar para los sistemas de líneas de espera) y observando las características de la línea No. 1 se puede concluir que este es un sistema M/G/1, es decir, un sistema con llegadas markovianas, tiempo de proceso general (ya que el coeficiente de variación del tiempo efectivo

de proceso es mayor que uno) y un solo servidor.

Las características de funcionamiento son:

r_a : Tasa de llegadas

t_e : Tasa efectiva de servicio

r_e : Tasa efectiva de salidas

μ : Nivel de utilización del sistema

WIP: Trabajo en proceso

CT: Tiempo de ciclo

CT_q : Tiempo promedio en cola

WIP_q : Cantidad promedio de trabajos en cola

C_a : Coeficiente de variación del tiempo entre llegadas

C_e : Coeficiente de variación del tiempo efectivo de proceso

$$C_a = 1,00$$

$$C_e^2 = 11,46$$

$$r_a = 4 \frac{\text{Trab.}}{\text{Hora}}$$

$$t_e = 0,23 \text{ horas}$$

$$r_e = \frac{1}{t_e} = 4,20 \frac{\text{Trab.}}{\text{Hor}}$$

$$\mu = \frac{r_a}{r_e} = 0,95$$

$$CT_q = \left(\frac{C_a^2 + C_e^2}{2} \right) \left(\frac{\mu}{1 - \mu} \right) t_e = \left(\frac{1,00 + 11,46}{2} \right) \left(\frac{0,95}{1 - 0,95} \right) 0,23 = 27,23h.$$

$$CT = CT_q + t_e = 27,46 \text{ horas}$$

$$WIP_q = CT_q * r_a = 27,23 * 4 = 108,92 \text{ trabajos} \approx 109 \text{ trabajo}$$

Es decir, en promedio esta línea mantiene 109 unidades esperando en cola, las cuales

aguardan durante 27,23 horas y salen 4 trabajos por hora.

LÍNEA No. 2:

De acuerdo con la notación de Kendall y observando las características de la línea No 2 se puede concluir que este es un sistema M/M/1, es decir, un sistema con llegadas markovianas, tiempo de proceso markoviano (ya que el coeficiente de variación del tiempo efectivo de proceso es aproximadamente igual a uno) y un solo servidor.

Según los modelos presentados por Hopp y Spearman (2.000) las características de operación de esta línea son:

$$r_a = 4,00 \frac{\text{Trab.}}{\text{Hora}}$$

$$t_e = 0,23 \text{ horas}$$

$$r_e = 4,20 \frac{\text{Trab.}}{\text{Hor}}$$

$$\mu = \frac{r_a}{r_e} = 0,95$$

$$\text{WIP} = \frac{\mu}{1 - \mu} = 19 \text{ trabajos}$$

$$\text{CT} = \frac{\text{WIP}}{\text{TH}} = \frac{19}{4} = 4,75 \text{ horas}$$

$$\text{CT}_q = \text{CT} - T_e = 4,52 \text{ horas}$$

$$\text{WIP}_q = \frac{\mu^2}{1 - \mu} = 18 \text{ trabajos}$$

Es decir, en promedio la línea 2 mantiene 18 trabajos esperando en cola, los cuales aguardan en promedio 4,52 horas y salen 4 trabajos por hora.

Los aspectos básicos afectados por la variabilidad del tiempo de ciclo son tres:

a) Inventario promedio en la línea (WIP)

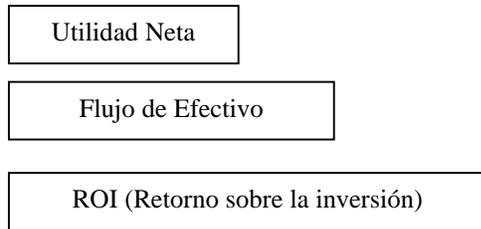
A mayor variabilidad, más tiempo tendrán que esperar los trabajos en la línea. Esto se pone de manifiesto en los resultados obtenidos para ambas líneas. Para la línea 1 (alta variabilidad) el WIP en cola esperado es de 109 unidades, mientras que para la Línea 2

(moderada variabilidad) el WIP esperado en cola es de 18 trabajos. En promedio estos son los valores que existirán en ambas líneas, lo cual nos indica que es más eficiente la segunda línea ya que logra el mismo resultado (el mismo throughput) pero con menor inventario en proceso. Desde luego, esto tiene consecuencias en los resultados financieros de la empresa, Goldratt (1.993) considera que los principales impactos de operar con menor inventario son los siguientes:

- Liberación de efectivo y por tanto incremento del Flujo de Efectivo.
- Mejora de la rentabilidad de la empresa al comprometer menos dinero como capital de trabajo.
- Reducción de los gastos de operación por concepto de manejo de inventarios: reducción del espacio de almacenamiento, de averías y de obsolescencia, reducción del manejo de materiales y de reprocesos.
- Mejora la calidad: los problemas se detectan a tiempo y se pueden hacer correcciones para que estos no se vuelva a presentar.
- Agiliza la introducción de productos al mercado: los nuevos productos y las modificaciones a los existentes estarán disponibles para el cliente final en muy poco tiempo.
- Reducción de horas extras: la reducción del tiempo de ciclo permite entregar a tiempo sin necesidad de horas extras.
- Reducción de la inversión en capacidad: manejando mayor inventario hay más presión para tener alta capacidad al final de la línea. Por tanto, con bajo inventario se evita tal inversión.
- Mejoran los pronósticos: como con bajo inventario el tiempo de ciclo se reduce, los pronósticos son hechos para un horizonte mucho menor, con lo cual se mejora la calidad de estos.
- Tiempos de ciclo menores: el inventario de producto en proceso determina el tiempo de ciclo ya que en manufactura Tiempo e Inventario son proporcionales.

Con las anteriores consecuencias se puede decir que al operar con menor inventario se impactan los principales indicadores financieros de la empresa:

b) Nivel de servicio y Lead Time



Para hallar el impacto de la variabilidad sobre el nivel de servicio se debe hallar la variabilidad de la línea, la cual se calcula de la siguiente manera:

Sea:

C_d : Coeficiente de variación de la línea, es decir, mide la variabilidad de la salida de la línea.

Línea 1:

$$C_d^2 = \mu^2 C_e^2 + (1 - \mu^2) C_a^2$$

$$C_d^2 = 0,95^2 (11,46) + (1 - (0,95)^2) (1)^2 = 10,44$$

$$\text{Como } C_d^2 = \frac{\sigma_d^2}{CT^2} \Rightarrow \sigma_d = C_d (CT)$$

$$\sigma_{d1} = \sqrt{10,44} * 27,46 = 88,73 \text{ Horas}$$

Línea 2:

$$C_d^2 = 0,95^2 (0,75) + (1 - (0,95)^2) (1)^2 = 0,77$$

$$\sigma_{d2} = C_d (CT) = \sqrt{0,77} * 5 = 4,38 \text{ horas}$$

Suponiendo que la empresa cotiza un Lead time de manufactura de 10 horas.

El nivel de servicio de una línea es la probabilidad de que un trabajo tarde menos que un Lead Time dado.

$$S = P\{CT \leq \ell\}$$

Donde: S: nivel de servicio, CT: tiempo de ciclo, ℓ : Lead time.

Si se asume que el CT tiene una distribución normal entonces:

Para la línea 1:

$$\ell = CT + Z_s \sigma_{CT}$$

$$10 \text{ horas} = 27,46 \text{ horas} + Z_s (88,73)$$

$$Z_s = -0,19$$

Buscando el valor $Z_s(-0,19)$ en una tabla de probabilidad normal se tiene 0,4247 por tanto, el nivel de servicio es del 42%.

Para la línea 2:

$$\ell = CT + Z_s \sigma_{CT}$$

$$10 \text{ Horas} = 4,75 \text{ horas} + Z_s (4,38)$$

$$Z_s = 1,19$$

Buscando el valor $Z_s(1,19)$ en una tabla de probabilidad normal se tiene 0,8830 por tanto, el nivel de servicio es del 88%. Este análisis indica que el hecho de tener una u otra máquina en la línea influye en el nivel de servicio. El nivel de servicio para un Lead Time dado es mayor para la línea con la máquina 2 que para la línea con la máquina 1. Este mismo análisis se puede realizar con el fin de determinar el Lead time requerido para obtener un nivel de servicio dado.

c) Tiempo de ciclo

Tal como se calculó previamente, en promedio, cuando se procesa una pieza en la línea 2 se demora 4,75 horas, pero si es procesada en la línea 1 tarda 27,46 horas, es decir una diferencia de 478%.

¿Tiene este resultado alguna relación con TPM?

El exitoso sistema de producción de Toyota utilizaba un sistema de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto del Mantenimiento Preventivo llamado TPM (Mantenimiento Productivo Total), el cual estaba enfocado a buscar cero accidentes, cero defectos y cero averías.

Uno de los pilares del TPM es el mantenimiento autónomo, el cual es el conjunto de actividades que realizan diariamente los trabajadores en los equipos que operan, incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y de piezas,

estudiando posibles mejoras, analizando y solucionando problemas del equipo y acciones que conduzcan a mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento. Esta visión del mantenimiento busca la participación activa de la función de producción en actividades de mantenimiento.

Los modelos analíticos analizados previamente justifican en su totalidad los conceptos del TPM al reconocer la ventaja de efectuar interrupciones periódicas y de corta duración frente a interrupciones largas y poco frecuentes.

4. CONCLUSIONES

Desde luego el ideal en una empresa es que no haya paros de máquinas; pero si éstos se dan es preferible tener máquinas que presenten fallas cortas y frecuentes a tener máquinas con fallas largas y poco frecuentes. Los planteamientos del TPM (Mantenimiento productivo total) tratan de hacer previsible, cortas y regulares las fallas de las máquinas, lo cual tiene un impacto sobre los principales indicadores de desempeño de la línea de producción. TPM busca entonces, reducir la variabilidad de los procesos industriales.

Es posible cuantificar el impacto que tienen las interrupciones dominantes (paros que obliguen al operario a interrumpir el proceso de una pieza) sobre aspectos vitales para la supervivencia de una empresa tales como: inventario promedio, tiempo de ciclo, nivel de servicio, e incluso los modelos matemáticos se pueden utilizar para determinar las consecuencias financieras de una modificación en un proceso.

Es hora de avanzar en la industria hacia metodologías precisas para la realización de análisis que consideren los efectos de la variabilidad sobre los procesos y de esta manera desarrollar la intuición para el segundo momento estadístico (la varianza).

REFERENCIAS

- [1] Buzacott, J.A. Y Shanthikumar, J.G. Stochastic Models of Manufacturing Systems. Prentice Hall, New York. 1993.
- [2] Corbett, Thomas. La Contabilidad del Truput. Ediciones Piensalo. 1998.
- [3] Davis, K.R. y Mckeown, P.G. Modelos cuantitativos para administración. Mexico D.F. 1.996.
- [4] Goldratt, E. Y Fox, R. La Carrera. Ediciones Castillo. Monterrey. México. 1993.
- [5] Hopp, W. y Spearman, M. Factory Physics. Irwin Mc Graw Hill. New York. 2.000.
- [6] Como Aplicar el Mantenimiento Productivo Total (TPM) a Industrias. <http://www.monografis.com/trabajos11/tpeme/tpeme.shtml> [Citado 01 de enero de 2004]