

Método de balance de líneas con consideraciones ergonómicas (BLEER) aplicado en una línea de tapicería automotriz

Assembly balance lines method (BLEER) with ergonomics considerations applied in a line of automotive upholstery

Emilsy Medina, Ruth Illada

Palabras clave: balance de línea, ergonomía, heurística, sector automotriz

Key words: line balance, ergonomics, heuristic, automotive sector

RESUMEN

En el presente artículo se expone la aplicación del método heurístico de balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas (Método BLEER), en una línea de tapicería de una empresa automotriz, a través de la cual se verificó el funcionamiento del método que es una herramienta diseñada para generar soluciones satisfactorias al problema de balancear una línea de ensamble mediante la asignación de actividades en estaciones de trabajo considerando el tiempo de ciclo y el riesgo biomecánico asociado a cada una de las soluciones dadas. Este método proporciona, para cada solución generada, un balance tanto de tiempo como de carga física asociada al riesgo biomecánico que se mide a través del índice BLEER, representando la mejor solución aquella que presente el menor valor de este índice, sin embargo el método proporciona un abanico de soluciones para la toma de decisiones según la necesidad y requerimiento de la organización.

ABSTRACT

This article presents the application of the Heuristic Method to Balance Assembly Lines with Ergonomic considerations (BLEER Method) in a line of an automotive upholstery factory, through which the method performance was verified, being a tool designed to generate satisfactory solutions to the problem of balancing an assembly line by assigning activities at the workstations, considering the cycle time and the biomechanical risk associated to each of the given solutions. This method provides, for each solution generated, a balance of both time and physical load associated to the biomechanical risk which is measured through the BLEER index, representing the best solution the one that has the minimum value of this index; however, the method provides a range of solutions for decision making according to the need and requirement of the organization.

INTRODUCCIÓN

El balance de líneas de ensamble ha sido abordado durante años desde diferentes perspectivas según el enfoque y objetivo que persiguen: a) Consumo regular de los componentes. Objetivo: Minimizar el riesgo de parada de línea: En este grupo se encuentran investigaciones de Kubiak (1993), Miltenburg (1989), Sumichrast y Russel (1990). b) Regularidad en la introducción de productos a la línea. Objetivo: Minimizar la variación de la tasa en que los diferentes productos están presentes en

cualquier segmento de la secuencia: Miltenburg (1989), Miltenburg et al., (1990), Sumichrast y Russel (1990), Kubiak y Sethi (1991). c) Distancia máxima que el trabajador recorre hasta el final de la estación. Objetivo: Minimizar el riesgo de paro de línea: Okamura y Yamashina (1979) y Tasai (1995) d) Problemas de sobrecarga de trabajo, o trabajo perdido o utilitario: Yano y Bolat (1989), Yano y Rachamadugu (1991), Bolat (1997), Tasai (1995), Xiaobo y Ohno (1997), Cano (2006). e) Cargas en el tiempo improductivo: Bolat y Yano (1992), Sarker y Pan (1998), entre otros, sin embargo, en los últimos tiempos el interés por la

salud de los trabajadores ha ido en crecimiento, generando múltiples investigaciones al respecto tales como Colotto et al (2008), Cachutt et al (2009), Rodríguez et al (2008), Punnet y Wegman (2004). En este sentido, el método desarrollado por las autoras y del cual se muestran, en esta investigación, los resultados de la aplicación el

mismo en una línea de ensamble de vehículos combina en una misma herramienta los aspectos tradicionales del balance de líneas de ensamble con un balance de cargas de trabajo a fin de reducir en riesgo biomecánico referido a la forma cómo se asignan las actividades a las estaciones de trabajo.

METODOLOGÍA

Este trabajo es la aplicación del método BLEER desarrollado por Medina (2014), en una línea de tapicería de una empresa de ensamble automotriz, ésta consta actualmente de 10 estaciones de trabajo en las cuales están distribuidas 89 actividades, para lo cual se verificó inicialmente el tiempo estándar de cada una de las actividades, así como la aplicación del método REBA, con estos insumos se procedió al vaciado de los datos en la herramienta diseñada y se ejecutó el programa para obtener las diferentes soluciones de las cuales se seleccionó la mejor alternativa.

Al aplicar el programa automatizado del método BLEER elaborado en lenguaje Visual Basic for Applications de Microsoft Excel 2013, compatible con 2010 y 2008 de la suite Microsoft Office, se introdujo en la hoja de entrada de datos toda la información necesaria correspondiente a los datos de producción, tiempo, riesgo biomecánico entre otros datos necesarios, entre ellos la cantidad de soluciones requeridas por el analista, para posteriormente ejecutar el mismo y obtener los resultados desplegados en dos secciones u hojas de Excel llamadas Salida y Soluciones.

El método BLEER considera un índice adimensional el cual se calcula de la siguiente manera:

$$IB = \frac{\lambda * TCR + \beta * TO}{C} + \frac{\gamma * RB}{15}$$

Siendo TCR el tiempo de ciclo real y se refiere al máximo valor de tiempo asignado por estación, en cada solución, expresado en (unidades de tiempo/unidad de producto); TO el tiempo de ocio y se calcula como la sumatoria de la diferencia entre el tiempo máximo asignado en la solución (TCR) menos el tiempo asignado en la estación (i), para cada una de las estaciones asignadas en la solución, cuyas unidades también son (unidades de tiempo/unidad de producto) y RB el Riesgo biomecánico calculado como el promedio del valor REBA presente en las estaciones de trabajo de cada solución, siendo un número adimensional. En la expresión matemática anterior C se refiere al tiempo de ciclo teórico (unidades de tiempo/unidad de producto) y 15 es el máximo valor de nivel de riesgo biomecánico en la escala REBA.

Los valores dados como coeficientes en la función objetivo son parámetros y se definen según las consideraciones del analista. En esta propuesta se toman en consideración tanto el Tiempo de ciclo real (TCR) y el Tiempo de Ocio (TO) como variables que evalúan el desempeño del balance desde el punto de vista de productividad.

RESULTADOS

Al aplicar el programa del Método BLEER con los datos de entrada siguientes:

T_p (min/día) = 480 minutos

P (unidades/día) = 45 unidades

MAXS = 200

m = 89

Al introducir los datos de tiempo de las 89 actividades de la línea de ensamble, el algoritmo calcula el tiempo en minutos y lo coloca en la

columna indicada, posteriormente se indican las precedencias de cada una de las tareas así como los valores REBA obtenidos en cada actividad, para cada articulación comprometida en la tarea.

En la figura No.1 se muestra la pantalla de entrada de datos del sistema para el caso real de estudio.

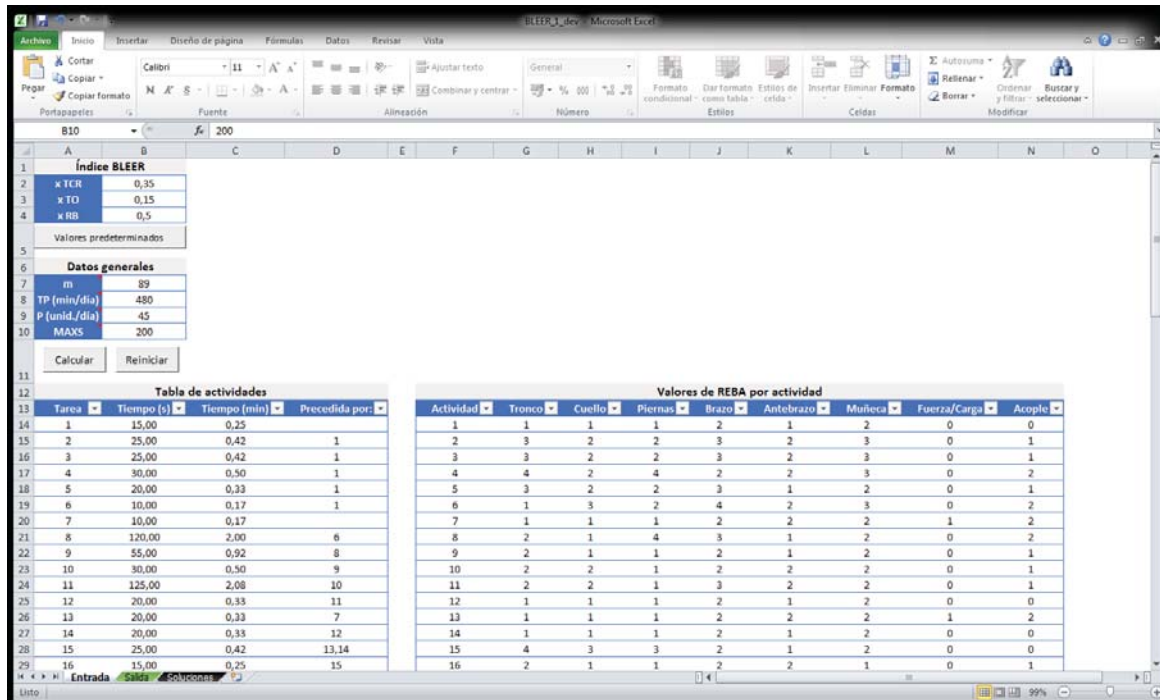


Figura 1. Pantalla de entrada de datos

Una vez introducidos los datos, el algoritmo comienza a ejecutar los procedimientos internos diseñados para lograr el balance de líneas de ensamble, al finalizar la ejecución se muestra una hoja de "Salida" en ella se abre un cuadro de diálogo como el mostrado en la figura 2.

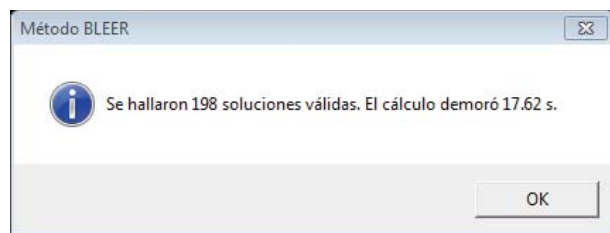


Figura 2. Cuadro de diálogo

La ejecución del algoritmo BLEER para la línea de tapicería con 89 actividades y requiriendo generar 200 soluciones, llevó un tiempo de cálculo

computacional de 17,62 segundos, hallándose 198 soluciones factibles de balance de líneas de ensamble que cumplen con las condiciones establecidas en el Método BLEER. Es importante resaltar que sería casi imposible producir 198 soluciones, de forma manual, frente a un escenario de 89 actividades para balancear.

También se muestra en la hoja de Salida, la solución más satisfactoria obtenida en función del menor índice BLEER, ya que éste índice es una función multiobjetivo de minimización.

En la figura 3 se puede apreciar la hoja de salida donde se muestra la mejor solución obtenida a través de la herramienta. Allí, se muestra los resultados de la solución 1, la cual presenta el menor índice BLEER (IB = 0,4781) de las 198 soluciones generadas. Esta solución es la que

plantean el mejor equilibrio entre las variables de tiempo y de riesgo biomecánico.

En la figura 3, además, se presenta una tabla en la que se ilustra la asignación de las actividades por

estaciones de trabajo de la solución, así como el tiempo asignado a cada estación y el valor REBA corregido por el tiempo.

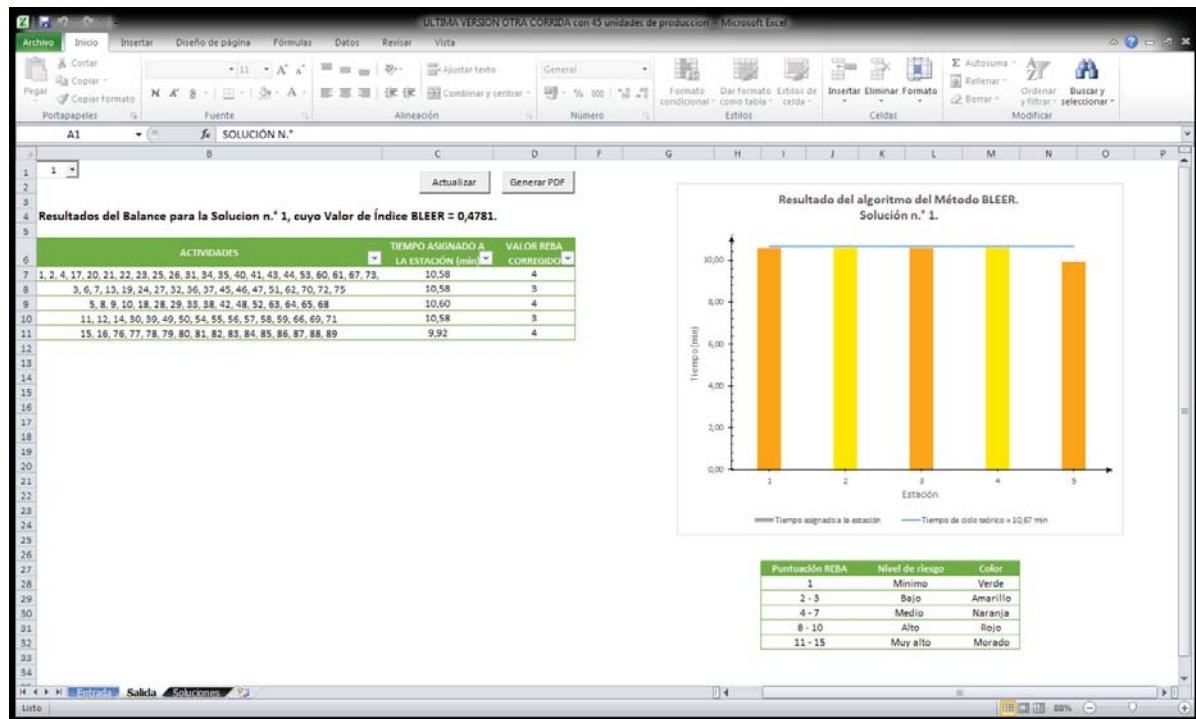


Figura 3. Hoja de Salida de Datos

Además permite visualizar, de forma gráfica, el balance generado a través de un diagrama de barras, en cuyo eje "X" se posiciona las estaciones y en el eje "Y" el tiempo en minutos.

La barra horizontal representa el tiempo de ciclo teórico y el valor de riesgo REBA corregido se muestra en el gráfico a través de la relación entre de la puntuación REBA según el nivel de riesgo y un código de color mostrado debajo del gráfico, este código de color se observa en la Tabla 2.

En el gráfico, las barras se colorean según el nivel de riesgo de la estación, por ejemplo, en la solución 1 que se muestra en la figura 3 las barras de las estaciones 2 y 4 son amarillas debido a que su nivel de riesgo REBA corregido está entre los valores 2 y 3, con riesgo bajo; sin embargo, las

estaciones 1, 3 y 5, están representadas por una barra naranja que indica que su valor de riesgo REBA corregido está entre 4 y 7, con un riesgo medio a sufrir de lesiones músculo esqueléticas para los trabajadores asignados a dicha estación. Esto representa una ayuda visual significativa ya que permite identificar rápidamente las estaciones con sus diferentes valores de riesgo REBA, agregando valor para la toma de decisión y para planear acciones de mejoras relativas a aspectos ergonómicos.

De la solución 1 obtenida por el programa automatizado se puede analizar los siguientes datos generados por el método BLEER:

El índice BLEER de la solución 1 es de 0,4781, este es un valor adimensional que usa el algoritmo para ordenar las soluciones de menor a mayor valor,

siendo las mejores soluciones las que posean menor índice BLEER.

Esta solución presenta los siguientes valores involucrados en la determinación del índice BLEER:

Tiempo de Ciclo Teórico = 10,67 min/unidad

Tiempo de Ciclo Real (TCR) = 10,60 min/unidad

Tiempo de Ocio (TO) = 0,73 min/unidad

Riesgo REBA corregido (RB) = 3,60

Tabla 2. Código para relacionar nivel de riesgo REBA por color

Puntuación REBA	Nivel de Riesgo	Color
1	Mínimo	Verde
(2-3)	Bajo	Amarillo
(4-7)	Medio	Naranja
(8-10)	Alto	Rojo
(11-15)	Muy alto	Morado

Como se puede observar, el balance ofrece un tiempo de ciclo real cercano al tiempo de ciclo teórico, aunque ninguna de las estaciones llega a alcanzarlo, esto genera un cierto grado de posibilidad de recuperación para las estaciones de trabajo. Las estaciones 1 ,3 y 5 con riesgo medio o naranjas tienen un tiempo asignado de 10,58 min/unidad, 10,60 min/unidad y 9,92 min/unidad respectivamente.

El programa ofrece además una tercera hoja de “soluciones” donde se muestran datos importantes en las que el analista puede seleccionar otras soluciones de interés con valores de índice BLEER cercanos al menor, para evaluar entre varias de ellas y tomar la decisión más ajustada a las necesidades y criterios prioritarios.

En la figura. 4, se muestra esta hoja de salida para el caso de la línea de tapicería que se ha venido ilustrando en esta investigación.

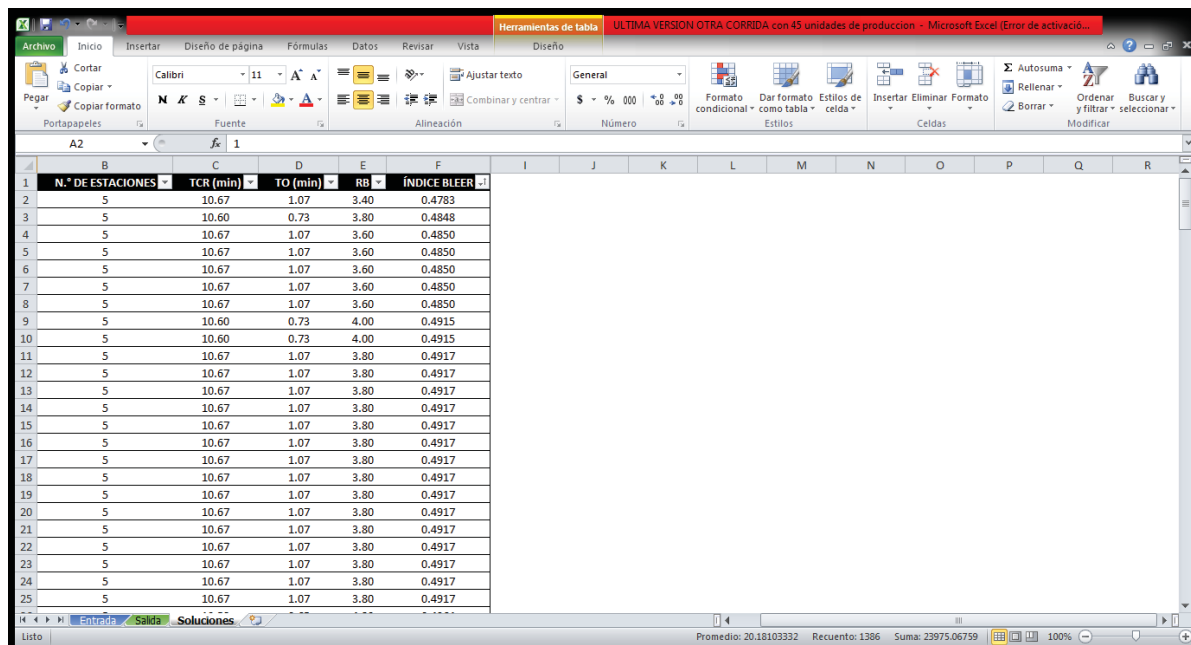


Figura 5. Hoja de salida para el balance a través del Método BLEER para la línea de tapicería

A continuación se muestra en la tabla No. 3, los datos de algunas de las soluciones factibles que generó el programa del Método BLEER, para el

balance de la línea de tapicería. Es importante señalar que las soluciones factibles son aquellas soluciones que genera el algoritmo respetando las

restricciones del balance de líneas desde el punto de vista de precedencias y de tiempo de ciclo

teórico para asignaciones de actividades en estaciones de trabajo.

Tabla 3. Soluciones generadas por el Método BLEER

No. Sol.	N.º ESTACIONES	TCR (min)	TO (min)	RB	ÍNDICE BLEER
1	5	10,60	0,73	3,6	0,4781
2	5	10,60	0,73	3,6	0,4781
3	5	10.67	1.07	3.4	0.4783
4	5	10.60	0.73	3.8	0.4848
5	5	10.67	1.07	3.6	0.4850
6	5	10.67	1.07	3.6	0.4850
7	5	10.67	1.07	3.6	0.4850
8	5	10.67	1.07	3.6	0.4850
9	5	10.67	1.07	3.6	0.4850
10	5	10.60	0.73	4.0	0.4915
11	5	10.60	0.73	4.0	0.4915

197	5	10.67	1.07	5.20	0.5383
198	6	10.60	11.33	4.33	0.6516

Es importante hacer notar que se generan varias soluciones con el mismo índice BLEER, como es el caso de las soluciones 1 y 2, es decir, estas dos soluciones tienen el mismo índice (IB = 0,4781), y como las soluciones 5,6,7,8 y 9 entre otras. Por ello, el algoritmo permite visualizar el balance de las soluciones que el usuario desee, en la hoja de "salida" ya que a pesar de que presenten el mismo índice BLEER, el arreglo de las soluciones puede variar según como se hayan distribuido las actividades en las estaciones, y es el analista o el grupo de personas encargadas de tomar la decisión de cuál arreglo de balance seleccionar pero contando con la versatilidad y amplitud de información que le proporciona el programa el cual le ofrece una ventaja sustancial para el análisis en la toma de decisiones de balance de líneas con consideraciones ergonómicas.

A fin de comparar otra solución, se puede observar en la figura 5, la segunda solución en orden de satisfacción.

Los datos de la solución 2 son los siguientes:

Tiempo de ciclo teórico (C) = 10,67 min/ unidad.

índice BLEER (IB) = 0,4781

Tiempo Real Asignado (TCR) = 10,60 min/unidad

Tiempo de Ocio (TO) = 0,73 min/unidad

Riesgo REBA corregido (RB) = 3,60

Se observa que en esta solución hay tres estaciones en riesgo REBA bajo (amarillo) y dos estaciones con riesgo REBA medio (naranja). En este caso, los tiempos asignados a cada una de las estaciones tampoco alcanzan el tiempo de ciclo teórico (C) estando entre 10,42 y 10,58 min/unidad las estaciones con bajo riesgo y las estaciones 4 y 5, con riesgo medio, alcanzan un tiempo de asignación de 10,60 y 10,08 min/unidad respectivamente.

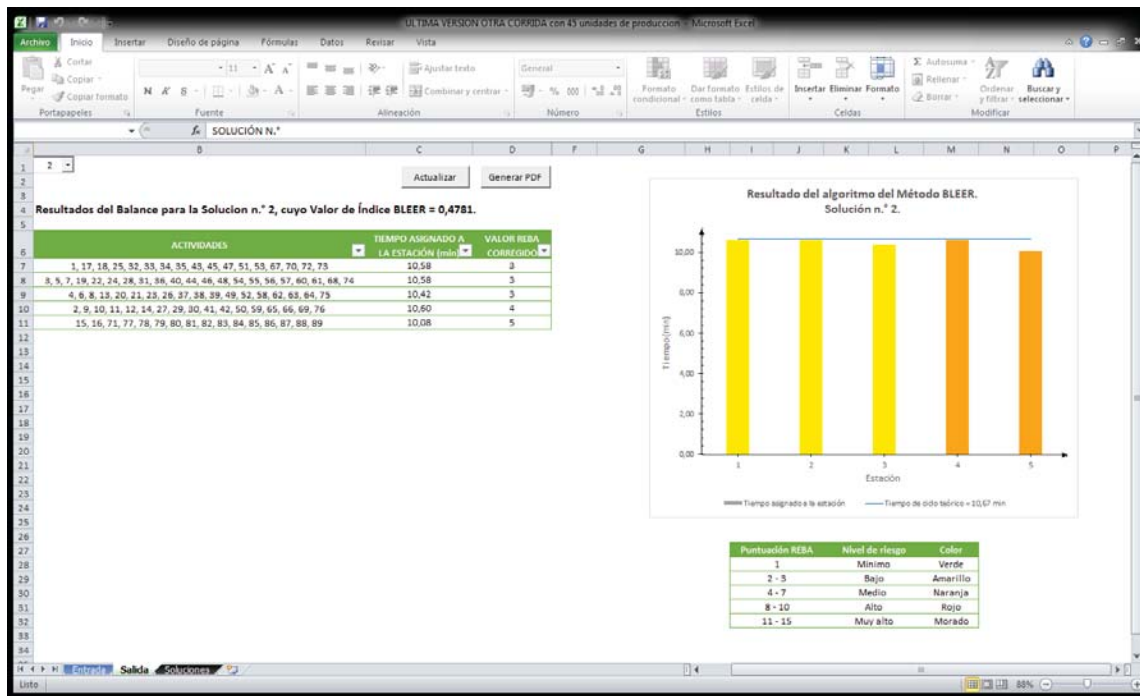


Figura 5. Hoja de Salida de la segunda solución en orden de satisfacción.

Con estos dos escenarios, y para los requerimientos actuales de la línea de tapicería, el analista puede seleccionar cuál de estas soluciones es más satisfactoria como solución factible.

Para efectos de esta investigación, se seleccionaría la solución 2 frente a la solución 1, aunque ambas son excelentes opciones, dada la siguiente argumentación:

La solución 2 representa una mejor opción desde el punto de vista de balance de tiempo, generando

mayor utilización en las estaciones de trabajo, y además genera un mayor número de estaciones con nivel de riesgo bajo y las estaciones con mayor compromiso, presentan un leve tiempo de recuperación, no se encuentran en total apremio de tiempo. Además es importante recalcar que los tiempos de entrada de datos son tiempos estándares, los cuales consideran tanto el factor de corrección de calificación de velocidad del operario, así como las tolerancias por necesidades personales, demoras inevitables y fatiga.

CONCLUSIONES

De forma general, el Método BLEER permite analizar un gran número de soluciones, en solo segundos, lo cual es una por lo cual el analista puede tomar una decisión que satisfaga de forma adecuada a la problemática del balance de líneas de ensamble con consideraciones ergonómicas en discusión. Algunos de los aspectos a considerar por el analista a través de la información y los

resultados que proporciona el método, y que le servirán de apoyo para la toma de decisión son:

- Comparaciones entre los tiempos asignados a cada una de las estaciones.
- Comparaciones entre el tiempo de ocio que se genera en cada una de las estaciones.
- Niveles de riesgo biomecánico presentes en las estaciones de trabajo debido a la asignación de tareas en cada estación. Estos niveles de riesgo

se pueden compensar con el tiempo de ocio de la estación, que puede inclusive repercutir en el tiempo de recuperación a nivel del esfuerzo biomecánico.

d) Cantidad de estaciones que presenten niveles de riesgo biomecánico con menores o mayores niveles de riesgo.

e) Evaluar inclusive soluciones con cantidades de estaciones diferentes.

f) Comparaciones entre los porcentajes de utilización de los elementos componentes del sistema

Además puede revisar si realmente son necesarias las estaciones de trabajo que están siendo utilizadas en la actualidad, verificar varios balances para diferentes niveles de producción, analizar opciones de balances que genera la variación de los parámetros del índice BLEER.

RECOMENDACIONES

El método BLEER puede seguir aplicándose en distintas líneas de ensamble, a fin de verificar su

funcionamiento y además establecer variaciones en los parámetros del índice BLEER para verificar cómo afecta a las soluciones dichas variaciones.

REFERENCIAS

Bolat, A. (1997). Stochastic procedures for scheduling minimum job sets on mixed model assembly lines. *Journal of Operational Research Society*, Vol. 48, pp. 490-501

Bolat A., y Yano C. (1992). Scheduling algorithms to minimize utility work at a single station

on paced assembly line. *Production Planning and Control*, 3 (4), 393-405.

Cachutt, C., Rodríguez, E., Vargas, E y Aravena, E. (2009). Demanda biomecánica en el Ensamblaje de un vehículo camioneta deportiva. *Revista Ciencia y Trabajo*. Año 11(34) pp:177-183. Consultado en marzo 2011 de www.cienciaytrabajo.cl

Colotto M, Manero, R, Pedrique, A y Wolf, H. (2008). La Ergonomía Prospectiva como tecnología para la evaluación de puestos de trabajo en una línea de ensamble de furgonetas en Venezuela. Consultado en marzo 2011 de: <http://prevencionintegral.com/Articulos/@Datos/ ORP2008/855.pdf>

Kubiak, W. (1993). "Minimizing variations of productions rates in just-in-time systems: A survey", *Eur. J. Opl. Res.*, 66, 259-271.

Kubiak, W., Sethi, S. (1991). A note on 'Level schedules for mixed-model assemblylines in just-in-time production systems. *Management Science*, 37, 1, 121-122

Medina E. (2014). Método heurístico para balance de líneas de ensamble con consideraciones

ergonómicas. Tesis Doctoral. Universidad de Carabobo. Facultad de Ingeniería.

Miltenburg, J.G. (1989). Level schedules for mixed-model assembly lines in just-in time production systems, *Management Science*, 35, 2, 192-207.

Okamura K., & Yamashina, H. (1979). A heuristic algorithm for the assembly line model-mix sequencing problem to minimize the risk of stopping the conveyor. *International Journal of Production Research*, 17 (3), 233-247.

Punnett L., y Wegman, D. (2004). Work-related musculoskeletal disorders: the epidemiologic evidence and the debate. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 14 (2004) 13-23. Consultado en abril 2011 de www.elsevier.com/locate/jelekin.

Rodríguez E., Medina, E y Manero, R (2008). Evaluación del Nivel de Riesgo a lesiones Músculo-esqueléticas en el Sector automotriz venezolano.

Revista Universidad, Ciencia y Tecnología. Vol. 12, Nro. 48. Pp. 147-156.

Sarker B., y Pan, H. (1998). Designin a mixed-model assembly line to minimize the cost of idle and utility times. *Computers & Industrial Engineering*, 34, (3), 609-921.

Sumichrast, R.T., Russell, R.S., (1990). Evaluating mixed-model assembly line sequencing heuristics for just-in-time production systems. *Journal of Operations Management* 9, 371-390

Tasai L., (1995). Mixed-model sequencing to minimize utility work and the risk of conveyor stoppage. *Management Scienci*, 14, B59-B75.

Xiaobo, Z y Ohno, K., (1997). Algorithms for sequencing mixed models on an assably line in a JIT production systems. *Revista Computers&Industrial Engineering*, 32, pp: 47-56.

Yano C., y Bolat A., (1989). Survey, development, and application of algorithms for sequencing paced assembly lines. *Journal of Manufacturing and Operations Management*, 2, (3), 172-198.

Yano C., y Rachamadugu, R., (1991). Sequencing to minimize work overload in assembly lines with product options. *Management Science*, 37 (5), 572-586.

Autores

Emilsy Medina. Doctora en Ingeniería, docente e investigadora adscrita al Dpto. de Ingeniería de Métodos de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo. Venezuela.

E-mail: emedina121@gmail.com

Ruth Illada. Doctora en Ciencias Sociales, mención Estudios del Trabajo. Docente jubilada e investigadora adscrita al Dpto. de Ingeniería de Métodos de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad de Carabobo. Venezuela.

E-mail: rillada@gmail.com

Recibido: 20-07-2014

Aceptado: 20-10-2014