

METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE AGENDAS DE ROTACIÓN BAJO UN ENFOQUE ERGONÓMICO

Sabina Asensio-Cuesta

José Antonio Diego-Más

Jorge Alcaide-Marzal

M^a Carmen González-Cruz

Departamento de Proyectos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Valencia

Abstract

Job rotation is a method of work organization more and more applied by the organizations to improve the labor conditions of its workers. This paper presents a methodology that permit to generate and evaluate job rotation schedules that simultaneously consider multiple factors that can influence in a correct work stations-worker assignation, as well as the restrictions that ensure the practical viability of the obtained results. The methodology objective is to maximize the benefits derived from the application of this technique, such as: to prevent the work related musculoskeletal disorders, to improve the psycho-social work conditions of the workers, to facilitate the formation of the workers, to aid the workers incorporation with temporary or permanent disabilities, and to increase the productivity.

The methodology equips the planner with a tool for obtaining, systematically, job rotation schedules. This tool allows planers to explore faster and effectiveness a set of solutions to select later the schedule that better adapts to the necessities and existing restrictions. In addition, the methodology incorporates, in the different phases in which is structured, recommendations proposed by different authors in relation to the suitable design for job rotation schedules.

Keywords: *Job rotation, ergonomics, work related musculoskeletal disorders*

Resumen

La rotación de puestos es una forma de organización del trabajo cada vez más aplicada por las organizaciones para mejorar las condiciones laborales de sus trabajadores. En el presente trabajo, se presenta una metodología que permite generar y evaluar agendas de rotación que consideren múltiples factores de riesgo que pueden influir en una correcta asignación de los trabajadores a los puestos, así como las restricciones que aseguran la viabilidad práctica de los resultados obtenidos. De esta forma se persigue maximizar los beneficios derivados de la aplicación de ésta técnica, tales como: prevenir los trastornos músculo-esqueléticos, mejorar las condiciones psicosociales de los trabajadores, facilitar la formación de los trabajadores, facilitar la incorporación de trabajadores con discapacidades temporales o permanentes, y aumentar la productividad.

La metodología dota al planificador de una herramienta de obtención sistemática de agendas de rotación que le permite explorar de forma rápida y eficaz un conjunto de agendas de rotación, para posteriormente, seleccionar la solución que mejor se adapte a las necesidades y restricciones reinantes. Además, la metodología incorpora en las diferentes

fases en la que se estructura, recomendaciones realizadas por diferentes autores en relación al diseño adecuado de agendas de rotación.

Palabras clave: rotación, ergonomía, trastornos músculo-esqueléticos.

1. Introducción

La organización del trabajo es definida por (Hagberg et al., 95) como “la forma en que el trabajo es estructurado, supervisado y procesado”. La rotación de puestos de trabajo pertenece al grupo de estrategias de organización del trabajo que tratan de reducir la exposición a riesgos ergonómicos de los trabajadores mediante el incremento de la variedad de tareas realizadas por estos (Haims et al., 02). Dicha variedad en la tarea se refleja en beneficios para los trabajadores como: la disminución de la monotonía (Triggs et al., 00), el aburrimiento y el estrés (MacLeod et al.), el aumento de la satisfacción ante el trabajo (Triggs et al., 00), la disminución del abandono de la organización (MacLeod et al.) y una mayor formación de los trabajadores (Triggs et al., 00). Además, si la diversidad de trabajos entre los que se rota permite a los trabajadores variar los grupos de tendones-músculos empleados favoreciendo su adecuada recuperación y descanso, la rotación tendrá un efecto reductor de la fatiga acumulada por el sistema músculo-esquelético. Así pues, si se logra la condición de alternancia muscular y articular, la rotación de puestos parece resultar beneficiosa para la prevención de los trastornos músculo-esqueléticos (TME) (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 09).

(Winkel et al., 92) considera que el riesgo biomecánico al que se expone un trabajador depende de tres parámetros: la magnitud del riesgo, la duración y la frecuencia de exposición. La rotación de puestos permite disminuir la duración de la exposición del trabajador a riesgos asociados con los TME, como el mantenimiento de posturas forzadas, el levantamiento de cargas, la realización de movimientos repetitivos o la exposición a vibraciones (Bernard, 97). Dicha disminución explicaría la capacidad preventiva de la rotación frente a los TME.

Además de los beneficios atribuidos a la rotación desde la perspectiva de los trabajadores, a dicha estrategia organizativa también se le atribuyen beneficios para las organizaciones. Así, por ejemplo, la formación de los trabajadores en diferentes tareas, dota a las organizaciones de una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta frente a problemas como el absentismo laboral o las variaciones en la demanda. Se consigue, además, que la empresa adquiera un mayor conocimiento sobre las habilidades de sus empleados dado que puede observar su rendimiento en diversos puestos (Eriksson et al., 06). Por otra parte, la disminución de los TME entre los trabajadores evita las pérdidas económicas debidas a los costes por lesiones.

No obstante, lograr con la implantación de un sistema de rotaciones los beneficios que se atribuyen a dicha técnica, requiere por parte del planificador una importante labor de análisis. Numerosas cuestiones deben ser planteadas y convenientemente resueltas: cuántos y qué puestos rotar, qué criterios se deberían aplicar a la hora de establecer el orden de rotación entre los puestos, qué trabajadores deberían incluirse en el plan de rotaciones, cuál debería ser el número y duración de las rotaciones y pausas, etc. La respuesta a dichas cuestiones será determinante ya que, tal y como afirma (Putz-Anderson, 88), si el programa de rotaciones no está bien diseñado puede provocar un empeoramiento de las condiciones laborales de los trabajadores implicados.

En el presente trabajo se pretende dotar al diseñador de una metodología, estructurada en 8 fases (Figura 1), para el diseño sistemático de agendas de rotación que cumplan con las principales recomendaciones recogidas en la bibliografía en relación al diseño de planes de rotación de puestos de trabajo bajo consideraciones ergonómicas. Dada la repercusión

económica y social de los TME (Eurofound, 05), la metodología que se propone incluye recomendaciones especialmente orientadas a la prevención de este tipo de dolencias.

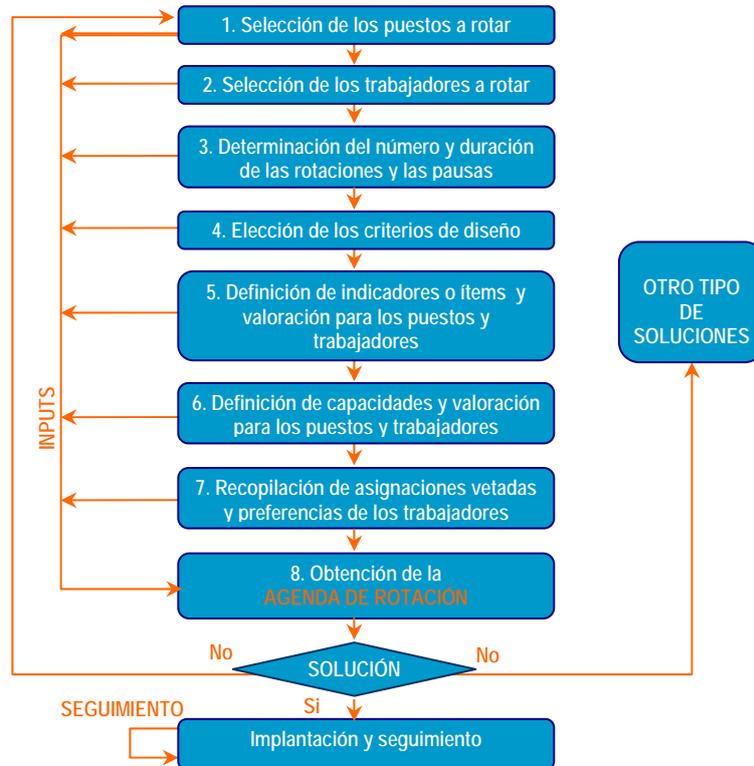


Figura 1: Esquema general de la metodología propuesta para la generación de agendas de rotación.

2. Fase 1: Selección de los puestos a rotar

En la presente metodología se propone el siguiente procedimiento sistemático para la selección de los puestos a rotar:

En primer lugar se deberá llevar a cabo la evaluación ergonómica de todos los puestos que, a priori, se desea incluir en el plan de rotaciones. A partir de la información obtenida sobre los riesgos presentes en los puestos y su magnitud, el planificador deberá determinar qué puestos son apropiados para ser incluidos en el plan de rotaciones.

A continuación se describe el proceso de selección de los puestos en función del nivel de riesgo presente en ellos. Dicho proceso deberá realizarse para cada tipo de riesgo identificado y valorado.

- *Para puestos con nivel de riesgo alto:*

Se deberá determinar si es posible introducir soluciones ergonómicas que reduzcan el nivel de riesgo y lo sitúen en niveles aceptables. Si no fueran posibles dichas soluciones, se deberá evaluar si la disminución del tiempo de exposición es suficiente para reducir el riesgo, y en tal caso, cuál debería ser dicho tiempo máximo de exposición. Además, se deberá determinar si dicho tiempo supone duraciones de las rotaciones factibles. Por tanto, la inclusión de tales puestos quedará supeditada al intervalo de rotación que se adopte (Fase 3). Así pues, en el proceso de establecimiento del intervalo de rotación se deberán tener muy presentes los tiempos máximos de exposición obtenidos.

Respecto a los puestos en los cuales se identifiquen sobreesfuerzos, en base a los resultados obtenidos por (Frazer et al., 03), se recomienda que no sean seleccionados para la rotación. Además, en tales casos, se deberá alertar a la dirección sobre el peligro detectado y la necesidad urgente del rediseño de los mismos.

- *Para puestos con nivel de riesgo medio:*

Estos puestos podrán ser incluidos en el plan de rotaciones, si bien, se recomienda llevar a cabo medidas ergonómicas previas que reduzcan el riesgo.

- *Para puestos con nivel de riesgo bajo:*

Para puestos con nivel de riesgo bajo, siempre que sea posible, se introducirán medidas ergonómicas de mejora, dado que se considera que dicha acción debe estar siempre presente aunque el riesgo detectado sea bajo. Estos puestos podrán ser incluidos en la rotación para facilitar la recuperación de la fatiga acumulada por los trabajadores debida a la ocupación de puestos más exigentes.

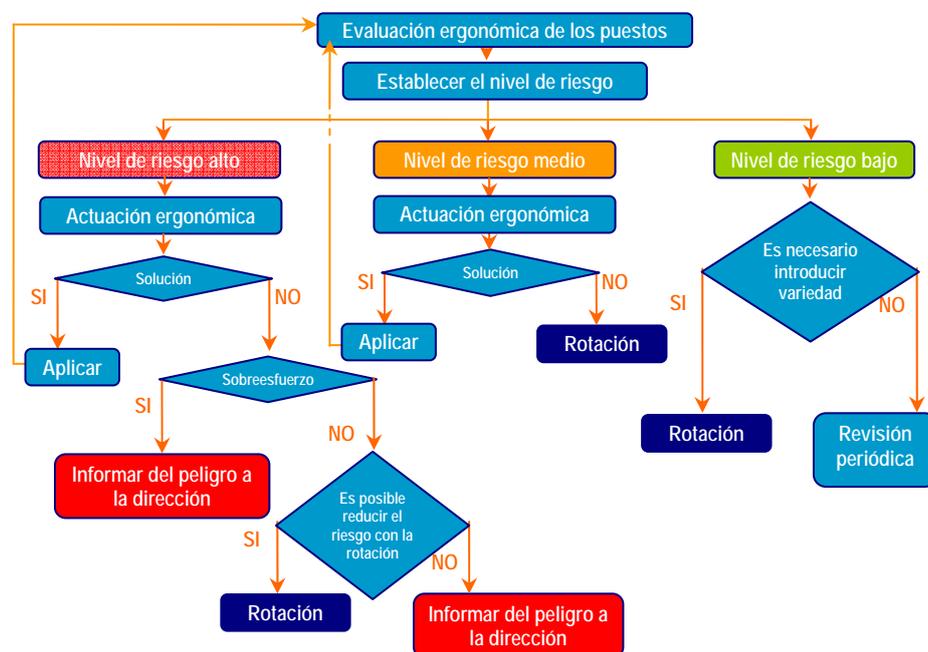


Figura 2: Esquema para la selección de los puestos a rotar.

El procedimiento descrito proporciona los puestos susceptibles de ser incluidos en el plan de rotaciones en función del nivel de riesgo presente en ellos, sin embargo, será necesario tener presente otros criterios de selección para la elección final de los puestos, tales como:

- Incluir puestos que permitan la variedad y la diversidad en el tipo de exposición del trabajador.
- Incluir puestos cuya separación física no obstaculice el intercambio tras cada rotación.
- Incluir puestos de categoría laboral y salarial similares.

3. Fase 2: Selección de los trabajadores a rotar

Para que la rotación tenga un efecto positivo sobre la salud de los trabajadores, se deberán aplicar ciertos criterios en la selección de aquellos que participarán en el plan de rotaciones:

- *El trabajador debe mostrar buena disposición ante el cambio*

Una escasa disposición de los trabajadores podría generarles síntomas de estrés (Thomas et al., 94) perjudiciales para su salud mental y física. Además, podría provocar resistencia al cambio dificultando, o incluso impidiendo, tanto el proceso de implantación de las rotaciones como su correcto funcionamiento posterior.

- *El trabajador debe tener capacidad formativa*

La formación de los trabajadores seleccionados para rotar es un elemento clave para la implantación exitosa de un sistema de rotaciones (Vézina, 04).

- *El nivel salarial del trabajador debe ser acorde a los puestos entre los que rotará*

Numerosos autores señalan como posible problema derivado de la implantación de un plan de rotaciones la existencia de diferentes escalas salariales entre los empleados seleccionados para rotar (Triggs et al., 00; Jorgensen et al., 05; Davis et al., 05). Dicho problema puede resolverse, bien mediante acuerdos sindicales previos, bien mediante la selección de trabajadores con categoría laboral acorde a los puestos seleccionados para la rotación.

- *El estado de salud de los trabajadores debe ser bueno*

En el empleo de la rotación como medio para la prevención de los TME es importante considerar que existen factores de riesgo relacionados con las características individuales del trabajador (factores individuales de riesgo), como su historial médico (Dempsey et al., 97), la obesidad o el tabaquismo (Bernard, 97). Según (Kuijer et al., 05), el efecto de la selección de trabajadores no sanos puede dificultar la evaluación de la efectividad de la rotación en la práctica.

Si debido a limitaciones de la organización no fuera posible incluir únicamente trabajadores sanos en el plan de rotaciones, sin historial médico de lesiones anterior a las rotaciones. Se deberá tener presente para el diseño de la agenda de rotación el estado de salud real de los trabajadores, tal y como sostiene (Aptel et al., 08), aunque dicha consideración complique claramente la construcción de agendas de rotación. En la metodología que se propone las limitaciones en las capacidades de los trabajadores son adecuadamente recopiladas y consideradas para la obtención de la agenda de rotación en la Fase 6.

4. Fase 3: Determinación del número y duración de las rotaciones y las pausas

Es una práctica habitual que el número y la duración de las rotaciones y pausas esté ligado a la duración de la jornada laboral y a las pausas oficiales de descanso. Ello se debe a que generalmente prevalecen los criterios organizativos y productivos frente a los ergonómicos (Jorgensen et al., 05). Sin embargo, a la hora de determinar los intervalos de rotación, es recomendable tener presentes algunas consideraciones.

Si bien basar los intervalos de rotación en las pausas de descanso existentes evita la pérdida de tiempo debida al intercambio y facilita la organización de las rotaciones, dicho criterio puede repercutir negativamente en la acumulación excesiva de fatiga en los trabajadores. Los intervalos de rotación deberán permitir introducir variedad y diversidad en la exposición biomecánica, especialmente para trabajos caracterizados por el mantenimiento de posturas estáticas o por la repetitividad de las operaciones (Mathiassen, 06). Además se debe considerar el tiempo de recuperación necesario para que el trabajador logre disminuir la fatiga acumulada en el puesto, y con ello, el riesgo de lesión músculo-esquelética. Dicho tiempo de recuperación dependerá de los factores de riesgo presentes en cada puesto:

- *En puestos que conlleven repetitividad de movimientos de los miembros superiores*

Ante el predominio de puestos que conlleven tareas repetitivas, se recomienda realizar rotaciones con elevada frecuencia entre puestos que supongan el empleo de diferentes grupos musculares y articulaciones. Así, (Vézina, 04) recomienda rotar cada 2 horas, 1 hora, e incluso cada 15 minutos si es posible la realización rápida de los intercambios. Por su parte, (Colombini et al., 02) indica que los periodos de trabajo repetitivo, sin periodos de recuperación o cambio a tareas que permitan el descanso total de los grupos musculares empelados anteriormente, no debería ser superior a 60 minutos.

- *Puestos con manipulación manual de cargas*

Si los puestos exigen levantamiento de cargas, (Tharmmaphornphilas et al., 04), tras el desarrollo de un método cuantitativo para el establecimiento óptimo de los intervalos de rotación, concluye que una duración de aproximadamente 2 horas parece adecuada. Además, según dicho autor, es un intervalo de rotación frecuentemente usado en la práctica. Sin embargo, es importante tener presente que el riesgo debido a un levantamiento no sólo es función de la duración de la tarea, sino que también depende de otros factores como el peso de la carga levantada, la posición de levantamiento y el agarre de la carga (Waters et al., 93). Por tanto, la reducción del tiempo continuado en un puesto con levantamiento manual de carga mediante la rotación a otros puestos más ligeros, puede no ser suficiente para que el riesgo debido al levantamiento se reduzca y se sitúe en niveles aceptables. Así pues, será necesario un análisis exhaustivo de los puestos que conlleven levantamiento de cargas, para determinar, en cada caso, qué periodo de recuperación, o qué medidas correctoras, son necesarias para obtener un riesgo tolerable para el trabajador. Para dicho análisis puede resultar de gran utilidad el empleo de la ecuación de NIOSH para la evaluación del levantamiento de carga (Waters et al., 93).

- *Puestos con poca actividad física*

En determinados puestos la falta de actividad física puede afectar negativamente a la salud músculo-esquelética del trabajador (Bernard, 97). Ante este tipo de problemas, se recomiendan las siguientes estrategias preventivas (Commissaris et al., 07):

- Para jornadas de 8 horas, limitar el tiempo de permanencia continua de pie a 1 hora, y el tiempo de permanencia continua sentado a 2 horas, con un tiempo total en dicha posición no superior a las 4 horas (recomendación basada en la norma ISO 11226).
- En jornadas de 8 horas el trabajador debería tener un periodo de recuperación de al menos 7,5 minutos por la mañana, y al menos 10 minutos por la tarde, después de cada turno de trabajo de, cómo mucho, 1 hora y media. En este caso, se considera recuperación tanto el descanso total como el cambio a una tarea que permita la relajación del área del cuello-hombros.

Dado que las recomendaciones sobre la frecuencia y duración de los tiempos de recuperación está estrechamente ligada al tipo de tarea realiza en el puesto, ante la existencia de rotaciones entre puestos con características diversas, cabría la posibilidad de establecer la duración de la rotación y las pausas en base a los puestos más críticos. De esta manera los trabajadores que los ocupasen pueden recuperarse adecuadamente de la fatiga acumulada, aunque esto supusiera un tiempo de recuperación mayor que el, a priori, necesario para el resto de trabajadores asignados a puestos menos exigentes.

Respecto al número de rotaciones de la agenda de rotación, éste dependerá, lógicamente, de la duración de los intervalos de rotación definidos y de la duración de la jornada laboral. En relación a la determinación del número y duración de las rotaciones y pausas, puede resultar recomendable el empleo de la herramienta MORE (Diego-Mas et al., 09a; Diego-Mas et al., 09b), diseñada para el cálculo de las agendas en base a las especificaciones

recopiladas con la aplicación de la presente metodología. Esta aplicación informática permite al planificador generar agendas de rotación con diferente número y duración de rotaciones (intervalos de rotación), y con distintas duraciones y momentos de pausa, es decir, de periodos sin ocupación de puesto. De ésta forma el diseñador puede comparar los resultados obtenidos y decidir qué solución cumple mejor con los criterios de diseño.

5. Fase 4: Elección de los criterios de generación de las agendas de rotación

En esta fase se deberán seleccionar los criterios que se desea aplicar para la generación de las agendas de rotación. A partir de los problemas que motivaron la adopción del plan de rotaciones se deben determinar los posibles factores de riesgo causantes de dichos problemas, y en función de dichos factores de riesgo, se deberán definir los criterios de diseño encaminados a solucionar los problemas.

Así pues, si el problema que motivó la implantación del plan de rotaciones fue una elevada tasa de TME entre los trabajadores, los criterios de diseño que se establezcan deberán estar encaminados a la disminución de los factores de riesgo relacionados con los TME. A continuación se enumeran ejemplos de criterios de diseño en función de distintos factores de riesgo asociados con TME: la disminución de la repetitividad: en los miembros superiores (brazos, codo), en el cuello/hombros, en las manos/dedos, de torsión de tronco/espalda; la disminución de los levantamientos continuados de carga; la reducción del tiempo de exposición a posturas forzadas, etc.

6. Fase 5: Definición y valoración de indicadores

Una vez que el planificador ha establecido los criterios que desea considerar en la generación de la agenda de rotación en base a los factores de riesgo causantes de los problemas detectados, se deberán obtener indicadores cuantitativos, relacionados con cada criterio, que permitan determinar si una agenda de rotación cumple con dichos criterios en mayor o menor medida que otra. En la presente metodología a dichos valores cuantitativos se les denomina ítems.

Se define *ítem* como un *indicador cuantitativo que permite valorar la bondad de una asignación de un trabajador a un puesto en relación a un criterio de diseño*. Para cada criterio se podrán definir tantos ítems como el planificador considere necesario.

La bondad de una agenda de rotación dependerá, lógicamente, de la bondad de las asignaciones puesto-trabajador. En relación a los puestos, los ítems deberán medir la presencia de los factores de riesgo relacionados con el objeto del criterio de diseño. Respecto a los trabajadores, deberán cuantificar la sensibilidad de éstos ante dichos factores de riesgo.

Por ejemplo, supongamos que el criterio de diseño seleccionado es “la disminución de la repetitividad en las manos/dedos”, y que se ha decidido aplicar el método Job Strain Index (JSI) para medir la presencia de repetitividad en los puestos. Dado que el método JSI proporciona un único valor (Strain Index) como resultado de la evaluación, éste tipo de medición daría lugar a un único ítem para el criterio. Si en lugar del método JSI, se decidiera medir la repetitividad en las manos/dedos en función del número de movimientos por minuto de: flexión, extensión, pronación o supinación y desviación radial/cubital, dicho tipo de medición daría lugar a 4 ítems para el mismo criterio.

En principio, la valoración de los ítems para los trabajadores debería ser igual a 0, ya que en condiciones ideales del entorno de trabajo, todos los trabajadores deberían estar sanos y sin limitaciones para el desarrollo de su actividad laboral. Sin embargo, ante la existencia de trabajadores especialmente sensibles a ciertos riesgos dicho valor debería incrementarse. El

incremento a aplicar dependerá de la importancia que el planificador desee otorgar a dichas circunstancias especiales. De este modo las agendas con asignaciones que no consideren dichas limitaciones de los trabajadores serán pero valoradas (ver Fase 8).

7. Fases 6 y 7: Definición y valoración de capacidades, asignaciones vetadas y preferencias.

La capacidad de los trabajadores para ocupar un determinado puesto está condicionada por su estado de salud. Un trastorno músculo-esquelético leve, una disminución sensorial o una enfermedad física o mental de carácter temporal o permanente, pueden ocasionar que un determinado trabajador no deba ser asignado a puestos concretos donde se requieran capacidades que tiene afectadas o se realicen actividades que le resulten perjudiciales. Es el caso, por ejemplo, de trabajadores con diabetes, epilepsia, osteopatías leves o miopía. Esta consideración es especialmente importante debido a la tendencia creciente a integrar en las plantillas a trabajadores discapacitados fomentada desde gobiernos e instituciones. En esta fase se deberán definir el conjunto de capacidades físicas y psíquicas del trabajador que se desea considerar en el diseño de la agenda de rotación. Cada una de las capacidades que se definan dará lugar a un ítem que deberá ser valorado en relación a los trabajadores y los puestos. Se deberá indicar para cada trabajador si posee limitada dicha capacidad o no, y para cada puesto, si es necesario utilizar dicha capacidad en el puesto o no. Por otra parte, puede ocurrir que, por motivos de organización del trabajo, no sean deseables asignaciones de determinados trabajadores a ciertos puestos, o que se desee respetar, en la medida de lo posible, las preferencias de los trabajadores respecto a los puestos a ocupar.

A partir del cruce de la información recopilada se determinarán las asignaciones que deben ser vetadas con el objetivo de preservar la salud de los trabajadores, respetar sus preferencias y facilitar la organización del trabajo.

8. Fase 8: Obtención y evaluación de la agenda de rotación

La información recopilada en las fases descritas, correspondiente a los puestos, los trabajadores, la duración y número de las rotaciones y pausas, los criterios de diseño, los ítems o indicadores, las capacidades de los trabajadores, sus preferencias y las restricciones organizativas, deberán ser utilizada como *inputs* para el diseño de la agenda de rotación. Sin embargo, la obtención de dicha agenda de rotación no es una tarea sencilla, debido al elevado número de criterios y restricciones que es necesario considerar para la correcta asignación de los trabajadores a los diferentes puestos si se desea obtener un resultado ergonómicamente beneficioso y compatible con el entorno real de trabajo.

La ecuación (1) permite al planificador comparar cuantitativamente la bondad de diferentes alternativas de diseño con asignaciones factibles, es decir, que cumplen con las restricciones o vetos establecidos en la fase 7. Dado que los valores de los ítems del puesto son directamente proporcionales a la necesidad de realizar determinadas actividades en la tarea, y los del trabajador son inversamente proporcionales a la conveniencia de ser realizadas por dicho trabajador, la función evaluadora (1) proporcionará valores menores para las agendas que representen asignaciones más adecuadas en relación a los criterios de diseño establecidos. La función de evaluación considera, además, la duración de cada uno de los turnos (t_r), proporcionando valores más elevados cuanto mayor sea la duración del turno considerado. Además es posible otorgar mayor importancia a unos criterios de diseño que a otros mediante la variable C_j . En la ecuación (2) los valores iniciales de los ítems de los trabajadores obtenidos en la fase 5 varían para cada rotación r distinta de la inicial r_0 . La ecuación (3) permite calcular dicha variación, el valor original del ítem del trabajador w_j^x se incrementa en función de los ítems correspondientes de los puestos

ocupados en rotaciones precedentes, si estos superan un determinado valor umbral (**tre**), la duración de cada rotación y el tiempo transcurrido desde la finalización de cada rotación hasta el comienzo de la actual

$$E = \sum_{x=1}^{n_{wor}} \sum_{r=1}^{n_{rot}} \sum_{j=1}^{n_{it}} \left(C_j * w^x_j(r) * p_j(a^x(r)) * t_r \right)^u \quad (1)$$

donde:

n_{wor} es el número de trabajadores.

n_{rot} es el número de rotaciones.

n_{it} número de ítems.

C_j es el coeficiente de importancia relativa del ítem j respecto al resto de ítems

$w^x_j(r)$ es el valor del ítem j para el trabajador x en la rotación r .

$a^x(k)$ es el puesto asignado al trabajador x en la rotación k .

$p_j(a^x(k))$ es el valor del ítem j en el puesto asignado al trabajador x en la rotación k .

t_r es la duración de la rotación r .

u es el exponente de uniformidad que evita asignaciones descompensadas.

$$w^x_j(r) = w^x_j + \frac{1}{f_{red}} * \sum_{k=1}^{r-1} \frac{p_j(a^x(k)) * t_k}{d_k} \quad (2)$$

$p_j(a^x(k)) > tre$

donde:

$$d_k = \begin{cases} p_{k,r} + \sum_{g=k+1}^{r-1} t_g & ; k < r-1 \\ 1 & ; k = r-1 \end{cases} \quad (3)$$

d_k es el tiempo desde el fin de la rotación k y el comienzo de la actual rotación r , incluyendo pausas entre ellas $p_{k,r}$.

$w^x_j(r)$ es el valor del ítem j para el trabajador x en la rotación r .

w^x_j es el valor original del ítem j para el trabajador x .

$a^x(k)$ es el puesto asignado al trabajador x en la rotación k .

$p_j(a^x(k))$ es el valor del ítem j en el puesto asignado al trabajador x en la rotación k .

tre es el valor umbral (threshold) de los ítems de los puestos por debajo del cual se considera que no provocan fatiga.

t_k es la duración de la rotación k .

f_{red} es el factor de reducción o importancia del historial previo de rotaciones.

$p_{k,r}$ duración de las pausas entre la rotación k y la rotación r .

Generalmente, son numerosas las soluciones posibles a un problema. Un proceso manual de optimización de la agenda de rotación puede resultar muy costoso y dar lugar a soluciones bastante alejadas de la óptima. Por ello se recomienda el empleo del software M.O.R.E. (<http://www.ergonautas.upv.es/metodos/more/more.htm>), dicha herramienta explota la capacidad de los algoritmos genéticos para obtener soluciones sub-óptimas al problema en un tiempo reducido de cálculo. MORE ha sido desarrollada en el marco de la presente metodología con el objetivo de automatizar el proceso de generación y optimización de la agenda de rotación a partir de los *inputs* (Figura 3). En (Diego-Mas et al., 09b) se describen los fundamentos teóricos de la aplicación MORE y se valida su capacidad para resolver el problema planteado.



Figura 3: Herramienta MORE para la obtención de agendas de rotación.

Obtenida la agenda de rotación se deberá llevar a cabo su implantación en la organización. Tras la implantación será necesario realizar un seguimiento exhaustivo del efecto de la solución adoptada sobre la salud física y mental de los trabajadores. Un periodo suficientemente largo de observación de la evolución de salud de los trabajadores que rotan, permitirá evitar conclusiones precipitadas en base a resultados influidos por factores ajenos al propio plan de rotaciones.

10. Conclusiones

La aplicación de la metodología propuesta para la generación de agendas de rotación permite al planificador sistematizar el proceso de diseño, y le orienta sobre los aspectos a considerar en la aplicación de esta técnica. Sin embargo, es necesario tener presente que, en la actualidad, existe una importante discusión entre la comunidad científica sobre los beneficios y limitaciones de la rotación de puestos de trabajo como mecanismo de mejora de las condiciones ergonómicas de trabajo. Por tanto, tal y como subraya (Vézina, 04), aun cuando no parece posible generalizar los beneficios de la rotación, se hace necesario desarrollar herramientas como la metodología propuesta, que permitan recopilar la información necesaria para dirigir la toma de decisiones con respecto a la organización de las rotaciones. Más aún cuando la implantación de las rotaciones como mecanismo preventivo es una realidad creciente en numerosas organizaciones (Jorgensen et al., 05), y su aplicación es recomendada por instituciones ocupadas de preservar la seguridad y la salud de los trabajadores (Occupational Safety and Health Administration (OSHA), 09).

Por último, cabe señalar, que la metodología descrita está siendo aplicada en entornos reales de trabajo. Esto proporcionará el feedback necesario para aumentar su capacidad para generar agendas de rotación que consideren los múltiples condicionantes que pueden afectar a la bondad, desde el punto de vista ergonómico, de las soluciones obtenidas.

Referencias

- Aptel M., Cail, F., Gerling, A., y Louis, O., "Proposal of parameters to implement a workstation rotation system to protect against MSDs", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 38, pp: 900-909, 2008
- Bernard B., "Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiological evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity, and low back.", *Cincinnati, Ohio. National Institute for Occupational Safety and Health.*, 1997
- Carnahan B.J., Redfern, M.S., y Norman, B., "Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search", *Ergonomics*, 43, pp: 543-560, 2000
- Colombini, D., Occhipinti, E., y Grieco, A., "Risk Assessment and Management of Repetitive Movements and exertions of upper limbs.", *Edit.:Elsevier*, 2002
- Commissaris D.A.C.M., Douwes M., y Looze M. P., "Recommendations for sufficient physical activity at work.", Berlin, C. y Bligård, L.-O. (Eds.), 2007
- Davis K. y Jorgensen, M., "Ergonomics. Pros and cons of job rotation as a means of reducing injury costs.", *Journal of occupational and environmental hygiene*, 2, pp: D1-D3, 2005
- Dempsey P.G., Burdorf, A., y Webster, B.S., "The influence of personal variables on work-related low-back disorders and implications for future research", *Journal of occupational and environmental medicine*, 39, pp: 748-759, 1997
- Diego-Mas J.A. y Asensio-Cuesta, S., "MORE", documento electrónico disponible en: <http://www.ergonautas.upv.es/metodos/more/more.htm>
- Diego-Mas J.A., Asensio-Cuesta, S., Sanchez-Romero, M.A., y Artacho-Ramirez, M.A., "A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 39, pp: 23-33, 2009b
- Eriksson T. y Ortega, J., "The adoption of job rotation: Testing the theories", *Industrial & Labor Relations Review*, 59, pp: 653-666, 2006
- Eurofound, "Fourth European Working Conditions Survey. Impact of work on health", *European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions.*, 2005
- Frazer M.B., Norman, W., Wells, R.P., y Neumann, P.W., "The effects of job rotation on the risk of reporting low back pain", *Ergonomics*, 46, pp: 904-919, 2003
- Hagberg, M., Silvertin, B., Weels, R., Smith, M.J., Hendrick, H.W., Carayon, P., y Pérusse, M., "Work-related Musculoskeletal Disorders (WRMD): A reference book for prevention.", *Edit.:Taylor & Francis.*, 1995
- Haims M.C. y Carayon, P., "Work Organization Interventions", *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors*, 3, pp: 1441-1445, 2002
- Jorgensen M., Davis, K., Kotowski, S., Aedla, P., y Dunning, K., "Characteristics of job rotation in the Midwest US manufacturing sector", *Ergonomics*, 48, pp: 1721-1733, 2005
- Kuijjer P.P.F.M., van der Beek, A.J., van Dieen, J.H., Visser, B., y Frings-Dresen, M.H.W., "Effect of job rotation on need for recovery, musculoskeletal complaints, and sick leave due to musculoskeletal complaints: A prospective study among refuse collectors", *American Journal of Industrial Medicine*, 47, pp: 394-402, 2005
- Kuijjer P.P.F.M., Visser, B., y Kemper, H.C.G., "Job rotation as a factor in reducing physical workload at a refuse collecting department", *Ergonomics*, 42, pp: 1167-1178, 1999

MacLeod D. y Kennedy, E., "Job Rotation System", documento electrónico disponible en: <http://www.ini.wa.gov/wisha/ergoideas/DocumentsFiles/idea719.pdf>

Mathiassen S.E., "Diversity and variation in biomechanical exposure: What is it, and why would we like to know?", *Applied Ergonomics*, 37, pp: 419-427, 2006

Moore J.S. y Garg, A., "The Strain Index: A proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders.", *American Industrial Hygiene Association Journal*, 56, pp: 443-458, 1995

Occupational Safety and Health Administration (OSHA), "Printing Industry Ergonomics: Glossary.", documento electrónico disponible en: <http://www.osha.gov/dcsp/products/etools/printing/glossary.html#J>,

Putz-Anderson, V., "Cumulative Trauma Disorders: A Manual for Musculoskeletal Diseases of the Upper Limbs", *Edit.: Taylor & Francis, Inc, London*, 1988

Seçkiner S.U. y Kurt, M., "A simulated annealing approach to the solution of job rotation scheduling problems", *Applied Mathematics and Computation*, 188, pp: 31-45, 2007a

Seçkiner S.U. y Kurt, M., "Ant colony optimization for the job rotation scheduling problem", *Applied Mathematics and Computation*, In Press, Corrected Proof, pp: -, 2007b

Tharmmaphornphilas W. y Norman, B., "A quantitative method for determining proper job rotation intervals", *Annals of operations research*, 128, pp: 251-266, 2004

Tharmmaphornphilas W. y Norman, B.A., "A methodology to create robust job rotation schedules", *Annals of operations research*, 155, pp: 339-360, 2007

Thomas N., hessier-Cotte, C., y Christol, J., "Polyvalence et contrainte mentale. ", *XXIII journée nationales de médecine du travail*, France, pp: 314-316, 1994

Triggs D.D. y King, P.M., "Job rotation: an administrative strategy for hazard control", *Professional Safety*, 45, pp: 32-34, 2000

Vézina N., "Rotation implantation: what is at stake? What are the markers", *WorkShop Principles and Practices of Job Rotation (CRE-MSD, Centre of Research Expertise for the Prevention of Musculoskeletal Disorders)*, pp:1-22, 2004

Waters T.R., Putz-Anderson, V., Garg, A., y Fine, L.J., "Revised NIOSH equation for the design and evaluation of manual lifting tasks", *Ergonomics*, 7, pp: 749-776, 1993

Winkel J. y Westgaard, R.H., "Occupational and individual risk factors for shoulder/neck complains: Part II - The scientific basis (literature review) for the guide.", *Industrial ergonomics*, 10, pp: 85-104, 1992

Yaoyuenyong S. y Nanthavanij, S., "Hybrid procedure to determine optimal workforce without noise hazard exposure", *Computers & Industrial Engineering*, 51, pp: 743-764, 2006

Correspondencia (Para más información contacte con):

Sabina Asensio Cuesta
Departamento de Proyectos de Ingeniería
Universidad Politécnica de Valencia
Camino de Vera s/n, 40071, Valencia, Spain.
Phone: +34 963 877000 ext 85689
E-mail: sasensio@dpi.upv.es
URL: www.ergonautas.com