

## UN MODELO PARA DEFINIR LA PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UN TALLER DE FLUJO CON TIEMPOS DE CAMBIO DE PARTIDA DEPENDIENTES CONSIDERANDO PRODUCTIVIDAD Y ERGONOMÍA

Sabina Asensio-Cuesta<sup>1</sup>, Pedro Gómez-Gasquet<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. Instituto Universitario de Tecnologías de la Información y Comunicaciones (ITACA), C/ Camino de Vera s/n 46022 (Valencia). Tfno: +34 96 387 70 07. sasensio@dpi.upv.es

<sup>2</sup>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. Departamento de Organización de Empresas. C/Camino de Vera s/n 46022 (Valencia). Tfno: +34 96 387 70 07. pgomez@cigip.upv.es

Recivido: 25/Oct/2017--Revisado: 26/Oct/2017--Aceptado: 23/Nov/2017--DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/NT8632>

### *A MODEL TO DEFINE SETUP TIME SEQUENCE DEPENDENT FLOW-SHOP SCHEDULING CONSIDERING PRODUCTIVITY AND ERGONOMIC*

#### ABSTRACT:

The manufacturer industry is characterized by the presence of highly repetitive movements, which is a major risk factor associated with work musculoskeletal disorders (WMSDs). Moreover, this risk factor worsens when workers do not take adequate rest periods. This paper analyzes the problem and presents a mixed integer linear programming (MILP) mathematical model to minimize makespan in an n-job flow-shop problem with sequence-dependent setup times by considering recovery times. To this end, the model combines the effectiveness of MILP mathematical model optimization with the OCRA ergonomic assessment method. The model calculates work-recovery periods in workers' schedules based on the OCRA included in standards UNE-EN 1005-5:2007 and ISO 11228-3:2007. Finally, a case study in a Food Sector Company is described.

**Keywords:** flow-shop, setup time, makespan, ergonomic, recovery time, OCRA index, upper-limb musculoskeletal disorders

#### RESUMEN:

La industria manufacturera se caracteriza por la presencia de una elevada repetitividad de movimientos de sus trabajadores, siendo éste un importante factor de riesgo asociado con los trastornos musculoesqueléticos (TME) de origen laboral. Además, dicho factor de riesgo empeora cuando los trabajadores no realizan periodos de descanso adecuados. Este artículo analiza dicha problemática y presenta un modelo matemático de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM) para minimizar el makespan en un problema de secuenciación flow-shop de n-trabajos con tiempos de setup dependientes de la secuencia, considerando los tiempos de recuperación de los trabajadores. Para ello, el modelo combina la efectividad de la optimización del modelo matemático de PLEM con el método de evaluación ergonómica OCRA. El modelo calcula los periodos de recuperación de los trabajadores según el método OCRA incluido en las normas UNE-EN 1005-5: 2007 e ISO 11228-3: 2007. Finalmente, se describe un caso de estudio en una empresa del sector alimentario.

**Palabras clave:** taller de flujo, setup dependiente de la secuencia, makespan, ergonomía, tiempo de recuperación, índice OCRA, trastornos músculo esqueléticos de los miembros superiores

## 1.- INTRODUCCIÓN

Las consideraciones durante el diseño de un sistema productivo pueden influir tanto en su productividad como en su ergonomía (Neumann et al., 2006), de ahí la importancia de analizar simultáneamente aspectos relacionados con la eficacia productiva y la ergonómica durante el proceso de diseño. Los ingenieros de producción deben, por tanto, establecer indicadores y objetivos basados no sólo en criterios de producción, sino también en criterios de mejora ergonómica al establecer los sistemas de producción.

A pesar de las estrategias de automatización aplicadas a la producción en las últimas décadas, la presencia de tareas repetitivas sigue siendo común en la industria manufacturera (Kaergaard y Andersen, 2000; Xiao et al., 2004; Shir et al. 2006; Bonfiglioli et al., 2007; Wang et al., 2010; Roja et al. 2013). Como consecuencia, los trastornos musculoesqueléticos (TME) son frecuentes debido a la exposición de los trabajadores a la repetitividad (Spallek, 2010). Los TME tienen importantes implicaciones socioeconómicas (Katz, 2002), ya que los costes directos e indirectos atribuibles a los TME son considerables (Summers et al., 2015). Se ha estimado que los costes médicos relacionados con los TME en Estados Unidos de 2004 a 2006 ascendieron a 576.000 millones de dólares, lo que equivale al 4,5% del producto interno bruto (PIB).

Como se ha mencionado, en la industria manufacturera la presencia de movimientos excesivamente repetitivos es uno de los factores de riesgo más comúnmente observados, estando dicho factor asociado con los TME de origen laboral (Da Costa, 2010) con "razonable" evidencia. Por otra parte, la "falta de períodos de recuperación" aumenta la fatiga muscular y, por lo tanto, incrementa la probabilidad de que los trabajadores sufran TME (Colombini et al. 2002). Mathiassen (2006) afirma que la recuperación muscular adecuada es crucial para prevenir lesiones musculoesqueléticas, y las interrupciones en el trabajo reducen la probabilidad de dolor musculoesquelético (Rundcrantz et al., 91). En la actualidad se utilizan diversos métodos de evaluación ergonómica para determinar el nivel de riesgo al que se exponen los trabajadores al realizar movimientos repetitivos. Algunos ejemplos de estos métodos son: JSI (Job Strain Index) (Moore et al., 1995) el método OCRA (Occupational Repetitive Actions) y Check List OCRA (Colombini et al., 2002), el método de Sue Rodgers (Rodgers, 1992) y el método European Assembly Worksheet (EAWS) (Otto and Scholl, 2011) ampliamente aplicado en la industria automovilística europea.

Por todo ello, en la fabricación una prevención de los TME sostenible debería basarse en el vínculo entre la programación de la producción y la prevención. Nuestra propuesta permite diseñar la secuenciación de trabajos en sistemas flow-shop dependientes del tiempo de configuración considerando simultáneamente la productividad y la ergonomía. Para ello, los tiempos de procesamiento y configuración pueden aumentar debido a los requisitos ergonómicos. Los requisitos ergonómicos en los que nos centramos son los "períodos de recuperación adecuados" de los trabajadores. Los requisitos ergonómicos modifican las secuencias, por tanto, las mejores secuencias si no son ergonómicas, con adecuados descansos, ya no se considerarán entre las mejores. Los períodos de descanso se añaden durante el tiempo de procesamiento, apareciendo el concepto de sublote, que supone dividir un trabajo en varios sublotes más pequeños, siempre y cuando no exista solapamiento entre máquinas sucesivas.

Este artículo presenta un modelo de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM) para definir la programación de trabajos considerando la productividad y ergonomía, con el objetivo de prevenir los TME, en ambientes caracterizados por la presencia de movimientos altamente repetitivos. Se describe un caso de estudio en una empresa del sector alimentario. En una amplia gama de situaciones industriales, las empresas suelen trabajar según configuraciones de flow-shop, donde hay  $m$  recursos en serie. Algunos estudios, como (Framinan et al., 2004), (Ruiz y Maroto, 2005) y (Gomez-Gasquet et al., 2012), han contribuido a cerrar la brecha entre los problemas académicos y reales. Cada trabajo tiene que ser procesado en cada  $m$  recurso (trabajador o máquina). Todos los trabajos tienen que seguir la misma ruta; es decir, tienen que ser procesados primero por el recurso 1, luego en el recurso 2, y así sucesivamente. Después de completar un recurso, un trabajo se une a la cola para el siguiente recurso (Brucker, 2004). Las configuraciones dependen no sólo del trabajo a procesar, sino también de su trabajo inmediatamente anterior en la misma máquina. Diversos autores han publicado estudios para la secuenciación en entornos flow-shop con tiempos de configuración dependientes de la secuencia que minimizan el makepan como función objetivo (Allahverdi et al., 1999) (Gupta y Stafford, 2006). En cualquier caso, hasta el momento no se han encontrado artículos relevantes que aborden simultáneamente la eficacia de la producción y las condiciones ergonómicas.

El modelo propuesto obtiene el nivel de riesgo de exposición de los trabajadores a movimientos repetitivos y a determinados períodos de recuperación aplicando el método OCRA (Colombini et al. 2002; UNE-EN 1005-5:2007, ISO

11228-3:2007). El método OCRA está incluido en las normas UNE-EN 1005-5:2007 e ISO 11228-3:2007. También es ampliamente utilizado por especialistas técnicos (expertos en seguridad y salud laboral, ergónomos, analistas de métodos y tiempos, ingenieros de producción) para la gestión de riesgos y el diseño o rediseño de tareas y puestos de trabajo. El método OCRA ha sido incluido en trabajos de investigación previos sobre la prevención de los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo en sistemas de producción repetitivos (Asensio-Cuesta et al., 2014). Por lo tanto, nuestra selección del método OCRA para evaluar los niveles de riesgo de repetitividad obedece a su creciente popularidad y a su valor en el campo de la ergonomía.

## 2.- DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO OCRA

El método OCRA evalúa el riesgo según la frecuencia de las acciones técnicas requeridas en los puestos y la presencia de los siguientes factores de riesgo: posturas forzadas, repetitividad de movimientos, uso de guantes, tareas de precisión, exposición al frío, aplicación de fuerza, duración de la jornada laboral (turno) y número de horas sin recuperación. El método asocia un multiplicador a cada factor. El valor de estos multiplicadores está tabulado (Colombini et al., 2002; UNE-EN 1005-5: 2007; ISO 11228-3: 2007) y refleja cuánto se desvían las condiciones reales de trabajo en el puesto con respecto a unas condiciones de trabajo aceptables. El índice OCRA es el cociente entre dos valores: *ATA* (nº total de acciones técnicas realizadas en el turno por el trabajador) y *RTA* (nº total de acciones técnicas recomendadas en el turno), la ecuación (1) calcula el índice OCRA, si el índice OCRA es menor que 2.3, el nivel de riesgo de la tarea es bajo, el nivel de riesgo es medio si el índice OCRA está entre 2.3 y 3.5, y el riesgo es alto si el índice OCRA es mayor que 3.5 (Colombini et al., 2002).

$$OCRA\ index = \frac{ATA}{RTA} \quad (1)$$

La ecuación (2) calcula *ATA*, en esta ecuación, *F<sub>j</sub>* es el número de acciones por minuto requeridas por la tarea *j* y *D<sub>j</sub>* es la duración de la tarea repetitiva *j*, *n* es la cantidad de tareas repetitivas en el turno realizado.

$$ATA = \sum_{j=1}^n F_j \cdot D_j \quad (2)$$

*RTA* se calcula mediante la ecuación (3), donde *CF* es una "constante de frecuencia" de acciones técnicas por minuto fijada en 30 acciones/min, *FoM<sub>j</sub>* es el factor de riesgo por fuerza para la tarea *j*, *PoM<sub>j</sub>* es el factor de riesgo por postura forzada para la tarea, *ReM<sub>j</sub>* es el factor de riesgo por repetitividad para la tarea *j*, *AdM<sub>j</sub>* es el factor por riesgos adicionales para la tarea *j*. *D<sub>j</sub>* es la duración de la tarea repetitiva *j*. Mientras que *rc* es el factor de riesgo asociado a la "falta de períodos de recuperación" referido a toda la jornada laboral. Un período de recuperación es un período durante el cual uno o más grupos musculares y tendones están básicamente en reposo, como por ejemplo: pausas (tanto oficiales como no oficiales), incluida la hora del almuerzo; Períodos durante los cuales las tareas laborales realizadas dejan en reposo los músculos previamente empleados en otras tareas (por ejemplo, controles visuales, tareas administrativas). Finalmente, *DUM* es el factor de la duración total de las tareas repetitivas en un día. En Colombini et al. (2002), UNE-EN 1005-5: 2007 e ISO 11228-3: 2007 se describen las tablas para determinar los valores de los factores multiplicadores mencionados. El factor multiplicador es 1 si el riesgo correspondiente es aceptable; el valor del multiplicador disminuye de acuerdo con el nivel de riesgo presente en la tarea repetitiva.

$$RTA = \sum_{j=1}^n [CF \cdot FoM_j \cdot PoM_j \cdot AdM_j \cdot ReM_j \cdot D_j] \cdot rc \cdot DUM \quad (3)$$

## 3.- DEFINICIÓN DEL MODELO

En esta sección, se presenta una propuesta de modelo matemático de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM) aplicado a un problema de secuenciación flow-shop basado en (Asensio-Cuesta et al. 2014). Las principales características del problema abordado son los tiempos de configuración dependientes de la secuencia y las operaciones en espera durante el tiempo de recuperación, aplicado cuando se excede el período máximo de trabajo repetitivo

continuado recomendado desde un enfoque ergonómico. La función objetivo consiste en minimizar el makespan. Los criterios ergonómicos son incluidos como restricciones del modelo que establecen un valor máximo para el índice OCRA.

Usando la notación clásica, el modelo se presentará como  $n/F/SRW-OCRA$ ,  $SDST/C_{max}$ . Este modelo consiste en un taller de flujo ( $F$ ) con  $r$  etapas ( $R$ ), un trabajador en cada etapa, donde deben procesarse  $n$  trabajos ( $N$ ). Se hacen las siguientes suposiciones: (1) todos los trabajos están disponibles en el tiempo cero; (2) el tiempo de procesamiento y configuración de cada elemento es conocido y determinista; (3) no se permite ninguna preferencia; (4) las máquinas están disponibles en cualquier momento; (5) cada máquina puede procesar como máximo un trabajo a la vez; (6) cada trabajo se puede procesar en una máquina a la vez; (7) Se consideran tiempos de configuración dependientes de la secuencia ( $SDST$ ); (8) la operación del trabajo puede estar en pausa, trabajador en espera por recuperación ( $SRW$ ) con riesgo ergonómico limitado ( $OCRA$ ); y, (9) en cada etapa tiene que haber asignado un único trabajador (sin rotación).

En el modelo de PLEM, los trabajos se dividen en sublotes cuando se necesita algún tiempo de recuperación para reducir el riesgo ergonómico. En este caso, los sublotes están separados por un período de recuperación fijo  $T_R$ . La unidad de transferencia entre operaciones es el trabajo, no el sublote. En otro caso, se considera un sublote por trabajo. Los tiempos de configuración siempre se tienen en cuenta para la recuperación de los trabajadores, por lo que se requiere un tiempo de setup mínimo de  $T_R$ .

El problema consiste en decidir la secuenciación de trabajos para minimizar makespan. Con el objetivo de definir un modelo matemático general, la información se presentará utilizando los siguientes índices:

$i, t$	índice conjunto de trabajos $\{1..N\}$
$l, v$	índice conjunto de sublotes $\{1..Z_i\}$ de trabajo $i$ en etapa $r$
$r, k$	índice conjunto de etapas/trabajadores en el taller $\{1..R\}$
$s$	índice $\{1..LRC = 10\}$ para $RC$ (factor de recuperación), expresado como matriz con 2 conjuntos con la misma dimensión $RC_v$ , conjunto de límites para los intervalos del tiempo máximo sin recuperación adecuada, y $RC_f$ conjunto de factores para el correspondiente intervalo $RC_v$ . Ambos están determinados por las reglas de OCRA y son; $RC_v = [0, 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480, M]$ y $RC_f = [1.0, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.45, 0.25, 0.1, 0.0, 0.0]$ . Tal que 0-60 es el primer intervalo definido con $[RC_{v_1}, RC_{v_2}]$ que corresponde a $RC_{f_1} = 1.0$ y $480-M$ es el último intervalo que corresponde a $RC_{f_9} = 0.0$ .

Se debe tener en cuenta que en cada etapa se asigna un único trabajador, por lo que en el índice  $r$ , se refiere tanto a la etapa como al trabajador.

Los parámetros en el modelo son los datos conocidos de antemano:

$Z_i$	(entero) número de unidades en el trabajo $i$
$P_{i,r}$	(real) tiempo de procesamiento de una unidad del trabajo $i$ en la etapa $r$
$S_{i,t,r}$	(real) tiempo de setup para el trabajo $i$ , precedido por el trabajo $t$ , en la etapa $r$
$T_R$	(real) periodo de recuperación para cualquier trabajador después de un periodo de trabajo
$F_r$	(real) número de acciones técnicas por minuto (frecuencia) en la etapa $r$
$K_r$	(real) fuerza, postura, repetitividad y multiplicadores adicionales que multiplican la constante de frecuencia
$DUM_r$	(real) valor del multiplicador trabajo diario efectivo
$OCRA_{obj,r}$	valor máximo para el índice OCRA para un trabajador en la etapa asignada $r$
$M$	(real) un número positivo más grande de lo esperado makespan

El modelo PLEM determina las siguientes variables (reales):

- $x_{l,i,r}$  número de unidades en el sublote  $l$  del trabajo  $i$  en la etapa  $r$
- $c_{l,i,r}$  tiempo de finalización del sublote  $l$  del trabajo  $i$  en la etapa  $r$
- $c_{max}$  máximo tiempo de finalización en la etapa  $r$
- $s_{t,i,r}^X$  tiempo de setup extendido para el trabajo  $i$ , precedido por el trabajo  $t$ , en la etapa  $r$
- $o_r$  tiempo máximo de operación sin recuperación adecuada para un trabajador en la etapa  $r$
- $rc_r$  factor correspondiente a  $o_r$

Con esta notación, el problema se puede formular como el siguiente problema de Programación Lineal Entera Mixta (PLEM). El objetivo es minimizar el makespan (4):

$$F.O. \min z = c_{max} \quad (4)$$

Las restricciones del modelo se presentan a continuación en dos conjuntos, cada uno representa un tipo de restricción del sistema. El modelo está sujeto a:

Restricciones de precedencia: este conjunto de restricciones asegura el orden de procesamiento de trabajos y sublotes.

$$c_{max} \geq c_{l,i,R} \quad \forall l, \forall i \quad (5)$$

$$c_{l,i,r} \geq c_{v,t,r} + P_{i,r} * x_{l,i,r} + s_{t,i,r}^X + M * (q_{t,i,r} - 1) \quad \forall l, \forall v, \forall t, \forall i, \forall r \quad t \neq i \quad (6)$$

$$c_{l,i,r} \geq c_{v,t,r} + P_{i,r} * x_{l,i,r} + s_{t,i,r}^X - M * q_{t,i,r} \quad \forall l, \forall v, \forall t, \forall i, \forall r \quad t \neq i \quad (7)$$

$$c_{l+1,i,r} \geq c_{l,i,r} + P_{i,r} * x_{l+1,i,r} + T_R * y_{l+1,i,r} \quad \forall l > Z_i, \forall i, \forall r \quad (8)$$

$$c_{l,i,r} \geq c_{v,l,r-1} + P_{i,r} * x_{l,i,r} \quad \forall l, \forall v, \forall i, \forall r > 1 \quad (9)$$

$$c_{l,i,0} \geq P_{i,0} * x_{l,i,0} \quad \forall l, \forall i \quad (10)$$

La restricción (5) determina el tiempo máximo de finalización o makespan. Las restricciones (6) y (7) aseguran que un trabajo no puede comenzar antes de que el trabajo anterior haya sido procesado por completo en la misma etapa  $r$ . Se debe tener presente que la variable  $q$  sólo puede tomar un valor cuando el par de trabajos para los cuales se ha instanciado no cumplen con la restricción comentada. Ese valor es 1 para la ecuación (6) y 0 para la ecuación (7). Cuando se cumple la restricción, el valor de  $q$  es indiferente. La restricción (8) asegura que dos sublotes de cualquier trabajo se procesen simultáneamente y entre ambos se agrega un tiempo de recuperación  $T_R$ . La restricción (9) garantiza que cualquier sublote de un trabajo no puede comenzar en la siguiente etapa antes de que todos los sublotes se hayan completado en la etapa actual. La restricción (10) garantiza que el primer tiempo de inicio del sublote no sea negativo.

Restricciones relacionadas con los tamaños de sublote y la duración de los períodos de trabajo y recuperación:

$$\sum_{l=1}^{Z_i} X_{l,i,r} = Z_i \quad \forall i, \forall r \quad (11)$$

$$x_{l,i,r} \leq Z_i * y_{l,i,r} \quad \forall l, \forall i, \forall r \quad (12)$$

$$x_{l,i,r} > (y_{l,i,r} - 1) \quad \forall l, \forall i, \forall r \quad (13)$$

$$s_{t,i,r}^X \geq S_{t,i,r} \quad \forall t, \forall i, \forall r \quad i \neq t \quad (14)$$

$$s_{t,i,r}^X \geq T_R \quad \forall t, \forall i, \forall r \quad i \neq t \quad (15)$$



La restricción (11) asegura que todas las unidades se procesen para todos los trabajos en todas las etapas. Las restricciones (13) y (14) aseguran que sólo si se procesa un sub lote  $l$  ( $x_{l,i,r} > 0$ ), entonces el valor de  $y_{l,i,r}$  permite agregar un tiempo de recuperación  $T_R$  en la restricción (8). Las restricciones (15) y (16) garantizan que el tiempo de configuración considerado entre dos trabajos incluya al menos un período de tiempo de recuperación, y debe tener en cuenta los requisitos ergonómicos.

Restricciones relacionadas con el tiempo máximo sin periodo de recuperación adecuado (criterio ergonómico):

$$P_{l,r} * x_{l,i,r} \leq o_r \quad \forall l, \forall i, \forall r \quad (16)$$

$$(o_r - RC_{v_s}) - M * (1 - \beta_{s,r}) \leq (RC_{v_{s+1}} - RC_{v_s}) * \beta_{s+1,r} \quad \forall s < LRC - 1, \forall r \quad (17)$$

$$RC_{v_s} * \beta_{s+1,r} \leq o_r \quad \forall s < LRC - 1, \forall r \quad (18)$$

$$\sum_{s=1}^{LRC} \beta_{s,r} = 1 \quad \forall r \quad (19)$$

La restricción (16) establece el tiempo sin recuperación adecuada que se corresponde con el tiempo máximo continuo de operación. Las restricciones (17), (18) y (19) ayudan a ajustar el parámetro apropiado para la variable  $o$ , y establecen  $\beta$  igual a 1 sólo si y sólo si el tiempo sin una recuperación adecuada pertenece al intervalo  $s$  en el conjunto  $RC_v$ . En otras palabras, si  $o$  pertenece a  $[RC_{v_s}, RC_{v_{s+1}}[$ . Aunque en teoría la variable  $o$  puede tomar un valor infinito para cumplir con la restricción en la práctica, tomará el valor más bajo posible para el modelo general, obligando a la minimización de dicho valor.

Restricciones relacionadas con las condiciones de OCRA (criterio ergonómico):

$$rc_r \leq RC_{f_{s,r}} + (1 - \beta_{s,r}) \quad \forall s \forall r \quad (20)$$

$$F_r \leq K_r * DUM_r * rc_r * OCRAobj_r \quad \forall r \quad (21)$$

La restricción (20) asocia un valor para el factor multiplicador correspondiente al tiempo de trabajo efectivo sin tiempo de recuperación. Para minimizar la función objetivo,  $rc_r$  debe alcanzar un valor lo más grande posible. La restricción (21) asegura que el índice OCRA correspondiente a cada trabajador nunca será mayor que el índice OCRA objetivo.

#### 4.- TRASFERENCIA DE LOS PARÁMETROS OCRA AL MODELO

El modelo propuesto considera que cada trabajador está asignado a una sola etapa  $r$  en la que se realiza una sola tarea repetitiva. Por lo tanto, el índice OCRA para un trabajador coincide con el índice OCRA para una etapa. La ecuación (22) muestra los cálculos del índice OCRA para una etapa  $r$ .

$$OCRA_r = \frac{F_r \cdot D_r}{[K_r \cdot D_r] \cdot DUM_r \cdot rc_r} \quad (22)$$

La ecuación (22) define el valor de OCRA y, como se observa, el multiplicador  $D_r$  se puede eliminar de la ecuación. Esta situación es posible porque sólo se consideran tareas simples. De esta consideración surge la ecuación (23) en la que el valor de OCRA ya no es una variable sino un parámetro y determinará el comportamiento de la ecuación (23) al limitar el valor de  $F_r$  (número de acciones técnicas por minuto (frecuencia) en etapa  $r$ ).

$$F_r \leq K_r \cdot DUM_r \cdot RCM_r \cdot OCRAobj_r \quad \forall r \quad (23)$$

Esto significa que, dado un problema en particular, una vez que los factores de riesgo de las tareas son conocidos y establecidos a partir de las tablas del método OCRA, se puede calcular  $K_r$ . También se puede obtener el

multiplicador  $DUMr$  de la tabla correspondiente de OCRA a partir de los tiempos teóricos de los trabajos realizados en la etapa  $r$ . Dichos tiempos de proceso corresponden al tiempo de trabajo repetitivo neto del trabajador en la etapa  $r$  ( $DNr$ ).

El único parámetro que queda por calcular es el multiplicador de recuperación  $rc_r$ . Sin embargo, dado que los tiempos de configuración son interrupciones obligatorias entre trabajos, se puede obtener un valor mínimo y máximo de  $rc_r$  en la Tabla 1. Según el método OCRA, la relación de distribución óptima de tareas repetitivas y períodos de recuperación es de 50 minutos de trabajo y 10 minutos recuperación. Sobre la base de esta distribución óptima, es posible diseñar criterios para evaluar la presencia de riesgo en una situación concreta: el riesgo puede deberse a la falta o insuficiencia de la distribución de los períodos de recuperación. El método OCRA asigna por cada hora sin un período de recuperación adecuado un valor al factor recuperación (Tabla 1).

Nº de horas sin adecuada recuperación	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Factor multiplicador OCRA ( $rc_r$ )	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,45	0,25	0,1	0

Tabla 1: elementos OCRA para determinar el factor multiplicador del período de recuperación ( $rc_r$ ) para cada etapa  $r$ .

## 5.- ANÁLISIS DEL MODELO: EMPRESA DEL SECTOR ALIMENTARIO

El modelo fue aplicado en una empresa del sector alimentario con tres divisiones: Fabricación y Envasado, Servicios Alimentarios e Ingredientes. El principal problema de salud identificado en la empresa era la incidencia de TME. Las evaluaciones ergonómicas de la empresa establecían que el principal factor de riesgo ergonómico asociado con los TME era la repetitividad de movimientos. El mayor porcentaje de TME correspondía a las extremidades superiores del cuerpo: cuellos y hombros (25%), brazos y codos (20%), manos y muñecas (20%). Los datos de accidentes de la empresa mostraban claramente que los trastornos de TME ocurrían principalmente en la Sección de Envasado en la División de Fabricación y Envasado. Como resultado de esta situación, la empresa puso en marcha acciones encaminadas a la mejora ergonómica y la disminución de los TME.

En la Sección de Envasado en estudio, existían tres líneas diferentes con varios tipos de procesamiento de producto, embalaje y paletización. El modelo se aplicó a la línea con la mayor prevalencia de TME. Tres trabajadores estaban asignados a dicha línea con turnos de 8h. La línea comprendía tres etapas (estaciones de trabajo) que requerían movimientos repetitivos. Cada etapa correspondía a una estación de trabajo. Los movimientos requeridos en las estaciones de trabajo eran simétricos para el lado derecho e izquierdo del cuerpo, lo que significaba que el valor del índice OCRA era el mismo para ambos lados del cuerpo. Por lo tanto, el modelo pudo enfocarse en la optimización OCRA de un lado (derecho).

Para validar el modelo, se identificaron cuatro casos y se organizaron en dos escenarios de estudio, Escenarios A y B. Todos los escenarios eran de taller de flujo con tres etapas, tres trabajadores, cinco trabajos y tiempos de configuración dependientes de la secuencia. La variación principal entre el Escenario A y B eran los tiempos de procesamiento de los trabajos. En cada escenario, se eligieron dos situaciones diferentes (Caso 1 y Caso 2). En el Caso 1, los tiempos de procesamiento de los trabajos eran idénticos en todas las etapas (Casos A.1 y B.1). Posteriormente, en el Caso 2, los tiempos de proceso de cada trabajo variaban de una etapa a otra (Casos A.2 y B.2).

Para ambos Escenarios A y B, se consideró que un valor del índice OCRA por encima de 2.2 implicaba pasar a un estado de vigilancia (amarillo) del grado de penosidad del trabajo. Por lo que se establecieron los siguientes valores del índice OCRA como objetivo:  $OCRA_{Objr} = \{2.2, 2.2, 2.2\}$ .

Teniendo en cuenta requisitos organizativos, la secuencia debía incluir al menos un trabajo de duración 150 minutos, que correspondía al más largo.

Las tareas repetitivas realizadas en ambos escenario A y B, así como los factores de riesgo presentes en ellas y su valoración según el método OCRA fueron:

- **Encajado tipo 1.** Todos los factores de riesgo estaban en nivel aceptable, multiplicadores iguales a 1. Tiempo de ciclo de 120 seg.
- **Encajado tipo 2.** Aplicación de fuerza débil según la escala de clasificación para la clasificación del esfuerzo percibido de Borg CR-10 (Borg, 1998). Multiplicador FoM= 0,65. Tiempo de ciclo de 24 seg.
- **Cribado.** Angulo de flexión/extensión de muñeca de 70° durante el 80% del tiempo de ciclo. Multiplicador PoM= 0,70. Tiempo de ciclo de 126 seg.

## 5.1.- CASOS DEL ESCENARIO A

En el caso A.1, el tiempo de procesamiento era común para los cinco trabajos en todas las etapas. La configuración incluía trabajos con tiempo de proceso diverso, que en relación al OCRA objetivo podía requerir fraccionamiento de uno, dos o más trabajos según la etapa. En el Caso A.2, el tiempo de procesamiento de los cinco trabajos variaba en cada etapa. Para evaluar la capacidad del modelo se analizó un caso que implicaba un gran desequilibrio entre los tiempos de procesamiento de un trabajo de una etapa a la siguiente. La Tabla 2 muestra los parámetros que definen el Escenario A, y también para cada Caso A.1 y A.2. Los índices mínimo y máximo de OCRA para cada etapa en el Escenario A se incluyen en la Tabla 2.

<b>Duración del turno(min)</b>		480					
<b>Constante de frecuencia de acción (cf)</b>		30					
<b>Lado del cuerpo</b>		DERECHO					
<b>Nº de Etapa</b>		<b>Etapa 1</b>	<b>Etapa 2</b>		<b>Etapa a 3</b>		
<b>Trabajador asignado</b>		<b>Trabajador 0</b>	<b>Trabajador 1</b>		<b>Trabajador 2</b>		
<b>A.1 ESCENARIO</b>	<b>Tiempo de procesamiento del trabajo (min)</b>	{150; 45; 60; 45; 60}					
	<b>Tiempo neto de trabajo repetitivo (min)</b>	360					
<b>A.2 ESCENARIO</b>	<b>Tiempo de procesamiento Time (min)</b>	{150;45;60;45;60}	{60;150;60;120;60}		{150;45;120;30;120}		
	<b>Tiempo neto de trabajo repetitivo (min)</b>	360	450		465		
<b>Tarea</b>		<b>Encajado tipo 1</b>		<b>Cribado</b>		<b>Encajado tipo 2</b>	
<b>OCRA Min/Max</b>		<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>	<b>Min</b>	<b>Max</b>
<b>Nº de horas sin tiempo de recuperación</b>		0	2	0	2	0	2
<b>Multiplicador de Recuperación (rc)</b>		1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8
<b>Multiplicador de Fuerza (FoM)</b>		1,00	1,00	0,65	0,65	1,00	1,00
<b>Multiplicador de Postura (PoM)</b>		1,00	1,00	1,00	1,00	0,70	0,70
<b>Multiplicador Adicional (AdM)</b>		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Multiplicador de repetitividad (ReM)</b>		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Factores de fuerza, postura, repetitividad y factores adicionales (Kr)</b>		30,00	30,00	19,50	19,50	21,00	21,00
<b>Tiempo de ciclo (seg.)</b>		120,0	120,0	24,0	24,0	126,0	126,0
<b>Frecuencia (Acciones técnicas por minuto) (Fr)</b>		60	60	30	30	40	40
<b>Multiplicador de Duración (DUMr)</b>		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<b>Índice OCRA</b>		2,00	2,50	1,54	1,92	1,9	2,38

Tabla 2: Parámetros y valores del índice OCRA en el escenario A

A partir de los índices mínimos y máximos de OCRA en los Escenarios A.1 y A.2, fue posible analizar las opciones que podrían explorarse para estar por debajo del índice OCRA objetivo, como se ilustra en la Figura 1.



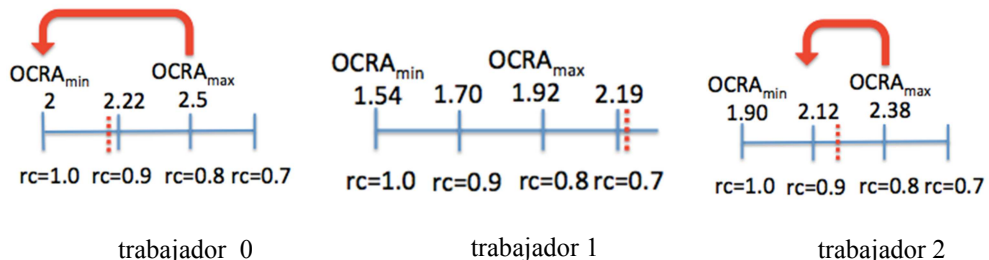


Fig. 1. Potenciales valores OCRA del trabajador para la etapa 1, 2 y 3 respectivamente en el escenario A.

En base al análisis de las gráficas anteriores, y como todos los trabajadores debían estar por debajo del valor del índice de 2.2 OCRA, los valores de  $rc$  admisibles para cada trabajador fueron:

$$OCRA_{lim,r} = \{2.00, 1.92, 2.12\} \text{ if } rc_r = \{1, 0.8, 0.9\} \quad (24)$$

El trabajador 0 (etapa 1) tenía solo una opción para bajar el OCRA por debajo de 2.2, el de incluir un descanso después de trabajar 50 minutos. El Trabajador 1 (Etapa 2) no necesitaba tomar descansos entre trabajos para lograr el objetivo de OCRA. El trabajador 2 (Etapa 3) simplemente podría descansar cada 110 minutos para cumplir con el objetivo de OCRA. Esto implicaba que el modelo tenía una opción para el Trabajador 0, tres opciones para el Trabajador 1 y dos opciones para el Trabajador 2. Esto significaba seis posibles combinaciones de  $rc$ .

## 5.2.- CASOS DEL ESCENARIO B

En el Escenario B, se modificó la tarea realizada en cada etapa. Por lo tanto, la tarea "Encajado tipo 1" estaba en la Etapa 3, "Cribado" estaba en la Etapa 2 y "Encajado tipo 2" en la Etapa 1. En el Caso B.1, el tiempo de procesamiento era común para los cinco trabajos en todas las etapas. En el caso B.2, el tiempo de procesamiento de los cinco trabajos variaba según la etapa. La Tabla 3 muestra los parámetros que definen el Escenario B.

Duración del turno(min)		480			
Constante de frecuencia de acción (cf)		30			
Lado del cuerpo		DERECHO			
Nº de Etapa		Etapa 1	Etapa 2		Etapa 3
Trabajador asignado		trabajador 0	trabajador 1		trabajador 2
B.1 ESCENARIO	Tiempo de procesamiento del trabajo (min)	{150; 45; 60; 45; 60}			
	Tiempo neto de trabajo repetitivo (min)	360			
B.2 ESCENARIO	Tiempo de procesamiento Time (min)	{150;45;60;45;60}	{60;150;60;120;60}		{150;45;120;30;120}
	Tiempo neto de trabajo repetitivo (min)	360	450		465
Tarea		Encajado tipo 2		Cribado	
OCRA Min/MAX		Min	Ma	Min	Max

		x				
Nº de horas sin tiempo de recuperación	0	2	0	2	0	2
Multiplicador de Recuperación (rc)	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8
Multiplicador de Fuerza (FoM)	0,65	0,65	1,00	1,00	1,00	1,00
Multiplicador de Postura (PoM)	1,00	1,00	0,70	0,70	1,00	1,00
Multiplicador Adicional (AdM)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Multiplicador de repetitividad (ReM)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Factores de fuerza, postura, repetitividad y factores adicionales (Kr)	19,5	19,5	21,00	21,00	30,00	30,00
Tiempo de ciclo (seg.)	24	24	126	126	120	120
Frecuencia (Acciones técnicas por minuto) (Fr)	30	30	40	40	60	60
Multiplicador de Duración (DUMr)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Índice OCRA	1,54	1,92	1,90	2,38	2,00	2,50

Tabla 3: Parámetros y valores del índice OCRA en el escenario B

En este nuevo Escenario B, las opciones que permitían estar por debajo del objetivo OCRA se ilustran en la Figura 2:

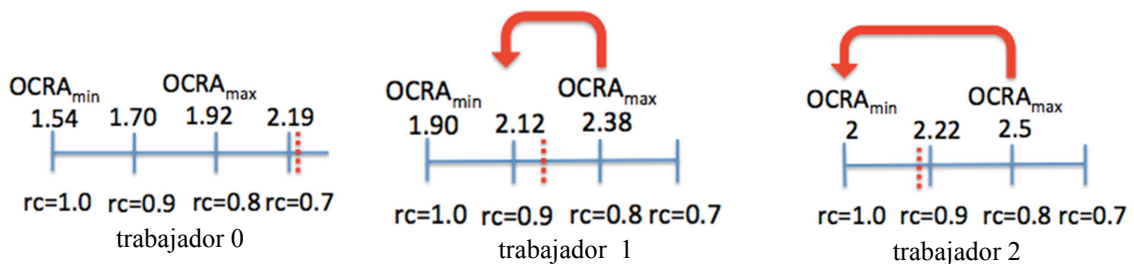


Fig. 2. Potenciales valores OCRA del trabajador para la etapa 1, 2 y 3 respectivamente en el escenario B.

En este caso los valores de  $rc$  permitidos fueron:

$$OCRA_{lim,r} = \{1.92, 2.12, 2.00\} \text{ if } rc_r = \{0.8, 0.9, 1\} \quad (25)$$

Para alcanzar el objetivo OCRA, el Trabajador 0 (Etapa 1) no necesitaría tomar descansos entre trabajos, sería suficiente para el Trabajador 1 (Etapa 2) descansar cada 110 minutos, y el Trabajador 2 (Etapa 3) debería incluir un descanso cada 50 minutos para que el OCRA fuera inferior a 2.2.

### 5.3.- RESULTADOS

Las hipótesis planteadas para la ejecución del modelo y el análisis de los resultados para el caso en estudio fueron las siguientes:

1. El modelo propuesto es capaz de resolver la asignación de trabajos y optimizar la secuencia para lograr un makespan mínimo para algunos trabajos.
2. Al establecer una restricción ergonómica de un valor de índice OCRA máximo, el makespan y la secuencia de producción se ven afectados. Además, el incremento de makespan se compensa con los beneficios de reducir la incidencia anual de TME (por cada 100 personas expuestas).

### 5.3.1.- Resultados del escenario A

Los resultados del modelo para el Caso A.1, con y sin restricciones ergonómicas, se muestran en la Figura 3. Las principales conclusiones de estos resultados son:

- Las secuencias varían entre configuraciones con y sin restricciones ergonómicas. El trabajo más largo cambia desde la última posición en la configuración sin restricciones para convertirse en el primero en ser secuenciado en el entorno con restricciones ergonómicas.
- El makespan con restricciones ergonómicas sube unos 67 minutos lo que supone un incremento del 8,5% aprox.
- Se puede observar como el trabajador 0 ha introducido 7 descansos adicionales de 10 minutos entre trabajos, 2 para cada trabajo grande (150 min. y 105 min.) y una para cada trabajo pequeño (60 min.). El trabajador 2 ninguno y el 3 ha incluido sólo 2 paradas correspondientes a los 2 trabajos grades (150 min. y 105 min.).

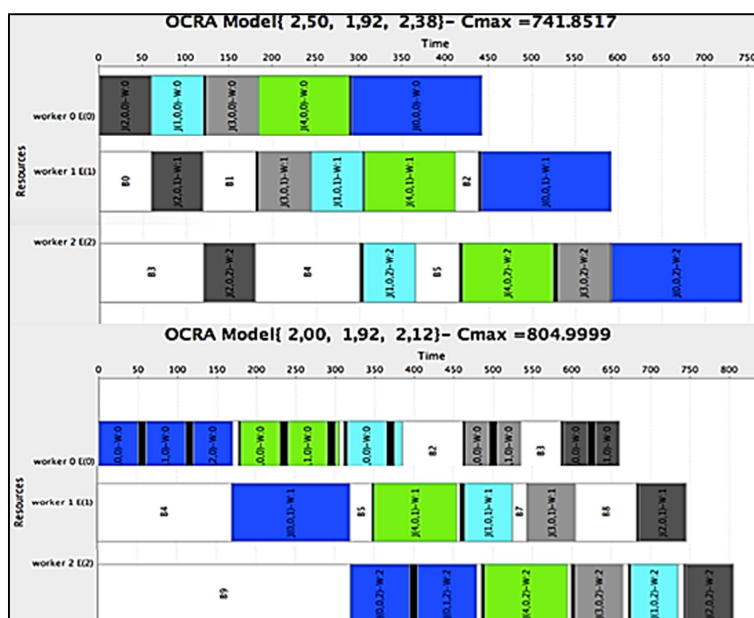


Fig. 3. Caso A.1: resultados sin restricciones ergonómicas (arriba) y con restricciones ergonómicas (abajo)

Como se indicó en el apartado anterior en el escenario A.2 el tiempo de proceso de los 5 trabajos varía según la etapa. Se trata de un caso en el que existe una fuerte descompensación entre los tiempos de proceso de un trabajo entre una etapa y la siguiente. La figuras 4 muestra gráficamente los resultados de ejecución del modelo para el caso A.2, sin restricciones ergonómicas y con restricciones ergonómicas. De su análisis se extraen las siguientes conclusiones:

- Las secuencias varían en la resolución del modelo con y sin restricciones ergonómicas.
- El makespan con restricciones ergonómicas sube 69 minutos lo que supone un incremento del 11,5% aprox.
- Se puede observar como el trabajador 0 ha introducido 4 descansos adicionales de 10 minutos entre trabajos, 1 para cada trabajo grande (150 min. Y 120 min.) y uno para cada trabajo pequeño (60 min.). El trabajador 1 no incluye ninguno descanso y el trabajador 3 ha incluido sólo 3 paradas correspondientes a los 3 trabajos grades (150 min., 120 min. y 120 min.).

Sabina Asensio-Cuesta<sup>1</sup>, Pedro Gómez-Gasquet<sup>2</sup>

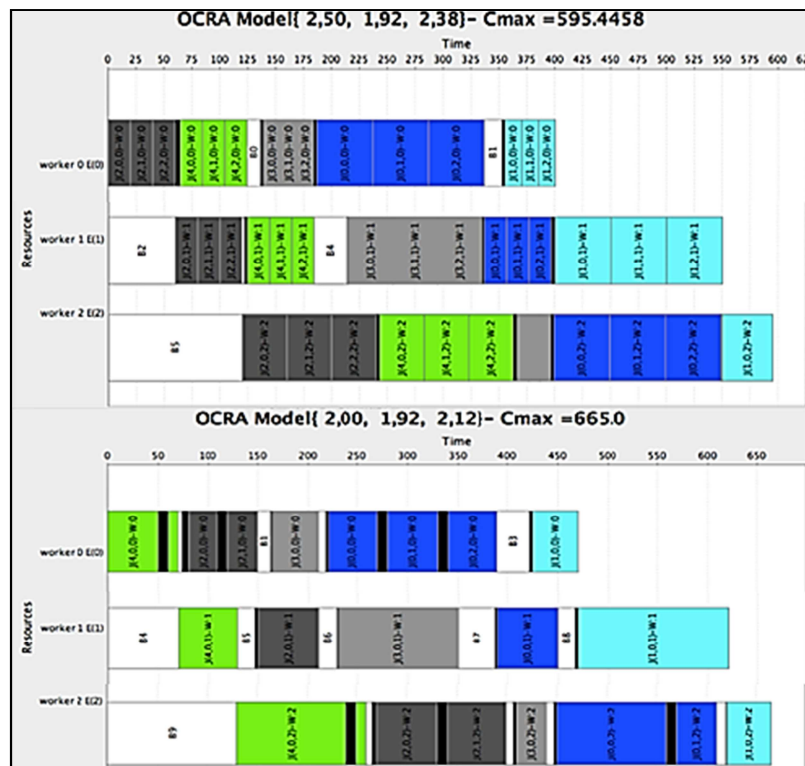


Fig. 4. Caso A.2: resultados sin restricciones ergonómicas (arriba) y con restricciones ergonómicas (abajo)

La siguiente tabla compara los valores de índice OCRA obtenidos para el estudio de caso A. Los índices OCRA son iguales en los Casos A.1 y A.2. En las secuencias sin restricciones ergonómicas, los porcentajes de incidencia promedio de TME varían entre 67% y 86%, mientras que los porcentajes con restricciones ergonómicas varían entre 58% y 77%. Por lo tanto, el porcentaje de incidencia promedio de TME se reduce en un 9% para las soluciones ergonómicas.

CASO A	Índice OCRA sin restricciones ergonómicas	% INCIDENCIA TME		
		Min.	Central	Max
	2,5	75%	84%	94%
	1,92	55%	65%	74%
	2,38	70%	80%	89%
<b>% MEDIO DE INCIDENCIA DE TME</b>	<b>2,26</b>	<b>67%</b>	<b>76%</b>	<b>86%</b>
	Índice OCRA con restricciones ergonómicas	Min.	Central	Max
	2	58%	67%	77%
	1,92	55%	65%	74%
	2,12	62%	71%	81%
<b>% MEDIO DE INCIDENCIA DE TME</b>	<b>2,01</b>	<b>58%</b>	<b>68%</b>	<b>77%</b>
<b>DIFERENCIA % MEDIO DE TME</b>		<b>67%-58%=9%</b>		

Tabla 4. Porcentajes de incidencia de TME en el caso A.

### 5.3.2.- Resultados del escenario B

Los resultados del modelo para el Caso B.1 se muestran en la Figura 5. Los resultados B.1 y A.1 son cercanos en términos de valores de índice OCRA y makespan. Sin embargo, la secuenciación de trabajos difiere para lograr un makespan similar.

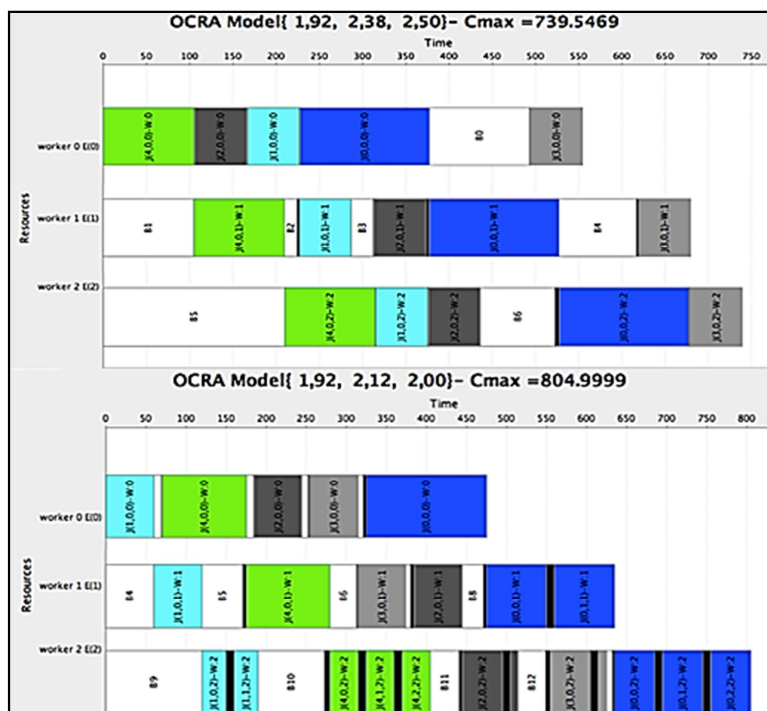


Fig. 5. Caso B.1: resultados sin restricciones ergonómicas (arriba) y con restricciones ergonómicas (abajo)

Finalmente, la Figura 6 muestra los resultados del Caso B.2. Del análisis de las figuras 5 y 6 concluimos que:

- El makespan con restricciones ergonómicas aumenta 89 minutos, lo que supone un aumento de alrededor del 15%.
- Como en el Escenario A.1, el porcentaje promedio de TME disminuye en un 9%.
- En relación a las pausas introducidas en los trabajos son las mismas que en el caso A.2. Sin embargo, aunque el makespan sin restricciones ergonómicas es prácticamente el mismo que en el caso A.2, el makespan con restricciones ergonómicas se incrementa en 20 minutos.
- Las secuencias varían en la resolución del modelo con y sin restricciones ergonómicas.



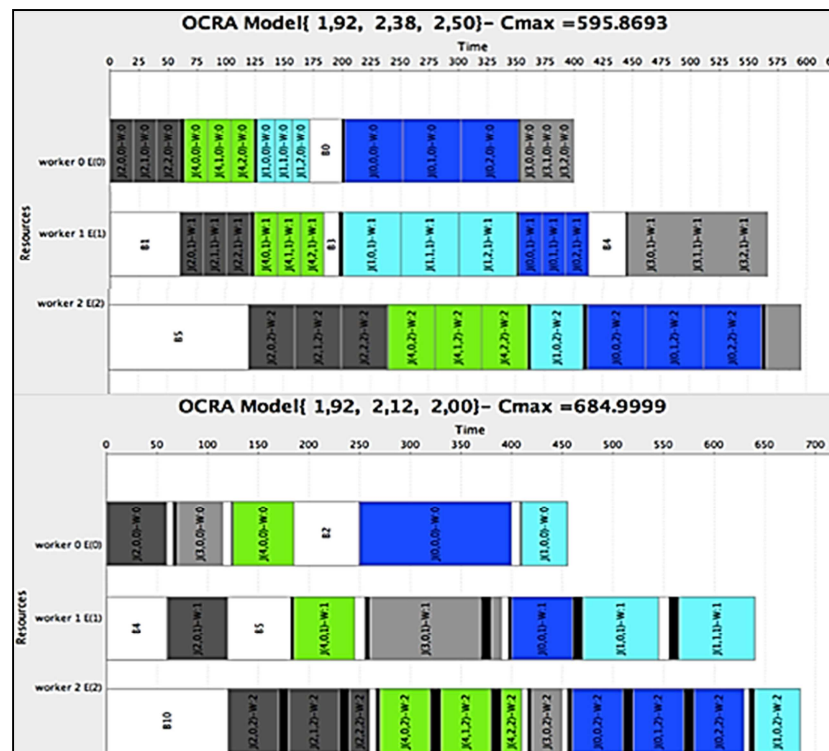


Fig. 6. Caso B.2: resultados sin restricciones ergonómicas (arriba) y con restricciones ergonómicas (abajo)

## 6.- CONCLUSIONES

Desde la perspectiva de la empresa del sector alimentario en estudio, el modelo propuesto proporciona soluciones en las cuales pequeños incrementos en el makespan se traducen en la disminución de la previsión de la incidencia de TME por exposición a movimientos repetitivos. Así pues, el modelo propuesto demuestra ser una herramienta efectiva para la empresa a la hora de definir secuenciaciones de trabajos en talleres de flujo donde se minimiza el makespan y, al mismo tiempo, se incluyen períodos de recuperación ergonómicos del trabajo repetitivo para prevenir los TME de origen laboral.

En general el modelo es capaz de obtener secuenciaciones ergonómicas que contribuyen a prevenir los TME con el menor incremento del makespan. Aunque inicialmente se requiere un esfuerzo para evaluar con el método OCRA las estaciones de trabajo involucradas en la secuenciación, dicho esfuerzo se ve compensado en términos de prevención de TME. Después de comparar las secuenciaciones en un taller de flujo con y sin considerar aspectos ergonómicos, concluimos que el problema presentado es, como se destaca en la sección de resultados, un desafío interesante desde el punto de vista de la investigación. Sin embargo, cabe señalar que no han sido considerados en el caso de estudio planteado una amplia variedad de casos de interés científico y práctico en el ámbito industrial. Por ejemplo, podrían considerarse otros tipos de talleres u otros aspectos ergonómicos, tales como la rotación de los trabajadores. Si bien, en este artículo se propone un modelo matemático que podría extenderse a otras situaciones sin excesiva dificultad. Además, dada la compleja realidad industrial, el enfoque del modelo podría mejorar la eficiencia productiva de las empresas y, al mismo tiempo, su acción preventiva de los TME.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Allahverdi, A., Gupta, J. N., Aldowaisan, T. (1999). A review of scheduling research involving setup considerations. *Omega*, 27(2), 219–239.
- [2] Asensio-Cuesta, S., Diego-Mas, J.A., Cremades-Oliver, L.V., González-Cruza mc. 2012. A method to design job rotation schedules to prevent work-related musculoskeletal disorders in repetitive work. *International Journal of Production Research*, 50(24), 7467–7478.
- [3] Asensio-Cuesta, S., Gomez-Gasquet, P., Andrés C., Alemany M. M. E. 2014. A Model of Makespan Flow-shop Scheduling under Ergonomic Requirements. *Managing Complexity*. Springer. 105–112.
- [4] Bonfiglioli, R., Mattioli, S., Fiorentini, C., Graziosi, F., Curti, S., Violante, F.S., 2007. Relationship between repetitive work and the prevalence of carpal tunnel syndrome in part-time and full-time female supermarket cashiers: a quasi-experimental study. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 80, 248–253.
- [5] Borg, G. 1998. Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics*. Illinois.
- [6] Brucker, P. (2004). *Scheduling Algorithms*. 4th edition Springer. Berlin Heidelberg New York. Diego-Mas, J.A., Asensio-Cuesta, S., Sanchez-Romero, M. A., Artacho-Ramirez, M.A. 2009. A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39(1), 23–33.
- [7] Colombini, D., Occhipinti, E., Grieco, A. 2002. *Risk Assessment and Management of Repetitive Movements and exertions of upper limbs*. Elsevier. 111–117.
- [8] Da Costa, B. R., Vieira, E. R. 2010. Risk factors for work – related musculoskeletal disorders: A systematic review of recent longitudinal studies. *American Journal of Industrial Medicine*, 53(3), 285–323.
- [9] Framinan, J.M., Gupta, J.N.D., Leisten, R. 2004. A review and classification of heuristics for permutation flow-shop scheduling with makespan objective. *Journal of the Operational Research Society*, 55 (12), 1243–1255. Gomez-Gasquet, P., Andres, C., Lario, F.C. 2012. An agent-based genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times to minimise makespan. *Expert Systems with Applications*. 39(9): 8095-8107.
- [10] Gomez-Gasquet, P., Andres, C., Lario, F.C. (2012). An agent-based genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times to minimise makespan. *Expert Systems with Applications*. 39(9): 8095-8107.
- [11] Gupta, J. N. D., & Stafford Jr., E. F. (2006). Flowshop scheduling research after five decades. *European Journal of Operational Research*, 169(3), 699–711. Kaergaard, A., Andersen, J.H. 2000. Musculoskeletal disorders of the neck and shoulders in female sewing machine operators: prevalence, incidence, and prognosis. *Environmental and Occupational Medicine*, 57, 528–534.
- [12] ISO 11228–3:2007. *Ergonomics. Manual handling. Part 3: Handling of low loads at high frequency*. 2007.
- [13] Kaergaard, A., Andersen, J.H. 2000. Musculoskeletal disorders of the neck and shoulders in female sewing machine operators: prevalence, incidence, and prognosis. *Environmental and Occupational Medicine*, 57, 528–534.
- [14] Katz, W. A. 2002. Musculoskeletal pain and its socioeconomic implications. *Clinical Rheumatology, Supplement*, 1, S2–S4.
- [15] Mathiassen, S.E. 2006. Diversity and variation in biomechanical exposure: What is it, and why would we like to know? *Applied Ergonomics*, 37, 419–427.
- [16] Moore, J.S., & Garg, A. 1995. The Strain Index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56, 443–458.

- [17] Neumann, W.P., Winkel, J., Medbo, L., Magneberg, R., Mathiassen, S.E. 2006. Production system design elements influencing productivity and ergonomics: A case study of parallel and serial flow strategies. *International Journal of Operations & Production Management*. 26(8), 904 – 923.
- [18] Otto, A., & Scholl, A. 2011. Incorporating ergonomic risks into assembly line balancing. *European Journal of Operational Research*, 212, 277–286.
- [19] Rodgers, S.H. 1992 A functional job evaluation technique, *Ergonomics, Occupational Medicine: State of the Art Reviews*. 7(4): 679-711.
- [20] Roja Z., Kalkis V., Roja I., Kalkis H. 2013. The effects of a medical hypnotherapy on clothing industry employees suffering from chronic pain . *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 8(25): 1–15.
- [21] Ruiz R., Maroto C. 2005. A comprehensive review and evaluation of permutation flowshop Heuristics. *European Journal of Operational Research*, 165 (2), 479–494.
- [22] Rundcrantz, B.L., Johnsson, B., Moritz, U. 1991. Occupational cervico-brachial disorders among dentists. Analysis of ergonomics and locomotor functions, *Swedish dental journal*, 15(3):105–15.
- [23] Shir, R., Viikari-Juntura, E., Varonen, H., Heliövaara, M., 2006. Prevalence and Determinants of Lateral and Medial Epicondylitis: A Population Study. *American Journal of Epidemiology*, 164, 1065–74.
- [24] Spallek M., Kuhn W., Uibel S., Van Mark A., Quarcoo D. 2010. Work-related musculoskeletal disorders in the automotive industry due to repetitive work – implications for rehabilitation. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 5(6).
- [25] Summers K., Jinnett K., Bevan S. 2015. Musculoskeletal Disorders, Workforce Health and Productivity in the United States. Center for Workforce Health and Performance.
- [26] UNE-EN 1005-5:2007. Seguridad de las máquinas. Comportamiento físico del ser humano. Parte 5: Evaluación del riesgo por manipulación repetitiva de alta frecuencia). 2007.
- [27] Wang, P.C., Harrison R.J., Yu F., Rempel D.M., Ritz B.R. 2010. Follow-up of neck and shoulder pain among sewing machine operators: The Los Angeles garment study. *American Journal of Industrial Medicine*, 53(4), 352–360.
- [28] Xiao, G.B., Dempsey, P.G., Lei, L., Ma, Z.H., Liang, Y.X. 2004. Study on musculoskeletal disorders in a machinery manufacturing plant. *Occupational and Environmental Medicine*, 46, 341–346.