

Laboratorio virtual para el diseño y programación de células flexibles de fabricación

Camilo González Manrique, Luis Miguel Arreche Bedia, Álvaro García Sánchez, Miguel Ortega Mier

Universidad Politécnica de Madrid, E.T.S.I.I., José Gutiérrez Abascal 2, 28006, Madrid.
kmilo1981@gmail.com, arreche@ingor.upm.es, agsanchez@etsii.upm.es, miguel.ortega.mier@upm.es.

Resumen

En la presente comunicación se presenta un modelo de simulación de una célula flexible con el cual es posible realizar diferentes tipos de prácticas. El modelo, desarrollado en Arena, dispone de una interfaz que facilita su manejo a cualquier usuario (sino conocimientos específicos de simulación y sin experiencia con entornos de simulación). Además de las posibles prácticas que se presentan en la comunicación, se pueden elaborar otras diferentes, gracias a la flexibilidad del modelo.

Palabras clave: Simulación, célula flexible, programación producción, autoaprendizaje, laboratorio virtual

1. Introducción

En el proceso de enseñanza universitaria, y especialmente en las carreras de ingeniería, resulta de suma importancia la adquisición de habilidades por parte de los estudiantes.

Una de las formas de enseñanza que más aportan a este propósito son las prácticas de laboratorio, pero no siempre es posible, material y económicamente, llevar a un laboratorio toda la riqueza de los posibles escenarios y complejidades de las situaciones a las que se enfrentan en el proceso de toma de decisiones. En este caso el uso de laboratorios virtuales con situaciones simuladas permite, mediante el uso de ordenadores personales, que los estudiantes dispongan de medios adecuados para la adquisición de las habilidades requeridas, que no serían posibles por otros métodos.

La utilización de los laboratorios virtuales mejora ostensiblemente la calidad del proceso de formación, al contar los estudiantes con una herramienta de enseñanza en la que pueden repetir el experimento cuantas veces lo necesiten. De este modo se facilita la adquisición de mayores habilidades prácticas.

Estos laboratorios virtuales pueden resultar un instrumento muy importante para el autoaprendizaje de los alumnos, así como para la enseñanza a distancia y la formación continua.

La Unidad Docente ha tratado de introducir el uso del ordenador en diferentes ocasiones, elaborando aplicaciones informáticas para apoyar la docencia de determinadas asignaturas (García-Sánchez, 2000, Ortega-Mier, 2000, García-Sánchez y Ortega-Mier, 2005).

La simulación discreta es una herramienta de gran interés para abordar problemas en el ámbito de la Ingeniería de Organización. Igualmente, la simulación puede ser de gran interés para la docencia relativa a dichos problemas. (Keys y Wolfe, 1990; Klassen y Drummond, 2000; Marín, 2000)

En la presente ponencia se muestra la experiencia llevada a cabo en la Unidad Docente de Organización de la Producción de la ETSII de Madrid en el desarrollo de un modelo de simulación de una célula flexible de fabricación para su utilización en la enseñanza de distintos aspectos relacionados con su diseño y operación.

2. Presentación del modelo

Este modelo de simulación tiene como objetivo servir de ambiente de entrenamiento para los alumnos de grado y postgrado en la toma de decisiones en problemas de gestión de operaciones y logística.

El modelo de simulación, realizado mediante el programa Arena© de Rockwell Software, representa una célula flexible de fabricación con siete puestos de trabajo, en los que se pueden procesar cinco tipos de piezas diferentes. Además, se puede caracterizar el sistema de forma sencilla mediante la modificación de los siguientes parámetros: los tiempos de operación, los tiempos de preparación de máquinas, los índices de rechazo de las piezas, el número de operarios y las prioridades entre las piezas, entre otros. La información relativa a los pedidos que se deben procesar se obtiene de un fichero Excel y los datos obtenidos a partir de la simulación del sistema son exportados a otro fichero Excel. En la figura 1 se muestra la representación gráfica del modelos en un instante de la simulación.

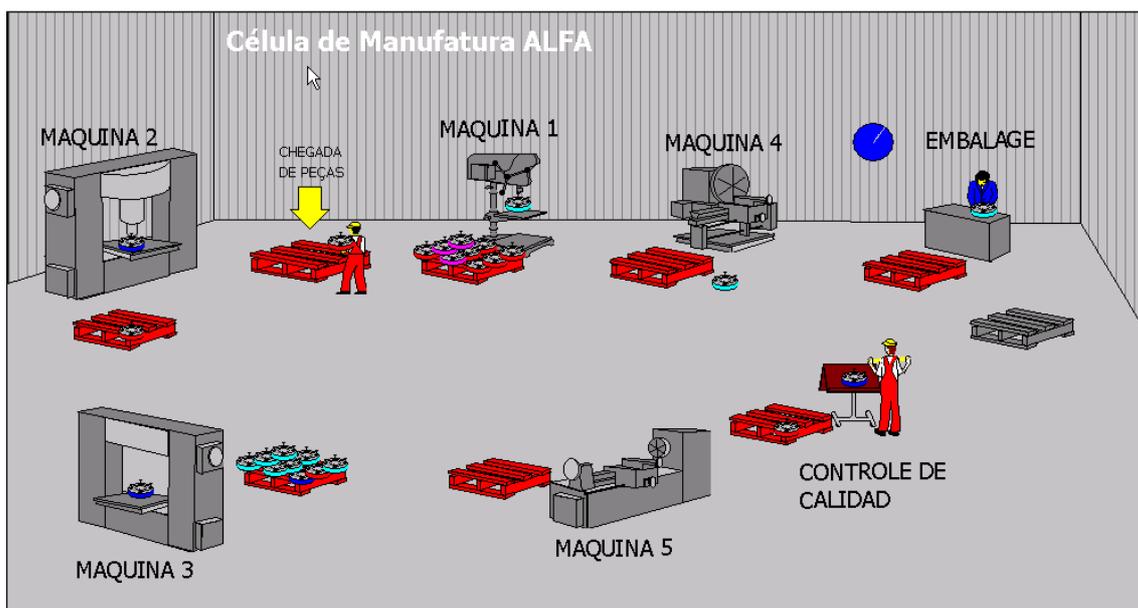


Figura 1. Animación gráfica del modelo

Desde el inicio de su creación, el modelo se ha orientado para que pueda ser manejado por cualquier usuario, sin que sea necesario que disponga de conocimientos específicos de simulación. El objetivo que se persigue con la utilización del modelo no es enseñar a elaborar estudios (ni modelos) de simulación, aunque el usuario se familiariza de forma indirecta con aspectos relativos a la simulación.

El objetivo del trabajo desarrollado es aprovechar la simulación para poner de manifiesto determinados fenómenos y facilitar la explicación y la comprensión de algunos conceptos relacionados con la gestión de la producción. El tipo de ejercicios prácticos que se pueden realizar con el modelo permiten disponer de ejemplos numéricos concretos que apoyan el tipo de explicaciones de las clases teóricas.

Dado que el usuario no necesita saber manejar Arena, desde el primero momento en que se abre el modelo, el usuario se encuentra con una interfaz amigable, intuitivo y fácil de entender que le va indicando paso por paso lo que debe hacer.

La primera ventana que ve el usuario, aparece justo después de abrir el modelo, indicándole que debe crear o elegir un fichero Excel en donde se guardarán todos los datos referidos a cada simulación que se realice hasta que se vuelva a cerrar el modelo. En principio, el programa Arena presenta los datos de la simulación en su propio formato. Se ha optado por un formato diferente para facilitar el análisis de la información relevante del funcionamiento de la célula flexible por parte de los alumnos. Con los datos presentados en Excel, el usuario se puede guardar el fichero y tratar la información con más detenimiento en cualquier lugar distinto del laboratorio, lo que permite al profesor diseñar prácticas en las que los alumnos tengan que realizar parte del trabajo fuera del laboratorio y entregar informes con las conclusiones y los resultados del análisis realizados por los alumnos. Adicionalmente, de esta manera se potencia el uso y aprendizaje de Excel ya que, aunque cada vez hay más programas especializados en todos los campos, las hojas de cálculo representan una herramienta de propósito general que resulta muy útil para abordar una gran cantidad de problemas.

Una vez elegido el fichero, el usuario debe correr el modelo. Es en este momento en el que se muestra la ventana principal (figura 2), que ofrece la opción de introducir un gran número de cambios en la configuración del modelo. Es aquí, donde el profesor tiene flexibilidad para diseñar una gran variedad de prácticas y experiencias, jugando con todos los factores que se pueden cambiar. Cada una de estas prácticas vendrá definida mediante cuatro características en un guión de prácticas que del que dispondrá el alumno:

1. Programas de producción a analizar o comparar, identificados por el nombre de sus ficheros Excel correspondientes.
2. Valores iniciales de todos los parámetros.
3. Parámetros fijos. Serán los parámetros que no se podrán modificar a lo largo de la práctica.
4. Parámetros variables, con los cuales el usuario podrá jugar y cambiar a su antojo, para analizar los efectos de dichos cambios en los resultados (en los ficheros Excel de salida).

Part Manufacturing Processes

Insert in the text boxes the processing time for each part on each equipment. Use minutes as time unit.

Part 1	Machine 01 10	Machine 02 10	Machine 03 10	Machine 05 10	Quality Ctl. 10	Packaging 10
Part 2	Machine 03 10	Machine 01 10	Machine 04 10	Quality Ctl. 10	Packaging 10	
Part 3	Machine 01 10	Machine 05 10	Quality Ctl. 10	Packaging 10		
Part 4	Machine 02 10	Machine 03 10	Machine 04 10	Quality Ctl. 10	Packaging 10	

Help English Cancel OK

Figura 2. Introducción de tiempos de proceso

Con respecto a la primera de las características anteriores, el usuario encontrará en la ventana principal que deberá elegir de un grupo de ficheros previamente preparados por el profesor (figura 3). Estos ficheros contienen distintos programas de producción ordenados por pedidos. De cada pedido se tiene la siguiente información:

- *ID del pedido*: identifica inequívocamente a cada pedido.
- *Tipo 1*: número de piezas de tipo uno.
- *Tipo 2*: número de piezas de tipo dos.
- *Tipo 3*: número de piezas de tipo tres.
- *Tipo 4*: número de piezas de tipo cuatro.
- *Día de entrega*: días a partir del instante inicial del horizonte de programación que faltan para el día de entrega del pedido.

Mediante una selección adecuada de los programas de producción de entrada es posible generar situaciones especiales, extremas o simplemente distintas entre sí, de manera que se puedan resaltar conceptos al gusto del profesor.

Se puede intuir a simple vista que el número de posibles experimentos que pueden surgir de la combinación de estas tres características es elevadísimo. A continuación veremos algunos de ellos.

	A	B	C	D	E	F
1	ID pedido	tipo 1	tipo 2	tipo 3	tipo 4	Día de entrega
2	1	6	8	9	7	1
3	2	8	7	4	4	6
4	3	7	4	2	1	18
5	4	8	5	4	3	4
6	5	3	5	7	9	2
7	6	2	6	9	2	9
8	7	6	2	8	8	8
9	8	5	4	4	7	5
10	9	4	8	2	5	4
11	10	2	6	6	4	2
12	11	6	5	5	5	10
13	12	8	3	2	2	15
14	13	5	2	1	1	2
15	14	4	1	4	2	20
16	15	2	4	5	5	25
17	16	6	5	2	4	30
18	17	9	2	6	7	5
19	18	5	6	3	8	1
20	19	5	5	2	9	19
21	20	2	4	4	5	9

Figura 3. Datos iniciales: pedidos.

3. Aplicaciones docentes

A continuación se comentan cuatro posibles aplicaciones del modelo desarrollado. Modificando convenientemente el modelo se podrían idea nuevas aplicaciones.

3.1. Análisis del efecto de la aplicación de distintas reglas de programación de la producción

En esta práctica el único factor que se puede modificar es la regla de programación a utilizar. El alumno podrá elegir entre una considerable cantidad de reglas que se pueden clasificar de dos maneras.

Se pueden clasificar según reglas por pedido o reglas por piezas. En el primer caso la regla elegida no hará distinción entre piezas del mismo pedido y en el segundo caso la regla verá a cada pieza como distinta a las demás.

También se pueden clasificar según su naturaleza: técnicas, técnico-comerciales y aleatorias.

Entre los distintos programas de producción habrá algunos que se vean claramente favorecidos o perjudicados por ciertas reglas de prioridad.

El alumno deberá analizar un programa de producción probando con distintas reglas de programación de la producción. Todos los datos se guardarán y ordenarán en el fichero Excel previamente elegido y este será analizado por el estudiante posteriormente. En el informe que tendrá que entregar el alumno, como conclusión deberá decidir qué regla o reglas son las más adecuadas para dicho programa de producción y justificarlo

indicando en que valores se ha apoyado para su elección y mediante gráficas y diagramas de dichos valores comparando distintas reglas de programación.

Algunos de los valores en los que se debería basar el alumno son impuntualidad media, retraso medio, tiempo total de realización de la producción, tiempos medios en las colas, etc. En algunos casos se puede orientar al alumno sobre cuáles son los índices a los que debe prestar atención, ya que muchos de ellos son contrapuestos, por ejemplo diciéndole que lo más importante es cumplir los plazos o acabar la totalidad del programa lo antes posible.

Si en la práctica se analiza más de un programa de producción, se deberá cerrar el modelo y volver a abrirlo para que la información referida al nuevo programa de producción se guarde en un documento Excel distinto al del programa de producción anterior.

Con esta práctica el alumno podrá observar las dificultades que se puede encontrar en un entorno productivo real a la hora de programar la producción. Se podrán comprobar los efectos de la utilización de diferentes reglas de programación y contrastar los resultados con los valores esperados de acuerdo con las explicaciones de las clases teóricas. Además, permite mostrar el interés de la simulación en decisiones de carácter operativo, como es el caso de la programación de la producción en un horizonte de un mes o de una semana.

3.2. Relación entre los tiempos de preparación y el tamaño de lote adecuado

La principal ventaja de las células flexibles de fabricación es la posibilidad de minimizar el tamaño de lote hasta incluso la unidad. Esto es posible debido a que gracias a la automatización del proceso los tiempos de preparación de las máquinas se reduce considerablemente. Este concepto aparece (con mayor o menor detalle) a lo largo de diversas asignaturas, de manera que esta práctica constituye una muy buena herramienta para afianzar los conocimientos impartidos en dichas asignaturas.

En esta segunda aplicación del modelo, los parámetros variables son los tiempos de preparación y el tamaño de lote.

Una vez más, el programa de producción diseñado por el profesor toma gran importancia, ya que los resultados variarán en gran medida según el “*mix*” de productos de cada pedido y el del programa en total.

La práctica consiste de los siguientes pasos:

- Abrir el modelo y elegir el fichero Excel de salida de datos.
- Elegir el programa de producción indicado en el guión de prácticas.
- Fijar los tiempos de preparación según indique el guión de prácticas. Este tiempo será un tiempo corto.
- Simular la producción con distintos tamaños de lote.
- Cerrar el modelo y volverlo a abrir y repetir el proceso con el mismo programa de producción indicado en el guión de prácticas.

Este proceso se puede efectuar el número de veces que el profesor considere adecuado, aumentando cada vez los tiempos de preparación.

Al final de la práctica, el alumno dispondrá de varios documentos Excel y en cada uno de ellos tendrá los datos para un tiempo de preparación pero con varios tamaños de lote. En el informe que tendrá que entregar el alumno, como conclusión deberá decidir que tamaño de lote es el adecuado para cada tiempo de preparación y justificarlo indicando en que valores se ha apoyado para su elección y mediante gráficas y diagramas de dichos valores comparando distintos tamaños de lotes. Estos tamaños de lotes deberán ir creciendo a medida que los tiempos de preparación van decreciendo, tal como el alumno habrá visto en las clases teóricas.

3.3. Identificación de cuellos de botella y discusión de posibles soluciones

Para esta práctica se inicializarán todos los parámetros y se diseñarán unos programas de producción de tal manera que se formen cuellos de botella fácilmente identificables.

El método de realización de esta práctica será similar a las anteriormente explicadas. El usuario abrirá el modelo y elegirá un programa de producción e inicializará todos los factores tal como le indique el guión de prácticas. Luego correrá el modelo y mediante la simple observación de la simulación y mediante el análisis de los informes deberá identificar el cuello de botella existente. Una vez hecho esto, tendrá total libertad para jugar con todos los factores, pero tendrá que explicar en la realidad que supondría el cambio de dicho factor. Por ejemplo si el cambio afecta a una regla de prioridad es simplemente un cambio de programación, pero si lo que se hace es reducir algún tiempo de proceso, puede significar la compra de una máquina mejor.

Esta práctica podría ser mejorada en un futuro, cuantificando costes en el modelo. Por ejemplo, se podría establecer algún tipo de relación entre el tiempo de proceso de una máquina y sus costes variables asociados, haciendo que cuanto más rápido trabaje una máquina más cueste la fabricación. Igualmente, se podrían introducir costes asociados al sueldo de los operarios.

3.4. Gestión de stocks

En un futuro se le podría añadir un módulo gestor de stocks en el que se puedan ver los distintos métodos vistos en clase por los alumnos.

4. Detalles técnicos

4.1. Elección entre Arena y Witness

Los dos programas de simulación que se barajaron para la realización del modelo fueron Arena y Witness. Al final se optó por Arena, principalmente, por dos razones:

- Arena dispone de un motor de Visual Basic para aplicaciones, que facilita enormemente el desarrollo de la interfaz con el usuario que es absolutamente necesaria si se desea que el modelo pueda ser utilizado por un alumno sin conocimientos de simulación ni del entorno de simulación específico. Con Witness el desarrollo de esta interfaz resultaba más costosa.

- Arena ofrece una versión educacional de distribución libre, mientras que Witness no.

Para poder realizar las prácticas es necesario disponer de Arena 7.01 (o superior) y Excel 2003.

4.2. Exportación de datos

La exportación de los datos utilizados en los informes se realiza toda mediante Visual Basic. Al final de cada replicación se vuelca toda la información a un fichero de extensión .csv y al final de la simulación se exporta desde el .csv al fichero Excel.

5. Conclusiones

La simulación es ampliamente conocida como una herramienta de gran interés para la resolución de problemas complejos. Además, la simulación ofrece ventajas también en el ámbito docente, ya que permite reproducir situaciones de gran interés docente para apoyar los conocimientos impartidos en las clases teóricas.

En particular, en la comunicación se ha presentado un modelo de simulación que representa una célula flexible de fabricación. Este modelo puede servir de laboratorio para estudiar diferentes fenómenos relacionados con la gestión de la producción. Para facilitar la realización de dichos laboratorios se ha diseñado un interfaz que permite la utilización del modelo a usuarios que no están familiarizados ni con la simulación ni con ningún entorno de simulación en particular.

Se han comentado algunas aplicaciones. Además de estas aplicaciones, y gracias a la flexibilidad del modelo, es posible diseñar otras diferentes.

Referencias

- García-Sánchez, A. (2000). Proyecto Final de Carrera: "Aplicación informática para la enseñanza de modelos de Mantenimiento", ETSII de Madrid.
- Keys, B.; Wolfe, J. (1990). "The Role of Management Games and Simulations in Education and Research". *Journal of Management*, 16(2), pp 307-336.
- Klassen, J.; Drummond, D. (2000). "Human resources skills: Learning through an interactive multimedia business simulation", *International Journal of Educational Technology*, 2(1).
- Marín, F. (2000). Tesis doctoral: "Diseño y evaluación de alternativas en la configuración de sistemas de producción justo a tiempo mediante una herramienta de simulación", ETSII de Madrid.
- Ortega-Mier, M. A. (2000). Proyecto Final de Carrera: "Aplicación informática para la enseñanza de modelos de renovación de equipos industriales", ETSII de Madrid.
- Ortega-Mier, M. A. y García-Sánchez (2005). La edición de videos hechos con Witness: herramienta para la docencia. IX Congreso de Ingeniería de Organización. Gijón.