

## “Uso de una metodología basada en la simulación para la mejora continua e innovación de los procesos de producción”

M. T. Rodríguez Arévalo, L. Torres Treviño, A. Reyes Valdés, P. Pérez Villanueva  
Corporación Mexicana de Investigación en Materiales  
Saltillo, Coahuila, 25290 México

**Resumen:** Actualmente se presentan mejores productos y servicios debido al esfuerzo que se hace por mantener y establecer la mejora continua de todo nuestro entorno. El mejoramiento de la productividad es el motor que esta detrás del progreso económico y las utilidades de una corporación, puesto que cualquier mejora requiere de cambios y es muy difícil tomar la decisión de que modificaciones se requieren, ya que generalmente se desconoce si tendrán un impacto positivo, se propone la aplicación de una metodología que nos permita medir y/o pronosticar el impacto que tienen los cambios realizados en las líneas de producción lo cual será de gran beneficio para la industria. Lo que se pretende es fomentar la cultura de la mejora continua y aplicarla con la ayuda de esta metodología, la cual involucra la simulación de procesos, y nos permite “jugar” con las variables y/o características involucradas, sin afectar la producción, debido a que las pruebas se realizan en el simulador, después de evaluar la mejora, se podrá proceder a la implementación de los cambios en la líneas. Se presenta a continuación la aplicación de dicha metodología a una celda de manufactura.

**Abstract:** At the moment better products and services due to the effort appear that is made maintain and establish the continuous improvement of all our surroundings. The improvement of the productivity is the motor that this behind the economic progress and the utilities of a corporation, since any improvement requires of changes and it is very difficult to make the decision that modifications are required, since generally it is ignored if they will have a positive impact, sets out the application of a methodology that allows to measure and/or to foretell the impact us that the changes made in the lines of production have which will be of great benefit for the industry. What it is tried is to foment the culture of the continuous improvement and to apply it with the aid of this methodology, which involves the simulation of processes, and it allows us “to play” with the variables and/or involved characteristics, without

affecting the production, because the tests are made in the simulator, after evaluating the improvement, will be able to be come to the implementation of the changes in the lines. The application of this methodology to a cell of manufacture appears next.

### Introducción:

Ya que toda organización actualmente hace un esfuerzo por sobresalir tenemos la responsabilidad de mejorar lo más posible nuestro entorno, esto significa que si podemos hacer mejor nuestras actividades, por simples que sean, debemos intentarlo. La forma mas segura de mejorar es viendo a los problemas que nos afectan como áreas de oportunidad, tratando de evitar que se repitan al transcurrir el tiempo utilizando una metodología definida y herramientas básicas de fácil manejo. El mejoramiento continuo es una estrategia, y como tal constituye una serie de programas generales de acción y despliegue de recursos para lograr objetivos completos, pues el proceso debe ser progresivo. No se puede cambiar para mejorar de la noche a la mañana.

Puesto que cualquier mejora requiere de cambios y en muchas ocasiones es muy difícil tomar la decisión en cuanto a que cambios o posibles modificaciones se requieren, ya que se desconoce si realmente tendrán un impacto positivo.

La aplicación de técnicas estadísticas, así como de la simulación discreta permitirá evaluar la eficiencia de los cambios realizados a la línea de producción de volantes, logrando con esto que al realizarse los cambios correspondientes se obtenga un incremento en la productividad.

La productividad mejora cuando una menor cantidad de insumos genera la misma producción, o cuando la producción se incrementa con la misma cantidad de insumos. Insumos, en este caso, se refiere a elementos tales como recursos humanos, equipos, servicios públicos y materiales. Producción implica



elementos como productos, servicios, rendimiento y valor agregado. Reduciendo el número de personal en la línea de producción no sólo se reduce el costo, sino que además se incrementa la calidad, ya que menos manos presentan una menor oportunidad de cometer errores.

Con la implementación de esta metodología se beneficia toda la planta ya que con la ayuda de la simulación discreta de procesos, se evitará hacer cambios innecesarios o no benéficos, así como también evaluar y verificar los cambios hechos anteriormente.

### Marco teórico

**La mejora continua:** El mejoramiento continuo es una estrategia que en la actualidad es fundamental para todas las empresas porque les permite renovar los procesos administrativos que ellos realizan, lo cual hace que las empresas estén en constante actualización; además, permite que las organizaciones sean más eficientes y competitivas, fortalezas que le ayudarán a permanecer en el mercado [1].

Para la aplicación del mejoramiento es necesario que en la organización exista una buena comunicación entre todos los órganos que la conforman, y también los empleados deben estar bien compenetrados con la organización, porque ellos pueden ofrecer mucha información valiosa para llevar a cabo de forma óptima el proceso de mejoramiento continuo [2,3].

**El proceso de mejoramiento:** La búsqueda de la excelencia comprende un proceso que consiste en aceptar un nuevo reto cada día. Dicho proceso debe ser progresivo y continuo. Debe incorporar todas las actividades que se realicen en la empresa a todos los niveles.

El proceso de mejoramiento es un medio eficaz para desarrollar cambios positivos que van a permitir ahorrar dinero tanto para la empresa como para los clientes, ya que las fallas cuestan dinero [4].

**Simulación:** La simulación es la representación de un proceso o fenómeno mediante otro más simple que permite analizar sus características [5].

La simulación es una de las áreas de mayor crecimiento que se ha ido constituyendo como una de las herramientas fundamentales en la toma de decisiones apoyadas por computadora [6].

Básicamente con la simulación se busca imitar, con la ayuda de una computadora, la operación de uno o varios procesos, con el ánimo de estimar sus características reales.

El proceso en cuestión usualmente se denomina sistema y con el propósito de estudiarlo se hacen supuestos sobre su operación. Estos supuestos, que usualmente toman la forma de relaciones matemáticas o lógicas constituyen el modelo, el cual es usado para tratar de entender como se comporta el respectivo sistema.

En algunos casos las relaciones que componen un modelo son lo suficientemente sencillas como para utilizar métodos matemáticos tales como el cálculo, álgebra o teoría probabilística, con el fin de obtener información exacta sobre aspectos de interés, lo cual se conoce como soluciones analíticas. Sin embargo, la mayoría de los sistemas reales son demasiado complejos, para ser evaluados analíticamente, por lo tanto estos modelos deben ser estudiados por medio de la simulación [7].

**Tipos de simulación :** Se pueden dividir básicamente en 3 tipos.

**Simulación Discreta:** es la modelación de un sistema por medio de una representación en la cual el estado de las variables cambian instantáneamente en instante de tiempo separados. (En términos matemáticos el sistema solo puede cambiar en instante de tiempo contables)

**Simulación Continua:** es la modelación de un sistema por medio de una representación en la cual las variables de estado cambian continuamente en el tiempo. Típicamente, los modelos de simulación continua involucran ecuaciones diferenciales que determinan las relaciones de las tasas de cambios de las variables de estado en el tiempo.

**Simulación Combinada Discreta-Continua:** modelación de un sistema por medio de una representación en la cual unas variables de estado cambian continuamente con respecto al tiempo y otras cambian instantáneamente en instante de tiempo separados.

Es una simulación en la cual interactúan variables de estado discretas y continuas [8].



### Ventajas de la simulación

- No es necesario interrumpir las operaciones de la compañía.
- Proporciona muchos tipos de alternativas posibles de explorar.
- La simulación proporciona un método más simple de solución cuando los procedimientos matemáticos son complejos y difíciles.
- La simulación proporciona un control total sobre el tiempo, debido a que un fenómeno se puede acelerar.
- Auxilia el proceso de innovación ya que permite al experimentador observar y “jugar” con el sistema sin ningún riesgo. Una vez construido el modelo se puede modificar de una manera rápida con el fin de analizar diferentes políticas o escenario. Permite análisis de sensibilidad
- Generalmente es más económico mejorar el sistema vía simulación que hacerlo en el sistema real.
- Es mucho más sencillo visualizar y comprender los métodos de simulación que los métodos puramente analíticos.
- En algunos casos, la simulación es el único medio para lograr una solución.
- Da soluciones a problemas "sin" solución analítica [9,10].

**Mejoras a los procesos de producción:** En cualquier proceso de producción, independientemente de lo adecuado que sea su diseño o de la atención que se preste a su mantenimiento, siempre existirá cierta cantidad de variabilidad inherente o natural es decir siempre habrá algo que mejorar.

Los diagramas de flujo o mapas de proceso deben construirse con el detalle suficiente para identificar las actividades laborales con valor agregado, contra el trabajo sin valor agregado en el proceso.

En la mayoría de los procesos hay desechos, reprocesamiento y otras operaciones sin valor agregado, tales como pasos innecesarios en el trabajo y los puntos de congestión o cuellos de botella.

Con frecuencia se pueden eliminar muchas de estas actividades sin valor agregado.

### Maneras de eliminar las actividades sin valor agregado

- Reordenar la secuencia de los pasos del trabajo
- Reordenar la ubicación física del operador en el sistema
- Cambiar los métodos de trabajos
- Cambiar el tipo de equipo utilizado en el proceso
- Rediseñar las formas y los documentos para un uso eficiente
- Mejorar la capacitación del operador
- Mejorar la supervisión
- Identificar con mayor claridad la función del proceso para todos los empleados
- Intentar eliminar los pasos innecesarios [11]

### Metodología

Por todo lo anterior se encontró la necesidad de crear una metodología que involucre tanto a la simulación como a la mejora continua ya que simulando es mucho más fácil identificar que modificaciones se deben implementar para mejorar el proceso así como también evaluar diferentes opciones de cambios ya que por lo general existe cierta incertidumbre en cuanto a que o cual modificación me dará mejores resultados.

**Descripción y aplicación de la metodología:** esta metodología se ha desarrollado y aplicado en una empresa dedicada al forrado de volantes en piel.

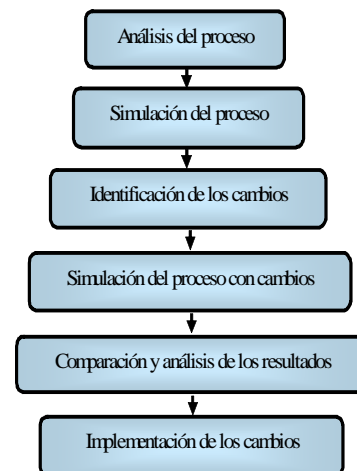


Fig.1 Metodología para medir y predecir el impacto de los cambios realizados en las líneas de producción



**Análisis del proceso:** Dentro de este punto se engloban ciertas actividades que deben realizarse para poder obtener un buen estudio del proceso dentro de estas actividades están la descripción del proceso, identificación de las variables y la recopilación de los datos reales.

*Descripción del proceso:* Aquí lo que se requiere es revisar detalladamente las operaciones para analizarlas lo más preciso posible es decir tratando de no omitir nada, esta descripción se recomienda hacer gráfica y textualmente para esto se puede ayudar de diagramas de flujo establecidos, fotografías, pláticas con el personal involucrado etc. Ejemplo Fig.2

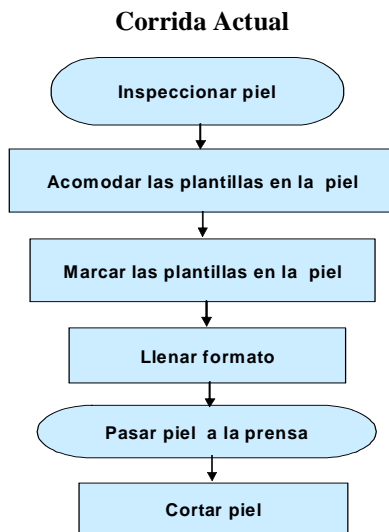


Fig. 2 Diagramas de flujo de la corrida actual.

*Identificar variables:* Después de que se tiene toda la información del proceso se deben detectar cuales son las variables que existen, en este caso se observó que las variables más importantes de este proceso son el tiempo, inventarios ó materiales y número de operadores.

*Recolección de datos reales.* Con las variables ya identificadas se continúa con la recopilación de datos reales y actuales por lo que se tomaron tiempos de ciclos, esperas, y se monitorearon los inventarios.

**Simulación del proceso:** con toda la información anteriormente recolectada se realiza un modelo para poder simularlo en el software elegido, en este caso se utilizó como principal herramienta el Matlab®.

<p><b>Ca</b> = celda</p> <p><b>Ca =0</b> es celda inactiva</p> <p><b>Ca =1</b> es celda activa</p> <p><b>I</b> = inventario entrante</p> <p><b>lo</b> = inventario de salida</p> <p><b>tc</b> = tiempo de ciclo</p> <p><b>t</b> = tiempo inicial de la simulación</p> <p><b>tend</b> = tiempo de finalización</p> <p><b>tf</b> = tiempo en que termina la simulación</p>
--

Fig.3 Variables para la simulación de una celda.

```

(l, lo, ca, tend) = cell(l, lo, ca, tend, t)
if ca==0 and I1>0 then {si la celda esta inactiva y hay
piezas en el inventario puede activarse}
    I=I-1 {al inventario se le reduce una pieza}
    ca=1;{ entonces se activa la celda, lo cual indica que
se esta procesando una pieza}
    tc=FD( ); {se genera un tiempo de procesamiento}
    tend1=t+tc1; {determina el tiempo de finalización
futuro}
end
if ca==1 and t>=tend then {si la celda esta activada y ha
terminado de procesar una pieza}
    lo=lo+1; {Al inventario de salida se le incrementa una
pieza}
    ca=0;{se desactiva la celda y se prepara para tomar
una nueva pieza}
    tend=0;{No hay tiempo de procesamiento estando la
celda desactivada}
end
  
```

Fig.4 Seudo código para simular una celda de manufactura.



```
t=0;{Tiempo de inicialización}
tf=1000;{tiempo final}
{parámetros primera celda}
ca1=0;l1=10;lo1=0;tend1=0; {parametros segunda
celda}
ca2=0;l2=0;lo2=0;tend2=0; a=[ ]; {matriz para
guardar los datos}
while t<=tf
t;
[l1, lo1, ca1, tend1]= cell1(l1, lo1, ca1, tend1, t);
[lo1, lo2, ca2, tend2]= cell2(lo1, lo2, ca2, tend2, t);
a=[t l1 ca1 lo1 ca2 lo2];
t=t+1;
end
```

Fig.5 Seudo código para simular 2 o mas celdas.

**Recopilación de datos experimentales:** la simulación nos empieza a arrojar información que se deben ir guardando para poder crear historiales del proceso y poder analizarlo mas adelante, además de que se debe verificar que la simulación este trabajando como el proceso actual de no ser así debe revisarse que es lo que impide que el proceso no corra como el original y hacer los cambios.

**Identificación de los cambios:** después de realizar varias corridas con la simulación es posible apreciar que mejoras podrían realizarse para un mejor aprovechamiento y/o desempeño de la línea por lo que hay que identificar estos posibles cambios.

En este caso se planeo la eliminación de algunas actividades ya que no agregaban ningún valor al producto (El acomodar plantillas en la piel y por consiguiente también la actividad de marcarlas), La reducción de operadores que hacían esta actividad y también la actividad de llenado del formato de aprovechamiento de la piel que realizaba la persona que inspeccionaba la piel y se planea que lo haga el prensista.

**Simulación con los cambios:** Ya teniendo conocimiento de cuales son los cambios que se quieren

realizar a la línea se hacen las modificaciones correspondientes al modelo para simular el proceso como se desea. Esta simulación al igual que la anterior arroja la información necesaria para poder analizar su comportamiento.

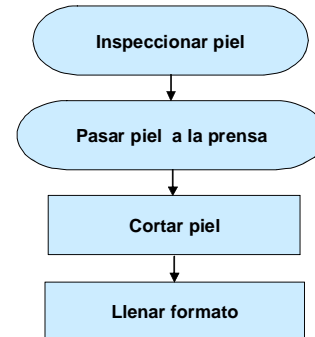


Fig.6 Diagrama de flujo corrida propuesta.

**Recopilación de datos experimentales:** nuevamente se guarda la información arrojada durante las corridas y se crea un historial del comportamiento.

**Experimentación:** Para simplificación de los programas se asumió normalidad en los tiempos de las operaciones. Para ambos casos la unidad de tiempo es en segundos, y en cada programa se simulan los 28800 segundos que representan las 8 horas diarias trabajadas estas simulaciones se corrieron un periodo de 30 veces para simular que se trata de un mes de trabajo, en el cual se toman los 30 días como hábiles es decir no se tomaron en cuenta los fines de semana.

**Comparación y análisis de los resultados:** En esta etapa de la metodología se realizan dos actividades que son el análisis del contraste entre los datos experimentales y la exposición de los resultados y conclusiones.

**Análisis del contraste entre los datos experimentales:** para esto se requiere la creación de un de tabulador para que al analizar los historiales de comportamiento de las dos simulaciones se pueda determinar mas fácilmente si los cambios pretendidos tendrán realmente un impacto positivo en algún aspecto puede ser de tiempo, productividad, ahorro económico, etc.





*Exposición de los resultados y conclusiones:* una vez realizadas todas las actividades se podrán exponer los resultados a los directivos o personal correspondiente para que se determine o se programe la implementación de los cambios en este caso los resultados fueron muy favorables por lo que se solicitó se aprobara su implementación

**Implementación de los cambios:** ya teniendo la información de si los Cambios planeados son realmente benéficos para la planta se puede continuar con la implementación de estos cambios, los cambios ya fueron realizados y efectivamente los resultados que se obtienen son muy similares a los que se obtuvieron con la simulación.

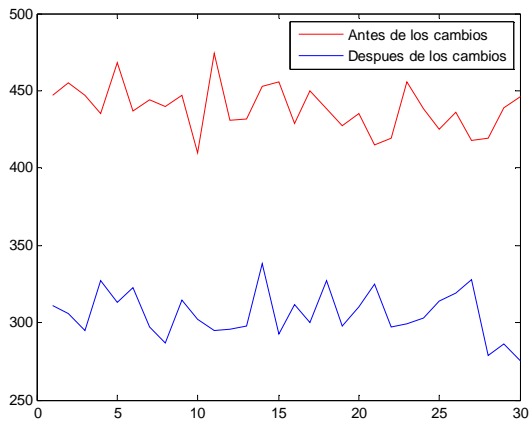


Fig.7 Grafica de tiempos de ciclo totales antes y después de los cambios.

Adicionalmente después de implementados los cambios se analizaron algunos de los indicadores que no se tomaron en cuenta para la simulación pero que igualmente reflejan cambios positivos.

Tabla 1: Características que reflejaron impacto positivo ante la implementación de los cambios.

Característica	Antes	Después
No de operadores	6	2
Aprovechamiento de la piel	105%	103%
Tiempo de Inspeccion	217 seg	75 seg
Tiempo Total	439 seg	305 seg
Ahorro Economico Anual	0	Aprox. \$66,696

Antes de implementar los cambios había 6 operadores realizando las actividades de inspección de la piel, al modificar estas actividades se redujo considerablemente el tiempo de ciclo por lo ahora hay solo 2 trabajadores y las otras 4 personas fueron reubicadas en otras áreas. En este proceso la piel es la materia prima más costosa por lo que es muy importante su buen aprovechamiento este porcentaje se determina mediante un tabulador establecido por el proveedor. Al implementar los cambios se noto que el aprovechamiento se redujo pero esta disminución no es relevante.

Una vez implementados los cambios se tomaron tiempos de las operaciones y se puede apreciar que son muy similares a las obtenidas en la simulación.

En cuanto al ahorro económico se determinó con respecto a las 4 personas que se cambiaron de área y se determinó suponiendo que recibían el salario mínimo lo cual no es real y sugiere que el ahorro fue mayor, además de que ya no es necesario el comprar los marcadores para la piel y las plantillas.

### Conclusiones

Esta metodología nos permitirá adoptar la cultura de la mejora continua y aplicarla de una manera sencilla, además de que nos permitirá medir y predecir el impacto de los cambios a realizar en las líneas de producción con la ayuda de la simulación discreta que permitirá poder jugar con las variables y/o características que impiden que el producto sea aceptado, sin afectar a la producción, ya que antes de realizar algún cambio se harán las pruebas en el programa el cual contendrá todas las características y variables con las que cuenta el proceso y así encontrar la solución óptima para eliminar estas causas se procederá a su aplicación en la línea.

### Bibliografía

- [1] Brassard, Michael y Ritter, Diane, "Impulsor de la Memoria II" Primera edición, 1994, GOAL/QPC
- [2] Díaz Cerón, Ana María, "Por la ruta de la mejora continua" en ciencia administrativa No. único, 2000, pp.54-57.
- [3] Ruiz Villar, María Cristina y Díaz Cerón, Ana María, "Mejora Continua y productividad" en ciencia administrativa. Nueva época Número uno, Xalapa, Ver. 1997, pp.100-103



- [4] Fajardo Reyes, Jesús, "Mejora continua dentro de la empresa" Biblioteca de la universidad abierta, www.universidadabierta.edu.mx
- [5] Alfaro, Wady, "Simulación de procesos" www.monografias.com
- [6] Herguedas Olmos, Francisco Javier y Sainz Palmero, Gregorio, "Análisis y optimización de un sistema productivo mediante simulación discreta", C.A.R.T.I.F. Centro de Automatización, Robótica y Tecnologías de la Información y Fabricación.
- [7] Law, Averill M. y Kelton W. David, "Simulation holding and analysis" third edition, 2000. Mc Graw Hill
- [8] García García, Inmaculada, Molla, Ramón y Ramos, Enrique, "Simulador generalista de sucesos discretos orientado a eventos" Departamento de sistemas informáticos y computación, universidad politécnica de Valencia Junio 2000.
- [9] Millar, Scout y Pedgen, Dennis, "Introduction to de manufacturing Simulation", Proceedings of the 2000 winter simulation conference.
- [10] Law, Averill. M. y McComas, Michael G, "Simulation of manufacturing systems". Proceedings of the 1998 Winter simulation conference.
- [11] Niebel, B.W. "Ingeniería Industrial estudio de tiempos y movimientos" editorial Alfaomega

### **María Teresa Rodríguez Arévalo**

Ingeniera Industrial egresada del Instituto Tecnológico de Saltillo, en Diciembre del 2003. Actualmente aspirante a obtener el grado de Maestría en Ciencia y Tecnología con especialidad en ingeniería Industrial y sistemas de Manufactura del posgrado interinstitucional de Ciencia y tecnología (PICYT-CONACYT) sede COMIMSA

### **Luis Torres Treviño**

Egresado con título de Doctor en ciencias con especialidad en Inteligencia Artificial del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) campus Monterrey (2004) Ha realizado diversas publicaciones y a participado en diversos congresos nacionales e internacionales. Las líneas de investigación de interés son Sistemas inteligentes aplicados a la industria y a la manufactura, Computación evolutiva, Innovación y transferencia de tecnología, Logística inteligente, Robótica y Teorías de Comportamiento. Finalmente el Dr. Torres ha participado en el desarrollo de proyectos para diversas empresas internacionales creando, desarrollando e implementando diversos sistemas inteligentes.

### **Felipe Arturo Reyes Valdés**

Sub. Gerente Académico y Profesor Titular de la Corporación Mexicana de Investigación en Materiales en el Posgrado en Soldadura, Ingeniería Industrial y de Manufactura. Investigador en el tema de los materiales, manufactura, deterioro, soldadura. Ponente y Moderador (chairman) de congresos nacionales e internacionales, especializándose en Metalurgia de la soldadura, Termodinámica y Cinética de Transformaciones de Fase, Corrosión, Tecnologías de Manufactura y Aplicación de modelos de Inteligencia Artificial en Ingeniería de Materiales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SIN).

### **Pedro Pérez Villanueva**

Es Ingeniero Industrial y de Sistemas por la Universidad Autónoma de Coahuila y Maestro en Sistemas de Información por la misma Universidad. Cuenta con 15 años de experiencia en el área de diseño y sistemas de manufactura, sistemas inteligentes y en el área de ensamble y desensamble de productos. Actualmente es Profesor-Investigador y candidato a Doctor en Ciencia y Tecnología con especialidad en Ingeniería Industrial y Sistemas de Manufactura dentro del Programa Interinstitucional de Ciencia y Tecnología (PICYT-CONACYT) sede COMIMSA.

**Dirección de los autores:** Blvd. Oceanía #190, Fraccionamiento Saltillo 400, CP. 25290, Saltillo Coahuila, México.

**Email:**

[TR\\_RA@hotmail.com](mailto:TR_RA@hotmail.com)  
[ltorres@comimsa.com](mailto:ltorres@comimsa.com)  
[areyes@comimsa.com](mailto:areyes@comimsa.com)  
[pperez@comimsa.com](mailto:pperez@comimsa.com)