



Ingeniería Industrial

ISSN: 0258-5960

revistaii@ind.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José

Antonio Echeverría

Cuba

Rodríguez-Ruíz, Yordán; Pérez-Mergarejo, Elizabeth  
ERGONOMÍA Y SIMULACIÓN APLICADAS A LA INDUSTRIA  
Ingeniería Industrial, vol. XXXII, núm. 1, enero-abril, 2011, pp. 2-11  
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría  
La Habana, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360433575002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



## ERGONOMÍA Y SIMULACIÓN APLICADAS A LA INDUSTRIA/ ERGONOMICS AND SIMULATION APPLIED TO THE INDUSTRY

Yordán Rodríguez-Ruíz<sup>1</sup>, Elizabeth Pérez-Mergarejo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae. Facultad de Ingeniería Industrial. La Habana, Cuba.  
E-mail: yordanh@ind.cujae.edu.cu, epmergarej@ind.cujae.edu.cu

Recibido: 05/12/2010  
Aprobado: 14/02/2011

### Resumen / Abstract

La simulación permite estimar el comportamiento de sistemas estocásticos complejos, cuando su estudio por la vía analítica resulta insuficiente. En este estudio se empleó esta técnica numérica, para mostrar el impacto de los rediseños ergonómicos realizados a las estaciones de trabajo de una estera. Para simular este sistema, se realizó un análisis preliminar de las estaciones de trabajo, con el objetivo de recoger información útil para diseñar un modelo lógico. El modelo fue simulado y sometido a los cambios resultantes del rediseño ergonómico de las estaciones de trabajo. Los resultados obtenidos mostraron la utilidad de la simulación para la predicción y el análisis del impacto que tendrían las propuestas efectuadas.

*Simulation is used when the stochastic system is too complex to be analyzed satisfactorily through analytic-mathematical models. In this research, the simulation was used to show the impact of the ergonomic redesigns at the workstations in a conveyor. To simulate this system, a preliminary analysis of the workstations was made in the order to collect useful information to design a logic model. This model was simulated and changed according to the ergonomic redesign of the workstations. The results proved the usefulness of simulation for predicting and analyzing the impact of the implemented propositions.*

### Palabras clave / Key words

Desórdenes músculo-esqueléticos, diseño ergonómico de puestos, ERIN, estera, simulación.

*Work- related musculoskeletal disorders, ergonomic design, ERIN, conveyor, simulation.*

## I. INTRODUCCIÓN

Las líneas de producción han sido clasificadas de diferentes formas. Ello depende del flujo de productos y de la forma en que se encuentre organizado el mismo. El estudio de los tipos de líneas de producción a las cuales llegan múltiples productos en horarios diferentes resulta complejo y la vez importante, ya que incide en la disminución de los tiempos ociosos y el aumento de la productividad [1].

Otro elemento que debe ser considerado es el diseño ergonómico de los puestos de trabajo. Este aspecto contribuye a la disminución del esfuerzo físico y los riesgos laborales, garantizando la adecuada seguridad y salud del trabajador, así como el aumento del confort para la realización de su tarea y la elevación de la productividad [2]

Entre las enfermedades laborales que se evitan con los rediseños ergonómicos se encuentran los desórdenes músculo-esqueléticos (DMEs). Los DMEs de origen laboral son un problema de salud común y la mayor causa de discapacidad [3]. Afectan a millones de trabajadores europeos de todos los sectores laborales y cuestan a los empresarios billones de euros [4]. En

Cuba representan la segunda causa de discapacidad permanente en la fuerza de trabajo, con una tasa de 180 casos por cada 10000 trabajadores [5]. De ahí, la importancia de dirigir esfuerzos en la prevención primaria de estas enfermedades.

Contradictoriamente, las mejoras ergonómicas, aunque son muy bien argumentadas técnicamente, en ocasiones no se llevan a la práctica. Esto se debe a que los esfuerzos dedicados a proyectar los beneficios obtenidos, así como el análisis de alternativas para mostrarlas y convencer a la alta dirección de que sean realizadas, son mínimos, comparado con el volumen total de trabajo realizado.

El uso de técnicas cuantitativas como la simulación, facilita la toma de decisiones ofreciendo información del sistema a corto plazo [6; 7]; no se experimenta sobre el sistema real, reduciendo significativamente los costos y el tiempo [7] y posibilita el trabajo con sistemas que aún no han sido diseñados [8]. La simulación es una técnica numérica de la Investigación de Operaciones (IO) que permite imitar el comportamiento de los sistemas a través de un modelo lógico [7]. Es la representación de fenómenos reales, sistemas, procesos o entornos. Su aplicación protege a los participantes de las consecuencias de los errores al no operar sobre el sistema real [9]. Lo complejo en la construcción del modelo es lograr la aproximación entre el sistema real y el simulado. Minimizar esta brecha permite predecir con mayor exactitud el comportamiento del sistema [7].

Desde hace más de 50 años se han desarrollado métodos computacionales para proveer a las personas de herramientas fáciles de utilizar para simular [10]. La aplicación de la computación a la simulación ha permitido el desarrollo de *software* cada vez más fáciles de usar. Éstos brindan interfaces con un lenguaje gráfico y permiten la construcción de modelos a través de diagramas que reducen la programación, aunque es necesario un conocimiento básico por parte del usuario [11].

Al utilizar la simulación como parte de un estudio de IO, primero se realiza un análisis teórico para crear el diseño básico del sistema. Luego se utiliza la simulación para experimentar cambios en el sistema y predecir su comportamiento. Finalmente, se ejecutan los cambios sobre el sistema real [7].

La simulación ocurre constantemente. Los niños simulan las actividades realizadas por los adultos, los actores representan situaciones supuestas que fueron escritas, los ergónomos, entre otros especialistas, consiguen de ella respuestas que no son posibles obtener con otros métodos [8], facilitándole la aplicación de medidas de mejora [6]. El estudio que se presenta es una muestra del empleo integrado de varias técnicas de la Ingeniería Industrial para contribuir a llevar de la teoría a la práctica las mejoras ergonómicas.

El objetivo de este trabajo es emplear la simulación para mostrar el impacto de las mejoras ergonómicas proyectadas en puestos de trabajo de una empresa que brinda servicios a los vuelos aéreos.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudia el área de armado de una empresa que se dedica a la elaboración de alimentos, confección de platos y montaje de servicios a los vuelos aéreos. En esta área se trabajan turnos de 12 horas, de las cuales 9 son las empleadas para conformar las bandejas de alimentos utilizando una estera. Cuenta con tres estaciones de trabajo: la estación 1, que coloca las bandejas en la estera y cuenta con un operario; la estación 2, en la cual se colocan los componentes dentro de las bandejas y cuenta con tres operarios y la estación 3, donde se inspeccionan y retiran las bandejas de la estera, donde trabaja un operario [12]. La Figura 1 muestra las estaciones de trabajo 1, 2 y 3, de izquierda a derecha.



**Figura 1** Área de armado.

En el área se han producido acumulaciones de productos en la estera. Los trabajadores han referido síntomas músculo-esqueléticos detectados con la aplicación de un cuestionario, que emplea un mapa del cuerpo dividido en regiones [12; 13]. De dicho cuestionario se obtuvo que las regiones del cuerpo que se reportaron afectadas con mayor frecuencia en el lado derecho, fueron el cuello, el hombro-brazo y la pierna-tobillo, con un 71 %, 74 % y 76 %, respectivamente y en el lado izquierdo, fueron el hombro-brazo y la pierna-tobillo con un 58% y 76%, respectivamente. Debido a que se permanece toda la jornada laboral en la posición de pie, esto afecta la zona de las piernas y los tobillos y las posturas inadecuadas que tienen que adoptar afectan los hombros, brazos y el cuello. También se ha encontrado que los certificados médicos registrados por DMEs constituyen el 71 % de los presentados en el área de armado. Esta situación se diagnostica que se deba al diseño de las estaciones de trabajo y a la organización del mismo [12].

Se aplica el método Evaluación de Riesgo Individual (ERIN) [14] para evaluar el riesgo de DMEs de origen laboral. Este método fue seleccionado teniendo en cuenta las partes del cuerpo y los factores de riesgo evaluados. ERIN es desarrollado para que personal no experto con un mínimo de entrenamiento realice la evaluación masiva de puestos de trabajo y mida el impacto de las intervenciones ergonómicas, comparando el riesgo global antes y después, esperando una disminución.

Con ERIN se evalúa la postura de las cuatro regiones corporales (Tronco, Brazo, Muñeca y Cuello) y la interacción de éstas con su frecuencia de movimiento. Se evalúa el Ritmo de trabajo, que está dado por la interacción entre la velocidad de trabajo y la duración efectiva de la tarea; el Esfuerzo, resultado de la interacción del esfuerzo percibido por el evaluador y su frecuencia y la Autovaloración, en la cual se le pregunta al sujeto su percepción sobre la tarea que realiza.

Como resultado final ERIN ofrece factores de riesgo de DMEs, a partir del nivel de riesgo global calculado por la suma del riesgo de las siete variables incluidas, recomendando diferentes niveles de acción ergonómica. Éstos son mostrados en la Tabla 1.

**TABLA 1**  
**Niveles de riesgo y acción ergonómica recomendada según el riesgo global en ERIN**

Zona	Riesgo global	Nivel de riesgo	Acción ergonómica
Verde	7-14	Bajo	No son necesarios cambios
Amarillo	15-23	Medio	Se requiere investigar a fondo, es posible realizar cambios
Naranja	24-35	Alto	Se requiere realizar cambios en breve periodo de tiempo
Rojo	> 36	Muy Alto	Se requiere de cambios inmediatos

En la Figura 2 se muestra la hoja de campo ERIN empleada. Fueron evaluados con el método ERIN todos los operarios del área de armado. Las puntuaciones obtenidas variaban entre operarios de la misma estación, por lo que se tomó la moda de las puntuaciones por variable, con el propósito de establecer el riesgo por estación.

Se rediseñan las estaciones de trabajo, para lo cual se realizan varias propuestas. Los rediseños estaban dirigidos a disminuir los niveles de riesgo según ERIN, eliminar movimientos innecesarios que traen consigo una reducción de los tiempos y por ende un aumento de los niveles de productividad.

Se realizaron propuestas de diseño de medios de trabajo (silla sentado, silla sentado/de pie, plataforma elevadora, anaqueles para productos) en las estaciones estudiadas. Para ello fueron tomadas las dimensiones antropométricas según Bernard, T. E. (2009) [15] y Chaurand, R. A. et al. (2007) [16]. Las dimensiones utilizadas fueron de la población femenina, pues era el género predominante en los operarios del área.

Se confeccionaron los diagramas bimanuales por estación que permitieron realizar un estudio detallado de los métodos de trabajo actuales y proyectar los futuros con las respectivas reducciones de tiempo en la ejecución de las tareas a partir del sistema de tiempos predeterminados (STP) (MTM-1) [1].

Las propuestas de rediseños físicos realizadas en las estaciones de trabajo 1 y 3 fueron:

- Diseño de una silla, que permita al operario alternar las posiciones de trabajo (sentado/de pie) facilitando los cambios posturales. Se tomó como referencia la altura de la estera, pues esta permaneció invariable.
- Diseño de plataforma elevadora de los carritos de servicio.

Las propuestas de rediseños físicos realizadas en la estación de trabajo 2 fueron:

- Diseño de una silla (sentado/de pie), que permita al operario alternar las posiciones de trabajo y disminuir la carga postural en las extremidades inferiores, pues realizan el trabajo de pie. Se tomó como referencia la altura de la estera, pues ésta permaneció invariable.
- Diseño de anaqueles (estantes donde se colocan los depósitos de los componentes que se colocan en las bandejas). Esto se realiza debido a que, según los resultados al aplicar ERIN y la opinión de los trabajadores, es la actividad crítica en esta estación. Se proponen dos alternativas. La primera: un anaquel formado por una plancha a lo largo de la estera que permita incorporar un conjunto de depósitos para los productos por operario, la segunda: un anaquel en forma de semicírculo, con el fin de reducir el ángulo de flexión del brazo facilitando el alcance de los productos, que igualmente permita incorporar los depósitos de productos.
- Diseño de los depósitos para los componentes de la bandeja, que permite organizar los productos y la accesibilidad a éstos.

Finalmente se realizan las siguientes propuestas del tipo organizativas:

## ERIN: Evaluación del Riesgo Individual

Considere los pasos 1, 2 y 3 para las variables Tronco, Brazo, Muñeca y Cuello; para las variables Ritmo, Esfuerzo y Autovaloración el paso 4.

- Pasos:**
1. Observe al trabajador y seleccione la postura crítica para la región del cuerpo evaluada. (Auxiliarse con las figuras y el texto).
  2. Adicione el ajuste en caso que corresponda para obtener la Carga postural.
  3. Determine el riesgo por variable dado por la interacción entre la Carga postural y el movimiento de la región del cuerpo; anótelos en la casilla correspondiente.

4. Determine el valor de riesgo para las variables Ritmo, Esfuerzo y Autovaloración según se indica en cada tabla; anótelos en la casilla correspondiente.

5. Sume los valores de riesgo para obtener el **Riesgo Total**.

6. Determine el **Nivel de Riesgo** correspondiente.

**Nivel de riesgo**

1	2	3	
Flexión ligera o sentado con buen apoyo.	Flexión moderada o sentado mal apoyado o sin apoyo.	Flexión severa	Extensión

Ajuste: +1 si el Tronco está girado y/o doblado

Carga postural	Movimiento del Tronco			
	Estático más de un minuto	Poco frecuente < 5 veces/min	Frecuente 6-10 veces/min	Muy frecuente >10 veces/min
1	1	1	2	3
2	3	2	4	5
3	8	3	6	7
4	9	4	8	9

**Nivel de riesgo**

1	2	3	
Extensión ligera	Flexión ligera	Extensión severa	Flexión moderada
Extensión severa	Flexión severa		

Ajuste: +1 si existe abducción -1 si el peso del Brazo está apoyado

Carga postural	Movimiento del Brazo			
	Estático más de un minuto	Poco frecuente	Frecuente	Muy frecuente
1	1	1	2	3
2	4	2	5	7
3	5	3	6	8
4	9	4	9	9

**Nivel de riesgo**

1	2	Ajuste	
Flexión o extensión ligera	Flexión o extensión severa	Desviada	Girada

Ajuste: +1 si la Muñeca está desviada o girada

Carga postural	Movimiento de la Muñeca		
	Poco frecuente <10 veces/min	Frecuente 11-20 veces/min	Muy frecuente >20 veces/min
1	1	2	3
2	2	4	5
3	3	5	6

**Nivel de riesgo**

1	2	Ajuste	
Flexión Ligera	Flexión Severa	Desviada	Girada
Extensión			

Ajuste: +1 si el Cuello está girado y/o doblado

Carga postural	Movimiento del Cuello		
	Estático más de un minuto	Algunas Veces	Constantemente
1	1	1	2
2	4	2	6
3	7	3	7

Niveles de Riesgo		
Riesgo Total	Nivel de riesgo	Acción recomendada
7-14	Bajo	No son necesarios cambios
15-23	Medio	Se requiere investigar a fondo, es posible realizar cambios
24-35	Alto	Se requiere realizar cambios en un breve periodo de tiempo
+36	Muy Alto	Se requiere de cambios inmediatos

**Ritmo**

Duración efectiva de la tarea en (horas)	Velocidad de trabajo				
	Muy lento (Ritmo muy relajado)	Lento (Tomándose su tiempo)	Normal (Velocidad normal de movimiento)	Rápido (Posible de soportar)	Muy Rápido (Difícil o imposible de soportar)
< 2 h	1	1	3	4	5
2-4 h	1	2	3	5	6
4-8 h	2	3	4	6	7
> 8 h	2	4	5	7	7

**Esfuerzo**

Clasificación	Esfuerzo percibido	Frecuencia		
		< 5 por minuto	5-10 por minuto	>10 por minuto
Liviano	Relajado (Esfuerzo poco notorio)	1	2	6
Algo Pesado	Esfuerzo claro-Perceptible	1	2	6
Pesado	Esfuerzo evidente-expresión facial sin cambios	3	7	8
Muy Pesado	Esfuerzo sustancial-cambios en la expresión facial	6	8	9
Casi Máximo	Uso de hombros y tronco para hacer esfuerzos	7	8	9

**Autovaloración**

Descripción	Riesgo
Nada estresante	1
Un poco estresante	2
Estresante	3
Muy estresante	4
Excesivamente estresante	5

Empresa: \_\_\_\_\_

Puesto de trabajo: \_\_\_\_\_

Trabajador: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

**Riesgo Total**

=

© Investigación de Doctorado en Ciencias Técnicas, Yordán Rodríguez, ISPJAE, Cuba. Estudiante: Miguel Ángel Hernández ISDI. Septiembre / 2009

Figura 2 Hoja de campo ERIN.

5 Ingeniería Industrial/ISSN 1815-5936/Vol. XXXII/No. 1/enero-abril/2011

- Rotación de los operarios entre las estaciones 1 y 3 con la 2, para variar el uso de grupos musculares, pues la rotación entre las estaciones 1 y 3 no tendría el efecto deseado, ya que las actividades realizadas en estas estaciones son prácticamente las mismas [1].
- Redistribuir la carga de trabajo durante la jornada laboral buscando el equilibrio del volumen de producción entre las dos sesiones, pues la carga de trabajo en la tarde es mucho mayor que en la mañana.
- Rediseño de los métodos de trabajo en cada estación.
- Establecer tiempos de descanso de 5 minutos cada una hora de trabajo en cada estación, siguiendo las consideraciones descritas por Occhipinti, E. y Colombini, D. (1999) [17] y Colombini, D. et al. (2001) [18].

Estas propuestas organizativas se combinan con las propuestas de rediseños físicos de los puestos de trabajo para obtener otras que fueron simuladas posteriormente. Se simuló cada propuesta y el estado actual del sistema siguiendo la siguiente secuencia: representar el proceso a través de un diagrama, determinar las entradas del proceso, modelarlo en el *software* Arena 7.01 en su versión profesional, definir las salidas, simular y analizar los resultados. Las entradas definidas fueron las siguientes:

- El número de estaciones de trabajo
- El número de operarios en cada estación de trabajo
- El tipo de entidad (6 tipos diferentes de bandejas)
- El tiempo entre arribos para los lotes
- El tiempo de servicio para cada estación de trabajo según el tipo de entidad
- El tiempo de carga y descarga de las bandejas en la estera
- El instante de comienzo de la simulación para cada tipo de entidad
- El horario de trabajo en la estera
- La capacidad de espacio de la estera según el tipo de entidad
- La velocidad de la estera
- El tamaño de cada lote de bandejas
- El volumen de producción de cada entidad

La simulación se realizó tomando el día de la semana donde se produce la mayor variedad de surtidos y volumen de producción. Se dividen las 9 horas de trabajo en la estera en dos sesiones: mañana y tarde. Se analizaron todas las propuestas simuladas mostrando los resultados esperados de cada una y recogiéndose en cada caso la información siguiente:

- % de utilización de la estera
- El tiempo medio de espera para entrar en la estera
- % de utilización de las estaciones de trabajo
- El número medio de bandejas terminadas en la mañana y la tarde
- El número medio de bandejas que se dejan de hacer en la mañana y la tarde
- El tiempo medio de estancia en la estera según el tipo de entidad
- El tiempo medio de estancia en el área de armado según el tipo de entidad

### III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se analizan las propuestas de mejoras realizadas:

#### Propuestas de rediseños físicos en las estaciones de trabajo

Estaciones 1 y 3:

Con el diseño de la silla y de la plataforma elevadora de los carritos de servicio, se disminuyó el riesgo total con el método ERIN de un nivel de riesgo alto (35) a un nivel de riesgo moderado (16) en las estaciones 1 y 3, lo cual se debe a que las puntuaciones obtenidas por cada variable se redujeron. La puntuación del tronco disminuye en 5 puntos, pues se evita que el operario flexione el tronco más de 60 grados para tomar/colocar las bandejas en los niveles inferiores del carrito de servicio. La puntuación del cuello disminuye en 5 puntos, pues se elimina la flexión mayor de 20 grados. La puntuación del brazo y muñeca del lado derecho, es el de mayor riesgo en este caso, y se redujo en 6 y 3 puntos respectivamente. Esto ocurre con el diseño de la silla, pues se logra que la estera quede aproximadamente a la altura de los codos sentado del operario, eliminando la flexión mayor de 90 grados y la abducción del brazo del operario al colocar/tomar las bandejas en la estera. El resto de las variables (ritmo, intensidad del esfuerzo y autovaloración del trabajador) no variaron. En la Tabla 2 se muestra la disminución de las puntuaciones producto del rediseño físico de las estaciones de trabajo.

Estación 2:

Con el diseño de la silla, los anaqueles, los depósitos donde se colocan los componentes de las bandejas y el método de trabajo, se disminuyó el riesgo total y el nivel de riesgo según el método ERIN de un nivel de (34) riesgo alto a (15) nivel de riesgo medio en la estación 2. La puntuación del tronco disminuye en 5 puntos, pues con cualquiera de los anaqueles propuestos se disminuye el ángulo de flexión del tronco de más de 60 grados a menos de 20 grados, pues los componentes están colocados al alcance del brazo. La puntuación del cuello disminuye en 6 puntos, pues se elimina la flexión mayor de 20 grados para localizar los componentes situados en los anaqueles. La puntuación del brazo disminuye de 7 a 2 puntos, pues con el diseño de los anaqueles se reduce la flexión del brazo de entre 45 y 90 grados a menos de 45 grados y al situarse los componentes en un solo nivel se reduce la frecuencia de movimiento de muy frecuente a frecuente. La puntuación de la muñeca disminuye de 5 a 2

**TABLA 2****Puntuaciones de ERIN en las estación 1 y 3**

<b>Variables</b>	<b>Puntuación antes</b>	<b>Puntuación después</b>
Postura y frecuencia movimiento del tronco	6	1
Postura y frecuencia movimiento del brazo	7	2
Postura y frecuencia movimiento de las muñecas	5	2
Postura y frecuencia movimiento del cuello	7	1
Ritmo	5	5
Intensidad del Esfuerzo	2	2
Autovaloración	2	2
Riesgo Global	34	15
<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>

**TABLA 3****Puntuaciones de ERIN en la estación 2**

<b>Variables</b>	<b>Puntuación antes</b>	<b>Puntuación después</b>
Postura y frecuencia movimiento del tronco	6	1
Postura y frecuencia movimiento del brazo	8	2
Postura y frecuencia movimiento de las muñecas	5	2
Postura y frecuencia movimiento del cuello	7	2
Ritmo de trabajo	5	5
Intensidad del Esfuerzo	2	2
Autovaloración	2	2
Riesgo Global	35	16
<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>

puntos, pues con el diseño de los depósitos de menor profundidad se reduce la flexión de la muñeca a menos de 20 grados cuando se toman los componentes. El resto de las variables (ritmo, intensidad del esfuerzo y autovaloración del trabajador) no variaron. En la Tabla 3 se muestra la disminución de las puntuaciones.

Teniendo en cuenta los rediseños físicos en las estaciones y las propuestas organizativas, se realizan las siguientes propuestas con el objetivo de simularlas y analizar sus resultados.

**Propuestas simuladas**

1. Descanso de 5 minutos cada una hora, propiciando pausas que contribuyen a la recuperación de las estructuras músculo-tendinosas de las extremidades superiores e inferiores.
2. Disminución en los tiempos de servicio calculados a partir de las tablas del STP (MTM-1) disponibles. Esto es resultado de los diseños de las sillas sentado/ de pie, anaqueles, plataforma elevadora, depósitos para componentes y de los métodos de trabajo. Se adiciona a esta propuesta el descanso de 5 minutos.
3. Redistribución de la carga de trabajo entre la mañana y la tarde bajo las condiciones actuales.
4. Redistribución de la carga de trabajo entre la mañana y la tarde utilizando los nuevos tiempos de servicio calculados a partir de las tablas del STP (MTM-1).
5. Redistribución de la carga de trabajo entre la mañana y la tarde, disminución en los tiempos de servicio calculados a partir de las tablas del STP (MTM-1) y establecimiento de descansos de 5 minutos cada una hora.

En la Figura 3 se observa el modelo diseñado para la simulación. La Tabla 4 muestra los resultados de interés obtenidos a partir de la simulación del estado actual y de cada propuesta de simulación.

En el estado actual el trabajo en la estera dura 9 horas, ya que en las 3 primeras horas de la jornada laboral los operarios preparan las bandejas de los vuelos que serán montados. Los trabajadores disponen de 15 minutos antes de comenzar el trabajo en la estera y de 1 hora de almuerzo para descansar.

El estado actual muestra un desbalance con respecto al volumen de producción, ya que en la sesión de la tarde se deben conformar 344 bandejas más que en la mañana. Se dejan de hacer como promedio 683.4 bandejas. Considerando que el promedio de bandejas por vuelo es de 250, esta producción sin terminar equivale aproximadamente al pedido de tres vuelos aéreos. Como promedio los carritos de servicio donde se encuentran las bandejas listas para colocar en la estera permanecen

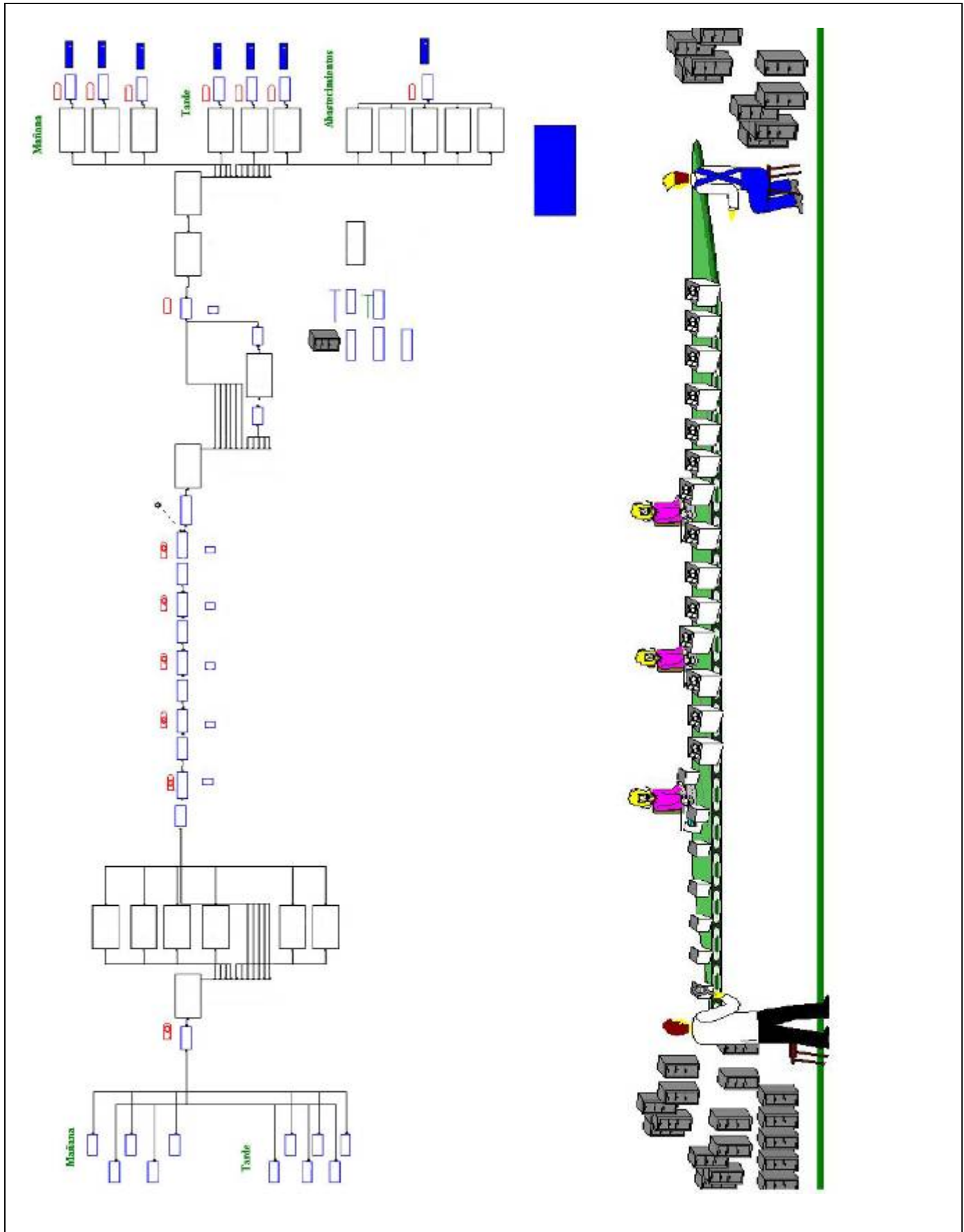


Figura 3 Modelo empleado para la simulación para el área de armado.

**TABLA 4**  
**Impacto de las propuestas realizadas**

Salidas	Estado Actual	Propuestas				
		1	2	3	4	5
Volumen de producción en la mañana	728	728	728	924	924	924
Volumen de producción en la tarde	1072	1072	1072	876	876	876
Volumen de producción en la jornada laboral	1800	1800	1800	1800	1800	1800
Bandejas terminadas en la jornada laboral	1116.6	803	1422.2	1318.8	1800	1646
Bandejas sin hacer en la jornada laboral	683.4	997	377.8	481.2	0	154
(# de vuelos equivalentes)	(2.7)	(3.9)	(1.5)	(1.9)	(0)	(0.6)
Tiempo de espera para entrar en la estera (min.)	134.4	142.5	96.4	137	108	133
% de utilización de la estación de trabajo 1	88.9	82.5	80.7	88.9	84.9	82
% de utilización de la estación de trabajo 2	21.2	17.7	18.8	20.5	22.5	19.4
% de utilización de la estación de trabajo 3	52.5	43.8	39.4	51.6	47.4	40.1
% de utilización de la estera	94.7	83.8	84.3	92.6	88.8	86.5

134.4 minutos (2.24 horas) en la cola de entrada para la misma. La estera se encuentra en funcionamiento el 94.7 % de las veces, pues solo se detiene durante los abastecimientos de componentes a las estaciones de trabajo y durante el horario de almuerzo.

Actualmente, existe un desbalance en los tiempos de servicio entre las estaciones de trabajo. Esto se solucionaría con el balance de la línea de producción, lo cual permitiría equilibrar y aumentar el porcentaje de utilización en las estaciones, así como determinar el número necesario de estaciones y trabajadores por estación [1]. Por razones técnico-organizativas del objeto de estudio, no se considera este aspecto entre las propuestas.

Para todas las propuestas analizadas a continuación, las variables: tiempo de espera para entrar en la estera, porcentaje de utilización de las estaciones 1, 2 y 3; y porcentaje de utilización de la estera, no sufren notables variaciones ante los cambios realizados al modelo, por lo que el análisis de cada propuesta se realizará teniendo en cuenta el comportamiento del resto de las variables.

Con la primera propuesta se estima que se dejarían de hacer 997 bandejas como promedio, lo cual equivale aproximadamente a la demanda de cuatro vuelos aéreos. Por tanto, aunque esta propuesta favorece la recuperación del trabajador, disminuye considerablemente la productividad en la jornada laboral.

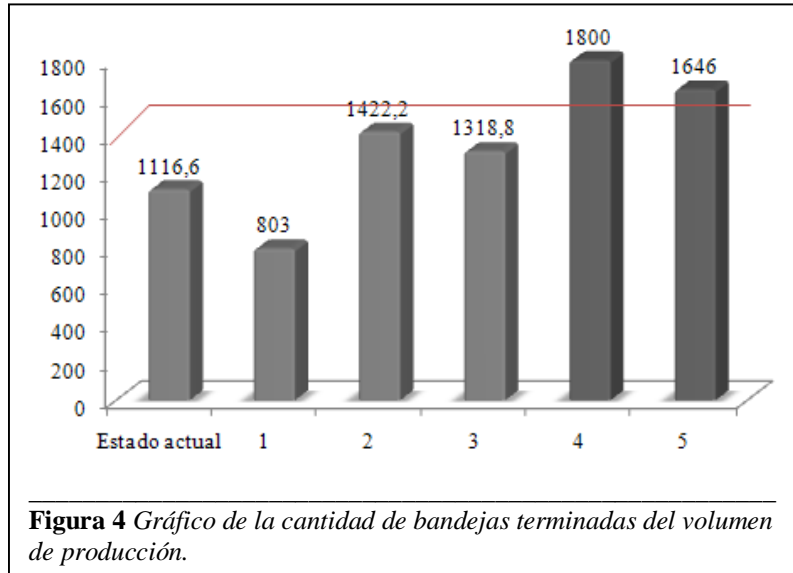
En la segunda propuesta simulada el número de bandejas que como promedio se dejarían de conformar disminuye a 377.8, por lo que mejoraría el sistema con respecto a la primera propuesta y al estado actual.

La tercera propuesta es redistribuir la carga de trabajo entre la mañana y la tarde bajo las condiciones del estado actual (sin tener en cuenta los cambios realizados en las propuestas 1 y 2). Se tuvo en cuenta que las 9 horas de trabajo en la estera se distribuyen en 4 horas de trabajo, 1 hora de almuerzo y 4 horas de trabajo. El volumen de producción se balanceó con una diferencia de 48 bandejas más en la mañana, teniendo en cuenta la planificación de los vuelos. Como resultado de la simulación se obtuvo que como promedio quedarían sin conformar 481.2 bandejas (aproximadamente dos vuelos aéreos) en la jornada laboral.

Con la cuarta propuesta se logra cumplir el volumen de producción y se contribuye con la seguridad y salud del trabajador con las mejoras de las condiciones y métodos de trabajo.

La última propuesta de mejora simulada favorece la salud del trabajador en gran medida, pues contempla todas las propuestas ergonómicas de mejoras realizadas. Se dejarían de producir 154 bandejas como promedio, valor que disminuye notablemente con respecto a las propuestas 1, 2, 3 y a la situación actual.


A criterio de los autores, las propuestas cuatro y cinco son las más convenientes. Éstas, además de mejorar la productividad en el área de armado como se muestra en el gráfico de la Figura 4, favorecen la salud y seguridad del trabajador. Pero queda a consideración de la empresa objeto de estudio su elección para ser aplicadas. Para ello deben considerar factores económicos, legales, sociales, de seguridad y salud en el trabajo, entre otros, que pudieran incidir directamente en la empresa y en particular en esta área de producción.



#### IV. CONCLUSIONES

El estudio realizado evidencia la importancia de proyectar el comportamiento de un determinado sistema ante los posibles cambios efectuados. La simulación como técnica cuantitativa de experimentación permitió estimar el posible comportamiento de la línea de producción, ante las propuestas de mejoras ergonómicas de rediseños físicos y organizativos en las estaciones de trabajo del área de armado. El trabajo constituye un ejemplo de las ventajas que se obtienen al aplicar un enfoque integrado de técnicas variadas de la Ingeniería Industrial en la solución de problemas en la industria.

#### V. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar el análisis económico de las propuestas de mejoras realizadas, con el objetivo de brindar a la organización otros elementos que sirvan de apoyo a la toma de decisiones. También debe balancearse la línea de producción para incrementar la eficiencia en el uso de los recursos humanos y materiales disponibles. 

#### VI. REFERENCIAS

1. KONZ, S.A. and JOHNSON, S. *Work desing: occupational ergonomics*. 6th ed. Scottsdale, Arizona: Holcomb Hathway, 2004.
2. RODRÍGUEZ, Y. et al. "Rediseño Ergonómico de Puestos de Trabajo en Líneas de Envase de la Industria Farmacéutica". En: *I Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias* (Palacio de Convenciones, La Habana: 2007).
3. NIOSH. *Musculoskeletal Disorders and Workplace Factors: A Critical Review of Epidemiologic Evidence for Work-Related Musculoskeletal Disorders of the Neck, Upper Extremity, and Low Back*. Cincinnati: U. S.: Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH), 1997.
4. European Agency for Safety and Health at Work. *OSH in figures: Work-related musculoskeletal disorders in the EU — Facts and figures*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
5. LINARES, T.M.E. y DÍAZ, W. "Evaluación epidemiológica de la invalidez total. Cuba 2005". *Revista Cubana de Salud y Trabajo*. Vol. 8(No. 1): 15-21, 2007.
6. SALVENDY, G. "Technology and Operations Management". En: *Handbook of Industrial Engineering*. Third Edition. [s.l.]: Purdue University, 2001.
7. LIEBERMAN, G.J. and HILLIER, F.S. *Introduction to Operations Research*. Seventh Edition. New York: Thomas Casson, 2001.
8. MEISTER, D. *Simulation and Modelling, in Evaluation of Human Work: A practical ergonomics methodology*. [s.l.]: J.R. Wilson and E.N. Corlett, Editors, 2001.
9. NCUBE, L.B. "A Simulation of Lean Manufacturing: The Lean Lemonade Tycoon 2". *Simulation & Gaming*. Vol. 41(No. 4): 568-586, 2009.

10. M PIDD, A.C. "Simulation software: not the same yesterday, today or forever". *Journal of Simulation*. Vol. 1: 7-20, 2006.
11. PARK, H. and FISHWICK, P.A. "A GPU-Based Application Framework Supporting Fast Discrete-Event Simulation". *SIMULATION*. Vol. 86(No. 10): 613–628, 2010.
12. AMORES, Y.G. "Estudio ergonómico en el área de Armado de la UEB Catering Habana". La Habana: Facultad de Ingeniería Industrial, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (Cujae), 2010.
13. CORLETT, E.N. and BISHOP, R.P. "A Technique for Assessing Postural Discomfort". *Ergonomics*. Vol. 19(No. 2): 175 - 182, 1976.
14. RODRÍGUEZ, Y.; VIÑA, S. y MONTERO, R. "ERIN: un método práctico de evaluación de riesgo de desórdenes músculo-esqueléticos de origen laboral". En: *III Congreso Latinoamericano de Ergonomía* (Rio de Janeiro: ABERGO, 2010).
15. BERNARD, T.E. "Anthropometry: Analysis Package V2.1". [en línea]. 2009 [fecha de consulta: 21 de Julio de 2009]. Disponible en: <http://personal.health.usf.edu/tbernard/regotools/index.html>
16. CHAURAND, R.Á.; LEÓN, L.R.P. y MUÑOZ, E.L.G. *Dimensiones antropométricas de población latinoamericana*. 2da edición. Guadalajara, México: 2007.
17. OCCHIPINTI, E. and COLOMBINI, D. "Évaluation de l'exposition des membres supérieurs aux mouvements répétitifs: un document de consensus de L'IEA". *Newsletter*: 1999.
18. COLOMBINI, D. et al. *Exposure Assessment of Upper Limb Repetitive Movements: A Consensus Document, in International Encyclopaedia of Ergonomics and Human Factors*. [s.l.]: W. Karwowski, Taylor and Francis, 2001.