

Optimización del uso de los músculos en trabajos industriales mediante esquemas de rotación.
Trabajo De Grado Para Optar Al Título De Ingeniero Industrial



ANDRÉS CAMILO RODRÍGUEZ ESCALLÓN

Director

Lope Hugo Barrero Solano

Codirectores

Nicolás Rincón García

Jose Fernando Jiménez

Departamento de Ingeniería Industrial

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
INGENIERÍA INDUSTRIAL

Bogotá D.C. Octubre de 2012

Lope Hugo Barrero Solano <lopehugo@javeriana.edu.co>
Resent-From: <a.rodriguez@javeriana.edu.co>
To: Rosa Patricia Dorado Pondeula <pdorado@javeriana.edu.co>
Cc: Joseph Robert Voelkl Penaloza <jrvoelkl@javeriana.edu.co>, Andrés Camilo Rodríguez Escallón <a.rodriguez@javeriana.edu.co>
RE: entrega trabajo de tesis

October 22, 2012 12:28 PM



Perdon por la ausencia de tildes.

Apreciada Rosa Patricia,
Con la presente deseo dar el aval a la tesis del estudiante Andres Camilo Rodriguez.
El entregara la tesis que declaro conocer el dia de hoy lunes 22 de Octubre.
Muchas gracias,
Lope Barrero

De: Rosa Patricia Dorado Pondeula
Enviado el: lunes, 22 de octubre de 2012 12:15
Para: Lope Hugo Barrero Solano
CC: Joseph Robert Voelkl Penaloza
Asunto: RE: entrega trabajo de tesis

Lope:

Gracias por tu mensaje.

Claro, no hay problema esperamos tu confirmación vía correo electrónico de tu aval (sin carta) si el estudiante entrega hoy lunes 22 de octubre y si no, esperamos hasta el jueves 25 de octubre la entrega del Trabajo de Grado con cartas.

Agradezco tu atención.

Ing. Patricia Dorado Pondeulá
Coordinación Proyectos y Trabajos de Grado
Carrera de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Javeriana Bogotá D.C.
Correo electrónico: pdorado@javeriana.edu.co
Teléfono: 3208320 Extensión: 5363

De: Lope Hugo Barrero Solano
Enviado el: domingo, 21 de octubre de 2012 08:46 p.m.
Para: Rosa Patricia Dorado Pondeula
Asunto: RE: entrega trabajo de tesis

Rosa Patricia,

Una ayuda. Mañana voy a estar en un avión hasta el medio día y difícilmente creo que vaya a poder tener acceso a un scanner; esto sin tener en cuenta que estoy en este momento tratando de ayudar a completar desde la distancia todo lo relacionado con presupuesto e informe de gestión del Departamento.

Apreciaría tu ayuda siendo flexible para entregar de manera extemporánea de aquí al jueves.

En una nota más personal, aunque respeto los lineamientos y no quisiera que se mal interpretara mi mensaje dada mi condición simultanea de director de trabajo de grado y director de departamento, deseo expresarte que, es justamente en estos casos – según conversaciones previas - donde yo esperarí que un profesor se moviera de las reglas estrictas y tratara de trabajar con el usuario para encontrar una solución razonable y justa.

Saludos y gracias,

Lope

De: Rosa Patricia Dorado Pondeula
Enviado el: domingo, 21 de octubre de 2012 06:03 a.m.
Para: Lope Hugo Barrero Solano
Asunto: RE: entrega trabajo de tesis

Lope:

Buenos días y gracias por tu mensje.

El estudiante puede enviarte a través de correo electrónico la carta, tu la firmas, la escaneas, la conviertes en archivo y se la envías al estudiante.

Agradezco tu atención y éxitos en tu estancia.

Patricia Dorado Pondeulá
Coordinación Proyecto y Trabajo de Grado
Carrera de Ingeniería Industrial
Facultad de Ingeniería
Pontificia Universidad Javeriana - Bogotá D.C.
Correo electrónico: pdorado@javeriana.edu.co
Teléfono: 3208320 Extensión: 5363

From: Lope Hugo Barrero Solano
Sent: Saturday, October 20, 2012 8:29 PM
To: Rosa Patricia Dorado Pondeulá
Cc: Joseph Robert Voelkl Penalzoza; Andrés Camilo Rodríguez Escallón
Subject: entrega trabajo de tesis

Rosa Patricia,
Deseo preguntarte cómo debo hacer para poder autorizar la entrega de tesis del estudiante Andrés Camilo Rodríguez, considerando que estoy por fuera del país.
Estaré pendiente, gracias,
Lope

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

De manera complementaria, garantizo (garantizamos) en mi (nuestra) calidad de estudiante (s) y por ende autor (es) exclusivo (s), que la Tesis o Trabajo de Grado en cuestión, es producto de mi (nuestra) plena autoría, de mi (nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy (somos) el (los) único (s) titular (es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Pontificia Universidad Javeriana por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Pontificia Universidad Javeriana está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

NOTA: Información Confidencial:

Esta Tesis o Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de una investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. Si No

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

NOMBRE COMPLETO	No. del documento de identidad	FIRMA
Andrés Camilo Rodríguez Escallón	1015420435	

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO: Ingeniería Industrial

ANEXO 3
BIBLIOTECA ALFONSO BORRERO CABAL, S.J.
DESCRIPCIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO
FORMULARIO

TÍTULO COMPLETO DE LA TESIS O TRABAJO DE GRADO						
Optimización del uso de los músculos en trabajos industriales mediante esquemas de rotación.						
SUBTÍTULO, SI LO TIENE						
AUTOR O AUTORES						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
Rodríguez Escallón			Andrés Camilo			
DIRECTOR (ES) TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO						
Apellidos Completos			Nombres Completos			
Barrero Solano			Lope Hugo			
FACULTAD						
Ingeniería						
PROGRAMA ACADÉMICO						
Tipo de programa (seleccione con "x")						
Pregrado	Especialización	Maestría	Doctorado			
X						
Nombre del programa académico						
Ingeniería Industrial						
Nombres y apellidos del director del programa académico						
Carlos Muñoz Rodríguez						
TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:						
Ingeniero Industrial						
PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o tener una mención especial):						
Pendiente Mención de Honor en Aprobación						
CIUDAD		AÑO DE PRESENTACIÓN DE LA TESIS O DEL TRABAJO DE GRADO			NÚMERO DE PÁGINAS	
Bogotá		2012			89	
TIPO DE ILUSTRACIONES (seleccione con "x")						
Dibujos	Pinturas	Tablas, gráficos y diagramas	Planos	Mapas	Fotografías	Partituras
		X				
SOFTWARE REQUERIDO O ESPECIALIZADO PARA LA LECTURA DEL DOCUMENTO						
<p>Nota: En caso de que el software (programa especializado requerido) no se encuentre licenciado por la Universidad a través de la Biblioteca (previa consulta al estudiante), el texto de la Tesis o Trabajo de Grado quedará solamente en formato PDF.</p>						
Microsoft Office – Excel 2007® LPSolve®						

MATERIAL ACOMPAÑANTE					
TIPO	DURACIÓN (minutos)	CANTIDAD	FORMATO		
			CD	DVD	Otro ¿Cuál?
Vídeo					
Audio					
Multimedia					
Producción electrónica					
Otro ¿Cuál? Software	NA		X		.xism .mod
DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVE EN ESPAÑOL E INGLÉS					
Son los términos que definen los temas que identifican el contenido. <i>(En caso de duda para designar estos descriptores, se recomienda consultar con la Sección de Desarrollo de Colecciones de la Biblioteca Alfonso Borrero Cabal S.J en el correo biblioteca@javeriana.edu.co, donde se les orientará).</i>					
ESPAÑOL			INGLÉS		
Rotación de Tareas			Job Rotation		
Actividad Muscular			Muscle Activity		
Modelación Matemática			Mathematical Modeling		
Variabilidad			Variability		
Desórdenes musculo-esqueléticos			Musculoskeletal disorders		
RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS					
(Máximo 250 palabras - 1530 caracteres)					
<p>La rotación de demandas mecánicas en esquemas de trabajo es una de las intervenciones administrativas utilizadas en la industria para buscar reducir el riesgo de adquirir desórdenes musculo-esqueléticos (MSD). Esto es en atención a que dichas condiciones son las que más afectan a los trabajadores colombianos (Ministerio de la Protección Social 2007). En este trabajo se buscó proponer guías basadas en evidencia objetiva para administrar correctamente las cargas mecánicas de los trabajadores. Para ello, se realizó una revisión de literatura en búsqueda de evidencia de la efectividad de las rotaciones específicamente en relación a cargas mecánicas a la extremidad superior. La información encontrada fue consistente y en general cuando se tienen en cuenta las demandas específicas de cada trabajo es posible definir una intervención que rote efectivamente las demandas asociadas al esquema de trabajo. Con la evidencia recolectada, se propuso una herramienta matemática que permite optimizar el diseño de esquemas de trabajo a través de diferentes intervenciones de modo que tengan en cuenta la variabilidad de la actividad muscular para reducir el riesgo de adquirir MSD.</p> <p>Rotating mechanical demands on work schemes is one of the administrative interventions used in the industry to reduce the risk for musculoskeletal disorders (MSD). This is due to those conditions affect most Colombian workers (Ministry of Social Welfare 2007). This project sought to propose objective evidence-based guidelines to manage properly the mechanical loads of workers. Hence, we conducted a literature review for evidence of the effectiveness of specific rotations relative to mechanical loads to the upper extremity. The information found was consistent and overall, when the specific demands of each job are considered, an intervention can be defined that effectively rotates the demands associated with the</p>					

framework of a specific worker. With the evidence gathered, we proposed a mathematical tool which main aim is to optimize the design of schemes of work through different interventions so the variability of muscle activity is considered in order to reduce the risk for MSD.

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	1
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	6
3. OBJETIVOS.....	8
3.1 GENERAL	8
3.2 ESPECÍFICOS	8
4. MARCO TEÓRICO	9
4.1 DEMANDAS EN EL TRABAJO.....	9
4.2 DEMANDAS MECÁNICAS.....	10
4.2.1 Dimensiones de la exposición a Demandas Mecánicas	11
4.2.2 Variabilidad o Enriquecimiento de la Tarea.....	12
4.3 MEDICIÓN DE CARGA MECÁNICA.....	13
4.4 FATIGA EN EL TRABAJO	14
4.4.1 Generalidades de Fatiga.....	14
4.4.2 Fatiga Local o Muscular.....	15
4.4.3 Medición de la Fatiga Local o Muscular.....	15
4.5 EMG COMO TÉCNICA DE MEDICIÓN.....	16
4.5.1 EMG para medición de carga mecánica.....	16
4.5.2 EMG para medición de fatiga.....	17
4.5.3 Relación fatiga – carga mecánica	17
4.6 TRABAJOS QUE HAN ESTUDIADO EL EFECTO DE LA ROTACIÓN EN LA CARGA MECÁNICA	18
4.7 USO DE EMG COMO TÉCNICA DE MEDICIÓN DE CARGA FÍSICA EN ROTACIÓN DE TAREAS	19
5. MÉTODOS.....	21

5.1	REVISIÓN DE LITERATURA - CARGAS EN MÚSCULOS EN DIVERSAS TAREAS	21
5.2	CARACTERIZACIÓN DE TAREAS	25
5.2.1	Inventario de la actividad muscular en las tareas e intervenciones de los estudios	25
5.2.2	Clasificación de Tareas Evaluadas	26
5.2.3	Clasificación de la Rotación en la Carga Mecánica	26
5.2.4	Criterios Mejor Evidencia Revisión de Literatura.....	27
5.3	MODELO DE ROTACIÓN DE DEMANDAS MECÁNICAS	27
5.3.1	Modelos Documentados en la Literatura Científica	27
5.3.2	Formulación del Modelo	28
5.4	SOLUCIÓN DEL MODELO PARA UN TRABAJO DETERMINADO.....	28
5.4.1	Trabajo a Optimizar.....	28
5.4.2	Relajación de Variables en el Modelo Lineal	29
5.4.3	Modificación Solución Relajada	29
5.4.4	Heurística para mejorar la variabilidad del esquema de rotación encontrado.	29
5.4.5	Análisis de Sensibilidad Parámetros del modelo	31
6.	RESULTADOS	31
6.1	CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD MUSCULAR EN UNA TAREA	31
6.1.1	Descripción general de la literatura encontrada	31
6.1.2	Estudios que evalúan la Extremidad Superior	34
6.1.3	Inventario de actividades musculares en diferentes tareas	36
6.1.4	Trabajos en Video Terminales (VDT).....	38
6.1.5	Trabajos Industriales.....	42
6.1.6	Trabajos en Otras Tareas	45
6.1.7	Mejor Evidencia Encontrada sobre los efectos de la rotación de demandas mecánicas en la actividad muscular.....	48
6.1.8	Variabilidad de la exposición a demandas mecánicas	49
6.2	MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DISPONIBLES PARA LA DEFINICIÓN DE LA ROTACIÓN DE TAREAS.....	52
6.2.1	Descripción de los modelos matemáticos	53
6.3	DEFINICIÓN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MÚSCULOS EN TAREAS INDUSTRIALES.	58

6.3.1	Consideraciones Generales.....	58
6.3.2	Descripción del Modelo	59
6.3.3	Formulación del Modelo	60
6.4	SOLUCIÓN DEL MODELO PARA UN TRABAJO DETERMINADO.....	63
6.4.1	Programación Mixta y Resultados del modelo con LPSolve®	63
6.4.2	Relajación de Variables en el Modelo Lineal	64
6.4.3	Resultados Heurística.....	65
6.4.4	Análisis de Sensibilidad	67
7.	DISCUSIÓN	69
7.1	CARACTERIZACIÓN DE TAREAS	69
7.1.1	Intervenciones en Magnitud de Activación Muscular	70
7.1.2	Intervenciones en Frecuencia	71
7.2	MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA REDUCIR LA CARGA MECÁNICA	72
7.3	FORMULACIÓN MODELO DE OPTIMIZACIÓN	72
8.	RECOMENDACIONES.....	74
9.	CONCLUSIONES.....	75
	REFERENCIAS.....	76
	LISTA DE ANEXOS	- 1 -

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tabla 5-1 Grupos de Búsqueda Revisión de Literatura.....	22
Tabla 5-2 Resultados Búsquedas	22
Tabla 5-3 Resultados Filtro Títulos.....	23
Tabla 6-1 Partes del Cuerpo Evaluadas.....	33
Tabla 6-2 Clasificación por Tipo de Intervención y Tarea	35
Tabla 6-3 Resultados de Variabilidad por músculo Modelo001	66
Tabla 6-4 – Resultados de Variabilidad por músculo Modelo002	67
Tabla 6-5 - Comparación Resultados Modelos 001 y 002.....	68
Ilustración 5-1 Fases del proceso metodológico del Trabajo de Grado	21
Ilustración 5-2 Resultados Revisión	24
Ilustración 6-1 Estadísticas por Criterio - Evaluación de Calidad	32
Ilustración 6-2 Fatiga en EMG (Adaptado de Luttmann <i>et al.</i> (2010))	36
Ilustración 6-3 - Desarrollo en el tiempo de los modelos de rotación de tareas	52
Ilustración 6-4 - Evolución Función Objetivo Modelo001	65
Ilustración 6-5 - Evolución Función Objetivo Modelo002	67

RESUMEN

La rotación de demandas mecánicas en esquemas de trabajo es una de las intervenciones administrativas utilizadas en la industria para buscar reducir el riesgo de adquirir desórdenes musculoesqueléticos (MSD). Esto es en atención a que dichas condiciones son las que más afectan a los trabajadores colombianos (Ministerio de la Protección Social 2007). En este proyecto se buscó proponer guías basadas en evidencia objetiva para administrar correctamente las cargas mecánicas de los trabajadores. Para ello, se realizó una revisión de literatura en búsqueda de evidencia de la efectividad de las rotaciones específicamente en relación a cargas mecánicas a la extremidad superior. La información encontrada fue consistente y en general cuando se tiene en cuenta las demandas específicas de cada trabajo se puede definir una intervención que rote efectivamente las demandas asociadas al esquema de trabajo. Con la evidencia recolectada, se propuso una herramienta matemática que permite optimizar el diseño de esquemas de trabajo a través de diferentes intervenciones de modo que tengan en cuenta la variabilidad de la actividad muscular para reducir el riesgo de adquirir MSD.

INTRODUCCIÓN

La gestión de las empresas exige hoy que se tenga en cuenta el impacto del trabajo sobre el trabajador, dado que éste afecta directamente los resultados de la actividad, el valor agregado para los clientes y la rentabilidad de los procesos (Karwowski 2003). Por ejemplo, el estándar OHSAS 18000 regula los procesos operativos de las empresas y da pautas para analizar los riesgos a los que están expuestos los operarios para garantizar condiciones óptimas de salud y seguridad en el trabajo (Beltrán 2006). Más aún, la necesidad de evaluar las condiciones de trabajo de los operarios es importante si se tiene en cuenta los altos índices de lesiones que suceden en el mundo (Waters *et al.* 2011).

El estado colombiano es consciente de la necesidad de mejorar las condiciones ergonómicas que permitan un trabajo eficaz y mejoras en la calidad de vida de las personas. En el Plan Nacional de Desarrollo de Colombia 2010-2014, uno de los pilares fundamentales es el “crecimiento sostenible y la competitividad”, que básicamente enfoca los esfuerzos que se hacen en el mejoramiento de las condiciones de competitividad para las empresas colombianas. Dicho mejoramiento, se puede lograr con el diseño de procesos sostenibles en la sociedad, que en otras palabras son procesos que mejoran el bienestar de los trabajadores de la empresa en diferentes dimensiones.

A pesar de los intentos por implantar un crecimiento sostenible soportado en las empresas, se ha encontrado que en la industria colombiana aún existen altas cifras de reportes de enfermedades profesionales como el síndrome de túnel del carpo o el lumbago (Ministerio de la Protección Social 2007); lo que representa altos costos financieros y humanos para la misma.

La alta recurrencia de enfermedades del sistema musculo-esquelético debe ser investigada para encontrar óptimas intervenciones que permitan reducir dichos desórdenes musculo-esqueléticos (*Musculoskeletal Disorders*, MSD) relacionados con el trabajo. Una efectiva intervención permitirá mejorar las condiciones de trabajo y aumentar los niveles de productividad de las empresas.

Diversos métodos de ergonomía pueden ser aplicados para reducir los MSD; específicamente el análisis de la organización del trabajo en ergonomía presenta alternativas relativamente sencillas de implantar con un bajo costo asociado (Niebel 2009), por tanto es una opción importante a considerar dadas las restricciones de presupuesto y tecnología en la mayoría de las empresas de la economía colombiana (Sánchez *et al.* 2007).

La rotación del trabajo es una de las alternativas más intuitivas. Esta posibilidad funcional bajo el supuesto de que la rotación correcta de tareas repercute positivamente en la carga total sobre el operario y por tanto se logra un menor riesgo de lesiones (Keir *et al.* 2011).

En este proyecto se desea estudiar la evidencia que existe sobre los verdaderos beneficios de la rotación de tareas en la reducción de lesiones musculo-esqueléticas o factores del trabajo asociadas a las mismas, y proponer herramientas para la definición racional de los mejores esquemas de rotación posibles dada situaciones industriales específicas dadas.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la industria existen diferentes trabajos que requieren del uso significativo de energía del ser humano. Trabajos en industrias como la agricultura, de la construcción, o la minera, son trabajos tradicionalmente conocidos como demandantes mecánicamente. Además, es posible encontrar altas demandas mecánicas en trabajos dentro del comercio al por menor y los servicios temporales, incluyendo trabajos en oficinas y en puntos de venta; en general, estas actividades y otras de naturaleza similar implican una alta exigencia manual, la cual se cree es responsable al menos en parte de los altos índices de enfermedades profesionales de tipo musculoesquelético en Colombia (Ministerio de la Protección Social 2007).

La ocurrencia de enfermedades e incomodidades en los trabajadores y posibles pérdidas en la productividad con motivo de demandas mecánicas en el trabajo ocurre cuando dichas demandas superan las capacidades de los trabajadores. Diversos factores personales de edad, sexo o genotipo afectan el desempeño de cada trabajador; por ejemplo, en el diseño de herramientas de agarre, existen estándares sobre la fuerza óptima de agarre para cada sexo, en los hombres es de 46 Kg-F mientras en las mujeres es de 27 Kg-F (Eastman-Kodak 2004). Si no se tienen en cuenta estos factores en el diseño de trabajo, se podrían afectar a las mujeres que estarían expuestas a unas exigencias físicas superiores a su capacidad. Por otro lado, las demandas que existen en cada puesto de trabajo están dadas por la forma como se ha diseñado el mismo, los métodos, el ambiente físico, las herramientas, los espacios, su organización, los patrones de trabajo descanso, etc. (Niebel 2009). La labor que tienen aquellos encargados de diseñar las tareas de un trabajo es lograr que las capacidades de quienes lo realizan no sean superadas o sub-utilizadas, con el riesgo que si no se logra dicho objetivo se pueda afectar el rendimiento del operario en el trabajo, e incluso generar MSD en el mismo (Mukhopadhyay *et al.* 2007).

Con frecuencia, sin embargo, la primera dificultad para el diseño correcto de las tareas es que existe desconocimiento sobre las demandas mecánicas que éstas pueden traer a los trabajadores. Esto puede ocurrir pues la labor de conocer las demandas en la diversidad de condiciones específicas de las tareas es compleja (Eastman-Kodak 2004). Así mismo, es posible que quienes diseñan tareas lo hagan pensando en el producto que pasará por una estación de trabajo, y no en el operario que desempeñará la labor (Niebel 2009). Como resultado de esta situación, frecuentemente se encuentran situaciones de manera empírica en los que existe interés en análisis de riesgos ergonómicos que caracterizan la demanda mecánica, únicamente después de que han habido lesiones laborales. La consecuencia potencial de dicha situación es que ocurran bajas en la productividad, dificultades al hacer las tareas y bajos niveles de satisfacción de los trabajadores.

La segunda dificultad ocurre cuando a pesar de que se conocen las demandas de un trabajo y se sabe que éstas pueden resultar en consecuencias indeseables para la operación y el trabajador, no se sabe cómo reducirlas de manera efectiva a niveles aceptables para las personas. A pesar de que

se encuentran diferentes alternativas para reducir la carga, no hay un método preferido por la industria, pues los beneficios aún no han sido demostrados robustamente para afirmar exactamente cómo se debe aplicar determinado método para reducir la demanda mecánica (Frazer *et al.* 2003).

Existen diversas formas de reducir demandas mecánicas. En general estas formas se pueden clasificar en 1) el rediseño de las estaciones de trabajo, 2) los controles administrativos que incluyen la revisión de la programación de la producción para cada operario y 3) el uso de elementos de protección personal (Tharmmaphornphilas & Norman 2007). De estas clases, una de las alternativas más utilizadas son los controles administrativos, pues mientras los demás afectan directamente el puesto de trabajo y la relación hombre/máquina que pueden requerir inversiones importantes que con frecuencia son difíciles de asumir por los empleadores, los controles administrativos tienen bajos costos de implantación.

Dentro de los controles de tipo administrativo existen métodos potencialmente útiles basados en la rotación de demandas. Dichas rotaciones buscan cambiar la actividad que el operario debe realizar para lograr, por ejemplo, rotar la carga local de ciertos grupos musculares en cada operario; además es un medio usado en la industria, pues tiene una facilidad de implantación relativa comparada con soluciones de ingeniería que requieren un proceso de diseño más extenso. La rotación de tareas presenta diversas alternativas para reducir la carga mecánica como el enriquecimiento de la labor ("*job enlargement*"), el uso de pausas activas, pausas pasivas, cambios en el ritmo de producción, programación de turnos, cambios en la organización general del desarrollo del trabajo, entre otros (Mathiassen & Winkel 1996); por lo que tiene posibilidades de aplicación en diversos sectores industriales; especialmente en pequeñas y medianas empresas donde los cambios tecnológicos tienen barreras más grandes que otros y los controles administrativos pueden tener mayor cabida (Sánchez *et al.* 2007).

Sin embargo, existe incertidumbre sobre la mejor forma de llevar a cabo la rotación de las demandas, de su verdadero efecto positivo y de la magnitud de tal efecto. La mayor parte de la literatura científica que existe en esta materia está dispersa y la evaluación de la literatura en su conjunto no ha sido estudiada. De esta manera, no existen guías claras que permitan a quienes diseñan los trabajos proponer esquemas de rotación que sean óptimos para la correcta distribución de las cargas mecánicas de los trabajadores.

Algunos de los estudios originales que se encuentran en la literatura buscan medir efectos de diversos esquemas de rotación fundamentados en índices como el Índice de Severidad en el Trabajo (*Job Strain Index*, JSI) que evalúa el potencial de lesión que tiene una persona dadas unas cargas, posiciones y repeticiones del trabajo en industrias como la manufactura (Carnahan *et al.* 2000; Tharmmaphornphilas & Norman 2007). Dicho índice tiene grandes ventajas dada su simplicidad relativa y eficacia en la medición del potencial de lesiones que existen para un trabajo; sin embargo, el JSI no permite determinar con claridad qué tanto afecta el desarrollo de una tarea a otra, es decir qué correlación existe entre el potencial de lesión entre un trabajo y otro (Carnahan *et al.* 2000). Por tanto, algunos autores recomiendan el uso de diferentes variables que permitan realizar una evaluación integral del JSI (Tharmmaphornphilas & Norman 2007), o bien recomiendan el uso de variables más robustas que capturen íntegramente la carga de los trabajos (Gazzoni 2010).

Otros estudios se fundamentan en los auto-reportes de agotamiento que reportan al realizar una tarea, de modo que el mismo operario es quien optimiza el uso de los músculos en la rotación de tareas (Stalhammar *et al.* 1992; Cabanac 2006). Pocos estudios, sin embargo, han medido el impacto de los esquemas de rotación basado en métodos más robustos de medición de la carga mecánica del trabajo como la electromiografía de superficie (EMG), que permiten analizar de manera directa la actividad muscular en diversos grupos musculares que pueden estar involucrados en las tareas (Möller *et al.* 2004).

En resumen, no es claro cuál es el beneficio de los diferentes métodos de rotación ni cuál es más apropiado para cada caso de la industria, pues son escasos los estudios que proponen guías basadas en evidencia sobre la manera más efectiva de hacer rotación de las tareas (Eksioglu 2006).

En este proyecto por tanto se busca proponer guías basadas en evidencia objetiva para administrar correctamente las cargas mecánicas de los trabajadores. Para ello, se realizó en primer lugar una búsqueda exhaustiva de evidencia de la efectividad de las rotaciones específicamente en relación a cargas mecánicas a la extremidad superior. Esto es en atención al hecho que dichas condiciones son las que más afectan a los trabajadores colombianos (Ministerio de la Protección Social 2007). En el proyecto se propone un modelo de optimización que permite hacer programaciones de rotación de tareas buscando optimizar la distribución de la actividad muscular asociada al desarrollo de tareas, para un sector industrial tipo caso, usando para esto información secundaria sobre las cargas musculares esperadas en ciertos tipos de tareas o valores esperados de cargas musculares en las mismas.

2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Las enfermedades musculo-esqueléticas de origen ocupacional son condiciones que afectan los músculos, tendones, nervios, huesos o ligamentos y que afectan a poblaciones de trabajadores (Kilbom 2000). Este tipo de enfermedades son el resultado de lesiones musculo-esqueléticas repetitivas de mayor o menor escala, que pueden conducir a la presencia de desórdenes musculo-esqueléticos, los cuales tienen consecuencias negativas sobre la salud del trabajador a largo plazo. La presencia de lesiones ocupacionales afecta la productividad del operario pues limitan las capacidades mecánicas para realizar el trabajo en el corto plazo, cuando son lesiones repentinas; y en el largo plazo cuando se presentan desórdenes que requieren de una atención médica especializada (Kumar 2001).

Las enfermedades musculo-esqueléticas son frecuentes entre trabajadores en diversas latitudes. Por ejemplo, en Estados Unidos, según un reporte presentado en el 2010 por Departamento del Trabajo, las lesiones musculo-esqueléticas no letales que provocaron ausencias por parte del trabajador fueron el 28% del total de lesiones reportadas. El Índice de Frecuencia (IF) de dichas lesiones fue de 33 casos por cada 10.000 trabajadores para el 2009. Específicamente el IF de lesiones como esguinces, desgarros o distensiones musculares causados por relacionados con posturas inadecuadas, altas cargas o alta repetición (que dentro de la clasificación de la NAICS* son considerados como MSD), tienen un IF de 48 casos cada 10.000 trabajadores por año, que es el mayor de todas las enfermedades ocupacionales que promedian 3,56 casos cada 10.000 trabajadores por año (Waters *et al.* 2011).

De acuerdo con reporte de la misma entidad en el 2010, la manufactura y los servicios de salud presentaron un IF de 39 y 32 casos cada 10.000 trabajadores en enfermedades profesionales de cualquier tipo respectivamente; que fueron los más altos de toda la industria (Labor-Statistics 2010). A la luz de la información disponible para Estados Unidos, es evidente la existencia de industrias específicas que tienen un elevado riesgo sobre sistemas musculo-esqueléticos. Estas condiciones representarían un costo elevado.

Colombia tampoco es una excepción a esta problemática. El Ministerio de la Protección Social reportó que en el año 2004 ocurrieron en Colombia 2497 casos de enfermedad ocupacional, de los cuales 1997 casos fueron de tipo musculo-esquelético (Ministerio de la Protección Social 2007). Es decir el 80% de los diagnósticos en enfermedades profesionales fueron relacionados con el sistema musculo-esquelético. Esto es necesario verlo a la luz de los resultados de los años anteriores, que indican que el 65% y 80% de los casos relacionados con este sistema en el 2001 y 2003 respectivamente. Más aún, este resultado es importante considerando que la población formal sobre la que se ejecutan estos estimados es solamente del 24.4 % de la población económicamente activa del país.

* Sistema de Clasificación por Industrias de Norte América (NAICS –Por sus siglas en inglés).

Entre todos los casos reportados, las enfermedades de tipo musculo-esquelético más frecuentes en el año 2005 fueron el síndrome de túnel del carpo con 808 casos reportados (32%) y lumbago con 371 casos reportados (15%). Dentro de los sectores más afectados por enfermedades musculo-esqueléticas se encuentran la floricultura, que es la industria que presenta más casos de síndrome de túnel del carpo año a año (Ministerio de la Protección Social 2007) y el comercio al por menor, afectado por lumbago y síndrome de túnel del carpo. Es importante prestar atención a dichos índices, dado que estos incidentes ocupacionales tienen altos costos asociados. En un estudio realizado por una ARP en 1997, se estimó que el costo promedio de una enfermedad profesional fue de \$ 2.612.091, de los cuales el 83% corresponden a prestaciones económicas (Ministerio de la Protección Social 2007).

Este proyecto se ocupa de proponer un modelo matemático que permita el diseño de esquemas de rotación de tareas industriales buscando reducir las consecuencias sobre los trabajadores como los MSD a largo plazo, fatigas musculares a corto plazo; y de esta manera también buscando que se aumente la productividad en la operación del trabajo.

3. OBJETIVOS

3.1 GENERAL

Proponer una herramienta para el diseño de esquemas de rotación que optimice la carga muscular de la extremidad superior en un trabajo dadas las tareas que lo componen y sus cargas musculares asociadas.

3.2 ESPECÍFICOS

1. Caracterizar la actividad mecánica de diversos músculos de la extremidad superior en una tarea de un caso de estudio basado en información secundaria reportada en la literatura científica.
2. Describir los diferentes modelos de rotación de tareas y programación de la fuerza laboral para reducir la fatiga muscular documentada en la literatura científica.
3. Proponer una herramienta matemática que permita proponer esquemas de rotación de tareas industriales óptimos de acuerdo al uso muscular de las extremidades superiores.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 DEMANDAS EN EL TRABAJO

En todo trabajo existen demandas que caracterizan la exigencia sobre el operario. De acuerdo a las herramientas, el equipo, el lugar y el ambiente de trabajo de cada situación, se tienen diferentes demandas que afectan el desempeño de quien debe realizar la tarea (Niebel 2009).

Se han definido diversas clasificaciones de las demandas en el trabajo, por ejemplo, en la NTC 45 se identifican 8 demandas que tienen una probabilidad asociada de producir un daño; estas demandas son físicas, biológicas, químicas, locativas, psicolaborales, mecánicas, eléctricas y por carga física.

Las demandas definidas en la NTC 45 están clasificadas según las condiciones de trabajo que afectan. En primer lugar, se clasifican las condiciones de higiene industrial, en las que se incluyen demandas físicas, químicas y biológicas, que entre otros son las condiciones de ruido, calor, vibraciones, exposiciones a químicos o bacterias en el entorno de trabajo. En segundo lugar, se consideran las condiciones psicolaborales, que abarcan relaciones interpersonales, organización del tiempo de trabajo, gestión del mismo, entre otros. En siguiente lugar, están las condiciones de seguridad; desde esta perspectiva se incluyen los riesgos físicos, eléctricos, locativos y químicos. Por último, dentro de la clasificación bajo condiciones de trabajo, se encuentran las condiciones ergonómicas, que son las exigencias del trabajo en cuanto a los esfuerzos, movimientos y posturas del operario para realizar el trabajo (ICONTEC 2009).

Otras clasificaciones que se enfocan en los factores ergonómicos generales del trabajo incluyen esencialmente las mismas demandas definidas en la GTC 45, pero clasificadas en tres tipos generales de demandas: mecánicas, físicas ambientales y psicosociales (Eastman-Kodak 2004). Las demandas físicas ambientales incluyen factores como el ruido, la iluminación, la temperatura y vibraciones (Sanders 1993; Farrer *V et al.* 1994).

Las demandas psicosociales se refieren a las exigencias del ritmo de trabajo, el clima laboral, los turnos, y en general a las interacciones del individuo con todos los sistemas que están en el entorno laboral (Sanders 1993). Dentro de estas demandas se pueden encontrar dos categorías principales, en primer lugar las demandas psicológicas que están relacionadas con la interacción normal con el entorno y las características específicas de cada operario (por ejemplo, su edad, sexo, madurez, etc.); por otro lado, están las demandas sociológicas, que tratan de las interacciones de grupo en el trabajo, incluye la cultura organizacional, el clima laboral, y todas las presiones que se generan por el trabajo de grupo (Cruz Gómez 2010).

Por último, las demandas mecánicas (llamadas condiciones ergonómicas en la GTC 45) se refieren a las capacidades del humano y las exigencias que existen de la operación en sí. En las demandas mecánicas se incluyen factores como aplicación de fuerzas excesiva, posturas sostenidas y repetitividad de movimientos (Farrer V *et al.* 1994).

Dichas demandas mecánicas tienen una elevada importancia en trabajos de carácter manual (“*blue collar*”) que exigen del operario un alto componente de energía humana, más específicamente sobre su sistema musculo-esquelético. Por tal razón son objeto de estudio de este trabajo.

4.2 DEMANDAS MECÁNICAS

Dentro del análisis de demandas mecánicas del trabajo se incluyen: 1) esfuerzo, 2) estática, asociada con posturas sostenidas del trabajo y 3) la repetitividad en el trabajo (Sanders 1993). Estas demandas se deben tener en cuenta los factores biomecánicos del operario, es decir las implicaciones que tienen sobre el cuerpo humano las fuerzas e interacciones que éste tiene con su entorno de trabajo; además deben tenerse en cuenta los factores fisiológicos del trabajo, es decir el uso de los músculos y la actividad cardiopulmonar asociada (Eastman-Kodak 2004).

El esfuerzo de un trabajo se refiere al requerimiento de fuerza que soporta el desarrollo de dicho trabajo. A la presencia de estas cargas se asocia el riesgo de lesiones musculo-esqueléticas por sobre-esfuerzo; por ejemplo, en un estudio realizado en actividades de limpieza, se analizan las cargas dinámicas sobre los hombros en la operación de limpieza de pisos, buscando la mejor herramienta que mejor prevenga los MSD generados por las cargas dinámicas en la tarea (Sogaard *et al.* 2001).

Por otro lado, las cargas estáticas están asociadas a las posturas prolongadas, lo que requiere una actividad isométrica del músculo, es decir, el trabajo requerido por el músculo para sostener la postura adoptada (Farrer V *et al.* 1994). Estas cargas posturales aunque pueden no ser tan importantes como las cargas dinámicas, también pueden generar mayor riesgos de enfermedades musculo-esqueléticas (Niebel 2009).

El tercer aspecto a tener en cuenta es la repetitividad de la tarea. Esto se analiza determinando el tiempo de ciclo de la tarea y el ritmo de producción requerido para luego determinar la frecuencia de la tarea. Aquí cabe resaltar la diferencia con monotonía en la tarea, que es la percepción mental de la repetitividad del trabajo (Kilbom 2000).

El análisis de la relación entre estos factores y los MSD es un problema complejo. Esto es porque la ocurrencia de estos desórdenes es por múltiples causas; y resulta difícil saber qué parte es atribuible a estos factores entre todos aquellos que pueden tener alguna relación con dichos desórdenes.

La evaluación de las condiciones mecánicas de un trabajo requiere que se estudie integralmente todos los factores mecánicos del mismo y su patrón de ocurrencia. A continuación, se presentan dos casos comunes en la industria en donde se puede apreciar dicho análisis:

1. El trabajo en video-terminales (VDT): Generalmente consiste en cargas estáticas para partes específicas del cuerpo como el hombro, la espalda o el cuello).El mismo trabajo por largo tiempo tiene carga repetitiva por movimientos de los dedos que se mantiene relativamente constante a lo largo de la jornada laboral. En la literatura se encuentran muchos estudios que miden la carga a la que está expuesto el músculo trapecio superior, el tiempo de exposición y el ángulo de trabajo de las extremidades superiores para cuantificar la demanda en un VDT. Lo anterior se debe a que la parte más afectada del trabajo en VDT es el hombro y la carga sobre otras partes es, generalmente, despreciable (Holtermann *et al.* 2008). Sin embargo, es difícil saber en qué proporción uno u otro factor pueden determinar las incomodidades o enfermedades asociadas al uso de VDT.
2. Trabajos manuales de carga y descarga: En este tipo de tareas el operario puede estar expuesto a cargas estáticas o dinámicas con torques variables en el trapecio superior, la espalda baja o en toda la espina dorsal a lo largo del turno de trabajo. Dichas cargas pueden ser tipo pico de fuerza en contraste a las de carácter repetitivo. Sin embargo, es posible que dichas cargas pico ocurran con algún grado de periodicidad, por lo que los análisis y la forma de medición deberían ser diferentes para cada caso. Algunos estudios tienen en cuenta muchas otras variables de acuerdo las condiciones específicas en cada caso, entre éstas generalmente se encuentran la velocidad de trabajo requerida, las alturas y posiciones necesarias para el trabajo, el grado de control o precisión requeridos, entre otros (Khalaf *et al.* 1999; Gold *et al.* 2006; Marras *et al.* 2009). Como en el caso anterior, saber qué tanta carga y con qué frecuencia debe ser aplicada para ocasionar daños musculo-esqueléticos no es sencillo.

4.2.1 Dimensiones de la exposición a Demandas Mecánicas

Para la medición de la exposición a demandas mecánicas se adaptan definiciones de Magnitud, Frecuencia y Duración (Winkel & Mathiassen 1994). Se considera que cualquier intervención que busque rotar la demanda mecánica de un trabajo tiene un componente específico en cada una de las dimensiones descritas:

1. Magnitud: Representa todos los cambios en la demanda mecánica del trabajo en general, en cuanto a fuerza y porcentaje de contracción máxima voluntaria a lo largo del tiempo.
2. Frecuencia: Representa los cambios en el ritmo de trabajo para una tarea específica con las mismas características, condiciones, posiciones de trabajo y la magnitud de la fuerza requerida por el operario.

3. Duración: Esta dimensión tiene en cuenta qué porción del trabajo se dedica a una tarea específica, los cambios que esta proporción tiene al intervenir la duración de una tarea, incluir pausas o realizar otras tareas.

Una intervención o grupo de intervenciones, puede alterar una o más dimensiones de la exposición, lo que puede generar diseños que tengan demandas mecánicas variables para el operario y que no constituyan un riesgo para el mismo. Esto, según se ha definido en la literatura constituye una variabilidad intrínseca en la tarea, en la que se tienen en cuenta todos los impactos que puede tener una intervención en cada una de las dimensiones. Por lo anterior, se utiliza para un análisis más general el concepto de “variabilidad” Mathiassen (2006).

4.2.2 Variabilidad o Enriquecimiento de la Tarea

La variabilidad o enriquecimiento de la tarea evalúa qué tan cambiante es la demanda mecánica asociada a una tarea. Ésta, se define a través de todos los cambios que se den en diferentes niveles de la activación muscular, incluso aquellos que permiten la rotación de unidades motoras dentro del mismo músculo a través de cualquiera de las intervenciones descritas y que además no representen mayores riesgos para el trabajador.

El reclutamiento diverso de unidades motoras en una actividad muscular, soporta la hipótesis de que el enriquecimiento de tareas puede minimizar el riesgo de lesiones; pues cuando se varía la demanda de una tarea, las unidades motoras pueden ser reclutadas en diferentes momentos, lo que permite que cada unidad motora tenga un espacio de descanso y no trabaje constantemente (Westad *et al.*)

Por ejemplo, una tarea de levantamiento y movimiento de cargas puede no ser variable pues pueden existir demandas estáticas por periodos considerables de tiempo. Una tarea variable puede tener cambios constantes de las demandas mecánicas en cuanto a magnitud, frecuencia y duración; los cambios frecuentes de las demandas permitirían que los músculos involucrados no sean siempre los mismos, de modo que se minimice el riesgo de lesiones (Mathiassen (2006).

Sin embargo, la variabilidad de un esquema de trabajo debe ser manejada con cuidado, pues existe también la posibilidad de que se aumente la ésta a costa de aumentar un factor de riesgo específico en las demandas mecánicas del esquema de trabajo (Möller *et al.* 2004). Mathiassen *et al.* (2003) estudian diferentes medidas de la variabilidad de la tarea en la que se representa el nivel específico de variabilidad para cada operario teniendo en cuenta la flexibilidad de la tarea y el impacto diferente que puede tener esta para cada operario.

4.3 MEDICIÓN DE CARGA MECÁNICA

La medición de cargas mecánicas se puede hacer desde dos enfoques, los métodos cualitativos que incluyen reportes sobre la percepción de la carga mecánica; y los métodos cuantitativos que utilizan instrumentos de medición en el escenario de trabajo para estimar las cargas mecánicas (Eastman-Kodak 2004).

Los métodos cualitativos, son utilizados en variedad de actividades dentro de varias industrias, el método más utilizado es el auto-reporte de cargas percibidas, que es generalmente sencillo de aplicar, con un bajo costo asociado. Este método sirve para estimar las relaciones que existen entre una demanda hipotética, y consecuencias visibles como lesiones musculares, o enfermedades profesionales a largo plazo para validar la demanda hipotética del trabajo evaluado (Wang *et al.* 2007).

Por otro lado, los métodos cuantitativos son usados principalmente en tareas de ensamble, trabajos en VDT o tareas con movimiento de materiales, pues tienen cargas muy específicas y variaciones muy pequeñas (Bosch *et al.* 2009), por lo que generalmente una evaluación cualitativa no es suficientemente robusta para analizar las tareas.

Estos métodos cuantitativos generalmente presentan mayores niveles de confiabilidad, pero tienen asociados el uso de instrumentos y recursos más costosos que aquellos en métodos cualitativos; por esta razón el uso de un tipo de método u otro se da de acuerdo a la situación de la industria y al nivel de precisión requerido en el estudio (Gazzoni 2010).

Dependiendo del factor que se quiera medir pueden existir diversos métodos o instrumentos para su medición. Cada uno de éstos, presentan ciertas características particulares que hacen que uno u otro sea la opción a utilizar para los fines particulares del estudio.

Por ejemplo, para medir la carga cardiovascular o costo metabólico de las tareas puede usarse 1) la medición de oxígeno consumido en una tarea o la medición de pulso cardíaco. La medición del consumo de oxígeno permite además estimar umbrales de fatiga relacionados con algún trabajo específico que se desarrolle; tiene gran utilidad cuando se enfoca el estudio hacia una evaluación del estado general de la persona y con EMG para estimar la demanda localizada de interés (Hammar-skjold & Harms-Ringdahl 1992). Por otro lado, también se utiliza el pulso cardíaco como medida general de desempeño del operario en una tarea, según la frecuencia se calculan unos rangos para evaluar si la persona está llegando al umbral de fatiga, y así estimar las cargas mecánicas de un trabajo (Hui *et al.* 2001). La carga metabólica es importante porque existe evidencia estadística de la correlación entre el movimiento de los miembros, la carga local y el consumo metabólico asociados (Kobryn *et al.* 1989).

Para medir las posiciones adoptadas en el trabajo (cargas estáticas), puede usarse grabación de videos, o también electro-goniómetros para una mayor precisión. En los últimos, se mide el rango de movimiento de un operario durante el desarrollo de un trabajo; se trabaja con la hipótesis de que entre una carga mecánica más alta, el rango de movimiento es menor al que existe en condiciones de descanso (Jones & Kumar 2006). Usualmente es usado en conjunto con EMG dado que ambos métodos tienen enfoques diferentes y por tanto permiten un análisis más profundo de

la carga mecánica. El mismo análisis se realiza con grabaciones de video, pero en éstos se realiza una estimación del ángulo de trabajo que tiene el operario en su turno laboral.

Entre los métodos que se utilizan para medir la carga local se encuentra la electromiografía (EMG) que a través del análisis de la señal eléctrica que tiene la activación de un músculo se logra estimar con una alta confiabilidad la demanda mecánica a la que está expuesto el músculo (Gazzoni 2010).

Un aspecto importante que debe ser tenido en cuenta en la medición de la demanda mecánica es la secuencia de tareas en la jornada, pues tienen impactos diferentes de acuerdo al momento en que se realicen: hay impactos diferentes sobre los músculos si se realiza una alta carga mecánica al inicio de la jornada que al final de la misma (Gold *et al.* 2006).

De los métodos descritos anteriormente, EMG es uno de los más usados recientemente en la literatura científica para la cuantificación de la carga estática, esfuerzos y movimientos repetitivos. Es un método que puede resultar dispendioso pero que proporciona estimaciones de carga objetivas (Fethke *et al.* 2007; Bosch *et al.* 2009; Gazzoni 2010). Esta será la variable modelo utilizada como base para los desarrollos que se propone hacer en este proyecto.

4.4 FATIGA EN EL TRABAJO

4.4.1 Generalidades de Fatiga

La presencia de fatiga del operario en determinado momento de la ejecución de las tareas es uno de los aspectos más evaluados, pues dicha fatiga altera en gran medida las capacidades del trabajador, y por tanto resulta importante revisar cuáles son los límites que tiene el humano para desarrollar una tarea. Además, se ha evaluado mucho la relación entre la presencia de fatiga y las implicaciones sobre la salud del operario (Suwazono *et al.* 2006; Estrada Muñoz 2011).

La fatiga es un estado de agotamiento o disminución del poder funcional causado por un gasto de energía acompañado de una sensación de malestar (Suwazono *et al.* 2006; Estrada Muñoz 2011). Dicho agotamiento se puede deber al uso de la energía en procesos cognitivos, físicos, biológicos o por condiciones ambientales. En este proyecto, se acomete la fatiga por presencia de trabajo físico.

La fatiga se divide en dos clasificaciones grandes, fatiga muscular o local, que se relaciona con actividades físicas que tienen un impacto local en determinados músculos; y la fatiga general o psíquica, en ésta se incluyen todas las consecuencias de altas demandas mentales o ambientales (Estrada Muñoz 2011).

4.4.2 Fatiga Local o Muscular

La fatiga local tiene causas muy variadas, pues la relación entre el hombre y su entorno es muy compleja. Las principales causas relacionadas con demandas mecánicas son: 1) realización de esfuerzos físicos superiores a las capacidades del trabajador, se relaciona con cargas estáticas y posturas inadecuadas; 2) sobrecarga metabólica, sucede en trabajos físicos continuos en determinado tiempo que hacen que el cuerpo en general se quede sin energía; 3) fatiga simple, consecuencia del trabajo cotidiano (Estrada Muñoz 2011).

El análisis de fatiga muscular es una cuestión muy amplia pues como se describió tiene diferentes causas que alteran el análisis de la misma. Por las características mismas de la fatiga, no hay un método de medición directa aceptado, por esto se han desarrollado indicadores de fatiga que permiten evidenciar la presencia de la misma (Cifrek *et al.* 2009).

La relación entre las características mecánicas de un trabajo la fatiga muscular ha sido muy estudiada, en la literatura se ha identificado a la demanda mecánica como una de las causas más importantes en el desarrollo de fatiga, pero además el desarrollo de la fatiga como un posible causante de MSD que afectan a largo plazo al operario (Mukhopadhyay *et al.* 2007).

4.4.3 Medición de la Fatiga Local o Muscular

Los indicadores de fatiga para cuantificar los efectos del agotamiento son, en primer lugar pruebas fisiológicas, como análisis de sangre, peso y actividad muscular (Sakurai *et al.* 2010); luego, pruebas funcionales que determinan la capacidad de hacer una tarea cuando se supone fatiga; y por último, pruebas industriales que miden los cambios en las cantidades producidas, los errores humanos y los accidentes en el trabajo (Estrada Muñoz 2011). A pesar de la variedad de métodos, existen estudios que se basan en un solo indicador al realizar los análisis, pues hay ventajas de uno u otro indicador de acuerdo al tipo de trabajo que se está evaluando (Bosch *et al.* 2007).

Dada la complejidad de la evaluación, muchos estudios evalúan la fatiga desde la percepción subjetiva del operario a través de cuestionarios que permitan analizar los causantes de la misma directamente desde la perspectiva del afectado, pues algunos autores dudan de la confiabilidad de los otros métodos (Suwazono *et al.* 2006). Además, los costos asociados en auto-reportes son menores a los de otros métodos; aquí, se mide directamente la percepción de molestia de la fatiga y no la fatiga en sí (Suwazono *et al.* 2006) pero no aún hay consenso de cuál es la mejor manera de medir la fatiga.

Por la falta de acuerdo, los métodos existentes para estimar la fatiga aún están siendo investigados; dentro de estos uno de los más utilizados es EMG, pues permite según algunos autores una evaluación robusta de lo que sucede con los músculos (Gazzoni 2010) y una mayor facilidad en la medición en tiempo real (Sogaard *et al.* 2001).

4.5 EMG COMO TÉCNICA DE MEDICIÓN

La electromiografía de superficie (EMG) ha constituido uno de los métodos más utilizados para cuantificar la actividad muscular. Con esta técnica se han evaluado diversas tareas como por ejemplo aquellas realizadas con VDT, líneas de producción, estaciones de cirugías, optimización de puestos de trabajo, entre muchos otros. Tiene un alcance muy grande dado que su medición no es invasiva y permite ser usada en gran diversidad de tareas (Gazzoni 2010).

El uso de EMG presenta algunas limitaciones al cuantificar variables que deben ser tenidas en cuenta para el uso de esta técnica. En primer lugar, los resultados de la medición dependen del procesamiento de la señal, pues para que los análisis sean válidos, la señal debe estar normalizada y tener estacionalidad, para lo cual existen diversos métodos de procesamiento sobre los cuales no hay absoluto acuerdo sobre cuál es el más apropiado (Duchene & Goubel 1993). En segundo lugar, los resultados pueden variar de acuerdo a la posición del electrodo en el cuerpo, por tanto pueden haber variaciones en el método que hacen que pierda su robustez. Otro problema conocido es la co-activación de los músculos. El sistema muscular es muy complejo, y para cada tarea tiene asociados unos músculos, pero en ocasiones cuando se realiza la medición, se encuentra que hay activación de un músculo antagonista al que se desea medir, por tanto pueden haber alteraciones importantes en la señal resultante (Marras *et al.* 2009).

A pesar de las diferentes problemáticas que presenta, con la EMG de superficie es posible tener cuantificaciones de la carga muscular. Además por su versatilidad, es posible usarlo en industrias como la agricultura, la construcción, la manufactura e incluso los servicios.

4.5.1 EMG para medición de carga mecánica

En cuantificación de carga mecánica es en donde EMG más se ha utilizado, pues a pesar de la diversidad de metodologías para procesar y normalizar la señal eléctrica, en varios estudios se mide el nivel máximo de contracción voluntaria (*Maximum Voluntary Contraction*, MVC) del operario y luego durante el desarrollo de la tarea se calcula la carga como un porcentaje del MVC. Este procedimiento tiene antecedentes con buenos resultados, por lo que cuenta con una buena aceptación como método confiable para estimación de cargas mecánicas (Vasseljen & Westgaard 1997; Holtermann *et al.* 2008).

Otro enfoque utilizado, es la estimación del torque realizado por el músculo en el desarrollo de la tarea; se utiliza una actividad como base de cálculo donde los requerimientos de fuerza y torque son conocidos. Con esta información se obtiene la relación fuerza/torque que permite calcular la fuerza o bien el torque a partir de la amplitud de la señal de EMG (Gazzoni 2010).

4.5.2 EMG para medición de fatiga

La fatiga entendida como la falta de energía presente en los músculos para realizar determinada actividad, puede ser estimada con el procesamiento apropiado de la señal EMG (Sakurai *et al.* 2010).

Para el procesamiento de la señal se han propuesto a lo largo de varios años de investigación diversas maneras de actuar. Según una revisión realizada en el 2009 sobre EMG, existen en términos generales 3 enfoques principales para el análisis de EMG como indicador de fatiga (Cifrek *et al.* 2009): 1) métodos basados en el tiempo, en los que se analiza la amplitud de la señal; 2) métodos sobre la frecuencia de la señal, en los que si aumenta la densidad en determinadas frecuencias se deduce que puede haber presencia de fatiga muscular localizada; y 3) métodos enfocados en el análisis de la forma y tendencia de la señal EMG. Cada método, según los autores de la revisión, tiene ciertas ventajas sobre qué tipo de ocupaciones se están analizando, por lo que concluyen que los métodos existentes tienen el potencial de cuantificar correctamente la fatiga asociada siempre y cuando se utilice el método apropiado.

De los métodos de procesamiento de EMG para medir la fatiga, un método utilizado por varios estudios, dada su confiabilidad y facilidad, es en el que se propone definir fatiga cuando se presente mayor frecuencia y cambios significativos en la amplitud de la señal EMG (Sakurai *et al.* 2010). De cualquier modo este método tiene conocidas limitaciones, pues si no se realiza el análisis apropiado puede confundirse un aumento en la carga con la presencia de fatiga. Además, dicha técnica ha sido ampliamente discutida por la falta de comparabilidad entre distintas tareas, pues, por ejemplo cuando existen bajas demandas durante un tiempo prolongado, el efecto de fatiga muscular sucede de una manera diferente y la misma técnica puede llevar a conclusiones erróneas (Bosch *et al.* 2009).

A pesar de las limitaciones de EMG, esta técnica sigue siendo utilizada por su amplia aplicabilidad a variedad de trabajos con posturas estáticas, altas repeticiones, y/o cargas en diferentes partes del cuerpo, que son actividades normales en un trabajo de planta de un operario en la industria (Gazzoni 2010).

4.5.3 Relación fatiga - carga mecánica

De acuerdo a diferentes investigaciones, hay evidencia de correlación entre las manifestaciones de fatiga y la carga mecánica asociada a la tarea, por lo que se puede predecir un futuro estado de fatiga en función de la carga mecánica de un trabajo Sakurai *et al.* (2010).

Esta correlación, según diversos estudios cambia de acuerdo a las características de la tarea, por ejemplo, en cargas estáticas hay un desarrollo uniforme de la fatiga (Gazzoni 2010), y en cargas dinámicas existe homogeneidad del proceso de acuerdo a la repetitividad del ciclo de trabajo, y a la estandarización de la tarea, por tanto no es adecuado presentar un análisis idéntico para todas las tareas (Bosch *et al.* 2009).

4.6 TRABAJOS QUE HAN ESTUDIADO EL EFECTO DE LA ROTACIÓN EN LA CARGA MECÁNICA

Existen diversos estudios que sustentan reducción de fatiga en el trabajo a través de diversas técnicas de rotación de tareas en el puesto de trabajo. Las técnicas más comunes son enriquecimiento de la tarea (“job enlargement”) que busca diversificar las demandas dentro de una misma tarea (Möller *et al.* 2004); el uso simple de cambio de tareas en la labor a determinadas horas (Tharmmaphornphilas & Norman 2007); las pausas pasivas en el trabajo que buscan promover recuperación y de esta manera reducir los riesgos de lesiones en el operario; y las pausas activas que consisten en realizar una pausa en una tarea altamente demandante, para realizar una con una demanda menor (Sakurai *et al.* 2010), éstas en contraste con las pausas pasivas, no constituyen un cese de actividades lo que tienen el potencial de aumentar la productividad (Wells *et al.* 2010).

La hipótesis que manejan gran cantidad de estudios sobre la rotación de trabajos es que el cambio que se genera en las demandas del trabajo, es el factor que hace que existan menores cargas mecánicas, y que por tanto sean mejores las condiciones de trabajo para quien lo desempeña.

En la rotación de trabajo, las cargas estáticas y la repetición de las cargas, son los factores que más se atacan. Según Mathiassen (2006), el concepto de “variación”, o cambio de exposición en el trabajo a lo largo del tiempo; y la “diversidad”, que representan los cambios de demandas dentro de la misma tarea, son los dos aspectos más importantes a tener en cuenta al realizar una rotación de tareas, pues en éstos se fundamentan las ventajas en la reducción de carga mecánica.

De todos modos, hay diversos acercamientos al tema, pues unos se enfocan más en índices históricos como el Índice de Severidad del Trabajo (JSI)(Carnahan *et al.* 2000), otros tienen un enfoque sobre la evaluación cualitativa de demandas utilizando por ejemplo los auto reportes sobre la percepción de los beneficios de la rotación de trabajo (Kuijjer *et al.* 2005), y algunos se enfocan en técnicas más robustas como EMG.

En un estudio de la Universidad de Auburn, se realizó una investigación de los métodos de programación que existen para reducir la posibilidad de lesiones en los operarios; se utilizó el Índice de Severidad en el Trabajo (JSI) para evaluar las condiciones y exigencias de determinado trabajo en el operario. En la industria, casi todos los trabajos tienen una carga variable a lo largo del turno, por lo que utilizando algoritmos metaheurísticos, se definieron los posibles esquemas de rotación que nivelan la carga para cada operario teniendo en cuenta dichas variaciones; dadas unas restricciones administrativas y legales, como un máximo de horas, o un límite de turnos por

semana, se propusieron una serie de reglas generales para el diseño de esquemas de rotación de tareas que minimizaran el riesgo de lesiones musculoesqueléticas (Carnahan *et al.* 2000).

En general, una preocupación común en muchos estudios es la verdadera relación que existe entre la reducción de MSD y la rotación de tareas, pues hay señales empíricas de dicha relación, pero aún no hay un acuerdo sobre dicha correlación. En muchos estudios se demuestran los beneficios de la rotación de tareas en la reducción de la carga mecánica, pero el siguiente paso es evaluar si dicha rotación tiene efectos positivos en los MSD; es decir, efectos positivos en el largo plazo.

En un estudio realizado en los Países Bajos se evaluaron los efectos la rotación del trabajo realizada un año antes con el fin de validar las bondades de la rotación de tareas a largo plazo. A pesar de la intención de los autores, las estadísticas del estudio mostraron que la rotación tuvo un efecto negativo haciendo que se duplicara la presencia de lesiones; pero según los autores, el estudio no es concluyente, pues en un año intervienen muchas variables que pueden ser causantes de dichos resultados, la alimentación y los factores psicológicos también afectan los resultados, y sobre estos aspectos no se tuvo control (Kuijer *et al.* 2005). Con el anterior ejemplo se evidencia la dificultad para medir los efectos a largo plazo y el desacuerdo que puede existir en cuanto a los beneficios de la rotación de tareas.

4.7 USO DE EMG COMO TÉCNICA DE MEDICIÓN DE CARGA FÍSICA EN ROTACIÓN DE TAREAS

La EMG se ha utilizado para medir los cambios que tienen los valores de carga mecánica como resultado de la rotación de tareas. Este método, como se mencionó anteriormente permite realizar una medición objetiva de la carga muscular, por lo que aplicado a la rotación en los trabajos permite un análisis importante teniendo en cuenta que la rotación de tareas sustenta sus beneficios únicamente en la experiencia.

En un estudio se analizó la tarea de levantamiento y agarre manual de cargas, buscando cuáles debían ser los mejores intervalos de descanso en la tarea definida para aminorar la carga mecánica de los operarios. La actividad muscular fue significativamente afectada para todas las intervenciones, pero dentro de los músculos evaluados, el *erector spinae* fue el que más se benefició en la rotación. Esto se debió, según explicaron los autores, a que en la tarea de levantamiento, gran parte del esfuerzo era hecho sólo por este músculo, lo que no sucedía con el agarre, estableciendo así una mejor distribución de la carga (Keir *et al.* 2011).

Otro estudio, evaluó los beneficios del enriquecimiento de la tarea en trabajos de ensamble. La EMG fue medida en el músculo *trapezio* y en la zona del antebrazo. Teniendo en cuenta el

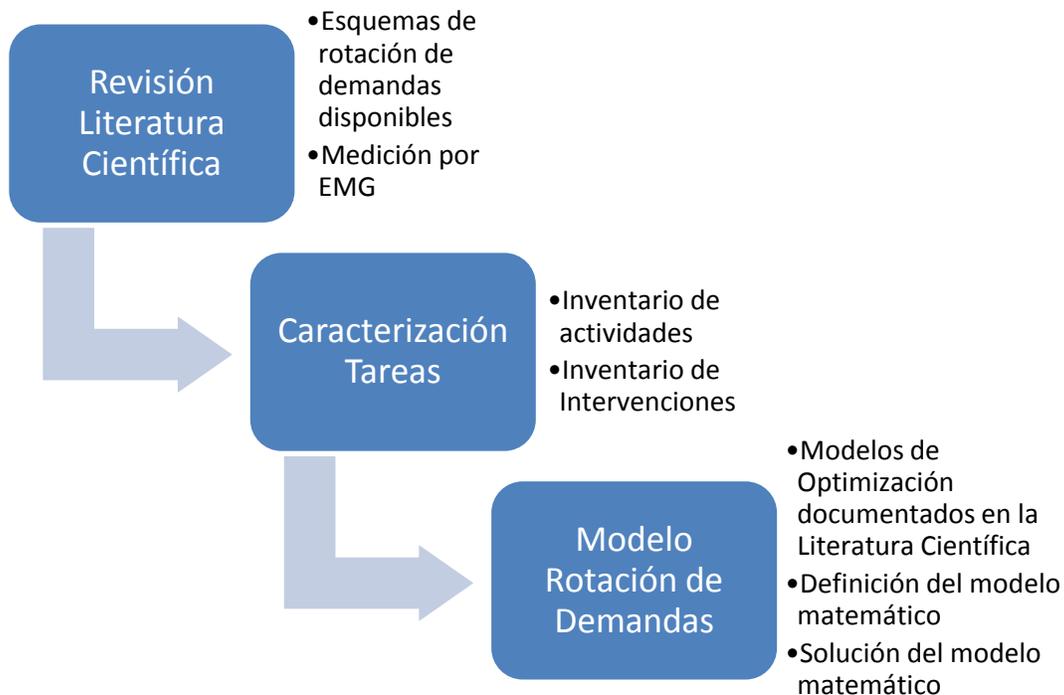
porcentaje de MVC, la duración y frecuencia de la tarea, se realizó un ANOVA que permitiera identificar cuáles eran los eventos que afectaban más significativamente el desempeño del trabajo de modo que se tomara la mejor decisión en el enriquecimiento de la tarea. Se encontró que los esquemas de rotación permitían una mayor variación en la actividad muscular del operario, que según los autores puede ser benéfico para la reducción de MSD (Möller *et al.* 2004).

Estos ejemplos ilustran el uso de la EMG como técnica para medir el impacto de cambios relacionados con la rotación en las tareas, y que el impacto de una rotación de tareas puede no ser el mismo para todos los grupos musculares involucrados; pues un cambio de tareas puede significar una rotación en la demanda mecánica sólo para algunos músculos y no cambiar la exposición para otros (Keir *et al.* 2011). Los estudios mencionados, sin embargo, no consideran el gran alcance que tiene la rotación de tareas, al no existir un modelo que represente matemáticamente el impacto sobre el operario, no es posible realizar un análisis detallado de cuál puede ser el mejor esquema de rotación entre todos los posibles (Tharmmaphornphilas & Norman 2007); por otro lado no consideran la correlación que existe entre las tareas a lo largo del día, por lo que pueden subestimar o sobrestimar las cargas reales a las que se expone el operario; por ejemplo un esquemas de rotación propuesto podría asignar una tarea altamente demandante al inicio de la jornada sin tener en cuenta qué impacto tendrá dicha actividad en el resto del turno, lo que le resta validez al modelo que busque reducir la fatiga en el trabajo (Carnahan *et al.* 2000).

5. MÉTODOS

El proyecto se desarrolló en 3 etapas que corresponden a cada uno de los objetivos del proyecto (Ilustración 5-1). En la primera fase se realizó una revisión completa de literatura que permitió encontrar toda la evidencia sobre medición de actividad muscular en la rotación de tareas; con esta información se realizó un análisis sobre las tareas, sus intervenciones y beneficios para el operario en términos de actividad muscular media con EMG y las molestias reportadas. Finalmente, se revisaron los modelos de optimización de la rotación de demandas documentados en la literatura para posteriormente definir y solucionar un modelo que considera la mejor evidencia recolectada para así obtener una herramienta útil para el diseño de esquemas de rotación de demandas en tareas industriales.

Ilustración 5-1 Fases del proceso metodológico del Trabajo de Grado



5.1 REVISIÓN DE LITERATURA - CARGAS EN MÚSCULOS EN DIVERSAS TAREAS

Para conocer qué tareas se han evaluado y cómo han utilizado la rotación de demandas para disminuir la fatiga en los operarios, se realizó una revisión sistemática de literatura que permitió

obtener un estado del arte sobre los estudios que han medido la actividad muscular, aquellos que han buscado una reducción de la fatiga en el operario a través de esquemas de rotación del trabajo. A continuación se definen las preguntas básicas de la revisión sistemática de literatura que se desarrolló:

1. ¿Qué sistemas de rotación existen para reducir carga mecánica?
2. ¿Cómo han medido la carga mecánica?

Para la ejecución de la revisión se propusieron cuatro grandes áreas de interés: Rotación de Tareas, Actividad Muscular, Demanda Ergonómica y Área de la Industria. Por tanto, para hacer la búsqueda se utilizaron diversos términos, sinónimos, abreviaciones y definiciones que se utilizan generalmente en las investigaciones relacionadas con cada área definida. La agrupación de los términos en los grupos definidos se presenta en el ANEXO A.

Esta agrupación de términos se trabajó en dos partes para determinar específicamente los temas que han tratado cada uno de los artículos y así organizar sistemáticamente cada una de las investigaciones que se han realizado. Además, se trabaja también con un grupo resultante de las coincidencias de las dos partes mencionados anteriormente. Los grupos definidos son Rotación de Tareas, Demanda Ergonómica y Área de la Industria (REA); Actividad Muscular, Demanda Ergonómica y Área de la Industria (AEA); y Rotación de Tareas, Actividad Muscular, Demanda Ergonómica y Área de la Industria (RAEA) (Tabla 5-1). Con grupos de búsqueda, se realizó una búsqueda por grupo en cada una de las 5 bases de datos relevantes en el tema de interés: OVID, EBSCOHost, PubMed, ISI – Web of Science y PsychNet. Los resultados se presentan en la Tabla 5-2.

Tabla 5-1 Grupos de Búsqueda Revisión de Literatura

Grupo	Definición	Términos
Rotación, Demanda Ergonómica y Área en la Industria (REA)	Artículos que buscaron cambio en la exposición a partir de la rotación de tareas en el trabajo	Rotation AND Ergonomic_Demand_of_interest AND Area NOT Others
Actividad Muscular, Demanda Ergonómica y Área en la Industria (AEA)	Artículos que realizan una medición de la actividad muscular en determinadas partes del cuerpo	Muscle_Activity AND Ergonomic_Demand_of_interest AND Area NOT Others
Rotación, Actividad Muscular, Demanda Ergonómica y Área en la Industria (RAEA)	Artículos que buscaron un cambio en la exposición a partir de la rotación del trabajo y que fueron documentados midiendo la actividad muscular	Rotation AND Muscle_Activity AND Ergonomic_Demand_of_interest AND Area NOT Others

Tabla 5-2 Resultados Búsquedas

B.D.	AEA	REA
EBSCO	810	2600
ISI	1165	3084
OVID	1229	4386
PsychNET	10	11

PubMed	698	871
TOTAL	3912	10952

Para filtrar los datos, se realizó una lectura de cada uno de los títulos que resultaron relevantes en la revisión de literatura. Las coincidencias que tienen los dos grupos definen un nuevo grupo de artículos:

Las agrupaciones de términos de “Rotation”, “Ergonomic Demand”, “Area” y “Muscle Activity” Forman el tercer grupo de términos que corresponden a aquellos artículos que buscaron un cambio en la exposición a partir de la rotación del trabajo y que fueron documentados midiendo la actividad muscular.

A continuación, con los resultados de la búsqueda reunidos, se realizó una lectura de cada uno de los títulos que resultaron en la búsqueda, esto con el fin de clasificar los artículos más importantes bajo este criterio de títulos. Los resultados se presentan en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3 Resultados Filtro Títulos

Resultados sin Duplicados luego de la revisión de títulos			
Criterio	AEA	REA	RAEA
Relevantes	1133	316	101
Más Información	455	211	23
No Relevante	1662	8776	110
Total	3250	9303	234

El siguiente paso en la revisión fue leer cada uno de los resúmenes que resultaron relevantes según el filtro de títulos, para así agrupar los artículos más relevantes al tema de investigación. En este paso es importante la lectura con un par académico que permita tener un mayor grado de objetividad. Con dicho par, se realizó un consenso de los resultados obtenidos, y se discutió sobre cada una de las diferencias que resultaron de la lectura de los resúmenes para luego consolidar los resultados. Para unificar correctamente los criterios de los pares académicos se definió un Protocolo de lectura de resúmenes con 3 criterios para incluir o no los artículos en la revisión. El protocolo se presenta en el ANEXO B.

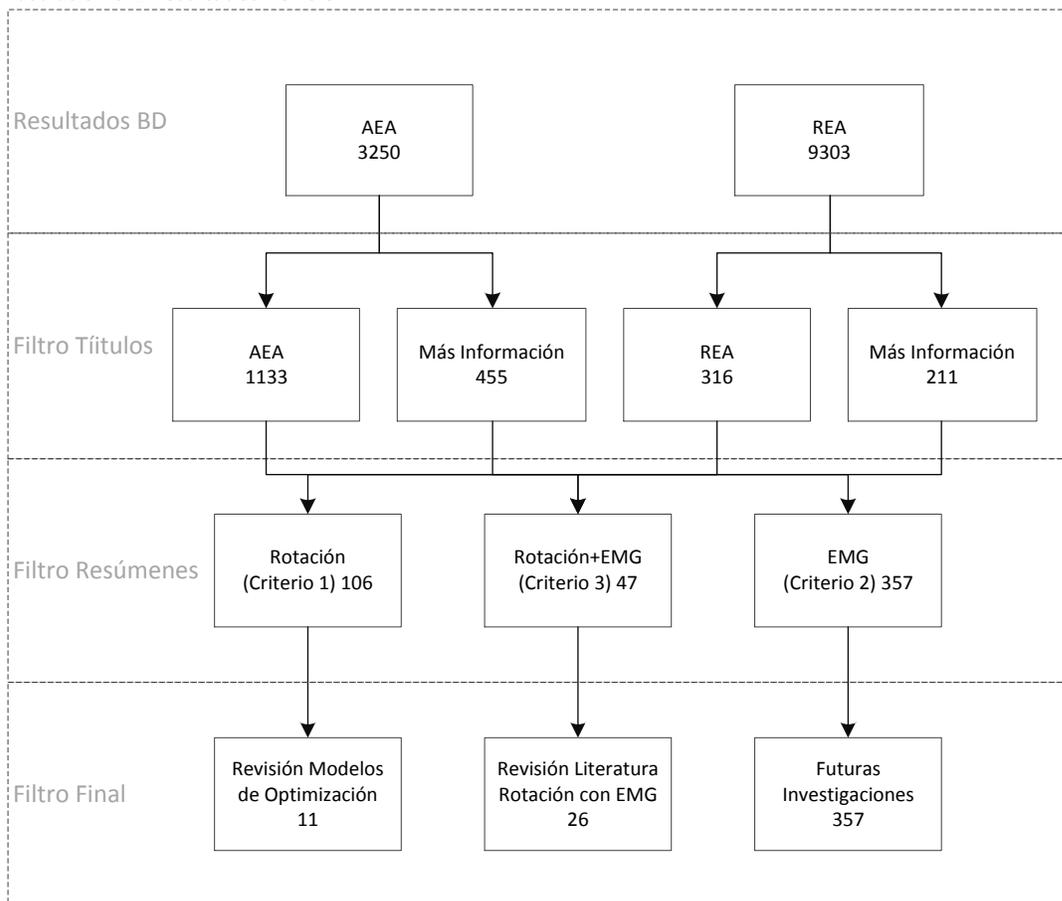
1. ¿El estudio compara esquemas de rotación en trabajos mecánicos?
2. ¿El estudio usa EMG para cuantificar carga mecánica en el trabajo?
3. ¿El estudio cuantifica los efectos de rotación en el trabajo con EMG?

Por último, se realizó una lectura completa de cada artículo aceptado en la fase de lectura de resúmenes según el criterio 3, pues es el que reúne las características que son de mayor interés de acuerdo a las preguntas iniciales de la revisión de literatura. Para este punto, también se definió

un protocolo de lectura para estandarizar la interpretación y extracción de datos de cada artículo por los diferentes colaboradores. Dicho protocolo se encuentra en el ANEXO C.

En la Ilustración 5-2 se el número de artículos resultantes en cada etapa de la revisión; de esta revisión se extrajeron dos resultados importantes que responden a las preguntas iniciales definidas al principio de este capítulo. En primer lugar la revisión de literatura sobre la cuantificación de los efectos de la rotación de tareas a través de EMG. En segundo lugar, se extrajeron todos los artículos que diseñaron modelos matemáticos para definir esquemas de rotación de tareas utilizando algún criterio ergonómico.

Ilustración 5-2 Resultados Revisión



A los artículos resultantes en la revisión de rotación con EMG se les realizó una evaluación de calidad en función de aquellas condiciones metodológicas que pueden alterar la validez de los resultados en los sistemas de rotación y la cuantificación de la carga mecánica. El protocolo de evaluación de calidad se presenta en el ANEXO D.

Un resultado adicional de la revisión es un grupo de 357 artículos que cuantifican la carga mecánica en trabajos manuales a través de EMG; debido al alcance del proyecto no se realizó ninguna actividad con este grupo, sin embargo consiste en una base de datos importante si se

desea investigar más a fondo la señal EMG como herramienta de medición de la actividad muscular.

5.2 CARACTERIZACIÓN DE TAREAS

Para la caracterización de tareas, se realizó una evaluación metodológica y crítica sobre todos los estudios resultantes de la revisión de literatura. De acuerdo al alcance definido en los objetivos del proyecto, se realiza una evaluación minuciosa únicamente para los estudios que evalúan tareas en la extremidad superior.

Se realiza de manera preliminar una tabla característica de los estudios, incluyendo las consideraciones metodológicas más importantes, el diseño del estudio, el tamaño de muestra, el tipo de tarea, el tipo de rotación, las variables de interés en cada estudio, la calidad y el tipo de evidencia que presenta (Adaptado de Slavin (1995)).

5.2.1 Inventario de la actividad muscular en las tareas e intervenciones de los estudios

Dentro de la caracterización en primer lugar se realizó una revisión de todos los trabajos evaluados y las intervenciones definidas en cada uno de los estudios de la revisión de literatura. Con esto, se reunió un inventario de intervenciones en el que se detallan las condiciones básicas de cada trabajo y los respectivos niveles de activación muscular.

Este inventario, fue extraído únicamente de la información reportada en cada uno de los artículos, a través de gráficos y tablas, por lo que en ocasiones no existen algunos datos de los niveles de activación muscular, y del impacto de las rotaciones en la activación muscular.

Para el análisis de la información reportada únicamente se toma en cuenta el percentil 50 (P50) de la distribución de probabilidad de la señal; pues representa el nivel de activación medio teniendo en cuenta los esfuerzos estáticos (medidos con el P10) y los esfuerzos más dinámicos (P90). Además es el percentil que más se encuentra definido en los estudios, lo cual permite una fácil comparación de los niveles de activación entre estudios.

Con este inventario, se obtuvo una herramienta fundamental para responder en primera instancia una de las preguntas básicas de la revisión de literatura “¿Qué sistemas de rotación existen para reducir carga mecánica?”.

5.2.2 Clasificación de Tareas Evaluadas

Para el análisis de los estudios incluidos en la revisión de literatura, se definieron 3 tipos generales de tareas. Que permiten una comparación más real entre los estudios. Las 3 grandes agrupaciones son:

- ✓ Tareas en Video Terminales (VDT): Todos los trabajos que se requieren la utilización de un video terminal en cualquiera de sus presentaciones, computadores de escritorio, portátiles, tabletas, tableros de control con interfaz gráfica, etc.
- ✓ Tareas Industriales: Se incluyen todas aquellas tareas que sean clasificables a una industria específica.
- ✓ Otras Tareas: Incluye todas aquellas tareas que consisten en ejercicios genéricos y básicos que podrían encontrarse en cualquier actividad económica.

Cada una de las agrupaciones tiene un diferente nivel de detalle; en primer lugar está VDT, en el que se requiere específicamente el uso de un computador para la realización de la labor. En tareas industriales solamente se especifica el ámbito en el que se desarrolla la tarea. Y en otras tareas se incluyen todas las tareas que se fundamentan en ejercicios básicos y que no están asociadas a ningún área en específico.

Para la clasificación de los estudios se priorizó la clasificación para grupos con mayor nivel de detalle; por ejemplo si una tarea incluye trabajo en VDT y algunos ejercicios básicos (otras tareas); éste se clasificará en VDT pues el nivel de detalle en VDT es mayor que el de Otras Tareas.

5.2.3 Clasificación de la Rotación en la Carga Mecánica

A continuación, se define un marco conceptual para la rotación de demandas mecánicas que permita la evaluación y discusión en términos comparables de las intervenciones evaluadas en cada uno de los estudios. Las diferentes intervenciones identificadas en los estudios fueron clasificadas en 4 grandes estrategias. A continuación se presenta un resumen de dichas estrategias:

1. Alternancia de Tareas: Intervenciones en donde se definen ciclos de trabajo entre dos o más tareas que pueden ser impuestos o dejados a libertad del operario.
2. Pausas en la tarea
 - a. Pasivas: Situaciones en donde el trabajador suspende por completo sus labores y se le permite un descanso en el que puede permanecer sentado, de pie o en libertad de usar su tiempo a voluntad.
 - b. Activas: Intervenciones en las que el trabajador suspende por completo sus labores y comienza a realizar una tarea que no necesariamente es de interés para

la empresa pero que exige un cambio de postura y de posición del cuerpo, específicamente de las partes involucradas en la tarea principal.

3. Cambio de ritmo de trabajo: Situaciones más comúnmente presentadas en líneas de ensamble donde se le exige al trabajador una velocidad de trabajo media generalmente en unidades producidas por minuto. El cambio consiste en la alteración de este ritmo de trabajo para alterar las demandas mecánicas y cognitivas del trabajo.
4. Cambio de Cargas en la misma tarea: Intervenciones en donde se modifican los requerimientos de fuerza para una tarea a lo largo del tiempo de modo que las demandas mecánicas cambien únicamente en magnitud y se permita eventualmente un cambio en el uso de las unidades motoras de cada músculo.

Dentro de los diversos estudios incluidos en esta revisión se encuentran intervenciones que incluyen una o más de las estrategias definidas anteriormente; esto debido a que es de interés de los investigadores encontrar relaciones y diseños más complejos que puedan representar mejores condiciones ergonómicas para el trabajador. Para analizar las relaciones y cambios específicos que cada combinación puede tener en una demanda mecánica, se utiliza un marco conceptual para la caracterización de la exposición mecánica del trabajo propuesta por Winkel and Mathiassen (1994). En dicho marco conceptual un factor de riesgo mecánico puede ser descrito en términos de tres dimensiones: Magnitud, Frecuencia y Duración (ver Sección 4.2.1).

Además, se analiza para evaluar el efecto general que tienen algunas intervenciones en cada una de las dimensiones de la exposición a demandas mecánicas, se utiliza el concepto de variabilidad (Mathiassen 2006) definido en la sección 4.2.2.

5.2.4 Criterios Mejor Evidencia Revisión de Literatura

Finalmente, para una extracción de la mejor evidencia encontrada en la revisión, se definen unos criterios descritos en el ANEXO D en los que se evaluaron los resultados generales de toda la revisión de literatura buscando siempre alinear la evidencia de acuerdo a su metodología y consistencia.

5.3 MODELO DE ROTACIÓN DE DEMANDAS MECÁNICAS

5.3.1 Modelos Documentados en la Literatura Científica

Para la documentación relacionada con los modelos matemáticos de rotación de demandas, se utilizó el resultado de la revisión de literatura en el que se evaluó qué modelos de rotación existían teniendo en cuenta algún criterio ergonómico.

5.3.2 Formulación del Modelo

La formulación definida es una programación mixta en la que existen restricciones lineales con variables enteras, reales y binarias. Dicha programación permite la utilización de LPSolve®, un software libre que permite la optimización por método Simplex y Branch and Bound para modelos como el descrito. Dicho software, aunque tiene un tiempo de computación algo mayor a otras soluciones como algoritmos meta-heurísticos; permite encontrar soluciones óptimas y una programación compacta de fácil comprensión para el tipo de modelo definido, por lo que constituye una opción robusta y confiable para resolver el modelo.

5.4 SOLUCIÓN DEL MODELO PARA UN TRABAJO DETERMINADO

5.4.1 Trabajo a Optimizar

Para probar el modelo propuesto, se definió utilizar las tareas propuestas en el estudio de Luttmann *et al.* (2010) de trabajos varios en computador. Este estudio fue seleccionado porque evaluó dentro de las mismas condiciones tareas intensivas de papeleo, uso del mouse, uso del teclado y actividades secundarias. El diseño del estudio es adecuado, pues en primer lugar es un estudio observacional con tareas reales; además, se realiza un ajuste de variables demográficas de la población y el análisis de la señal de EMG es coherente con el tipo de tarea, según se definió en la evaluación de calidad del artículo (ANEXO E). Además de lo anterior, se tiene disponibilidad completa de los resultados de media y desviación estándar de actividad en los músculos de interés para el presente trabajo.

Para las intervenciones incluidas en el modelo, se definieron únicamente pausas activas y pasivas; como en el estudio de Luttmann *et al.* (2010) no se evaluaron dichas intervenciones, se tomaron los valores más recurrentes de las pausas en los otros estudios de la misma categoría de tareas. Con información de los artículos de los autores Samani *et al.* (2009a) y Sundelin and Hagberg (1989), se establecen los niveles de activación muscular tenidos en cuenta para el modelo.

Se define evaluar dos condiciones que alteran en gran medida la estructura de los resultados; en primer lugar un Modelo001 en el que las duraciones mínimas definidas son bajas en comparación al tiempo total que se debe realizar una tarea; y otro Modelo002 en el que estas duraciones son múltiplos del tiempo que se debe realizar cada tarea; esto se busca con el fin de evaluar sobre las mismas tareas y condiciones, qué impacto tiene sobre la solución este cambio.

El detalle de las tareas incluidas con sus especificaciones de %MVC, desviación estándar y requerimientos administrativos de ambos modelos definidos se presenta en el ANEXO F.

5.4.2 Relajación de Variables en el Modelo Lineal

Para obtener un modelo que tenga un tiempo computacional que aquél del modelo completo, según se describe en los resultados, se decide buscar alternativas para incrementar la rapidez de la solución del modelo; para esto se decide relajar dos variables básicas del modelo.

En primer lugar, se elimina la variable binaria x_j^s y se convierte en una variable x_j^s continua; para interpretar los resultados de este cambio, se define que cualquier variable $x_j^s > 0.5$ se aproxima a 1 y a 0 en los otros casos. Por último, se elimina la restricción de no negatividad de la variable $Abs_dif_k^s$; este segundo cambio sigue calculando el valor absoluto necesario, pero no se garantiza que la variable no deje de tomar algunos valores negativos cuando pueda ser más conveniente en alguna iteración; por lo que la variabilidad estimada al final debe ser ajustada y recalculada.

5.4.3 Modificación Solución Relajada

La solución brindada por el modelo relajado debe ser evaluada y ajustada para que cumpla las restricciones que se eliminaron en su relajación. Para esto, se definió un algoritmo con el siguiente esquema:

Paso Inicial

Aproximar todas las variables $x_j^s > 0.5$ a 1; calcular $Abs_dif_k^s$ garantizando que en todos los casos se cumpla correctamente la definición de valor absoluto.

Iteración

Revisar que la solución con las variables aproximadas a 1 o 0 cumpla con las restricciones de mínimo de demanda y máximo de horas programadas en el día. Si no se cumple el mínimo de demanda programada: Buscar la tarea que tenga el mínimo de minutos programados que no cumple con la restricción y buscar una celda que no tenga tarea asignada o una que esté programada para la tarea con mayor excedente en minutos programados. Si se excede el máximo de trabajo diario, buscar una celda con la tarea que tiene el máximo excedente de minutos programados en la solución y asignar una tarea nula.

Regla de Detención

Detener cuando se cumplan las restricciones de mínimo de demanda programada y máximo de trabajo en el día.

5.4.4 Heurística para mejorar la variabilidad del esquema de rotación encontrado.

Para mejorar la solución brindada por LPSolve, se utiliza una heurística de búsqueda local que permita encontrar otros esquemas de trabajo con una variabilidad para cada músculo mayor. Esta heurística utiliza una serie de criterios para alterar una solución actual y así buscar mejores soluciones. Este tipo de heurísticas, son utilizadas para la solución de modelos que también buscaron mejores esquemas de rotación, como se verá en la sección 6.2.1. Además, como se busca mejorar una única solución se utiliza la búsqueda local que permite encontrar buenos resultados; que aunque sólo sean óptimos locales son suficientemente buenos para diseñar esquemas de trabajo que no minimicen en gran medida el riesgo de MSD para el operario.

Heurística Basada en una única solución

De acuerdo a Talbi (2009) para problemas de programación de tareas, es posible utilizar una heurística basada en una única solución. El mismo autor, define que para problemas combinatorios de optimización como el de este trabajo, se define que el vecindario se calcula utilizando un cambio en la posición dentro del vector solución, en este caso, estos cambios serán definidos como el intercambio que tiene una tarea y otra entre las celdas asignadas a cada una.

Operador de Cambio 2-Optimal

El operador de cambio seleccionado para mejorar la solución es el 2-opt; que consiste en la consideración de todos los cambios entre dos posiciones dentro de la solución actual. Definido así, el tamaño del vecindario se calcula con la fórmula $tam(\text{Vecindario}) = \frac{n*(n-1)}{2} - n$, donde n es la dimensión de la solución; para el Modelo001 con 116 celdas, es decir el problema tiene un tamaño de 6670 posibles soluciones en el vecindario de la solución actual. En el Modelo002 con 38 celdas tiene un vecindario de 703 posibles soluciones.

El esquema de la Heurística propuesta para mejorar la solución brindada es el siguiente:

Paso Inicial

Evaluar la factibilidad de la solución inicial, y buscar que sea una solución factible en caso de que no lo sea. Inicializar las variables en función del tiempo.

Iteración

Evaluar todos los posibles movimientos 2-opt entre celdas asignadas a diferentes trabajos para encontrar aquél que mejore en mayor medida la función objetivo. Realizar el cambio de la solución actual con el mejor movimiento encontrado.

Regla de Detención

Detener cuando se completen 10 iteraciones con un aumento menor al 1% en la función objetivo.

5.4.5 Análisis de Sensibilidad Parámetros del modelo

Para el análisis de sensibilidad se evalúa que efecto tiene sobre la estructura de la solución, el rendimiento de las metodologías de resolución descritas y la función objetivo el cambio de el parámetro de duración mínima de cada tarea; se escoge este parámetro pues en función de éste se puede definir cuántas veces se debe realizar la tarea, y qué tanto se puede alternar de actividad; lo cual es de gran interés para el presente proyecto.

6. RESULTADOS

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD MUSCULAR EN UNA TAREA

6.1.1 Descripción general de la literatura encontrada

De los 25 Artículos resultantes de la revisión de literatura, únicamente 5 resultaron ser de una calidad alta, 18 estudios fueron considerados de calidad media y 2 de calidad baja. Los resultados de la evaluación de calidad de cada artículo se presentan en el ANEXO E. Igualmente, el resumen de los principales hallazgos para cada estudio incluido en la revisión se encuentra en el ANEXO G.

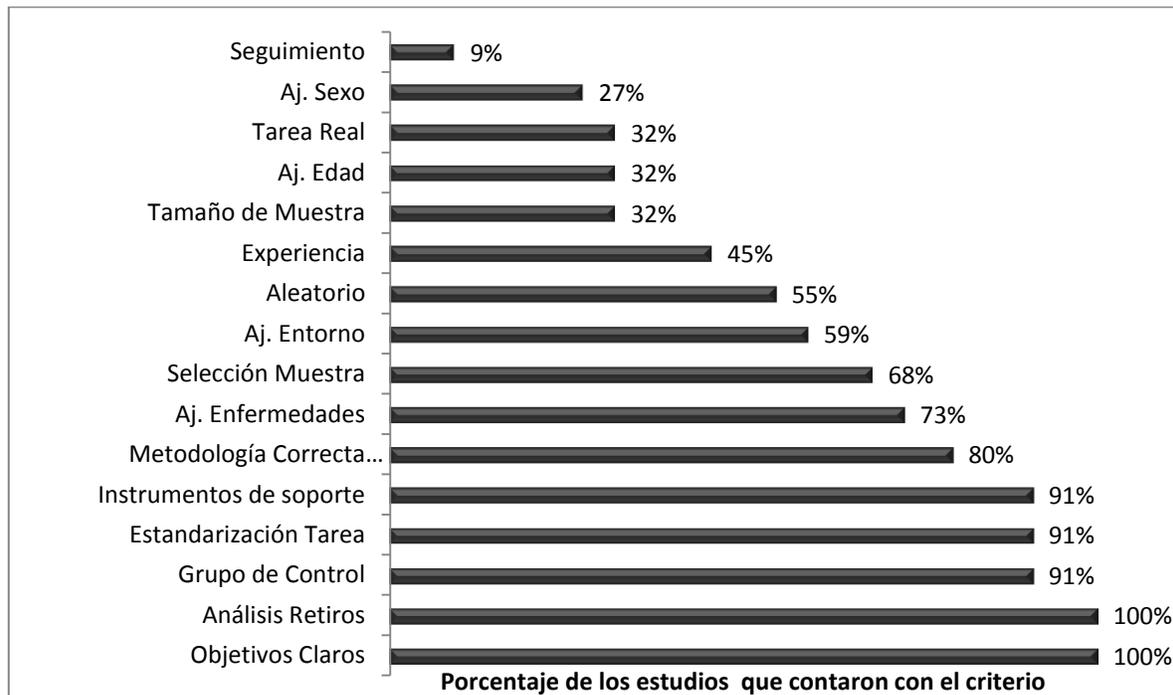
En general, los estudios presentan fortalezas en la utilización de instrumentos de soporte, entre los que se incluyen generalmente auto reportes y algunos inclinometrías para evaluar la posición de las extremidades de los sujetos. Igualmente, el análisis de aquellas personas que se retiraron del estudio se presentó en todos los estudios; aunque en este punto dado que la mayoría de los estudios no evaluaban tareas altamente demandantes, ni de una duración de más de 1 mes, no se esperaba que se presentaran retiros en los estudios. Se encontró una estandarización de las tareas en la mayoría de los estudios, lo que evidencia la importancia que tiene para los autores tener métodos claramente definidos que permitan eventualmente replicar y extrapolar los resultados esperados de sus estudios. En la Ilustración 6-1, se presenta un resumen de la calidad de los artículos según los ítems evaluados en el cuestionario.

Otros aspectos evaluados en la metodología de los estudios no fueron tan recurrentes como se esperaba. Únicamente el 30% de los estudios tuvo un tamaño de muestra mayor a 15 sujetos; teniendo en cuenta que los 15 sujetos se definieron con el percentil 75 de todos los tamaños de muestra de los estudios, es claro que la mayoría únicamente utilizaron pequeños grupos de estudio posiblemente por costos en la utilización de EMG en muestras grandes y por el costo de intervenciones en campo. Las tareas evaluadas en general fueron simuladas o experimentales,

pues sólo el 30% de los estudios contó con tareas reales en la industria. Dicho porcentaje es bajo teniendo en cuenta que las condiciones laborales, y las demandas específicas de cada industria alteran en diferentes medias el desarrollo de MSD a lo largo del tiempo (Feuerstein 2004). Por tanto, los estudios con simulaciones o tareas experimentales deben tener un mayor cuidado al momento de generalizar sus resultados pues se deben ajustar las condiciones específicas de cada industria.

El ítem más bajo entre todos los de la evaluación de calidad, fue el periodo de seguimiento mayor a 3 meses, sólo 2 estudios de los 26 incluidos (9%) contaron con dicho período de seguimiento; lo que evidencia que los estudios que evalúan las rotaciones del trabajo con EMG son intervenciones de pocos días que no tienen en cuenta el impacto de dichas intervenciones en el mediano plazo. Así, es difícil sustentar hipótesis sobre la relación que tiene la rotación de tareas con el desarrollo de MSD en el mediano y largo plazo.

Ilustración 6-1 Estadísticas por Criterio - Evaluación de Calidad



Partes del Cuerpo analizadas

Las partes evaluadas del cuerpo varían a lo largo de los estudios. Algunos evaluaron varios grupos musculares según el tipo de tarea evaluada pues según cada autor el impacto sobre los músculos puede ser diferente de acuerdo al rol que un músculo puede cumplir en determinada tarea.

En la Tabla 6-1 Partes del Cuerpo Evaluadas, se encuentran descritas las partes del cuerpo analizadas y la frecuencia de cada una de ellas dentro de la revisión. La parte del cuerpo más analizada en los estudios encontrados fue el trapecio superior; se cree que esto se debe a que en

general es el músculo que más se trabaja en gran diversidad de tareas, desde trabajos en computador hasta labores de ensamble de componentes en una línea industrial.

Dentro de los estudios que evalúan las demandas mecánicas en las extremidades superiores tienen en cuenta una o varias partes de estas partes corporales. De los 24 estudios encontrados, 15 evalúan la actividad muscular en el Trapecio, 9 en músculos del antebrazo y 6 en el deltoides. Además otros evaluaron bíceps y tríceps, y uno específicamente el elevador de la escápula. En cuanto al diseño de los estudios, se encontraron 5 estudios observacionales y 25 experimentales; de los cuales 12 fueron diseños experimentales en campo y otros 13 fueron experimentos en laboratorio. En el ANEXO H se presenta la tabla característica de los estudios que evaluaron la extremidad superior.

Tabla 6-1 Partes del Cuerpo Evaluadas

Partes de Interés Analizadas	No. Estudios	Porcentaje de los estudios	Extremidad Superior
Trapecio	15	63%	Si
Antebrazo	9	24%	Si
Deltoides	6	16%	Si
Espalda Baja	6	16%	No
Abdominales	3	8%	No
Bíceps	1	3%	Si
Elevador de la Escápula	1	3%	Si
Tríceps	1	3%	Si

Estudios en partes diferentes al Tronco Superior

De los estudios anteriores, 3 consistían en estudios que analizaron la actividad muscular en partes diferentes al tronco superior. Ninguno de éstos fue clasificado con alta calidad, 2 fueron de calidad media y 1 de baja calidad.

En los estudios de calidad media, se encuentra en primer lugar, un experimento de Movahed *et al.* (2011). Los autores buscaron comparar la actividad muscular de la espalda baja durante contracciones estáticas entre pausas activas, pasivas y cambios en la demanda de cada tarea; en sus resultados se reportó una evidencia débil de los beneficios de las diferentes pausas y la percepción de fatiga en el operario pues para algunas condiciones no fue significativo el cambio en porcentaje de amplitud de la señal EMG; sin embargo, para el análisis en frecuencia se encontró que existe una relación significativa con los reportes de fatiga en todas las condiciones, lo cual según los autores significa que una tarea desarrollada con bajo nivel de esfuerzo (menor al 10%MVC) y con pausas cortas, es menos fatigante para el operario que una tarea con mayores esfuerzos (igual o superior a 40%MVC) y con pausas más largas. Metodológicamente, el estudio es considerado de calidad media debido a que no se hizo un análisis profundo de las condiciones de

los sujetos de la muestra; los criterios de inclusión no fueron descritos, únicamente se indica que se trabaja con voluntarios para el experimento; el desconocimiento del historial de enfermedades, la edad o el sexo de los participantes, hace que sea difícil saber a qué población esta muestra representa.

En el estudio de Shin and Kim (2007) se buscó identificar la relación entre la fatiga acumulada en los músculos del tronco y el tiempo de recuperación de los mismos durante una tarea de levantamiento de cargas simulada en un laboratorio; los resultados muestran significativamente que cuando aumenta el tiempo permitido para recuperación, la fatiga mostrada por la señal EMG disminuye; la frecuencia media del músculo *erector spinae* se recuperó al 90% aproximadamente a los 5 minutos de descanso después de un trabajo al 25% de la MVC. Los autores afirman que los ciclos de descanso y trabajo estudiados pueden ser útiles para el diseño ergonómico de tareas en estudios futuros; es importante tener en cuenta que en el estudio se buscó trabajar con sujetos sin historia de MSD pero no se especifica el sexo de las personas ni la experiencia en la tarea. Además, en la realización del experimento no se tienen en cuenta condiciones del entorno de trabajo que permitan simular más fielmente el ambiente real; con lo anterior es recomendable revisar claramente qué población se está evaluando para extrapolar los resultados de este estudio.

En otro estudio experimental (Howarth *et al.* 2009), se examinó si la carga sobre la espalda baja en tareas de levantamiento se ve afectada por largas pausas pasivas. Los resultados del estudio no presentaron una evidencia significativa sobre los efectos que puedan tener este tipo de intervención para la tarea mencionada; pues no se encontraron cambios en la frecuencia de levantamiento, los picos en magnitud de activación muscular, o cambios en las posturas que evidenciaran algún efecto positivo después de la pausa. Estos resultados pueden deberse a que para la tarea evaluada, la pausa pasiva no constituye alteración alguna para los músculos involucrados pues las unidades motoras pueden haber quedado afectadas por la repetitividad de la tarea, lo cual reduce el efecto de una pausa pasiva. Además, el estudio fue calificado con calidad baja pues no son claros los criterios de inclusión de los participantes del estudio, y el análisis de la señal EMG no fue adecuada para el tipo de tarea evaluada, pues el estudio se centró en evaluar los cambios en las magnitudes medias, y no en la frecuencia de activación, medida que para tareas de levantamiento es mucho más representativa.

6.1.2 Estudios que evalúan la Extremidad Superior

De los 25 estudios resultantes de la revisión, 22 estudian la actividad muscular en alguno de los músculos de la extremidad superior. En la Tabla 6-2 se presenta el número de estudios según su clasificación de Tarea y el tipo de rotación. El 50% de los estudios evalúan el efecto de pausas activas y pasivas y específicamente en trabajos en video-terminales (VDT), lo que evidencia el interés en encontrar una solución a los MSD a través de las pausas, que en general pueden ser de fácil de implementación en una jornada de trabajo en VDT. Por otro lado, el 40% de los estudios,

realiza intervenciones con la alternancia de tareas, generalmente para trabajos de oficina y líneas de producción.

Tabla 6-2 Clasificación por Tipo de Intervención y Tarea

Clasificación Tarea	Alternancia de Tareas	Pausas	Cambios de Ritmo	Cambio de Cargas
Experimental	3	4	3	1
Industrial	5	4	5	0
VDT	4	7	3	1
Total	12	15	11	2
% Total Estudios	40%	50%	37%	7%

Ritmos de trabajo y cambio de cargas en la misma tarea, se encuentran un menor número de estudios que analicen el efecto de este tipo de rotaciones. Lo anterior se debe a que en general no existe un marco conceptual completo de la rotación de demandas; pues generalmente se habla de alternancia de tareas y de pausas, pero no de otro tipo de intervenciones como los mencionados.

Clasificación de Tipos de Tarea

De acuerdo a la clasificación de tareas definida en los métodos, se presenta la descripción general de las tareas evaluadas según el tipo de tarea:

En las tareas VDT, se incluyen estudios en los que se combinan tareas con diferentes instrumentos en el computador con el mouse y el teclado ((Samani *et al.* 2009a)); en otros estudios se evalúa además la combinación con tareas desarrolladas usualmente en conjunto con el uso del computador, como tareas de papeleo y organización de archivos ((Luttmann *et al.* 2010). Las otras tareas evaluadas incluyen únicamente el uso del teclado o del mouse ((Balci & Aghazadeh 2004), (Sundelin & Hagberg 1989), (Szeto *et al.* 2005), (Gerard *et al.* 2002), (Crenshaw *et al.* 2006), (Samani *et al.* 2010), (Samani *et al.* 2009b))

En las tareas industriales, se incluyen trabajos en procesamiento de cárnicos (Cook *et al.* (1999), Bao *et al.* (2001), Madeleine *et al.* (2003)) trabajos como cajeros de supermercado Rissen *et al.* (2002), trabajos en líneas de ensamble (Bosch *et al.* (2011), Mathiassen and Winkel (1996), Wiker *et al.* (1989), Mathiassen *et al.* (2003)) y finalmente también se incluyen dos estudios que evalúan una variedad de tareas en varias industrias de metalmecánica, electrónicos, etc. (Möller *et al.* (2004), Jonsson (1988)).

En otras tareas, se incluyen Levantamiento y descarga de cargas (Oksa *et al.* (2006), Keir *et al.* (2011), Anderson *et al.* (2007)), Tareas de agarre para analizar el comportamiento de los músculos del antebrazo ((Eksioglu 2006)) y otras tareas como esfuerzos estáticos (Iridiastadi & Nussbaum 2006).

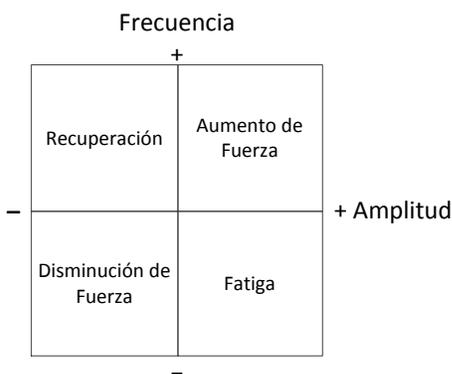
6.1.3 Inventario de actividades musculares en diferentes tareas

Se presenta en el ANEXO I el inventario de las tareas e intervenciones encontradas en los estudios que midieron el efecto de rotación de demandas en la extremidad superior a través de EMG. Este inventario, fue extraído únicamente de la información reportada en cada uno de los artículos, a través de gráficos y tablas, por lo que en ocasiones no existen algunos datos de los niveles de activación muscular, y del impacto de las rotaciones en la activación muscular.

Para el análisis de la información reportada únicamente se toma en cuenta el percentil 50 (P50) de la distribución de probabilidad de la señal; pues representa el nivel de activación medio teniendo en cuenta los esfuerzos estáticos (medidos con el P10) y los esfuerzos más dinámicos (P90). Además es el percentil que más se encuentra definido en los estudios, lo cual permite una fácil comparación de los niveles de activación entre estudios.

Algunos estudios, sin embargo presentamos análisis diversos sobre la señal EMG para estimar la fatiga, la metodología más recurrente fue el JASA (*Joint Analysis of EMG Spectrum and Amplitude*), que consiste en el análisis conjunto de la amplitud y la frecuencia de la señal para determinar alguno de los cuatro cambios en la actividad muscular definidos en este análisis (Luttmann *et al.* 2010). Como se muestra en la Ilustración 6-2.

Ilustración 6-2 Fatiga en EMG (Adaptado de Luttmann *et al.* (2010))



Tareas en VDT

Los estudios de tareas en VDT, son relativamente sencillos de comparar, pues en VDT se utilizan siempre las mismas herramientas como el mouse y el teclado para realizar el trabajo. En trabajos intensivos en el uso del mouse, 4 artículos evalúan dicha tarea ((Luttmann *et al.* 2010), (Crenshaw *et al.* 2006), (Samani *et al.* 2010) y (Samani *et al.* 2009b)). Para aquellos que midieron la actividad del trapecio, se encuentra un rango factible de actividad entre 10%MVC y 14%MVC; para el antebrazo no se encuentra la misma uniformidad, pues los niveles varían entre 36%MVC y 13%MVC, lo cual puede deberse al tipo de tarea evaluada y su impacto específico sobre el

antebrazo de cada individuo. Para las tareas de teclado, se encuentran 3 estudios ((Luttmann *et al.* 2010), (Szeto *et al.* 2005), (Gerard *et al.* 2002)). En estos estudios, se encuentra que el nivel de activación para el trapecio varía entre el 20% y el 15%; para el Deltoides entre el 5% y el 8%. Para el antebrazo, al igual que en las tareas del mouse, el %MVC no tiene un rango representativo, solo dos estudios midieron la actividad en el antebrazo, y en uno la activación es del 53% ((Luttmann *et al.* 2010)) mientras que para el otro es tan solo del 5%((Gerard *et al.* 2002)), lo cual parece indicar que existe un factor determinante que no se está teniendo en cuenta; posiblemente para comparar la actividad del antebrazo, que tiene una función principal en tareas con uso del teclado, se deba analizar un P90 y no un P50 con el fin de encontrar patrones en los niveles más dinámicos de la actividad muscular.

En las intervenciones, se encuentran diferentes esquemas de la misma intervención. En pausas se encontraron intervenciones con duraciones entre 8 segundos hasta 10 minutos de pausa a diferentes frecuencias; algunos estudios evaluaron el efecto de dicha frecuencia para pausas activas y pasivas, por tanto se encuentran esquemas en donde las pausas se repiten cada 5 minutos. Los estudios que reportaron la actividad muscular de las pausas activas, realizaron dichas intervenciones a un 30%MVC ((Samani *et al.* 2009a);(Samani *et al.* 2009b)). En cuanto a ritmos, los estudios evalúan básicamente tres tipos generales de ritmos, un ritmo lento reducido en comparación al paso normal; un ritmo voluntario en el que el operario puede imponer el ritmo que más desee y uno acelerado que en general consistió en un aumento del 20% en comparación al ritmo normal.

Tareas Industriales

En tareas industriales, se encuentran diversidad de tareas, pero en general se identifican dos grandes grupos uno, en trabajos en supermercados y el otro en líneas de producción para ensamble de componentes. En supermercados, se encuentra el estudio de Rissen *et al.* (2002) en el que se evaluó el efecto de la rotación de tareas de caja y otros varios. 4 estudios ((Möller *et al.* 2004);(Bosch *et al.* 2011);(Mathiassen & Winkel 1996), (Jonsson 1988)) tuvieron en cuenta tareas de ensamble de componentes en diferentes industrias; en general las características son similares. Son trabajos repetitivos con ciclos claramente definidos y un ritmo de producción que es dado por la tasa de producción de la línea.

En cuanto a intervenciones, se evalúan la alternancia de tareas entre varias operaciones dentro de la misma línea de producción y las pausas activas y pasivas. Los niveles de activación muscular encontrados para este grupo de estudios, no son fácilmente comparables pues se realizó un análisis en función de una contracción de referencia que puede ser diferente para cada estudio.

Otras Tareas

En las tareas descritas, la comparación de los niveles de activación muscular no es tan fácil; pues a pesar de que las tareas son similares, las condiciones específicas varían a lo largo de cada estudio.

Por ejemplo en agarre con mano se encuentran 4 estudios ((Keir *et al.* 2011), (Eksioglu 2006), (Sundelin 1993), (Escorpizo & Moore 2007)) en los que se analizan diferentes condiciones de posturas, frecuencias y magnitud de activación, dentro de dichos estudios, solo uno reporta %MVC con niveles de 1%, 0.6% y 5% para el trapecio, deltoides y antebrazo respectivamente. Para tareas de levantamiento de cargas se incluyen 2 artículos. En el estudio de Keir *et al.* (2011), se evalúa el levantamiento de cajas de 12Kg, cada 10 segundos aquí los niveles de activación fueron entre 2,5% y 3% para el trapecio, deltoides y antebrazo. El otro estudio, evalúa los niveles de activación para un levantamiento continuo, por lo que los niveles de activación son de alrededor del 20%MVC para el trapecio.

Las intervenciones más recurrentes fueron cambios de ritmos y de cargas, se evaluaron ritmos con ciclos de trabajo entre 5 segundos hasta 420 segundos, en general se evaluaron en qué condiciones los operarios percibían menores molestias y niveles de activación más variados. En cuanto a cambios de cargas, se evaluó el impacto en la activación muscular de aumentos de alrededor del 20% de la fuerza requerida para el trabajo.

A continuación se presenta la descripción de los resultados y comentarios más relevantes de cada estudio incluido en la literatura.

6.1.4 Trabajos en Video Terminales (VDT)

Se encontraron 9 artículos correspondientes a este tipo de tareas, entre los cuales se analizan diversidad de demandas mecánicas, incluyendo tareas intensivas en teclado, otras en el uso del mouse y algunas otras con tareas de papeleo y/o movimiento por fuera del puesto de trabajo. Los estudios encontrados evaluaron diferentes intervenciones y algunos sus combinaciones. La intervención más evaluada fue la de pausas activas y pasivas; esto se pudo deber a que en trabajos en computador las otras intervenciones no son tan fáciles de manejar, pues son trabajos que requieren realizar diversas tareas, aunque en su mayoría requieren del uso del computador puede ser necesario.

Descripción de los estudios con trabajos en VDT por tipo de Intervención

a. Alternancia de Tareas

De los estudios incluidos en la revisión únicamente uno evalúa exclusivamente la alternancia de tareas sin incluir otro tipo de intervenciones. En Luttmann *et al.* (2010) (calidad media), un estudio observacional que analiza la actividad muscular y los reportes de molestias en un entorno real de oficina. Estudia tareas como papeleo, escritura en teclado y uso intensivo del mouse. En los resultados, aunque las demandas fueron altamente variables entre sujetos, se determinó que los

trabajos de uso intensivo en el teclado son altamente demandantes para los músculos del antebrazo. Además, se encuentra una relación significativa entre la magnitud de la demanda y las molestias localizadas reportadas; el 50% de los sujetos del estudio reportó molestias en el cuello por el uso trabajo generalizado en la oficina, específicamente las tareas de papeleo fueron las más demandantes para el trapecio. En el hombro se encontró que en todas las tareas existe un nivel de actividad similar, lo que sugiere que una rotación de tareas entre las estudiadas, no representará ningún beneficio para esta parte del cuerpo.

Otros estudios encontrados, evalúan la interacción de ésta con otras intervenciones. En general, para encontrar qué efecto tiene la mezcla con intervenciones como pausas o cambios de ritmo. Estos estudios se exponen en las otras secciones pues en general el interés principal fueron las otras intervenciones.

b. Pausas

Cinco estudios evalúan los efectos de las pausas en el trabajo, en general se encontraron efectos significativos en la actividad muscular y en las molestias reportadas. En Samani *et al.* (2009a) (calidad alta), un estudio experimental sobre tareas simuladas en el computador, se encontró que las pausas redujeron la magnitud de activación de los músculos del trapecio, específicamente en las tareas con uso intensivo del mouse. En este mismo estudio, se evalúan los efectos de los cambios de ritmo, se encontró que un cambio en frecuencia libre, es decir sin presiones sobre la velocidad de trabajo permite mejor distribución de la demanda y menores reportes de molestias con las pausas comparadas con aquél encontrado en ritmos de trabajo más veloces.

En Balci and Aghazadeh (2004) (calidad media), un estudio experimental sobre los efectos de las pausas en el desempeño de tareas alternadas entre mecánicas y cognitivas en el computador, se encontró que hubo menores aumentos en la magnitud de activación y el menor índice de molestias para pausas de 30 segundos cada 5 minutos en comparación con una relación de 1 hora 10 min de descanso y 30 minutos de trabajo y 5 de descanso. Estos efectos fueron significativos para la actividad muscular trapecio, los músculos del antebrazo, los auto-reportes de los operarios y la productividad; lo que indica que este tipo de pausas cortas puede tener una ventaja en comparación con las pausas tradicionales. En cuanto a las tareas evaluadas, se encontró que en general la tarea de entrada de datos fue más desgastante para los operarios en comparación con la tarea cognitiva para el cuello, el hombro, el pecho, la mano y la muñeca.

En Samani *et al.* (2009b) (calidad media), un estudio experimental sobre los efectos de ejercicios “excéntricos” y de pausas durante trabajos en computador, se encontró que los ejercicios excéntricos aumentaron, aunque no significativamente, las molestias musculares aún después de 24 horas de descanso para el desarrollo de tareas en el computador; los esfuerzos reportados en el trapecio fueron mayores después de dicha sesión de ejercicios excéntricos. Inmediatamente después de estos ejercicios, se presentaron menores niveles en magnitud de activación muscular, esto posiblemente debido a mecanismos de recuperación en curso en los músculos afectados. Además, las pausas activas tuvieron un efecto positivo en la magnitud de activación del trapecio,

pues mostraron mayores variaciones (medida con análisis de la variación de la exposición, EVA que mide conjuntamente cambios en magnitud y en frecuencia) en el patrón de activación en comparación a las pausas pasivas. En general las intervenciones aumentaron significativamente la variabilidad medida con EVA en todos los músculos ($p=0,015$). Sin embargo, el efecto se vio reducido después de los ejercicios excéntricos, lo que sugiere según los autores que cuando el músculo está fatigado o en proceso de recuperación, no tiene la misma capacidad de variación para intervenciones como las pausas activas.

El estudio observacional de Sundelin and Hagberg (1989) (calidad media) realizado con una tarea real, encontró que las pausas activas y pasivas no cambiaron en gran medida los niveles de activación muscular luego de las pausas, pues se mantuvieron constantes a lo largo del estudio; sin embargo, las pausas activas fueron más efectivas en reducción de molestias localizadas que las pausas pasivas. En los resultados se observa que efectivamente las pausas activas presentan una mayor variabilidad del patrón de activación muscular, lo que podría ser benéfico para el operario. Metodológicamente, es importante considerar que el estudio contó con un bajo tiempo de seguimiento en la tarea (30 minutos), no se realizaron ajustes para las características específicas de cada sujeto y con un tamaño de muestra de 12 sujetos, las diferencias encontradas para las pausas activas podrían no ser válidas por dichas consideraciones metodológicas.

En Crenshaw *et al.* (2006) (calidad media) un estudio muy similar a Balci and Aghazadeh (2004), encontró que los cambios en el esquema de trabajo con pausas no fueron significativos para ninguna de las variables medidas en el estudio. No se encontraron diferencias en la amplitud de la señal EMG en el antebrazo, ni en los auto-reportes que se desarrollaron; sin embargo, se encontró que el nivel de hemoglobina en la sangre sí difería significativamente para las pausas activas, lo que puede deberse a que después de las pausas activas se presenta una mayor actividad de recuperación que no alcanza a ser divisada por la EMG. En general estos resultados contrastan con lo encontrado en todos los demás estudios puesto que en los demás se encontró un efecto significativo para las pausas activas y pasivas en la magnitud de activación muscular. Estas diferencias pueden deberse a que en este estudio se definieron únicamente pausas 30 segundos de ejercicios con la muñeca, 30 segundos de descanso y 20 minutos de trabajo, lo que pudo interrumpir completamente el patrón de activación que se venía desarrollando; esto no sucedió en los otros estudios, por lo que las diferencias en las conclusiones pueden ser atribuidas a diferencias metodológicas.

Samani *et al.* (2010), evalúan en su estudio el trabajo con tareas con uso del mouse; se utilizó un modelo de inferencia con lógica difusa para retroalimentar al operario a medida que desarrolla su trabajo indicándole cuándo hacer pausas activas o pasivas. En los resultados cuando el modelo indicaba al operario que hiciera pausas activa, se presentaron mayores niveles de activación muscular frente a las pausas pasivas y sin pausas. Las primeras, representan un cambio significativo para la parte superior del trapecio, y una intervención monótona para las otras partes del mismo pues no se encontraron mayores cambios en la actividad muscular. Sin embargo, el modelo de inferencia no presentó mayores variaciones en las instrucciones dadas para diferentes tipos de pausas, es decir, el tipo de pausa no tuvo mayor efecto en el desarrollo normal de la tarea

de acuerdo a los patrones de activación mostrados. Se encontró un aumento en la entropía medida en la señal[†], según la definición propuesta por Richman and Randall (2000). Sin embargo, no fue suficientemente grande para la ventana de tiempo del estudio, lo que no permite determinar que exista un aumento en la variabilidad de la tarea.

En general, las pausas evaluadas en los estudios de tareas VDT presentan buena evidencia sobre el beneficio de rotar las demandas mecánicas a través con esta intervención. A lo largo de los estudios, estos beneficios muestran tener diferentes impactos en cada músculo de acuerdo a la tarea que se esté desarrollando; por ejemplo en Samani *et al.* (2009a) las pausas activas en trabajos intensivos con el mouse mostraron ser más efectivos para el trapecio.

c. Cambios de Ritmo

En el estudio de Gerard *et al.* (2002) (calidad media), un estudio experimental tipo “antes–después” se analizó el impacto que tiene el cambio de ritmo en la actividad muscular y en las molestias generadas en una tarea de escritura en computador. En dicho estudio se encontró que a mayores velocidades de trabajo, específicamente en teclado, se encuentran mayores demandas en los músculos, principalmente del antebrazo.

Szeto *et al.* (2005) (calidad alta), en su estudio experimental en campo, evalúan el efecto de los cambios de ritmo y cargas en una tarea de escritura de datos a través del teclado. Se encontró que a mayores requerimientos de fuerza en el trabajo, mayor es la magnitud de la actividad muscular; por ejemplo, un aumento del 20% en la fuerza requerida, aumentó significativamente el %MVC ($p < 0.001$) un 3% de MVC aproximadamente. Igualmente, se encontró que los músculos trapecio y deltoides presentaron pocos cambios frente a cambios en la velocidad y fuerza que sí se vieron en otros músculos como los de la espalda baja. Lo cual, según los autores sugiere que el trapecio y el antebrazo no son muy reactivos a los cambios en frecuencia y magnitud de las demandas mecánicas en el tipo de tarea evaluada.

El estudio de Szeto *et al.* (2005) tiene consideraciones similares al Gerard *et al.* (2002), por lo que es relevante un análisis comparativo entre éstos. Las conclusiones en Szeto *et al.* (2005) apuntan a que a altas velocidades de trabajo se tienen mayores demandas y por tanto más molestias, lo cual se encuentra también Gerard *et al.* (2002); sin embargo, en este último estudio se evaluó además un caso en el que el ritmo de trabajo es 50% más rápido que el paso normal y en el que los sujetos muestran patrones de activación muscular más variados a media que aprenden a teclear más rápido y tienden a escoger la velocidad máxima a la que pueden trabajar minimizando las molestias del trabajo.

[†] SampEntropy: Logaritmo natural de la probabilidad condicional de que dos secuencias que tienen m puntos similares se mantengan iguales en el siguiente punto.

d. Cambio de Cargas

En este tipo de intervención, únicamente se encontró un estudio que evaluara el cambio de cargas para trabajos en VDT. El estudio, Szeto *et al.* (2005) ya presentado anteriormente en la sección (c) de Cambios de Ritmo; se evaluó qué efecto tuvo una alteración en la fuerza requerida para el uso del teclado. Aquí los resultados mostraron que se afecta en mayor medida la activación muscular con un aumento del 20% en la velocidad que con aumentos del 20% en la fuerza requerida para utilizar el teclado. Este estudio, sin embargo se enfoca principalmente en los cambios de ritmo, y el cambio de cargas, solo fue una pequeña alteración a las condiciones de trabajo.

De acuerdo a lo anterior, es claro que el cambio de cargas no es considerado comúnmente como una intervención que tenga el potencial de rotar las demandas mecánicas. Sin embargo, se considera que existe un potencial de investigación en este punto si se tiene en cuenta que el cambio de cargas puede generar una variabilidad en la tarea al permitir el cambio de unidades motoras en uso. Si esta hipótesis resulta ser soportada en futuras investigaciones, el cambio de cargas puede ser una intervención más frecuentemente usada con beneficios potenciales en rotación de unidades motores.

6.1.5 Trabajos Industriales

Para este tipo de trabajos se encontraron 6 estudios de diferentes características; algunos fueron observacionales con largos periodos de seguimiento en donde se evaluaban los efectos a largo plazo de la rotación de tareas; otros fueron intervenciones pequeñas en una simulación de ensamble de componente en las que se estudiaba por ejemplo el efecto del cambio de ritmos en la actividad muscular y la percepción de molestias de los operarios. En este tipo de tareas, 2 estudios evaluaron los efectos de las pausas, 3 la alternancia de tareas y sólo uno evaluó exclusivamente los cambios de ritmos.

Descripción de los estudios con tareas industriales por tipo de Intervención

a. Alternancia de Tareas

En el estudio de Rissen *et al.* (2002), considerado de alta calidad, se evaluó el efecto de un esquema de rotación en trabajos de supermercado en el que en promedio los operarios invertían el 40% de su turno de 8 horas en las cajas registradoras y el resto atendiendo las necesidades en los diferentes departamentos. Dentro de sus resultados, se encuentra que los operarios sintieron mayores libertades con el esquema de rotación de tareas y que el porcentaje de activación muscular media para el grupo en general presentó disminución con la implementación de la

rotación de tareas. El seguimiento entre 3 y 5 años después de la intervención reveló que la prevalencia de enfermedades en el cuello y hombro permaneció sin cambios; sin embargo, en el momento del seguimiento menos participantes reportaron más dolor que antes de la intervención (6), comparado con el número de participantes (15) que reportaron el mismo nivel de dolor o menos dolor que antes de la intervención. Estos resultados apuntan a que la rotación de tareas fue benéfica para los operarios, aunque los resultados son soportados únicamente por las variables fisiológicas medidas en el estudio.

Möller *et al.* (2004), presentan en su estudio una intervención a puestos de trabajo en la industria de ensamble de electrónicos; se evalúa el efecto sobre la variabilidad del trabajo en términos de actividad muscular y de posturas adoptadas al proponer un enriquecimiento de la tarea agrupando 3 estaciones de trabajo en una sola. Los resultados muestran que la variabilidad de la tarea, medida en la varianza entre los ciclos de tiempo y la activación muscular en trapecio y antebrazo, fue superior para el caso de la tarea enriquecida; en el estudio se calculó el aumento en la variabilidad comparada con cada una de las estaciones sin enriquecimiento y se encontró que esta intervención aumenta en hasta seis veces la variabilidad de la activación muscular y las posturas adoptadas; sin embargo, para el extensor del antebrazo, se encontró que la variabilidad fue menor para la tarea enriquecida. En el análisis de arranques (Porcentaje de tiempo del ciclo de trabajo que el músculo está activado en secuencias menores a 1 segundo, en el mismo %MVC, “Jerks”) se encontró que el trapecio parece tener una versatilidad mayor para el reclutamiento diverso de unidades motoras. Lo anterior indica este enriquecimiento, constituye una intervención efectiva para la actividad muscular en el trapecio. Estos resultados soportan la evidencia de que el enriquecimiento de la tarea incrementa la variabilidad de activación y de posturas en el operario. Sin embargo, el alcance del enriquecimiento de tareas para la reducción del riesgo de enfermedades musculoesqueléticas a largo plazo es aún desconocido a la luz de la evidencia presentada por el estudio.

En el estudio de Jonsson (1988), (juzgado de calidad baja) se evalúa a lo largo de diferentes industrias el efecto de la alternancia de tareas a través de los niveles de activación de la señal EMG. Los resultados reportados no presentan mayor detalle de los niveles de activación muscular encontrados; sin embargo, los autores afirman que los operarios de las industrias parecen beneficiarse más de la rotación de tareas cuando éstas son más dinámicas y no cuando son de demandas más estáticas. El estudio, lamentablemente no reporta mucha información sobre la metodología ni los resultados en sí; por lo que tiene una calificación de baja calidad al no reportar cómo fue medida y procesada la señal EMG, ni cómo se realizó el estudio en las plantas reales de producción de cada una de las industrias que se incluyeron en el estudio.

En alternancia de tareas, se encuentra que existe una evidencia que soporta los beneficios de la intervención, algunos estudios encontraron sustento en la actividad muscular y otros en variables fisiológicas; sin embargo, en general se evidencia que existe un beneficio en esta intervención. Algunas consideraciones deben ser tenidas en cuenta para una intervención de este tipo, por ejemplo el efecto a largo plazo de la intervención y el impacto específico en cada músculo.

b. Pausas

En el estudio de Mathiassen and Winkel (1996), una simulación en laboratorio se evaluó el efecto de las pausas activas y pasivas, y de los cambios de ritmo en operarios haciendo tareas muy similares a las realizadas en una industria de ensamble. En la actividad muscular medida con EMG, se encontró que con la implementación de las pausas hubo una reducción en la amplitud de activación aunque dicha reducción no fue significativa. En este punto, los autores reconocen que dados los resultados existen otras medidas que han demostrado ser más efectivas para reducir la magnitud de activación y aumentar la variabilidad de la tarea, como las micro pausas. Para los cambios de ritmo, se encontró que el paso normal (100MTM según el estándar para la tarea) tuvo una menor amplitud y una mayor variabilidad en la actividad muscular, comparado con el ritmo rápido (120MTM). En este último, además se aumentó significativamente la frecuencia cardíaca y en cierta medida los reportes de fatiga. Los autores afirman entonces que un paso reducido en este tipo de tareas es una opción para reducir la exposición en magnitud a las demandas mecánicas; sin embargo parece ser más efectivo simplemente reducir la duración que los trabajadores desempeñan la tarea para reducir los niveles de fatiga y permitir pausas pasivas a voluntad de los operarios.

En el estudio experimental en laboratorio de Oksa *et al.* (2006), se evaluó el efecto que tienen las pausas activas en un trabajo de procesamiento de alimentos en condiciones de frío (4°C). Los operarios debían realizar la tarea de corte de salchichas cada 3-4 segundos durante 120 minutos. Los resultados tienen principalmente un enfoque sobre el efecto que tiene la baja temperatura en la variación de la actividad muscular medida a través de la frecuencia de descanso de la señal durante las tareas, que probablemente está relacionada con el reclutamiento de diversas unidades motoras. Sin embargo, se evalúa también el impacto que tuvieron los ejercicios estáticos que en el marco de esta revisión se consideran pausas activas: La primera pausa consistía en contracciones a 10%MVC cada 3 segundos; y la segunda tenía el mismo esquema que la primera, pero con una contracción de 30%MVC cada 4 minutos de los 20 que duraba cada pausa. Los resultados muestran que los tiempos de descanso fueron mayores para la segunda pausa, lo que indica según los autores que seguramente la contracción de 30%MVC induce una variabilidad más alta en la activación de unidades motoras, lo que permitiría descansos más prolongados para las diferentes fibras musculares involucradas.

Estos estudios en Pausas, presentan evidencia de que para algunas condiciones específicas esta intervención es benéfica para el operario. En algunos más que en otros, pues teniendo en cuenta las demandas específicas de cada tarea, el impacto de una u otra intervención es diferente.

c. Cambios de Ritmo

En el estudio experimental en laboratorio de Bosch *et al.* (2011), se evaluó en una tarea sencilla de ensamble de componentes, el efecto que tiene sobre la variabilidad inter ciclos de trabajo, el cambio de ritmos. Se evaluó el efecto de un paso normal (48s) y uno acelerado (38s) en actividad muscular (%MVC de la señal EMG), auto-reportes de molestias y productividad. En sus resultados se encuentra que para el trapecio superior y el deltoides el cambio de ritmo no constituyó una variación significativa en su actividad muscular; sin embargo, para el antebrazo la variabilidad sí fue significativamente mayor con el ritmo de trabajo acelerado. En cuanto a los resultados de auto-reportes, la fatiga aumentó a lo largo del tiempo significativamente, pero no se presentaron diferencias en los reportes entre el paso normal y el acelerado. A pesar de esto, sí se presentaron más errores en el paso acelerado, sin alcanzar a afectar la productividad. En general, los resultados muestran que el cambio de ritmos sí aumenta la variabilidad, aunque sólo tuvo un impacto significativo en el antebrazo, lo que puede ser atribuido al tipo de tarea evaluada; de todos modos, los autores concluyen que el aumento del ritmo puede aumentar la variabilidad inter ciclos, pero esto a costa de aumentar la repetitividad de la tarea, que puede aumentar el factor de riesgo de repetitividad de las demandas mecánicas, por lo que no sugieren ésta intervención como efectiva para incrementar la variabilidad de la tarea.

d. Cambio de Cargas

No se encontraron artículos que evaluaran este tipo de intervención, lo que confirma que esta intervención en general no se considera como opción para buscar la rotación de demandas mecánicas en el trabajo.

6.1.6 Trabajos en Otras Tareas

Descripción de los estudios con otras tareas por tipo de Intervención

a. Alternancia de Tareas

Raina and Dickerson (2009), presentan un estudio experimental en el que se evalúa el efecto del orden y la rotación entre dos tareas estandarizadas de flexión y abducción del hombro. Los resultados muestran que los niveles de activación cuando se desarrolla una sola de las tareas durante los 4 minutos evaluados son mayores en promedio de 17% MVC; pero cuando existe rotación entre las dos tareas evaluadas, el promedio de activación es de 15.6% MVC; el orden de la rotación no presentó diferencia significativa, por lo que los autores concluyen que para trabajos con demandas mecánicas similares dicho orden no es muy relevante. Aun así los autores concluyen que la rotación de tareas sí fue un beneficio para los operarios, pues la magnitud de activación muscular se reduce y el esquema de trabajo deja de tener magnitudes de activación muscular monótonas. Los resultados deben ser manejados con cuidado, pues la ventana de

tiempo del estudio es muy reducida, y el tamaño de muestra de 10 personas puede no ser suficiente para extrapolar los resultados.

Keir *et al.* (2011), en su estudio experimental considerado de calidad media, se evalúa el efecto de la rotación de tareas en la actividad muscular para dos tareas específicas, una de levantamiento de cargas y otra de agarre con mano. El efecto de la rotación se evalúa en músculos del antebrazo, el deltoides, el trapecio y el erector spinae. En sus resultados se destaca que la tarea de agarre durante dos sesiones de 15 minutos sin rotación (GG) tuvo activación muscular significativamente mayor para los músculos del antebrazo frente a otras combinaciones como solo levantamiento (LL) o la combinación Levantamiento-Agarre (LG). De manera similar, las activaciones para los músculos de la espalda fueron significativamente mayores en la combinación LL. En general, las tareas monótonas (GG y LL) fueron las más demandantes para los músculos evaluados. El orden de las tareas (LG o GL) no tuvo un efecto significativo. La combinación con tareas de agarre redujo la activación muscular para el Erector Spinae Superior, el trapecio y el deltoides y el esfuerzo percibido por el operario. Para los músculos del antebrazo, a pesar de que la magnitud de activación fue mayor en las tareas de agarre, la rotación de tareas no presentó mayores beneficios en cuanto a las molestias reportadas.

b. Pausas

Sundelin (1993), en su estudio experimental en laboratorio evaluó el efecto de las pausas sobre el desarrollo de fatiga en una tarea con movimientos repetitivos. Los resultados en activación muscular mostraron en general menores niveles para el desarrollo de la tarea repetitiva con las pausas pasivas implementadas. Sin embargo, para la segunda hora de trabajo, el trabajo sin pausas fue más fatigante para aquellos que empezaron a trabajar con pausas. Esto se vio reflejado para los niveles de activación muscular y no para los reportes de molestias de los operarios. Lo cual se debe posiblemente a que la percepción de la fatiga después de las pausas se retrasa para ciclos cortos de trabajo como en el estudio (1 minuto de pausa cada 6 minutos de trabajo).

c. Cambios de Ritmo

En el estudio experimental en laboratorio de Eksioglu (2006), considerado de alta calidad se evaluó una tarea genérica de abducción y flexión del antebrazo mediante el agarre de un dinamómetro con la mano. Se consideraron diferentes condiciones de fuerza, ancho para el agarre y posición, mientras el operario tenía la posibilidad de modificar la frecuencia de la tarea suponiendo que debe realizarla en un turno de 8 horas continuas. En los resultados, se encuentra que todas las condiciones evaluadas, de posición y fuerza son significativamente diferentes para la frecuencia sugerida por el operario. Se encontró que la combinación de un ancho más pequeño que el agarre óptimo según criterios ergonómicos y una fuerza del 15% de la

máxima permite al operario trabajar más rápidamente que en cualquiera de las otras combinaciones. Sin embargo, las condiciones de ancho del agarre, y la fuerza requerida no estuvieron fuertemente correlacionados con ninguno de las variables de exposición tenidas en cuenta (actividad muscular medida con EMG, Frecuencia Cardíaca y Auto-Reportes de molestias). En actividad muscular por ejemplo, el nivel de activación estuvo para todos los casos alrededor del 1% de MVC con una desviación estándar entre 0,2 y 0,3. Esto, según los autores indica que la frecuencia máxima fue alcanzada sin alterar fisiológicamente variable alguna y sin signos de fatiga para el operario. Lo cual, según los autores puede ser atribuido a los bajos niveles de activación muscular asociados a las tareas estudiadas. La metodología para determinar la frecuencia no es regular en los estudios de la presente revisión; y por tanto no hay certeza de si es posible dicho método logra niveles de activación reales en la industria. Con dicha metodología, el criterio del operario para determinar qué tan rápido puede trabajar en pocos minutos suponiendo que lo deba hacer 8 horas puede ser cuestionado y restringir la validez de los resultados. En general, el estudio presenta claros resultados en encontrar un óptimo de frecuencia para la tarea evaluada con una metodología apropiada según los criterios definidos a pesar de tener un tamaño de muestra pequeño.

En el estudio experimental de Iridiastadi and Nussbaum (2006), sobre los efectos del ciclo de trabajo (DC), el ciclo de tiempo (CT) y las cargas manejadas (%MVC) en una tarea genérica de abducción del hombro, se buscó encontrar un modelo para predecir la fatiga en el deltoides de acuerdo al cambio en las diferentes condiciones mencionadas. Específicamente se encontraron señales de fatiga según la señal EMG y los reportes de los usuarios para las condiciones de 28%MVC / 0.75 DC /166 CT, 28%MVC /0.75 DC /34 CT y 20 %MVC /0.80 DC /100 CT. En los 3 esquemas mencionados, los trabajadores desarrollaron fatiga en un lapso de tiempo entre 20 y 34 minutos, lo cual es un bajo nivel de resistencia comparado con los demás esquemas de trabajo que llegaron a niveles de hasta 60 minutos hasta la fatiga. Se encontró además que los niveles de contracción media (%MVC*DC) no tuvieron correlación alta con los tratamientos más fatigantes, por lo que se sugiere que este nivel de contracción media no es un buen indicador de la tarea para determinar la fatiga. En cuanto al modelo de predicción de fatiga, se encontró que las molestias reportadas tuvieron la mayor correlación con la presencia de fatiga (0.6). Sin embargo, los indicadores de fatiga con EMG, en el estudio no tuvieron gran correlación con las reducciones en fuerza y la resistencia máxima antes de fatiga reportada por el operario; lo cual se debe posiblemente -según los autores- al tipo de tarea, pues por ser intermitente las unidades motoras cambiaban constantemente y por tanto no presentaron los niveles de fatiga esperados según lo percibido por los operarios. En general, el modelo presentó bajos niveles de correlación para predecir la fatiga en futuros escenarios, sin embargo, el estudio presenta evidencia relevante para el análisis del efecto de la variabilidad de la tarea y su efecto en la fatiga sobre los músculos involucrados.

En el estudio experimental en laboratorio de Escorpizo and Moore (2007), se evalúa el efecto que tienen los cambios del tiempo de ciclo en una tarea sencilla de levantamiento y movimiento de materiales pequeños. En sus resultados se encuentra que a medida que se disminuye el tiempo de

ciclo también se disminuye el tiempo de descanso de la tarea y se aumentan los picos de fuerza encontrados. Adicionalmente, se encontró que los niveles de descanso de la tarea, es decir aquellos momentos en los que el operario no está realizando ningún movimiento fueron mayores a los tiempos de descanso del músculo, medidos con los periodos mayores a 2 segundos donde el músculo tiene una actividad menor a 0.5%MVC. Lo anterior indica que incluso cuando la tarea se ha completado, los músculos no dejan de trabajar simultáneamente, sino que requieren un tiempo adicional para activarse o desactivarse. Los reportes de molestias y dificultad fueron significativamente mayores para el ciclo de tiempo de 1 segundo; mientras que para los ciclos de 5s y 10 s no se encontraron diferencias entre sí. En general, en el estudio se encuentra evidencia de que el ciclo de trabajo tiene un gran impacto en las demandas estáticas y los tiempos relativos de descanso de los músculos; los autores recomiendan trabajar con ciclos de trabajo mayores a 5 segundos para dar un apropiado descanso a los músculos reduciendo a su vez los errores y las molestias percibidas por el operario.

d. Cambios de Cargas

Falla and Farina (2007), en un estudio experimental en laboratorio se evalúan el efecto de los cambios de cargas en esfuerzos estáticos en el desarrollo de fatiga según la señal EMG en el trapecio. La primera contracción “constante” consistió en un esfuerzo durante 6 minutos al 20%MVC; y la segunda contracción “intermitente” tuvo adicional a la primera un aumento al 30%MVC durante 2 segundos cada 30 segundos. En sus resultados se encuentra que la contracción intermitente tuvo menores reportes de fatiga; a pesar de que no se encontró un cambio significativo en la magnitud de activación muscular, se encontró que la distribución de la carga en el trapecio cambia mucho más para las contracciones intermitentes. De acuerdo a los resultados, la contracción intermitente permite el cambio de unidades motoras a lo largo del trapecio lo que aumenta la variabilidad de la demanda y reduce el desarrollo de fatiga.

6.1.7 Mejor Evidencia Encontrada sobre los efectos de la rotación de demandas mecánicas en la actividad muscular

La mejor evidencia sobre los efectos de la rotación de demandas mecánicas medidas con la actividad muscular se presenta en el ANEXO J; aquí se alinean todos los estudios a un grupo de artículos entre los cuales se presentan ciertas características similares que permiten la comparación efectiva y dan consistencia a los resultados.

La mejor evidencia encontrada es en general consistente, pues todos apuntan, dentro de las limitaciones específicas de comparabilidad, que la rotación de demandas es efectiva para diferentes ámbitos. Por tanto, existe un potencial grande de mejorar los diseños de esquemas de trabajo que existen en la industria si se utiliza correctamente la evidencia aquí recogida.

6.1.8 Variabilidad de la exposición a demandas mecánicas

En la revisión, se encuentran diferentes estudios que mencionan la variabilidad como medida para establecer si un esquema de trabajo es benéfico o no para el operario. En varios, se encuentra evidencia de que patrones de activación muscular que tengan mayores cambios en la actividad muscular tienen en general menores reportes de molestias. Y que para trabajos altamente estáticos un cambio en magnitud representa una gran intervención en términos de variabilidad, pues esto tiene el potencial de permitir la rotación de unidades motoras.

A continuación, se presentan los resultados específicos por tipo de tarea evaluada en términos de variabilidad. A lo largo de las intervenciones, se encuentran diferentes impactos y alteraciones en la variabilidad general de la tarea, por tanto se expone a continuación el detalle de los resultados de variabilidad según el tipo de trabajo.

Trabajos en VDT

Algunos de los estudios anteriormente mencionados, presentan intervenciones que afectan la variabilidad de la tarea, en varios se sostiene la hipótesis de que las intervenciones afectan el patrón de activación de los músculos y que por tanto se reducirán las molestias por demandas estáticas y continuas en trabajos como el analizado.

En el estudio de Luttmann *et al.* (2010) se evaluó la “hipótesis de los intervalos” (Gap Hypothesis) que sostiene que la sumatoria de los pequeños intervalos de descanso que se presentan en el desarrollo de una tarea continua son un indicador de la variabilidad de la tarea y por tanto están relacionados con la presencia de molestias; sin embargo, dicha hipótesis no fue soportada por los resultados, pues en general no se evidenció una fuerte relación entre los tiempos de descanso a lo largo del desarrollo de la tarea y el reporte de molestias, lo cual según los autores pudo deberse a la gran variabilidad inter-sujetos de la activación muscular que se encontró, especialmente en las tareas con el mouse. Aun así se encontró que aquellos sujetos que presentaron las caídas más importantes en su actividad muscular (entre el 3% y el 6% de MVC) o que presentaron un patrón irregular de activación, fueron los que reportaron menor cantidad de molestias en el desarrollo de la tarea, lo que según los autores, se debe a la auto-regulación de los ritmos de trabajo y las posturas adoptadas por el mismo sujeto son intervenciones eficaces en la reducción de molestias localizadas, lo cual sustenta la hipótesis de que la mayor variabilidad en la tarea implica una menor recurrencia de las molestias localizadas.

Samani *et al.* (2009a), encontraron en su estudio que bien con un mayor ritmo de trabajo o con pausas activas se desarrolló una variabilidad más grande en activación muscular. Esto implica que estas intervenciones son efectivas para aumentar la heterogeneidad de la tarea. Se cuantificó además el tiempo relativo de descanso de los músculos, y se encontró que la tarea del computador representa una mayor carga para las partes superiores del trapecio, lo cual se

evidenció en un menor tiempo de descanso para dicha parte. Esto, según los autores es importante pues el tiempo relativo de descanso está fuertemente relacionado con el desarrollo de enfermedades musculoesqueléticas en el trabajo.

En el estudio de Balci and Aghazadeh (2004), las conclusiones del estudio indican que pausas frecuentes y cortas son más benéficas para el operario. Esto, puede atribuirse a que este tipo de intervención representa una mayor variabilidad de la tarea; pues las demandas estáticas de los trabajos son alteradas constantemente. La intervención entonces, permitiendo un cambio de unidades motoras constantemente, lo que se ve reflejada en los auto-reportes con menores molestias.

En el estudio de Szeto *et al.* (2005), se evaluó la diferencia entre los efectos de los cambios de ritmo y fuerza en trabajadores con un historial de enfermedades musculoesqueléticas y aquellos que no han tenido historial. Los primeros presentaron una mayor variabilidad en la activación muscular, es decir fueron más sensibles a los cambios de parámetros respondiendo con mayores magnitudes de activación muscular, lo que sugiere mayores riesgos en el desarrollo de enfermedades musculoesqueléticas para personas con historial de las mismas. Estas conclusiones apuntan en la misma dirección que aquellas del estudio Samani *et al.* (2009b) discutido anteriormente.

En el estudio de Gerard *et al.* (2002), donde se evaluó el efecto de los cambios de ritmo de trabajo, se encontró que los trabajadores con libertad en la velocidad de trabajo presentaban los mismos niveles de activación que aquellos con ritmos más lentos impuestos, esto según los autores se debe a que cuando el operario tiene la capacidad de escribir a voluntad, tiene patrones de activación más variables y mejor distribuidos, lo que minimizaría el riesgo de enfermedades musculoesqueléticas. En estos casos en donde el ritmo es libre, aquellos trabajadores que lograban escribir más rápidamente mostraban tener mejor manejo del teclado y por tanto presentaron niveles de activación muscular más uniformes. Frente a lo anterior, los autores del estudio afirman que los trabajadores que no pueden teclear muy rápidamente se benefician más de un trabajo a un ritmo aumentado con pausas frecuentes frente a un trabajo lento sin pausas. Lo anterior se concluye ya que se considera que con dicho esquema se aumenta la variabilidad de la tarea y se minimizan las altas demandas localizadas con ritmos de trabajo lentos.

Trabajos Industriales

Rissen *et al.* (2002), evalúan el efecto de la rotación de tareas en los trabajos dentro de un supermercado. La diversidad de la tarea claramente se ve incrementada pues las posturas adoptadas y los niveles de activación muscular presentan mayores cambios y menores niveles generales en magnitud, por lo que de acuerdo a este estudio existe una evidencia positiva frente al efecto de aumentar la variabilidad de un esquema de trabajo. Esta conclusión se fundamenta en que los operarios percibieron que con la rotación había mayor libertad según los cuestionarios

aplicados. A pesar de que los reportes de molestias no hayan tenido mayor variación con la rotación de tareas, los autores consideraron que para un trabajo de varios años en donde los operarios tienen experiencia en el trabajo hasta de 22 años, un reporte de molestias estable puede ser considerado un aspecto positivo para la rotación de tareas.

Möller *et al.* (2004), estudian el efecto del enriquecimiento de las tareas sobre la variabilidad en activación muscular y posturas adoptadas. El efecto es en general positivo para el trapecio, pues mostró patrones de activación diversos, una varianza mayor inter-sujetos y en el ciclo de tiempo de trabajo, lo cual evidencia que el trapecio incrementó su variabilidad al enriquecer la tarea. Los autores aclaran que esto está sujeto a que las tareas a enriquecer tengan diferentes perfiles para que el enriquecimiento sea efectivo para aumentar la diversidad de la exposición a demandas mecánicas. Igualmente, reconocen que a pesar de que existe evidencia de que la reducción de la monotonía y repetitividad de una tarea puede llevar a una reducción en el riesgo de MSD, el alcance del estudio aún no permite validar este supuesto.

En el estudio de Bosch *et al.* (2011), se encontró que un aumento del ritmo de trabajo puede tener un aumento en la variabilidad de la demanda para tareas de ensamble sencillas; sin embargo, los autores advierten que esta variabilidad se da también a costa del aumento de la repetitividad de la tarea, que es un factor de riesgo asociado a MSD, por lo que recomiendan para aumentar la variabilidad pensar más bien en otras intervenciones como la rotación de tareas.

Otros Trabajos

En el artículo de Raina and Dickerson (2009), se evalúa el efecto de la implementación de rotación de tareas. En sus resultados se resalta que la magnitud de activación se redujo cuando se rotó entre las dos tareas en comparación al trabajo continuo para una sola tarea. Sin embargo, según los reportes de molestias no se encontró diferencias significativas para los esquemas evaluados, lo que indica que los sujetos no fueron reactivos a los cambios en las demandas que implicó la rotación de tareas; aun así, se presentaron mayores reportes para los esquemas que empezaron con la tarea de abducción, la más demandante del estudio. Lo anterior posiblemente se debe a que los sujetos perciben mayor esfuerzo en la tarea, pero tal percepción permanece a lo largo del tiempo así la siguiente tarea sea menos demandante mecánicamente aun cuando los cambios en EMG no son significativos.

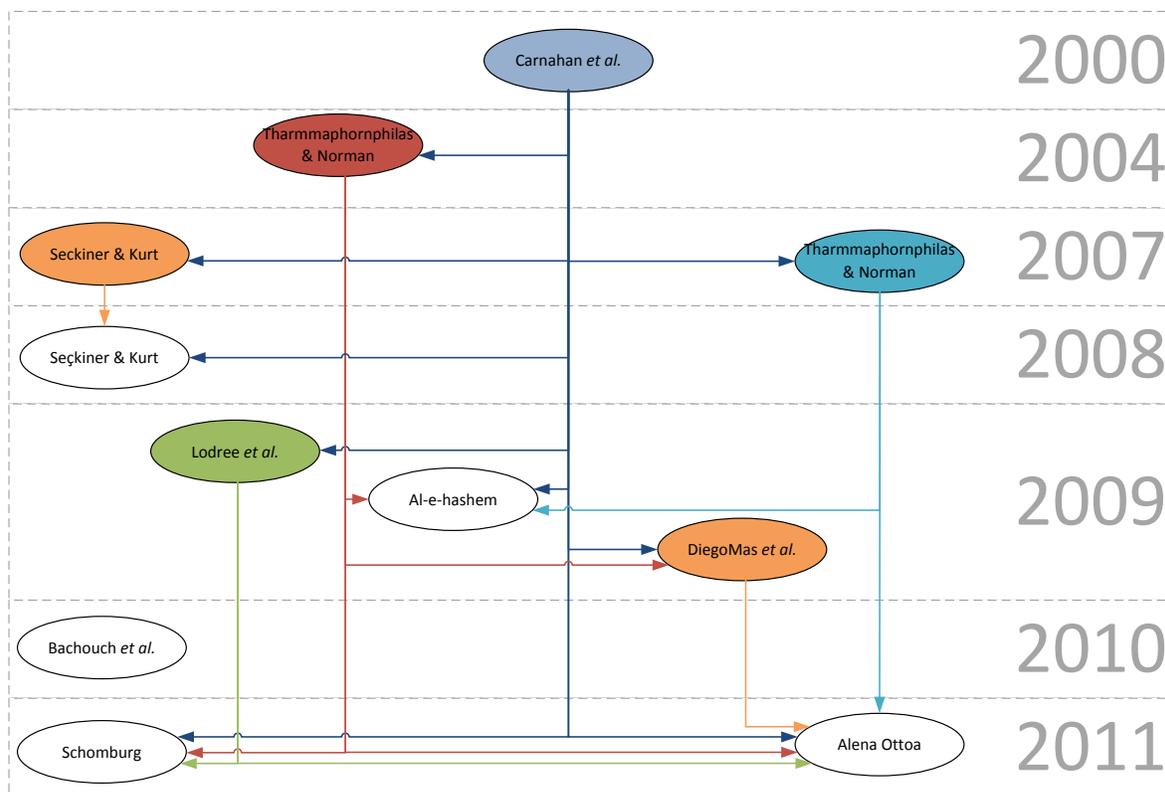
En el artículo de Eksioğlu (2006), a pesar de que el estudio muestra evidencias positivas para la rotación de demandas a través de pausas y cambios de ritmos en tareas de abducción y flexión del antebrazo, en términos de variabilidad para varios músculos es importante considerar que el tiempo relativo de descanso encontrado para el erector spinae inferior, fue de menos de 1.5 segundos cada minuto, un resultado muy inferior comparado con los otros tiempos de descanso entre 10 y 30 segundos por minuto. Lo cual indica que para este músculo específico la rotación de las condiciones no representa mayor variabilidad para su activación.

Falla and Farina (2007), concluyen que los cambios intermitentes de fuerza permiten la variabilidad del uso de las unidades motoras, lo que reduce los reportes de fatiga pues no siempre se están usando las mismas unidades motoras como en un esfuerzo completamente estático.

6.2 MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DISPONIBLES PARA LA DEFINICIÓN DE LA ROTACIÓN DE TAREAS

De la revisión se extrajeron los artículos que utilizaron modelos de optimización para encontrar esquemas de trabajo que redujeran los riesgos asociados a la exposición de demandas mecánicas; en general se encontraron pocas aproximaciones al tema, pues muy pocos autores han probado el enfoque a la rotación de tareas utilizando modelos matemáticos que permitan encontrar un esquema óptimo según diferentes criterios ergonómicos.

Ilustración 6-3 - Desarrollo en el tiempo de los modelos de rotación de tareas



Los estudios incluidos en la revisión parecen tener un alto grado de correlación, por lo que se realizó un análisis de las citas de cada uno de los artículos encontrados y se encontró que el artículo de Carnahan *et al.* (2000) fue citado por 8 de los 11 artículos incluidos. Dado el año de publicación y las citas subsiguientes, es posible que dicho estudio sea el pionero en la

integración entre los la prevención de MSD y la investigación de operaciones, dos temáticas que pueden ofrecer resultados importantes para el diseño de puestos de trabajo más óptimos. Igualmente, se observa que el artículo Tharmmaphornphilas and Norman (2004) tiene también una gran importancia, pues después del estudio de Carnahan tiene el mayor número de citas dentro del grupo de estudios. A lo largo de los años, es posible ver que los modelos más complejos han utilizado todas las ventajas de los estudios anteriores para proveer herramientas más robustas y así proponer mejores esquemas de rotación. A continuación se exponen las generalidades de cada uno de los modelos propuestos por los estudios incluidos en la revisión. En la Ilustración 6-3 se observa la relación que tiene cada uno de los artículos según su citación y año de publicación.

6.2.1 Descripción de los modelos matemáticos

En el ANEXO K, se presenta un resumen de todos los modelos matemáticos incluidos en la revisión de literatura, incluyendo las funciones objetivo, los parámetros y las restricciones generales que cada modelo tuvo en cuenta. A continuación se presenta una descripción general de los modelos encontrados.

A conocimiento del autor, la primera aproximación entre el uso de modelos matemáticos y las restricciones ergonómicas que tienen los operarios fue realizado en un estudio publicado por Carnahan *et al.* (2000). En dicho estudio, se diseñó un modelo de optimización para obtener programaciones con rotación de tareas que minimizaran el potencial de daño sobre los operarios utilizando Índice de Severidad en el Trabajo (JSI), un criterio observacional de esfuerzo en el trabajo que contempla principalmente el grado de repetitividad de las tareas, pero también las posturas y los requerimientos de fuerza. El estudio presenta un modelo que tiene en cuenta 4 trabajadores y 4 tareas, y para cada tarea contó con alturas y posiciones aleatorias que afectaban demanda de cada tarea y por tanto el JSI. El modelo busca minimizar el máximo de los JSI de los trabajadores para encontrar un esquema en el que ningún trabajador tuviera un riesgo alto de lesionarse. En sus resultados el uso de un algoritmo genético proporciona un gran grupo de esquemas que podrían ser utilizados con bajos niveles de JSI. Adicionalmente, el estudio muestra un análisis de dicho grupo de resultados para encontrar las relaciones que existen entre éstas soluciones y definir reglas que sirvan para diseñar esquemas de trabajo sin necesidad de un computador. A pesar de esto, el modelo propuesto tiene varios supuestos que están sujetos a discusión; por ejemplo el JSI, es un indicador observacional de fácil utilización en la industria, pero que tiene componentes de evaluación subjetiva que pueden ser discutibles para la evaluación de la interacción de un grupo de tareas, pues esencialmente el JSI está diseñado para tareas sencillas e individuales y no para un grupo de tareas; además el JSI se enfoca en la evaluación de los grupos musculares más asociados al movimiento de manos y dedos, por tanto no garantiza que se esté distribuyendo óptimamente la carga en todos los músculos. Otro supuesto del modelo es que las tareas tienen demandas estocásticas con cierta distribución, lo cual no es soportado por ninguna evidencia real de la industria que pueda sustentar que las demandas se comporten de dicha manera.

Tharmmaphornphilas and Norman (2004) proponen en su estudio la utilización de un modelo de programación entera para determinar las duraciones de cada tarea en un esquema de rotación minimizando el potencial de molestias en el trabajo. El estudio se enfoca en tareas de levantamiento de cargas de carácter industrial. Para la evaluación de los esquemas de rotación se utilizó el criterio JSI, el mismo que se utilizó en Carnahan *et al.* (2000). Además el modelo utilizó únicamente esquemas de rotación cada 1, 2, 4 y 8 horas, esto para simplificar la solución del modelo. En sus resultados se encontró por ejemplo que las rotaciones entre 1 y 2 horas no tenían diferencias significativas, por lo que una empresa podría utilizar esquemas de 2 horas si por cuestiones administrativas es más sencillo rotar a los operarios cada dos horas en vez de una. En general el modelo propone un enfoque muy parecido al de Carnahan aunque con algunas consideraciones adicionales en su metodología; como la fuente de los valores de JSI que fueron sacados por medio de una simulación en la que se utiliza una distribución uniforme entre ciertos rangos para calcular la distancia y el peso de los objetos a levantar; sin embargo, tiene las mismas limitaciones mencionadas en Carnahan pues toda la evaluación del trabajo se fundamenta únicamente en el JSI.

Los autores Seckiner and Kurt (2007) referencian únicamente al modelo de Carnahan y es una clara propuesta construida a partir de las consideraciones hechas en dicho estudio. Seckiner and Kurt (2007) proponen un modelo de optimización de la distribución de la carga para cada trabajador dada una serie de tareas buscando reducir la exposición a trabajos altamente demandantes. Este estudio utiliza las mismas condiciones de la tarea y de la industria del modelo de Carnahan, incluyendo las demandas estocásticas de la tarea según la altura y el peso de cada objeto. Se propone un modelo que tiene en cuenta una semana completa de trabajo de 7 días con 12 horas en cada día. Utilizando la una función del costo de la carga laboral de cada operario busca minimizar el máximo de las cargas asociadas a cada esquema; buscando así que la carga se distribuya a lo largo de todos los operarios sin que ninguno se sobre-exponga. Para la solución del modelo utiliza la meta-heurística de “templado simulado” (Simulated Annealing), pues según los autores permite encontrar soluciones más globales que se pueden salir de máximos locales; además muestran su utilización en problemas de programación de horarios y en diseño de plantas. El estudio presenta una aproximación diferente a los estudios anteriores pues utiliza un criterio ergonómico diferente y utiliza una meta-heurística no utilizada antes para este tipo de modelos. Sin embargo, es importante resaltar que a conocimiento del autor no existen otros modelos incluidos en esta revisión que mencionen este artículo, lo cual puede ser atribuido a la utilización del criterio de la carga en cada operario que tiene diversas debilidades en el momento de medir el impacto real que tiene sobre el operario la carga estimada de un trabajo; mediante este criterio no es posible medir la repetitividad, ni las posturas asociadas a un esquema específico que de otra manera se medían con el JSI utilizado en los modelos anteriores.

Seçkiner and Kurt (2008) proponen un modelo que sigue la línea de Carnahan pero utiliza como criterio ergonómico la distribución equitativa de la carga de los operarios en cada esquema de trabajo; no utiliza en particular ningún tipo de tarea en alguna industria. Para la solución del modelo, se utiliza el Algoritmo de Colonia de Hormigas. En general, los resultados muestran que el

algoritmo en general muestra un buen comportamiento en comparación a los modelos resueltos en otros estudios con algoritmo genético y templado simulado. De todos modos, los autores reconocen que para obtener buenos resultados se debe contar con un tiempo considerable pues a medida que se incrementa el número de operarios incluidos, el tiempo computacional se incrementa considerablemente.

Los autores Tharmmaphornphilas and Norman (2007), presentan un estudio que propone un modelo matemático que busca reducir la probabilidad de que un operario se lastime su espalda utilizando diferentes esquemas de rotación de tareas. El modelo propuesto tiene en cuenta diferentes perfiles de operario de acuerdo a su género, sus medidas antropométricas y fuerza máxima; con lo anterior clasifica a cada operario que va a entrar en el esquema de rotación en diferentes percentiles de la población. Además, se tuvieron en cuenta 4 diferentes tareas, cada una con diferentes sub-tareas con demandas aleatoriamente distribuidas en magnitud, frecuencia para diferentes horas en el día. En el estudio, se resolvieron primero problemas determinísticos que buscaban minimizar el máximo de los JSI de cada trabajador; y además para un problema con demandas aleatorias de cada tarea se utilizó una heurística llamada “procedimiento voraz con diversificación aleatoria” con el que se encontraron soluciones que sólo eran superiores en 0,0001 en su función objetivo comparado con el óptimo del problema determinístico. Los autores concluyen que con el uso de la heurística desarrollada se logra encontrar esquemas que minimizan el riesgo para los operarios, sin embargo es aún necesario tener en cuenta otras consideraciones como la experiencia de los trabajadores, los salarios o el ausentismo que se puede presentar por el esquema de rotación.

En el artículo publicado por Lodree *et al.* (2009), no se trabaja un modelo específico; sin embargo, propone en vez de eso un marco conceptual para integrar variables ergonómicas que afectan a un trabajador con las herramientas matemáticas de la investigación de operaciones. Los autores reconocen que el artículo de Carnahan es un pionero en el tema, y que gracias a ese artículo se ha generado el interés por integrar variables ergonómicas a los modelos de programación de tareas. En la revisión realizada para proponer el marco conceptual, se encuentra que existen tres aproximaciones principales para la rotación de demandas: La rotación de tareas, los esquemas de trabajo/descanso y la programación de la fuerza laboral en turnos de trabajo. Para la rotación de tareas se tiene en cuenta principalmente el estudio de Carnahan, que ya se discutió al principio de esta sección; además según los autores no se han encontrado estudios que tengan en cuenta demandas cognitivas del trabajo y su efecto en el desarrollo de MSD. En los esquemas de trabajo/descanso se destaca el estudio deKonz (1998) en el que se evaluaron los principios de desarrollo de la fatiga muscular en diferentes esquemas de descanso para un trabajo dinámico y uno estático. Para la programación de fuerza laboral en turnos de trabajo, se encontró que fundamentalmente se han estudiado esquemas que minimicen las alteraciones los ritmos circadianos de los operarios.

El marco conceptual que se propone en Lodree *et al.* (2009), se divide en cuatro grandes componentes con dos niveles específicos: El primer nivel es el alcance del modelo en macro o micro, y el segundo nivel es el tipo de demandas a considerar, determinísticos y estocásticos. El

alcance de un macro-modelo, es visto cuando se considera un sistema en el que un operario es visto como un recurso más de la línea de ensamble; en cambio, el micro-modelo considera al operario como un sistema con varios recursos (cerebro, músculos, etc.) que interactúan para desarrollar una tarea específica. Estas dos vistas tienen diferentes ventajas y desventajas; por ejemplo, los macro modelos son más sencillos de utilizar y tienen en cuenta fácilmente variables como la interacción entre máquinas, la cantidad de operarios necesarios, entre otros. Sin embargo, tienen poco detalle en el impacto que tiene la tarea para el operario, lo que sí se encuentra para micro-modelos que tienen en cuenta el impacto de las demandas de la tarea en diferentes grupos musculares, lo cual es mucho más preciso si se quiere evaluar el impacto real sobre el operario.

En el segundo nivel del marco conceptual, los modelos determinísticos tienen 3 conceptos importantes. Primero, los tiempos de procesamiento de tareas están dados en función del tiempo en que se inicia la tarea, de acuerdo a este supuesto, un operario no toma el mismo tiempo en realizar una tarea al inicio del turno que al final del mismo. Segundo, tienen en cuenta el efecto que tiene realizar las pausas en el trabajo a determinada frecuencia. El tercer concepto que tienen en cuenta son las llamadas “actividades modificadoras del ritmo” (Rate-modifying Activities, RMA) que alteran el ritmo de trabajo y las de cierta actividad dentro de un esquema de rotación a través de tareas como un mantenimiento o una pausa. De manera similar, dentro del segundo nivel, los modelos estocásticos además de los conceptos de los modelos determinísticos tienen en cuenta los procesos de deterioro y falla aleatoria de las máquinas y su impacto en el desarrollo de las tareas, lo cual se acopla más fielmente a la realidad cuando las tasas de producción de un sistema son variables a lo largo de una jornada de trabajo.

En el estudio de Aryanezhad *et al.* (2009), se presenta un modelo que claramente se fundamenta en los estudios de Carnahan *et al.* (2000) y Tharmmaphornphilas and Norman (2007). En este caso, el modelo es multi-objetivo. Busca en primer lugar, minimizar el potencial de daño por exposición a ruido mediante la Dosis diaria de Ruido recomendada por NIOSH; por otro lado, busca reducir el potencial de daño en la espalda baja medido mediante el JSI. El modelo específicamente tiene en cuenta trabajos en sistemas de manufactura, diferentes perfiles de experiencia de los trabajadores que los hace capaces de hacer determinada serie de tareas y categorías de las tareas en función de sus demandas específicas. Con una serie de tareas y trabajadores no muy extensa, se encontraron diferentes óptimos; en primer lugar únicamente teniendo en cuenta uno de los dos criterios utilizados (Dosis de ruido y JSI), pero al comparar los resultados con la aproximación multi-objetivo, se encontró que a pesar de que los óptimos individuales son mayores que aquellos encontrados en el tercer modelo descrito, en general este último no sacrifica mucho en ninguno de los dos objetivos, lo cual sí sucede en los primeros modelos que obtienen por ejemplo menores dosis de ruido pero exponen a demandas más riesgosas al operario. Por tanto, los autores concluyen que existe una ventaja en utilizar un modelo multi-objetivo en vez de diferentes aproximaciones en diferentes etapas. Este estudio, constituye una aproximación sencilla al problema de asignación de tareas con criterios ergonómicos, por lo que es aún posible resolver el modelo por métodos tradicionales en programación lineal; sin embargo, los autores reconocen

que para modelos más fieles a la realidad el uso de alguna meta-heurística seguramente será necesario.

El estudio de Diego-Mas *et al.* (2009) busca establecer un esquema de rotación de tareas que logre reducir el riesgo de MSD mediante la diversificación del uso de grupos musculares utilizando un algoritmo genético. El modelo se propone para una serie de tareas dentro de una planta de ensamble de automóviles y con 3 rotaciones de dos horas y una final de 1 hora; se evalúan varios criterios como el efecto acumulativo del trabajo que un operario ya ha desarrollado y la afinidad que tiene el esquema de trabajo de un operario con relación a los demás operarios, para que no queden esquemas desequilibrados que minimicen el riesgo general, pero a costa de algunos pocos. Específicamente para la evaluación del efecto acumulado de un esquema de trabajo, se tuvo en cuenta la repetitividad de micro-movimientos, las habilidades cognitivas y motrices requeridas, la variedad de uso de grupos musculares y las preferencias de los trabajadores para realizar uno u otro trabajo. En general, el modelo constituye una aproximación diferente a los modelos precedentes a éste, pues utiliza criterios observacionales no tradicionales para evaluar el riesgo de cada esquema de trabajo y busca diversificar la utilización de grupos musculares en el esquema de rotación. Sin embargo, hace falta el detalle de los métodos observacionales utilizados para realizar una comparación con otras aproximaciones.

Bachouch *et al.* (2010), proponen un modelo algo diferente a los que se han visto anteriormente pues en primer lugar el tipo de tareas que evalúa no son en un ámbito industrial, en cambio se enfoca específicamente al trabajo de enfermería bajo ciertas condiciones. Esto se ve reflejado en la Ilustración 6-3 en la que se observa que la única citación anterior de este estudio es la del estudio de Lodree *et al.* (2009). El modelo busca proponer esquemas de rotación que balanceen la carga entre todos los trabajadores del hospital dados unos requerimientos de trabajo y una planta laboral. Pero no tiene en cuenta ningún criterio ergonómico adicional, por lo que el beneficio real para los trabajadores puede verse limitado.

En un trabajo de grado de maestría en Ingeniería Industrial, Schomburg (2011) propone un modelo de secuenciación de tareas teniendo en cuenta una evaluación ergonómica para reducir el riesgo de MSD. Se utiliza como criterio de evaluación de los esquemas de rotación REBA, una evaluación observacional que permite determinar el riesgo que un trabajo tiene asociado de acuerdo a las posturas, la fuerza requerida, los movimientos bruscos en tareas tanto dinámicas como estáticas. Para determinado puesto de trabajo, se presenta un modelo que tiene en cuenta las fechas en las que se debe entregar un trabajo, la duración de cada tarea y la capacidad de trabajo de los recursos involucrados. Como función objetivo se tienen tres criterios diferentes para tres modelos, maximizar el cambio en la actividad del sistema musculo-esquelético, secuenciación para disminuir paulatinamente la actividad musculo-esquelética y minimizar las actividades repetitivas. Se utiliza una heurística sencilla para solucionar el modelo; en general se propone una herramienta sencilla que busca ofrecer la posibilidad de desarrollar esquemas de trabajo más óptimos para los operarios; sin embargo, el autor reconoce que aún existe un gran potencial para investigar la cuantificación de las demandas mecánicas para incluirlas en un modelo más robusto.

En el artículo de Alena Ottoa (2011), se propone un modelo de rotación de tareas con criterios ergonómicos sobre trabajos en la industria de ensamble automotriz. Utiliza para la evaluación del riesgo ergonómico, se utiliza un método utilizado en la industria automotriz europea que calcula “puntos ergonómicos” que según su valor constituyen un riesgo leve, moderado o algo para el operario. Para la resolución del problema se proponen unas heurísticas muy sencillas y se comparan con la búsqueda tabú. En general los resultados fueron más favorables para la búsqueda tabú para diferentes tamaños del problema, es decir con mayor cantidad de trabajos por asignar y mayor cantidad de operarios disponibles.

Los modelos de optimización descritos anteriormente tienen unas aproximaciones importantes en la evaluación de mejores esquemas de trabajo; el primer estudio que aparece en el área Carnahan *et al.* (2000) busca integrar una herramienta observacional a un modelo matemático brindando reglas para diseñar mejores esquemas de trabajo; a partir de éste ha habido diferentes aproximaciones; algunos modelos tienen en cuenta más trabajos, más días, restricciones administrativas, entre otros. En general se tiene claridad en qué tipo de variables se debe tener en cuenta al momento de diseñar un modelo de optimización de esquemas de rotación de tareas.

El criterio ergonómico utilizado en los diferentes estudios ha variado entre unos observacionales (JSI, “puntos ergonómicos”) y algunos que estiman la carga de cada trabajo y la distribuyen a lo largo de todos los operarios; sin embargo, a conocimiento del autor, ninguno ha entrado en el detalle de estudiar cuál debe ser el criterio correcto para evaluar el efecto de la rotación de demandas, pues no se ha revisado completamente el comportamiento de los criterios ergonómicos utilizados cuando se está utilizando para evaluar el efecto de rotar las tareas.

Con lo anterior, es evidente que para definir un modelo de optimización que defina esquemas de trabajo óptimos según criterios ergonómicos, se debe evaluar muy bien qué tipo de variable se va a medir y cómo se ha mostrado comportarse para evaluar el beneficio de la rotación de tareas.

6.3 DEFINICIÓN MODELO DE OPTIMIZACIÓN DEL USO DE MÚSCULOS EN TAREAS INDUSTRIALES.

6.3.1 Consideraciones Generales

La variabilidad ha sido interpretada en varios estudios como el reflejo general del impacto que tiene la rotación de tareas sobre las demandas mecánicas de un operario. Varios estudios incluidos en la revisión de literatura presentan evidencia que soporta la hipótesis de que la variabilidad en el trabajo es benéfica para reducir las molestias en el puesto de trabajo.

Existen varios factores como el historial de MSD y la experiencia que han mostrado tener un impacto significativo en los patrones de activación muscular (Madeleine *et al.* 2003), (Szeto *et al.*

2005), por lo que son factores que deben ser tenidos en cuenta en un modelo que busque beneficiar a los operarios dadas diferentes condiciones.

6.3.2 Descripción del Modelo

Para la modelación matemática se ha definido un modelo de asignación de tareas en un horizonte de tiempo; por lo que el modelo propondrá una serie de trabajos en ciertas condiciones que toman determinado tiempo y que cumplen con la totalidad del día de trabajo de cada operario.

Teniendo en cuenta las consideraciones generales, se ha definido en primer lugar, un modelo que proponga esquemas de trabajo que busquen acercar la variabilidad de los niveles de activación muscular (medida con EMG) a los niveles óptimos definidos en sub-modelos que maximizan la variabilidad de un músculo independientemente de los demás. De acuerdo al marco conceptual de Lodree *et al.* (2009), se ha definido entonces un micro modelo determinístico que permite analizar el efecto individual que tiene la rotación de tareas para cada grupo muscular utilizando criterios determinísticos en las intervenciones realizadas.

El modelo está diseñado para que busque maximizar la variabilidad del esquema de trabajo de cada músculo utilizando la suma normalizada de la variabilidad de cada músculo involucrado teniendo en cuenta los óptimos descritos anteriormente; de este modo, se logra hacer comparable la variabilidad de uno y otro músculo para que el modelo busque de manera equitativa incrementar la variabilidad de todos los músculos.

Dentro de las actividades se tienen en cuenta las tareas a desarrollar y las intervenciones disponibles para el diseño del esquema. Se han definido dos tipos de intervenciones, unas que tienen únicamente el objetivo de alterar la variabilidad del esquema de trabajo, por lo que según los resultados del modelo podrían o no incluirse; las otras intervenciones son tomadas por políticas administrativas, como descansos periódicos u horas de almuerzo.

Hipótesis principal del modelo

El aumento en la variabilidad de un día de trabajo a través de intervenciones en la exposición a demandas mecánicas reduce los riesgos específicos asociados a las demandas mecánicas.

La anterior hipótesis encuentra fundamento en varios estudios de la revisión de literatura. A pesar de que en cada uno las condiciones son específicas y las generalidades deben ser manejadas con cautela; la cantidad de artículos y el soporte en la mejor evidencia encontrada con los criterios de comparabilidad y consistencia de la evidencia definida en la Sección 6.1.7 más atrás) permiten dan soporte a la hipótesis principal mencionada. Los estudios que soportaron esta hipótesis según el tipo de tarea son los siguientes:

- VDT: (Samani *et al.* 2009a; Luttmann *et al.* 2010), (Balci & Aghazadeh 2004), (Gerard *et al.* 2002) , (Samani *et al.* 2009b),
- Industrial: (Möller *et al.* 2004), (Mathiassen & Winkel 1996) (Oksa *et al.* 2006), (Rissen *et al.* 2002)
- Otros: Keir *et al.* (2011), Sundelin (1993)

6.3.3 Formulación del Modelo

Supuestos

- La variabilidad de la tarea tiene diferentes impactos sobre cada grupo muscular pues en función del perfil de la tarea, un trabajo puede no significar cambio alguno para determinado grupo muscular (Möller *et al.* 2004; Bosch *et al.* 2011).
- Las pausas activas han demostrado ser efectivas para rotar las demandas mecánicas en diferentes medidas para cada músculo. (Oksa *et al.* 2006; Samani *et al.* 2009b)
La rotación de tareas puede incrementar la variabilidad de un esquema de trabajo siempre y cuando se tenga en cuenta el impacto para cada músculo Rissen *et al.* (2002); Möller *et al.* (2004); Keir *et al.* (2011); Sundelin (1993)
- Los niveles de contracción media (%MVC*Ciclo_Trabajo) no son un buen indicador de las demandas de la tarea para determinar la fatiga (Iridiastadi & Nussbaum 2006).

Función Objetivo

Maximizar la variabilidad del esquema de trabajo de un operario en todo el día (VAR_k) para cada músculo involucrado. Para unificar los criterios de todos los músculos se utiliza la suma normalizada de la variabilidad del esquema de trabajo en cada músculo teniendo en la variabilidad óptima calculada para cada músculo independientemente.

$$Max Z = \sum_k \frac{VAR_k - VAR^*_k}{VAR^*_k}$$

Conjuntos

- Actividad $(J) 1...j$
- Músculo $(K) 1...k$
- Celda $(S) 1...s$

En este punto se define que el tamaño del conjunto S depende del número máximo de celdas que el modelo podría asignar, esto para reducir al máximo el tamaño del modelo y mejorar los tiempos computacionales para la solución. El número máximo de celdas se calcula

aproximando el número de veces como máximo que se podría realizar una tarea cumpliendo con el mínimo de las otras tareas.

Parámetros

Variabilidad

- VAR^*_k : Variabilidad óptima del músculo k para un esquema de trabajo normal.

Relacionados con cada Actividad

- CMV_{jk} : media del porcentaje de CMV del músculo k que requiere la tarea j .
- d_j : Duración mínima en minutos de la tarea j .
- h_j : Horas hombre requeridas para hacer la tarea j .

Parámetros Generales del macro entorno

- H_{disp} : Horas disponibles en el día de trabajo para el operario.
- $Descansos$: Tiempo de descanso que el operario debe tener en su jornada de trabajo.

Variables de Decisión

- x_j^s : El operario realiza la actividad j en la celda de tiempo s en un día de trabajo. (1, si 0 no)
- VAR_k : Variabilidad en el día de trabajo del operario para el músculo k .
- $t0_s$: tiempo de inicio de la celda s .
- tf_s : tiempo final de la celda s .
- w_j^s : Duración de la celda de tiempo s en la tarea j . (sólo se hace una tarea por celda)
- A_k^s : Valor Absoluto de la diferencia entre el %MVC de la celda s y la celda $(s - 1)$.
- $w1_k^s$: Variable binaria.
- $w2_k^s$: Variable binaria.

Restricciones

Variabilidad

1. Estimación de la variabilidad del día de trabajo del operario en el músculo k :

$$VAR_K = \sum_s A_k^s \quad \forall k$$

2. Valor Absoluto de la diferencia:

$$M * w1_k^s + A_k^s = \sum_j x_j^s * CMV_{jk} - \sum_j x_j^{s-1} * CMV_{jk} + u1_k^s \quad \forall s \geq 1, k$$

$$u1_k^s \leq 2 * M * w1_k^s \quad \forall s \geq 1, k$$

$$M * w2_k^s - A_k^s = \sum_j x_j^s * CMV_{jk} - \sum_j x_j^{s-1} * CMV_{jk} + u2_k^s \quad \forall s \geq 1, k$$

$$u2_k^s \leq 2 * M * w2_k^s \quad \forall s \geq 1, k$$

Asignación

1. Duración de la celda s en la tarea j :

$$d_j * x_j^s = w_j^s \quad \forall s, j$$

$$\sum_j d_j * x_j^s = \sum_j w_j^s, \forall s$$

2. Una sola tarea por celda:

$$\sum_j x_j^s \leq 1 \quad \forall s$$

3. Tiempo de inicio de la celda s :

$$t0_0 = 0$$

$$t0_s = tf_{s-1} \quad \forall s \geq 1$$

4. Tiempo final de la celda s :

$$tf_s = t0_s + \sum_j w_j^s \quad \forall s$$

3. Tiempo que debe trabajar el operario en cada tarea j :

$$\sum_s w_j^s \geq h_j \quad \forall j$$

Políticas Organizacionales

5. Máximo del día:

$$\sum_s \sum_j w_j^s \leq H_{disp}$$

$$tf_s \leq H_{disp}, \forall s$$

6. Descansos

Los descansos son considerados como alguna de las dos intervenciones incluidas en el modelo: las pausas pasivas y las pausas activas. Se define que de cada una de éstas debe existir un mínimo en el día.

7. Hora de Almuerzo

Para la hora de almuerzo se considera el nivel de actividad muscular como el de una pausa pasiva, por lo que se define que entre los minutos 240 y 300 debe estar asignada una pausa pasiva para el operario.

$$x_{j=Almuerzo}^{s=\frac{S}{2}} = 1$$

Hora de inicio del Almuerzo al medio día

$$t0_{s=\frac{S}{2}} = 240$$

6.4 SOLUCIÓN DEL MODELO PARA UN TRABAJO DETERMINADO

En la revisión de los modelos se utilizaron diferentes métodos de solución de acuerdo a la complejidad de cada modelo, algunos modelos lineales utilizaron herramientas comerciales como CPLEX y LINGO. Para modelos no lineales en los que se utilizan criterios no lineales como el JSI, se utilizaron heurísticas definidas específicamente en cada estudio; y heurísticas como Búsqueda Tabú, Templado Simulado, Algoritmo Genético, entre otros.

Teniendo en cuenta las características encontradas en los inventarios de intervenciones, las evidencias encontradas sobre la rotación de tareas y las características de los modelos matemáticos encontrados en la literatura, se formuló un modelo que busca aumentar la variabilidad del esquema de trabajo en un operario teniendo en cuenta los niveles de activación muscular asociados al desarrollo de cada tarea.

6.4.1 Programación Mixta y Resultados del modelo con LPSolve®

La programación del modelo en LPSolve® y los datos de entrada del trabajo descrito anteriormente se encuentran en el ANEXO L en la carpeta "Formulación General y Datos de Entrada". Este modelo tiene en cuenta un operario, 4 tareas, 2 intervenciones y 1 almuerzo y 540 minutos en el día de trabajo. Una situación que se ajusta a algunos casos reales en la industria, según lo encontrado en algunos estudios (Luttmann *et al.* 2010).

El tamaño del modelo es en general considerable, sin embargo depende específicamente de las condiciones que se tengan en cuenta; dado que existe un conjunto que define las celdas de tiempo que pueden ser asignadas (Ver sección 6.3.3 – Conjuntos), el tamaño del modelo depende de la duración mínima de cada una de las tareas. El Modelo001, con 116 celdas de tiempo tiene 3136 restricciones y 3593 variables. Por otro lado, el Modelo002 con 38 celdas tiene 1030 restricciones y 1175; tamaños considerables teniendo en cuenta que sólo se evalúa un operario en el esquema.

En el ANEXO M se encuentra el detalle de los resultados de cada modelo. A continuación se presenta el comportamiento de cada modelo según las condiciones definidas por la tarea.

Para la versión Modelo001, con todas las restricciones descritas y con función objetivo cada músculo independientemente; encuentra solución sub-óptima en 1000 segundos de tiempo computacional sólo para el antebrazo; con los otros músculos a pesar de que se encuentra una solución básica relajada; el modelo no tiene éxito en encontrar soluciones no relajadas en la ventana de tiempo definida. Teniendo en cuenta cada músculo independientemente, el software encuentra la solución básica relajada a las 602.302 iteraciones, y a las más de 2 millones de iteraciones, momento en que se cumplen los 1000 segundos, no se logran como se mencionó soluciones básicas no relajadas para el trapecio y el deltoides. Más aún, para el antebrazo, en el que sí se encuentran soluciones factibles, existe una brecha (%Gap) entre una estimación inicial de lo que puede valer una variabilidad óptima y la solución propuesta es del 100%; es decir la solución brindada por el software tiene un gran potencial de mejorar.

En el Modelo002 se observa un mejor comportamiento en comparación a la versión anterior, pues en primer lugar, se logra obtener una solución factible para todas las iteraciones del modelo evaluadas; esto puede atribuirse a que dado que los tiempos mínimos de las tareas son más grandes que en la versión 1, el número de celdas es menor y la complejidad del modelo en general es menor. A pesar de esto, el modelo sigue presentando un rendimiento que puede ser mejorado; igual que en la versión 1, el Gap estimado por LPSolve es de 100%; por lo que se espera que se puedan encontrar mejores soluciones con un mayor tiempo computacional.

6.4.2 Relajación de Variables en el Modelo Lineal

Para ambos modelos, la relajación descrita en los métodos (Sección 5.4.2), en 200 segundos, encuentra una solución factible, y además toma 10717 iteraciones para encontrar la solución básica relajada; es decir 98% menos iteraciones que el modelo completo. Con la relajación se encuentra una solución sub-óptima para todos los músculos; a partir de los resultados de cada músculo, se evalúa de nuevo el modelo completo con la suma ponderada de las variabilidades de cada músculo (Ver ANEXO M).

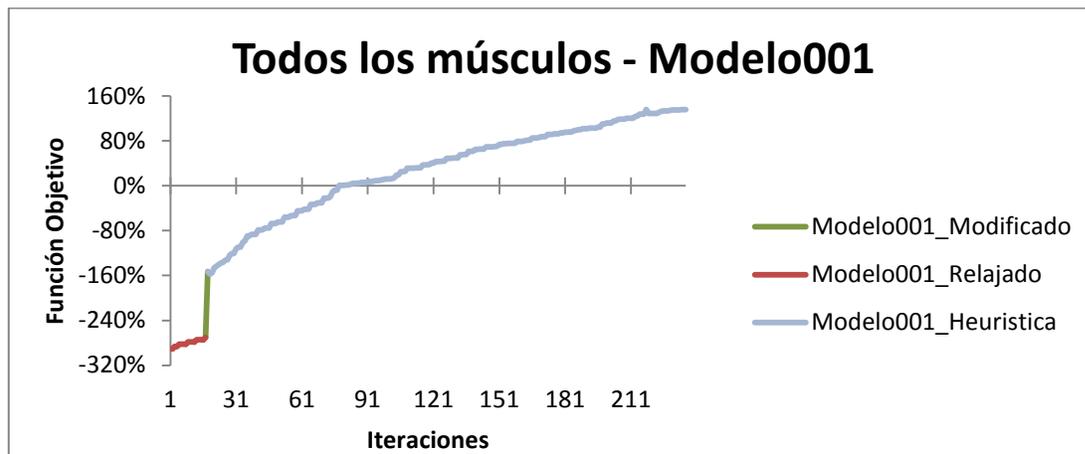
Aún con los modelos relajados, se tiene un tiempo computacional alto, pues en los 200 segundos en los que se buscó solucionar el modelo, aún existe un Gap de 100%; por lo que se espera que los modelos tomen mucho más tiempo para encontrar una solución óptima.

Además de lo anterior, se observa una exactitud de la solución cercana a 0.05 en 3 de los 4 casos analizados, lo que significa que los valores que el software le asignó al modelo no son exactamente las que deberían ser, pues existen algunas restricciones como las que calculan el valor absoluto de la diferencia que tienen un pequeño desfase. Para el trapecio, se encuentra una exactitud significativamente alta de 227, que implica que algunas restricciones deben ser re-evaluadas pues el desfase que tienen es considerablemente mayor en comparación a las demás iteraciones. De todos modos, la solución en estos casos puede ser evaluada y ajustada con un algoritmo para verificar cuáles deben ser los valores exactos de las variables básicas (Ver sección 5.4.3).

Con dicho algoritmo se modificó la solución del modelo relajado; la aproximación de las variables x_j^s y el cálculo real de la variabilidad, en la mayoría de los casos aumenta la función objetivo; esto debido a que la variable $Abs_dif_k^s$ podía tomar valores negativos o nulos, por lo que el cálculo de la variabilidad de cada músculo podía estar sub-estimado.

Con la relajación de variables, aunque se han encontrado soluciones que mejoran las condiciones de variabilidad del esquema del operario, el tiempo computacional sigue siendo alto; por tanto se decide utilizar una heurística que permite mejorar la solución brindada por LPSolve a través del algoritmo descrito en la sección de métodos (Sección 5.4.4).

Ilustración 6-4 - Evolución Función Objetivo Modelo001



6.4.3 Resultados Heurística

En la Ilustración 6-4 y 6-5 se puede observar el comportamiento de la función objetivo para cada modificación, incluyendo las iteraciones del LPSolve para el modelo relajado, la modificación que se debía hacer por la relajación de las variables y los resultados de las iteraciones que la heurística realizó. Los resultados específicos por músculo se encuentran en el ANEXO M.

En la gráfica se observa claramente que la heurística fue efectiva en encontrar esquemas de rotación que aumentaran la variabilidad de la actividad muscular de cada operario. Específicamente para cada músculo se presentan en la Tabla 6-3 Resultados de Variabilidad por músculo Modelo001 los resultados de variabilidad; es claro que el sub-óptimo encontrado en este modelo fue superior que aquellos valores encontrados para cada músculo independientemente; por esta razón es que se ven valores de la función objetivo mayores a 0.

Tabla 6-3 Resultados de Variabilidad por músculo Modelo001

	Sub-óptimo	Variabilidad	Dif. %
Antebrazo	2702.879	4326.167	60%
Deltoides	743.944	985.822	33%
Trapezio	1575.353	2257.588	43%
		Función Obj.	136%

Con estos resultados, se observa que efectivamente la solución brindada por LPSolve, aun tenía posibilidades de mejorar pues a pesar de esta metodología tiene la capacidad de llegar al óptimo global el alto tiempo computacional es un limitante de la herramienta.

Individualmente, cada músculo no presenta un aumento representativo en la función objetivo. Para antebrazo y el deltoides estos aumentos son del orden del 200% el aumento con la heurística es considerable. Sin embargo, para el trapecio el aumento es sólo del 7%, esto puede deberse a que los niveles de activación en el trapecio no son tan variables como para los otros músculos, por lo que se debe evaluar cómo se están comportando los niveles de activación del trapecio y si es necesario implementar otro tipo de intervención que ayude a rotar más las demandas sobre este músculo.

Para el Modelo002, el comportamiento de los resultados es similar, la heurística logró aumentar significativamente la variabilidad del esquema de trabajo. En este caso, se puede ver cómo se comporta la función objetivo en el modelo completo; es evidente que la programación completa en LPSolve no estaba cerca de encontrar el óptimo del problema. La solución brindada por la heurística, aunque puede no ser la óptima global del problema, es suficientemente buena como para alcanzar los objetivos de la herramienta. En la Tabla 5-1, se encuentran los valores de la variabilidad del mejor esquema de trabajo definido para el Modelo002.

Ilustración 6-5 - Evolución Función Objetivo Modelo002

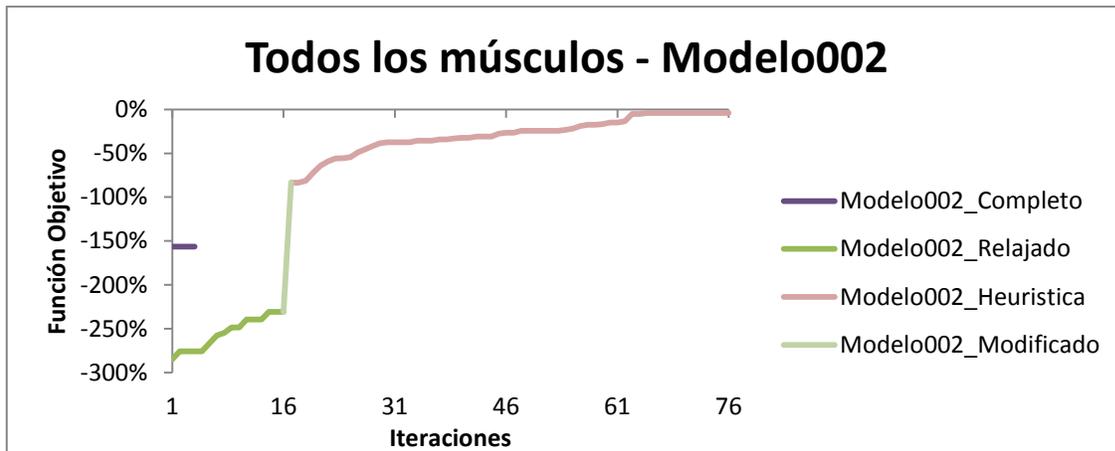


Tabla 6-4 – Resultados de Variabilidad por músculo Modelo002

	Sub-óptimo	Variabilidad	Dif. %
Antebrazo	1095.169	1067.079	-2.6%
Deltoides	256.896	255.874	-0.4%
Trapezio	581.753	575.558	-1.1%
		Función Obj.	-4.0%

Los resultados expuestos anteriormente, muestran que para diferentes tamaños de modelo, la heurística tiene la capacidad de aumentar la variabilidad de los esquemas de trabajo en cada uno de los músculos tenidos en cuenta. En este caso, a diferencia del Modelo001, la variabilidad de los músculos aumenta en medidas de ordenes similares por lo que se podría esperar que se esté diversificando la demanda mecánica para cada músculo en medidas apropiadas para no sobre-exponer ningún músculo.

6.4.4 Análisis de Sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad del modelo, se tuvo en cuenta únicamente la variación del parámetro de duración mínima de cada tarea, esto debido a que en función de éste el tamaño del problema, y las estructuras de la solución podrían ser diferentes; pero el esquema definido sigue siendo el mismo, pues se conservan las demandas cada tarea, y las mismas restricciones administrativas.

Como se ha observado, los modelos tuvieron diferentes comportamientos en cada aproximación de solución evaluada en el presente trabajo; en primer lugar, el Modelo001 no tuvo éxito en

encontrar soluciones factibles cuando no se habían relajado ninguna de las variables, en contraste con el Modelo002 en donde se lograron definir esquemas de trabajo factibles. Además los tiempos que se requirieron para el desarrollo de la heurística hasta el criterio de parada definido en los métodos, fueron menores para el segundo modelo (Ver ANEXO M). De este modo, es claro ver que el tamaño del modelo tiene un gran impacto en el tiempo computacional que se requiere para encontrar solución.

En la Tabla 5-1, es posible evaluar los resultados finales de la variabilidad de cada músculo en cada modelo, es evidente que el esquema más variable es el del Modelo001, esto se debe a que como los tiempos mínimos de cada trabajo son menores que en el Modelo002, la herramienta logra intercalar más frecuentemente los trabajos más demandantes con los menos demandantes para así aumentar la variabilidad de cada músculo.

Tabla 6-5 - Comparación Resultados Modelos 001 y 002

RESULTADOS Heurística	Todos	Antebrazo	Deltoides	Trapezio
Modelo001	136%	2702.9	743.9	1575.4
Modelo002	-4%	1095.169	256.896	581.8

La estructura de la solución, en general no fue radicalmente diferente, pues siempre se buscó en la mayor medida intercalar las soluciones que tenían grandes magnitudes de activación con aquellas que tenían menor magnitud. Es importante entonces, tener en cuenta con qué criterio se define el mínimo de la duración de cada tarea, pues en función de éste, el esquema resultante puede o no resultar práctico para una implementación real. El detalle de los esquemas de trabajo resultantes de los dos modelos se presenta en el ANEXO N.

7. DISCUSIÓN

Encontrar las medidas que permitan la reducción del riesgo de MSD es el objetivo de fondo del presente trabajo. Este fin se busca, soportado en la hipótesis fundamental que a través de la reducción del riesgo mecánico a corto plazo, que se espera así mismo que se reduzca el riesgo de MSD en el largo plazo, esto se fundamenta en evidencia pato-fisiológica documentada en la literatura (Marras 2005).

En la revisión de literatura, los estudios fundamentaron sus resultados en la mencionada hipótesis. Y, a partir de ésta empezaron a construir esquemas conceptuales para diseñar estudios que mostraran evidencia de las condiciones que reducen el riesgo mecánico a corto plazo. Es decir, condiciones de trabajo en las que las demandas mecánicas no superaran las capacidades de cada trabajador. Para dichos esquemas conceptuales se encuentran intervenciones que rotan las demandas mecánicas de una u otra manera como se definió en los métodos.

La evidencia encontrada apunta a que en general las intervenciones evaluadas aumentan la variabilidad de la tarea, que está asociada a un menor riesgo mecánico en el desarrollo a corto plazo de un esquema de trabajo. Los beneficios reportados, dependen de las condiciones específicas de cada trabajo y cada intervención, por lo que cuando se va a diseñar esquemas de rotación, se debe tener en cuenta siempre un criterio que permita evaluar si el esquema rota efectivamente o no las demandas mecánicas.

7.1 CARACTERIZACIÓN DE TAREAS

Se encontró que los estudios buscan en una u otra medida reducir el riesgo mecánico de un esquema de trabajo. El objetivo en general de los estudios encontrados, fue el de reducir las molestias percibidas, las magnitudes de activación muscular y la duración de esfuerzos estáticos que no permitieran una rotación de unidades motoras. Lo anterior fundamentado en que sí existe una variación de dichas unidades, por lo que la demanda mecánica en general y el esfuerzo percibido por el operario a corto plazo se ve reducido.

Un aspecto a tener en cuenta es que el efecto de las intervenciones a largo plazo, pues no es un tema muy explorado por los estudios de esta revisión. En general el tiempo de seguimiento de estos estudios no fue superior a unas pocas semanas, por lo que el efecto a largo plazo de estas intervenciones es aún desconocido; esto puede deberse a que estos estudios no se considera necesario evaluar el impacto a largo plazo, pues sólo con la medición de la fatiga localizada y las

molestias inmediatas que un operario percibe puede ser suficiente para evaluar si el esquema de trabajo será o no riesgoso para éste.

Por otro lado, la medición de la fatiga con auto-reportes fue lo más recurrente en los estudios, a pesar de que algunos contaron con algunos análisis sobre la señal para estimar presencia de fatiga localizada; la mayoría utilizó los auto-reportes como instrumento para medir la fatiga y las molestias percibidas por los operarios. Estos auto-reportes son los más utilizados, posiblemente debido a que son de bajo costo y en cierta medida replicables a varios estudios. Además, como aun no existe un acuerdo sobre cuál es la mejor metodología para medir la fatiga, los auto-reportes constituyen una opción muy aceptada por diversos autores.

7.1.1 Intervenciones en Magnitud de Activación Muscular

Las intervenciones que más presentaron evidencias favorables para la rotación de demandas y reducción de reportes de molestias fueron aquellas que buscaron un cambio en la magnitud de activación muscular. Estas intervenciones son las pausas activas y pasivas y la alternancia de tareas. Este beneficio se ve para tareas en VDT (Grupos[‡] 1.2 y 1.3), Industriales (Grupos 2.1 y 2.3) y en Otras tareas (Grupo 3.1). Con esto, se tiene un gran soporte en varios estudios con diversas poblaciones, diferentes condiciones de trabajo diferentes tipos de trabajo y diferentes intervenciones para soportar la hipótesis de que los cambios en magnitud de activación muscular, constituyen una intervención benéfica para los operarios.

Los cambios en magnitud deben tener en cuenta algunas consideraciones específicas. En primer lugar, que cada intervención tiene diferentes impactos sobre la actividad de cada músculo, por lo que cuando se considere realizar una intervención en magnitud, se recomienda analizar todos los músculos involucrados y su impacto específico pues como se ha mencionado anteriormente, se puede aumentar la variabilidad de un músculo a costa de otro, lo que puede incrementar el riesgo mecánico del esquema de trabajo y generar MSD.

En segundo lugar, se debe tener en cuenta el historial de MSD de cada sujeto, pues si éste ha tenido MSD la activación muscular de dicho sujeto podría tener un comportamiento diferente (Madeleine *et al.* 2003), por lo que un sujeto de éstos podría tener activaciones demasiado variables que puedan afectarlo en el largo plazo.

Igualmente, es importante tener en cuenta además de los cambios en magnitud, la magnitud específica de una tarea, pues a pesar de que existan grandes cambios en la magnitud a lo largo de un esquema de trabajo, si existen picos que superan la capacidad del operario posiblemente se van a generar molestias localizadas en los músculos.

Por último, cuando se realiza un cambio en la magnitud de activación a través de una rotación de tareas o de pausas activas o pasivas, se debe considerar también qué cambios se están realizando

[‡] Grupos de la Mejor Evidencia sobre los efectos de la rotación de tareas – ANEXO J

en la Frecuencia de la exposición, pues en función de esto puede o no tener efectos benéficos para los operarios. Dichos efectos se discuten en la siguiente sección.

7.1.2 Intervenciones en Frecuencia

Las intervenciones que alteran la frecuencia de la exposición a las demandas incluyen los cambios de ritmos y la frecuencia en el que se realiza un cambio en magnitud a través de una pausa o de la alternancia de tareas.

Los cambios de ritmos son los más estudiados en este tipo de intervenciones, pues por ejemplo en líneas de producción es un factor determinado por la tasa de producción; por lo que es de interés para la industria evaluar el impacto de dicha intervención. Dentro de la evidencia recolectada, se encuentran tendencias que apuntan a que la frecuencia libre de trabajo disminuye los picos en magnitud de activación muscular y los reportes de molestias de los operarios, esto para tareas en VDT (Grupo 1.1) y en ámbitos Industriales (Grupo 2.2). Además en "Otras Tareas", existe alguna evidencia que apunta a que permitir un ritmo más lento que el normal genera mayores tiempos relativos de descanso para los músculos, disminuye los picos de activación muscular (Escorpizo & Moore 2007).

Las intervenciones en frecuencia a través de la repetitividad de las pausas y/o alternancia de tareas no son estudiadas directamente por los estudios, pues como no existe un marco conceptual abiertamente aceptado para la rotación de demandas mecánicas, no es claro cómo interpretar el beneficio que dicho tipo de intervenciones puede tener. Dentro del marco conceptual del presente trabajo las intervenciones en frecuencia a través de pausas y alternancia de tareas son fácilmente concebibles. En el Grupo 1.2 de tareas en VDT existe evidencia de que los cambios en magnitud más frecuentes pueden ser benéficos para la variabilidad del operario y reducir los reportes de molestias.

Un resultado que debe ser evaluado en este tipo de intervenciones es que en tareas repetitivas, la magnitud de activación media teniendo en cuenta qué tan frecuente es la tarea, no es un buen indicador de la exposición a demandas mecánicas, esto se soporta en el estudio de (Iridiastadi & Nussbaum 2006)(Grupo 3.2), donde se evaluó la relación entre la magnitud de activación (%MVC), el ciclo de trabajo (CT) y la contracción media (%MVC*CT). Dicho resultado, indica que el análisis de la magnitud media puede no ser suficiente, ya que es necesario analizar también la repetitividad de un esquema de trabajo.

7.2 MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA REDUCIR LA CARGA MECÁNICA

En Lodree *et al.* (2009), se presentó un marco conceptual que sirve para evaluar qué tipo de modelos se han desarrollado en la literatura. De acuerdo a dicho marco se han presentado más recurrentemente macro-modelos que tienen en cuenta al operario sólo como un recurso dentro de un sistema en algún trabajo o conjunto de trabajos. Dichos modelos han buscado tener en cuenta el impacto general de los esquemas de trabajo mediante medidas como JSI que evalúan específicamente ciertos criterios sobre la repetitividad y la postura del operario, pero directamente ningún modelo ha tenido en cuenta las demandas específicas sobre partes del cuerpo de los operarios. Los micro-modelos que tienen en cuenta dichas especificaciones no han sido recurrentes, pues en general estos modelos requieren un estudio mucho más detallado del impacto de la tarea en el humano, y por tanto un costo asociado mucho más alto.

La variabilidad de la actividad muscular ha sido evaluada tangencialmente en la formulación de cada modelo, sin embargo, a partir de la revisión de literatura se encuentra que éste concepto tiene la capacidad de evaluar correctamente cómo se está impactando el operario con la rotación de demandas mecánicas. Por lo que un para este tipo de modelos, el análisis de la variabilidad del esquema de trabajo puede ser buen criterio de evaluación ergonómica.

7.3 FORMULACIÓN MODELO DE OPTIMIZACIÓN

Por lo anterior, la formulación del modelo se da en función de la variabilidad muscular, de este modo, se logra obtener una evaluación que tenga en cuenta qué tan variables son las tareas entre sí y qué tan demandante puede ser el esquema en general.

Como resultado de la revisión de literatura, y teniendo en cuenta el alcance de éste, la información relacionada al impacto que tiene un tipo de intervención en determinado tipo de tarea constituye un valioso aporte para realizar un diseño de un esquema de trabajo fundamentándose en la mejor evidencia que existe a conocimiento del autor sobre los beneficios de la rotación de tareas.

Además de lo anterior, el modelo permite definir un esquema de trabajo de acuerdo a los parámetros del %MVC de una tarea específica teniendo en cuenta los diferentes músculos involucrados. Como resultado de la revisión de literatura se tienen claros unos rangos factibles de operación de los músculos en determinadas tareas; por lo que para una intervención rápida en un ámbito laboral se pueden utilizar dichos rangos como parámetros de un modelo para definir el mejor esquema de rotación que minimice el riesgo mecánico de las demandas asociadas. De todos modos, cuando se cuente con los recursos, se podría realizar la medición directa de los %MVC de

cada operario en cada tarea para cada músculo para así definir con mayor precisión cuál es el mejor esquema de trabajo para las tareas y las personas específicas en dicha situación.

Para la solución del modelo se presentaron diferentes aproximaciones al problema, la formulación entera permite metodologías como Simplex para encontrar el óptimo global; sin embargo, esta metodología no resultó ser conveniente para la complejidad del modelo planteado, pues el tiempo computacional que requiere es alto; por tanto aproximaciones con heurísticas que, aunque no tienen la certeza de llegar al óptimo global de un problema; son más eficientes en el tiempo y encuentran soluciones más óptimas en un tiempo reducido.

El modelo presenta algunas limitaciones que en futuras investigaciones deberían ser consideradas. En primer lugar, no tiene en cuenta si un trabajo tiene una gran variabilidad intra-tarea, por lo que para un diseño correcto se debe evaluar qué tan variable es cada tarea tenida en cuenta pues un esfuerzo estático prolongado puede ser perjudicial para la variabilidad y el diseño del modelo podría no tenerlo en cuenta, para afrontar dicha problemática una opción es simplemente dividir en sub tareas aquellas tareas que tengan grandes esfuerzos estáticos para que el modelo tenga la posibilidad de variar dichas demandas y proponer esquemas que efectivamente aumenten la variabilidad de la activación muscular del operario.

En el presente trabajo, no se tuvo en cuenta el cambio de ritmo para un trabajo en el diseño del modelo. A pesar de que existen evidencias suficientes para incluir dicho tipo de intervenciones en el modelo, se desea que el modelo sea lo más sencillo posible para que en primer lugar se validen los esquemas propuestos por la herramienta, y un cambio de ritmos requiere que se tengan tareas más estandarizadas en trabajos con menor latitud de decisión para el operario. De todos modos, en la revisión se tienen varias evidencias sobre el potencial de mejora en términos de variabilidad de cada músculo por lo que constituye un área interesante para incluirla en futuras iteraciones del modelo de optimización.

8. RECOMENDACIONES

La rotación de demandas ha demostrado ser una buena intervención para reducir el riesgo de MSD en un esquema de trabajo; sin embargo, esta rotación debe ser evaluada para cada grupo muscular involucrado, pues de lo contrario se podría estar diseñando esquemas que roten las demandas de algunos músculos y dejen en mayor riesgo otros.

Diferentes intervenciones han pueden tener diferentes impactos de acuerdo a las condiciones específicas de la tarea; por lo que cuando se esté diseñando esquemas de trabajo se debe evaluar a la luz de la evidencia recolectada en el presente trabajo qué tipo de intervenciones se deben tener en cuenta para rotar efectivamente las demandas mecánicas en cada músculo.

El propósito de la herramienta propuesta es el diseño de esquemas de trabajo de oficina, en industrias de manufactura, y en general a cualquier industria en la que pueda ser evaluada la actividad muscular de un operario. La utilización de la herramienta siempre debería estar acompañada de una análisis conjunto de todos los demás factores de riesgo en determinado entorno laboral; pues podrían existir singularidades en la operación que afecten completamente el riesgo de MSD de un operario.

9. CONCLUSIONES

La rotación de demandas tiene un gran potencial para disminuir el riesgo de MSD en los operarios, siempre y cuando se tengan en cuenta aspectos específicos de la población, del entorno laboral y de las tareas a realizar, pues puede haber riesgos en alguno de estos factores que limiten el beneficio de la rotación de demandas.

El análisis de la señal EMG ha demostrado ser un instrumento eficaz para evaluar las cargas mecánicas de un operario e inferir el estado de fatiga de un músculo en tareas industriales. Y más aún un instrumento robusto para la evaluación de esquemas de rotación en donde existen impactos diferentes de acuerdo a la relación entre una tarea y una intervención.

A pesar de que cada resultado individual tiene un gran potencial en sí, el objetivo general del estudio fue proponer una herramienta para el diseño óptimo de esquemas de trabajo en entornos industriales, y como tal se obtuvo una herramienta que optimiza dichos esquemas fundamentándose en la mejor evidencia del beneficio de la rotación de tareas.

REFERENCIAS

- Alena Ottoa, A.S., 2011. Reducing ergonomic risks at mixed model assembly lines by job rotation scheduling. Working Papers
- in Supply Chain Management Friedrich-Schiller-University of Jena
- Anderson, A.M., Meador, K.A., McClure, L.R., Makrozasopoulos, D., Brooks, D.J., Mirka, G.A., 2007. A biomechanical analysis of anterior load carriage. *Ergonomics* 50, 2104-2117
- Aryanezhad, M.B., Kheirkhah, A.S., Deljoo, V., Al-e-hashem, S.M.J.M., 2009. Designing safe job rotation schedules based upon workers' skills. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 41, 193-199
- Bachouch, R.B., Guinet, A., HajriGabouj, S., 2010. An optimization model for task assignment in home health care. 2010 IEEE Workshop on Health Care Management (WHCM) Venice, Italy
- Balci, R., Aghazadeh, F., 2004. Effects of exercise breaks on performance, muscular load, and perceived discomfort in data entry and cognitive tasks. *Computers & Industrial Engineering* 46, 399-411
- Bao, S., Silverstein, B., Cohen, M., 2001. An electromyography study in three high risk poultry processing jobs. *International Journal of Industrial Ergonomics* 27, 375-385
- Beltrán, M.A., 2006. La norma OHSAS 18001 y su implementación
- Bosch, T., de Looze, M.P., Kingma, I., Visser, B., van Dieen, J.H., 2009. Electromyographical manifestations of muscle fatigue during different levels of simulated light manual assembly work. *J Electromyogr Kinesiol* 19, e246-56
- Bosch, T., De Looze, M.P., Van Dieen, J.H., 2007. Development of fatigue and discomfort in the upper trapezius muscle during light manual work. *Ergonomics* 50, 161-177
- Bosch, T., Mathiassen, S.E., Visser, B., de Looze, M.P., van Dieen, J.H., 2011. The effect of work pace on workload, motor variability and fatigue during simulated light assembly work. *Ergonomics* 54, 154-168
- Cabanac, M., 2006. Sensory pleasure optimizes muscular work. *Clinical and Investigative Medicine* 29, 110-116
- Carnahan, B.J., Redfern, M.S., Norman, B., 2000. Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search. *Ergonomics* 43, 543-560
- Cifrek, M., Medved, V., Tonković, S., Ostojić, S., 2009. Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clinical Biomechanics* 24, 327-340
- Cook, T.M., Ludewig, P.M., Rosecrance, J.C., Zimmermann, C.L., Gerleman, D.G., 1999. Electromyographic effects of ergonomic modifications in selected meatpacking tasks. *Applied Ergonomics* 30, 229-233
- Crenshaw, A.G., Djupsjöbacka, M., Svedmark, Å., 2006. Oxygenation, EMG and position sense during computer mouse work. Impact of active versus passive pauses. *European Journal of Applied Physiology* 97, 59-67
- Cruz Gómez, J.A., 2010. Ergonomía aplicada.

- Diego-Mas, J.A., AsensioCuesta, S., SanchezRomero, ArtachoRamirez, 2009. A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules. *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol.39, no, 1, Jan-Netherans
- Duchene, J., Goubel, F., 1993. Surface electromyogram during voluntary contraction: processing tools and relation to physiological events. *Critical Reviews in Biomedical Engineering* 21, 313-397
- Eastman-Kodak, C., 2004. Kodak's ergonomic design for people at work.
- Eksioglu, M., 2006. Optimal work–rest cycles for an isometric intermittent gripping task as a function of force, posture and grip span. *Ergonomics* 49, 180-201
- Escorpizo, R., Moore, A., 2007. The effects of cycle time on the physical demands of a repetitive pick-and-place task. *Applied Ergonomics* 38, 609-615
- Estrada Muñoz, J., 2011. *Ergonomía*.
- Falla, D., Farina, D., 2007. Periodic increases in force during sustained contraction reduce fatigue and facilitate spatial redistribution of trapezius muscle activity. *Experimental Brain Research* 182, 99-107
- Farrer V, F., Minaya L, G., Niño E, J., Ruiz R, M., 1994. *Manual de Ergonomía*.
- Fethke, N.B., Anton, D., Cavanaugh, J.E., Gerr, F., Cook, T.M., 2007. Bootstrap exploration of the duration of surface electromyography sampling in relation to the precision of exposure estimation. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* 33, 358-367
- Feuerstein, G.D.H.a.M., 2004. Identifying Work Organization Targets for a Work-Related Musculoskeletal Symptom Prevention Program. *Journal of Occupational Rehabilitation* 14, 13-30
- Frazer, M., Norman, R., Wells, R., Neumann, P., 2003. The effects of job rotation on the risk of reporting low back pain. *Ergonomics* 46, 904
- Gazzoni, M., 2010. Multichannel surface electromyography in ergonomics: Potentialities and limits. *Human Factors & Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* 20, 255-271
- Gerard, M.J., Armstrong, T.J., Martin, B.J., Rempel, D.A., 2002. The Effects of Work Pace on Within-Participant and Between-Participant Keying Force, Electromyography, and Fatigue. *Human Factors* 44, 51
- Gold, J.E., Park, J.S., Punnett, L., 2006. Work routinization and implications for ergonomic exposure assessment. *Ergonomics* 49, 12-27
- Hammarskjold, E., Harms-Ringdahl, K., 1992. Effect of arm-shoulder fatigue on carpenters at work. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology* 64, 402-409
- Holtermann, A., Sogaard, K., Christensen, H., Dahl, B., Blangsted, A.K., 2008. The influence of biofeedback training on trapezius activity and rest during occupational computer work: a randomized controlled trial. *Eur J Appl Physiol* 104, 983-9
- Howarth, S.J., Beach, T.A.C., Pearson, A.J., Callaghan, J.P., 2009. Using sitting as a component of job rotation strategies: Are lifting/lowering kinetics and kinematics altered following prolonged sitting. *Applied Ergonomics* 40, 433-439
- Hui, L., Ng, G.Y.F., Yeung, S.S.M., Hui-Chan, C.W.Y., 2001. Evaluation of physiological work demands and low back neuromuscular fatigue on nurses working in geriatric wards. *Applied Ergonomics* 32, 479-483
- ICONTEC, 2009. GTC 45 - Sistema de gestión en seguridad y salud ocupacional y otros documentos. El instituto

- Iridiastadi, H., Nussbaum, M.A., 2006. Muscular Fatigue and Endurance During Intermittent Static Efforts: Effects of Contraction Level, Duty Cycle, and Cycle Time. *Human Factors* 48, 710-720
- Jones, T., Kumar, S., 2006. Assessment of physical demands and comparison of multiple exposure definitions in a repetitive high risk sawmill occupation: Saw-filer. *International Journal of Industrial Ergonomics* 36, 819-827
- Jonsson, B., 1988. Electromyographic studies of job rotation. *Scand J Work Environ Health* 14 Suppl 1, 108-9
- Karwowski, W., 2003. Occupational ergonomics engineering and administrative controls. Boca Raton, Florida ; London : CRC Press, c2003.
- Keir, P.J., Sanei, K., Holmes, M.W., 2011. Task rotation effects on upper extremity and back muscle activity. *Appl Ergon*
- Khalaf, K.A., Parnianpour, M., Sparto, P.J., Barin, K., 1999. Determination of the effect of lift characteristics on dynamic performance profiles during manual materials handling tasks. *Ergonomics* 42, 126-45
- Kilbom, A., 2000. Repetitive work of the upper extremity: Part II—The scientific basis (knowledge base) for the guide. In: Anil Mital ÅK & Shrawan K (eds.) Elsevier Ergonomics Book Series. Elsevier, pp. 151-178.
- Kobryn, U., Meyer, L.U., Richter, L., Ullrich, K., 1989. [Muscular burden in current work activities exemplified by cash register work sites]. *Zeitschrift fur die Gesamte Hygiene und ihre Grenzgebiete* 35, 473-475
- Konz, S., 1998. Work/rest: Part II – The scientific basis (knowledge base) for the guide. *International Journal of Industrial Ergonomics* 22, 73-99
- Kuijjer, P., van der Beek, A.J., van Dieen, J.H., Visser, B., Frings-Dresen, M.H.W., 2005. 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, 394-402
- Kumar, S., 2001. Theories of musculoskeletal injury causation. *Ergonomics* 44, 17-47
- Labor-Statistics, U.S.B.o., 2010. Workplace Injuries And Illnesses – 2009. In: PressOffice Bureau of Labor Statistics
- Lodree, E.J., Geiger, C.D., Jiang, X.C., 2009. Taxonomy for integrating scheduling theory and human factors: Review and research opportunities. *International Journal of Industrial Ergonomics* 39, 39-51
- Luttmann, A., Schmidt, K.H., Jager, M., 2010. Working conditions, muscular activity and complaints of office workers. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40, 549-559
- Madeleine, P., Lundager, B., Voigt, M., Arendt-Nielsen, L., 2003. Standardized low-load repetitive work: evidence of different motor control strategies between experienced workers and a reference group. *Applied Ergonomics* 34, 533
- Marras, W.S., 2005. The future of research in understanding and controlling work-related low back disorders. *Ergonomics* 48, 464-477
- Marras, W.S., Knapik, G.G., Ferguson, S., 2009. Loading along the lumbar spine as influence by speed, control, load magnitude, and handle height during pushing. *Clinical Biomechanics* 24, 155-163
- 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

- Mathiassen, S.E., Möller, T., Forsman, M., 2003. Variability in mechanical exposure within and between individuals performing a highly constrained industrial work task. *Ergonomics* 46, 800
- Mathiassen, S.E., Winkel, J., 1996. Physiological comparison of three interventions in light assembly work: reduced work pace, increased break allowance and shortened working days. *International Archives Of Occupational And Environmental Health* 68, 94-108
- Ministerio de la Protección Social, 2007. Informe de Enfermedad Profesional en Colombia 2003-2005.
- Möller, T., Mathiassen, S.E., Franzon, H., Kihlberg, S., 2004. Job enlargement and mechanical exposure variability in cyclic assembly work. *Ergonomics* 47, 19-40
- Movahed, M., Ohashi, J., Kurustien, N., Izumi, H., Kumashiro, M., 2011. Fatigue sensation, electromyographical and hemodynamic changes of low back muscles during repeated static contraction. *European Journal Of Applied Physiology* 111, 459-467
- Mukhopadhyay, P., O'Sullivan, L., Gallwey, T.J., 2007. Estimating upper limb discomfort level due to intermittent isometric pronation torque with various combinations of elbow angles, forearm rotation angles, force and frequency with upper arm at 90° abduction. *International Journal of Industrial Ergonomics* 37, 313-325
- Niebel, B.W., 2009. *Ingeniería industrial : métodos, estándares y diseño del trabajo*. México : McGraw-Hill Interamericana Editores, c2009.
- Oksa, J., Sormunen, E., Koivukangas, U., Rissanen, S., Rintamaki, H., 2006. Changes in neuromuscular function due to intermittently increased workload during repetitive work in cold conditions. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health* 32, 300-309
- Raina, S.M., Dickerson, C.R., 2009. The influence of job rotation and task order on muscle fatigue: A deltoid example. *Work* 34, 205-213
- Richman, J.S., Randall, J.R., 2000. Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy.
- Rissen, D., Melin, B., Sandsjo, L., Dohns, I., Lundberg, U., 2002. Psychophysiological stress reactions, trapezius muscle activity, and neck and shoulder pain among female cashiers before and after introduction of job rotation. *Work and Stress* 16, 127-137
- Sakurai, T., Toda, M., Sakurazawa, S., Akita, J., Kondo, K., Nakamura, Y., 2010. Detection of Muscle Fatigue by the Surface Electromyogram and Its Application. In: 2010 IEEE/ACIS 9th International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2010) Matsuo T, Ishii N & Lee R (Eds.), USA
- Samani, A., Holtermann, A., Sogaard, K., Madeleine, P., 2009a. Active pauses induce more variable electromyographic pattern of the trapezius muscle activity during computer work. *Journal of Electromyography & Kinesiology* 19, e430-e437
- Samani, A., Holtermann, A., Sogaard, K., Madeleine, P., 2009b. Effects of eccentric exercise on trapezius electromyography during computer work with active and passive pauses. *Clinical Biomechanics* 24, 619-625
- Samani, A., Holtermann, A., Sogaard, K., Madeleine, P., 2010. Advanced biofeedback from surface electromyography signals using fuzzy system. *Medical & Biological Engineering & Computing* 48, 865-873
- Sánchez, C.J.J., Osorio, G.J., Baena, M.E., 2007. Algunas Aproximaciones Al Problema De Financiamiento De Las Pymes En Colombia. *Scientia et Technica Año XIII, No 34 - UTP*
- Sanders, M.S., 1993. Human factors in engineering and design.

- Schomburg, J.T., 2011. Sequencing labor-intensive production by ergonomic assessment for reduction of work-related musculoskeletal disorders. Iowa State University.
- Seckiner, S.U., Kurt, M., 2007. A simulated annealing approach to the solution of job rotation scheduling problems. *Applied Mathematics and Computation*, vol.188, no, 1, 1 May-USA
- Seçkiner, S.U., Kurt, M., 2008. Ant colony optimization for the job rotation scheduling problem. *Applied Mathematics & Computation* 201, 149-160
- Shin, H.-J., Kim, J.-Y., 2007. Measurement of trunk muscle fatigue during dynamic lifting and lowering as recovery time changes. *International Journal of Industrial Ergonomics* 37, 545-551
- Slavin, R.E., 1995. Best Evidence Synthesis: An Intelligent alternative to meta-analysis. *J Clin Epidemiol* 48, 9-18
- Sogaard, K., Laursen, B., Jensen, B.R., Sjogaard, G., 2001. Dynamic loads on the upper extremities during two different floor cleaning methods. *Clinical Biomechanics* 16, 866-879
- Stalhammar, H.R., Leskinen, T.P., Rautanen, M.T., Troup, J.D., 1992. Shrinkage and psychophysical load ratings in self-paced and force-paced lifting work and during recovery. *Ergonomics* 35, 1-5
- Sundelin, G., 1993. Patterns of electromyographic shoulder muscle fatigue during MTM-paced repetitive arm work with and without pauses. *International Archives Of Occupational And Environmental Health* 64, 485-493
- Sundelin, G., Hagberg, M., 1989. The effects of different pause types on neck and shoulder EMG activity during VDU work. *Ergonomics* 32, 527-537
- Suwazono, Y., Sakata, K., Harada, H., Oishi, M., Okubo, Y., Uetani, M., Kobayashi, E., Nogawa, K., 2006. Benchmark Dose of Working Hours in Relation to Subjective Fatigue Symptoms in Japanese Male Workers. *Annals of Epidemiology* 16, 726-732
- Szeto, G.P.Y., Straker, L.M., O'Sullivan, P.B., 2005. The effects of speed and force of keyboard operation on neck-shoulder muscle activities in symptomatic and asymptomatic office workers. *International Journal of Industrial Ergonomics* 35, 429-444
- Talbi, E.-G., 2009. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Jhon Wiley & Sons.
- Tharrrnaphornphilas, W., Norman, B.A., 2004. A Quantitative Method for Determining Proper Job Rotation Intervals. *Annals of Operations Research* 128, 251-266
- Tharrrnaphornphilas, W., Norman, B.A., 2007. A methodology to create robust job rotation schedules. *Annals of Operations Research* 155, 339-360
- Vasseljen, O., Jr., Westgaard, R.H., 1997. Arm and trunk posture during work in relation to shoulder and neck pain and trapezius activity. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 12, 22-31
- Wang, P.C., Rempel, D., Harrison, R., Chan, J., Ritz, B., 2007. Work-organizational and personal factors associated with upper body musculoskeletal disorders among sewing machine operators. *Occup Environ Med*
- Waters, T.R.P., Dick, R.B.P., Krieg, E.F.P., 2011. Trends in Work-Related Musculoskeletal Disorders. *JOEM* 53
- Wells, R., McFall, K., Dickerson, C.R., 2010. Task selection for increased mechanical exposure variation: Relevance to job rotation. *Ergonomics* 53, 314-323
- Westad, C.F., Westgaard, R.H., De Luca, C.J., 2003. Motor unit recruitment and derecruitment induced by brief increase in contraction amplitude of the human trapezius muscle.
- Wiker, S.F., Chaffin, D.B., Langolf, G.D., 1989. Shoulder posture and localized muscle fatigue and discomfort. *Ergonomics* 32, 211-237

Winkel, J., Mathiassen, S.E., 1994. Assessment of physical work load in epidemiologic studies: concepts, issues and operational considerations. *Ergonomics* 37, 979-988

LISTA DE ANEXOS

- A. Términos de Búsqueda Revisión de Literatura
- B. Protocolo de Revisión de Artículos por Resumen
- C. Guía de la extracción de datos por parte de los revisores
- D. Protocolo de Evaluación de Calidad y Criterios Mejor Evidencia
- E. Resultados Evaluación de Calidad
- F. Descripción Trabajo a Optimizar
- G. Resumen Estudios Revisión de Literatura de Tareas
- H. Tabla Característica Estudios Revisión de Literatura
- I. Inventario de Tareas e Intervenciones
- J. Mejor Evidencia sobre los efectos de la rotación de demandas mecánicas
- K. Resumen Estudios Revisión de Literatura de Modelos
- L. Herramienta Optimización de Esquemas de Trabajo (CD)
- M. Resultados Modelos de Optimización
- N. Esquemas de Trabajo Propuestos por los Modelos

ANEXO A - Términos de Búsqueda Revisión de Literatura

A continuación se presentan los grupos de términos de búsqueda propuestos para la revisión sistemática de literatura:

Others	Rotation
Molecular OR molecule OR animal OR cell OR Child	Rotation OR "work variation" OR Arrangement OR Enlargement OR "work cycle" OR pacing OR "work organization" OR "optimization" OR "optimizing" OR "enrichment"
Area	Muscle_Activity
Industry OR Industrial OR occupation OR job OR work OR Ergonomic OR "Human Factors"	EMG OR "Muscle activity" OR "sEMG" OR "direct measurement" OR electromyography OR EVA OR APDF OR "Electrical Stimulation"
Ergonomic_Demand_of_interest	
Fatigue OR "Ergonomic Exposure" OR Exertion OR exertion OR force OR lifting OR "manual materials handling" OR "mechanical exposure" OR "mechanical factor" OR "mechanical load" OR "mechanical risk factor" OR motion OR movement OR "physical demand" OR "physical exertion" OR "physical exposure" OR "physical load" OR "physical risk factor" OR "postural demand" OR "postural exertion" OR "postural exposure" OR "postural factor" OR "postural load" OR "postural risk factor" OR "repetitive load" OR "repetitive motion" OR "repetitive movement" OR "repetitive work" OR vibration OR "work demand" OR "work exertion" OR "work load" OR "work pace" OR "working load" OR "working pace" OR posture OR workload OR "muscle load" OR "muscle activity" OR Biomechanics OR Biomechanical	

ANEXO B - Protocolo de Revisión de Artículos por Resumen

El presente documento tiene por objetivo especificar la metodología para la selección de artículos que conduzcan la revisión de literatura que busca responder las siguientes 3 preguntas:

1. ¿Qué evidencia existe sobre el efecto de la rotación de tareas en el trabajo sobre las cargas mecánicas del mismo?
2. ¿Qué tareas y músculos han sido cuantificados con EMG para medir la carga mecánica de las tareas?
3. ¿Qué evidencia existe sobre el efecto de la rotación de tareas en el trabajo sobre las cargas mecánicas del mismo usando la EMG para medir dicha carga?

Para seleccionar los artículos que respondan a las anteriores preguntas se le pide al revisor que después de leído cada título y abstract responda si cumple (1) o no (0) cada uno de los siguientes criterios descritos en las columnas del mismo archivo de Excel

Criterios

1. ¿El estudio compara esquemas de rotación en trabajos mecánicos?
2. ¿El estudio usa EMG para cuantificar carga mecánica en el trabajo?*
3. ¿El estudio cuantifica los efectos de rotación en el trabajo con EMG?

*Se refiere a propósitos ocupacionales incluyendo pruebas en laboratorios o en el campo. No incluye estudios con solo atletas, escribir la letra "a" para identificar dichos estudios.

Observaciones

1. Estudios en ámbitos netamente laborales o en laboratorios reales en la industria
2. Rotación de Trabajo, incluyendo pausas activas, ritmos de trabajo, entre otros
3. Trabajos en VDT sí se incluyen, tareas repetitivas de todo tipo

ANEXO C - Guía de la extracción de datos por parte de los revisores¹

Esta guía incluye información relevante sobre el protocolo que se debe seguir para la extracción de información. En el formato de lectura se encuentran los campos que deben ser completados con información de cada referencia.

Por favor lea con atención las preguntas, especialmente el texto subrayado el cual proporciona instrucciones generales que ayudarán a garantizar la consistencia de las respuestas entre los diferentes revisores. El texto en **rojo** proporciona ejemplos para ayudar a ilustrar respuestas específicas.

Todas las preguntas contenidas en la base de datos provista deben tener respuesta. Si en algún artículo la información contenida no es suficiente para contestar una pregunta en particular, o bien no aplica la pregunta para el tema del artículo, el revisor deberá responder **“NP”** (No proporcionada) en el campo de comentarios. Es importante que todas las preguntas tengan respuesta puesto que de lo contrario no sabríamos si un artículo no tenía la información o si el revisor olvidó introducirla. Complete toda la información en inglés. La hoja de cálculo está diseñada para cambiar a color rojo la celda del número del artículo cuando no estén completos todos los campos requeridos. Si dicho número permanece en rojo, por favor revise que haya completado todos los campos. Recuerde, no haga extrapolaciones, simplemente proporcione la información contenida en el artículo. Puede que usted necesite obtener información de tablas o figuras.

Datos generales

1. **Año** de publicación del estudio.
2. **Título**
3. **Autores**
4. **Texto completo:** Indica si el texto completo del artículo de interés ha sido encontrado y está disponible para su lectura **(1)** o bien si aún no se tiene disponible **(0)**. **No necesita**

¹ Adaptado de “Protocolo Extracción por parte de los revisores” (borrador) Barrero, LH 2008

llenar o cambiar esta información. El autor líder lo actualizará en la medida en que se consigan los artículos.

Diseño del estudio:

5. **Objetivo.** Por favor escriba la frase textual del texto que indica la pregunta u objetivo que ha sido puesto a prueba en la investigación.
6. **Hipótesis Principal.** Por favor transcriba la frase tal cual como se usó en el artículo o introduzca "NP". Una pregunta de investigación/objetivo claramente planteada no significa que una hipótesis primaria ha sido presentada con claridad. Las hipótesis generalmente comienzan con: "Nuestra hipótesis es..."; "Nuestras expectativas son..." o "Predecimos que..." y explica que un cambio en una variable "X" conlleva a un cambio en una variable "Y". Si los autores listan una serie de hipótesis sin especificar cual es la primaria, entonces se deben introducir en la pregunta 7 todas las hipótesis presentadas por los autores.
7. **Hipótesis Secundarias.** Las hipótesis adicionales pueden incluir hipótesis intermedias que cubren aspectos importantes del artículo, examinan el efecto de la intervención en un resultado intermedio (por ejemplo, el efecto en una exposición). Por favor digite la frase tal cual como se usa en el artículo o escriba "NP".
8. **Diseño del Estudio.** Indique si el estudio fue un experimento en campo, o fue un experimento en un laboratorio o si fue un estudio observacional. En el caso de estudios experimentales, por favor seleccione alguna de las siguientes opciones:
 - Ensayo aleatorio en campo
 - Ensayo no aleatorio en campo
 - Diseño cruzado aleatorio
 - Diseño cruzado no aleatorio
 - Diseño antes-después SIN control
 - Otro

Tenga en cuenta que las opciones abajo se describen esquemáticamente para que recuerde las generalidades de cada tipo de diseño, donde: X significa intervención; O significa observación, y R significa aleatorio:

Ensayo aleatorio en campo – Un estudio de campo donde la asignación de la intervención es aleatoria.

R O X O

O O

Ensayo no aleatorio en campo – Un estudio de campo donde la asignación de la intervención no es aleatoria.

O X O

O O

Diseño Cruzado Aleatorio – Un estudio de campo donde dos grupos reciben la intervención pero en un momento diferente, y en donde la asignación de grupo es aleatoria (es decir, la asignación de que grupo recibe primero la intervención y luego el tratamiento control y qué grupo recibe primero el tratamiento control y luego la intervención).

R O X O O

O O X O

Diseño cruzado no aleatorio - Un estudio de campo donde dos grupos reciben la intervención pero en un momento diferente, y la asignación de grupo no es aleatoria.

O X O O

O O X O

Diseño antes-después SIN control – Estudio de campo observando un solo grupo antes y después de recibir la intervención.

O X O

9. Población del Estudio. Por favor indique aquí todas las características disponibles de la población, incluyendo los siguientes:

- Tamaño de la población participante (cuántas personas participaron en el estudio). Es frecuente que en varios estudios se invite a un número, entre otro número, y se quede al final otro número. Es importante reportarlos todos.
- Edad (media, desviación estándar)
- Porcentaje de mujeres en el estudio
- Clasificación: Por favor indique qué tipo de población se está utilizando, estudiantes, voluntarios, trabajadores reales de la industria etc.
- Retiros durante el seguimiento: Al finalizar el estudio, es posible que la población inicial no perdure debido a accidentes, lesiones u otros factores.
- Experiencia: Indique el tiempo que el operario lleva realizando la tarea de interés antes de comenzar el estudio.
- Comentarios Adicionales: Por favor indique si existieron grupos de control, grupos de intervención o poblaciones con características especiales.

Especificaciones de la tarea evaluada

- 10. Industria/empresa.** Indique en qué industria, área o empresa en particular se desarrolló el estudio de investigación.
- 11. Trabajo.** Por favor, indique específicamente qué tipo de trabajo fue evaluado ensamble de autos, labores de limpieza, etc.
- 12. Características de la(s) tarea(s).** Por favor complete todos los campos en cada tarea, en caso de no existir más tareas, complete con NP.
 - Tarea Evaluada: Indique todas las tareas que hayan sido objeto de estudio. Levantamiento de cargas, ensamble de piezas, trabajo en escritorio, etc
 - Contenido: Incluya las actividades esenciales de la tarea. Escritura en computador en escritorio a X altura, transporte de materiales de un lugar a 1m del lugar de origen, ensamble de piezas A y B, etc.
 - Duración: Indique los tiempos relevantes de cada actividad que conforma la tarea en cuestión.
 - Posturas Adoptadas.
 - Especificaciones Adicionales: Requerimientos específicos de la tarea, preparación para la misma, tiempo de descanso entre repeticiones, etc.
- 13. Parte del cuerpo.** Por favor indique, qué partes del cuerpo son evaluadas en el estudio, de ser posible indique qué músculos específicos fueron tenidos en cuenta.
- 14. Tipo de Demanda en cada músculo.** Indique para cada parte del cuerpo identificada en la pregunta anterior, a qué tipo de demanda fue sometida cada parte del cuerpo.
 - Dinámica: Demandas mecánicas que implican un movimiento de los músculos del cuerpo, incluye movimiento de materiales o desplazamiento de las extremidades del cuerpo
 - Dinámica con alta repetición: Cargas mecánicas con altas repeticiones en determinados periodos de tiempo; pueden ser repeticiones de demandas dinámicas bajas a lo largo del tiempo.
 - Estática: Demandas mecánicas asociadas generalmente a una postura fija, incluye periodos de pie por largos momentos o cargas en la espalda baja estando sentado en una silla. Tener en cuenta que si por ejemplo se está evaluando el hombro en

una línea de ensamble donde la persona está de pie, los músculos de las piernas o la espalda pueden estar expuestos a demandas estáticas, mientras el músculo del hombro que ayuda en el movimiento del brazo completo puede estar expuesto a demandas dinámicas.

Rotación de Tareas

15. Tipo de Rotación. Indique en cada caso si aplica o no. (Elija todas las opciones que apliquen)

- Alternancia de tareas: Inclúyalo en caso de existir dos o más tareas entre las que se alterna el trabajo por determinado periodo de tiempo.
- Pausas Activas: En tareas donde existe una función principal generalmente más demandante que una función secundaria durante la cual se realiza una pausa activa. Por ejemplo, **en ensamble de materiales se realiza una pausa activa al realizar anotaciones en un computador sobre el avance del trabajo.**
- Pausas Pasivas: Trabajos en los que se realiza un cese de actividades por cierto tiempo.
- Cambios en el ritmo de trabajo: Indíquelas si se presentan situaciones en donde el ritmo de producción o de trabajo del operario es alterado en ciclos determinados.
- Otros: Indique otros tipos de rotación de trabajo en donde se busque realizar un cambio a la exposición de demandas mecánicas.

16. Esquema de rotación. Defina cómo fue el esquema de rotación, los tiempos y características de cada modificación del esquema de trabajo. Sea tan específico como sea posible.

Cuantificación y Resultados

17. Variables de interés. Indique aquellas variables que fueron cuantificadas con el fin de responder a los objetivos del estudio. Por ejemplo, % MVC del valor RMS de una señal EMG, **índice de Frecuencia de Accidentes, dolor reportado, etc.**

18. Medición de Variables. Indique para cada variable, el o los métodos o instrumentos utilizados. Escriba los nombres de los instrumentos específicos. Se incluyen:

- Medición directa por EMG.
 - i. Medición de la señal: Indique las especificaciones y la metodología utilizada para medir la señal. Incluya de ser posible el instrumento específico, la ubicación de los electrodos sobre los músculos, etc.
 - ii. Procesamiento de la señal. Indique la metodología utilizada para procesar la señal EMG, eliminación de ruidos, ventana de tiempo para RMS, percentiles utilizados etc.
- Medición directa otros. Incluya aquí otros métodos cuantificados de manera directa, por ejemplo con electro-goniómetros, consumo de O₂, pulso cardíaco, etc.

- Otros. Incluya aquí otros métodos por ejemplo basados en observación o auto-reportes.
- 19. Análisis Estadísticos.** Indique las características de cada análisis realizado con las variables medidas.
- Análisis de Varianzas: Indique si se hicieron diferentes análisis para cada variable, o bien se realizó un MANOVA general.
 - Regresiones
 - Pruebas Post-Hoc
 - Otros
- 20. Resultados y Valor-p.** Por favor, incluya aquí los resultados relevantes que respondan a las hipótesis y objetivos del estudio. Indique además la significancia estadística de las pruebas estadísticas realizadas incluyendo intervalos de confianza, valores t, valores F, o valores p.
- 21. Discusiones y Conclusiones.** Incluya aquí las conclusiones y discusiones más relevantes sobre los resultados anteriormente descritos.

Criterios del Revisor

- 22. Importancia Subjetiva.** Por favor incluya aquí una evaluación de 1 a 10 (donde 1 es importancia muy baja y 10 es importancia muy alta) sobre la relevancia del estudio con respecto a cada una de estas preguntas:
- ¿El estudio aporta información relevante para saber el efecto de la rotación de tareas en el trabajo sobre las cargas mecánicas del mismo?
- Tenga en cuenta que la revisión de literatura se diseñó inicialmente con estas mismas preguntas, por tanto existen artículos que sólo responden adecuadamente una de las preguntas, en dicho caso por favor, califique con NA las preguntas que usted considere no apliquen en lo absoluto.
- 23. Observaciones Adicionales.** Escriba aquí las observaciones y comentarios sobre la información que considere relevante sobre el estudio.
- Comentarios sobre cómo el estudio responde lo siguiente: **¿El estudio aporta información relevante para saber el efecto de la rotación de tareas en el trabajo sobre las cargas mecánicas del mismo?**
 - **Limitaciones Encontradas:** Incluya aspectos que limiten la confiabilidad del estudio, tamaño de muestra, procedimientos no estandarizados, pruebas estadísticas no apropiadas, etc.
 - **Ventajas Encontradas:** Indique aquellos aspectos que usted considere más relevantes e importantes del estudio.
- 24. Revisor del estudio.** Indique aquí su apellido y la primera letra de su primer nombre. Ejemplo, **Rodríguez A**

ANEXO D - Protocolo de Evaluación de Calidad y Criterios Mejor Evidencia

Evaluación de Calidad

Todas las preguntas tienen un valor de 1 punto, los ítems dentro las preguntas 7, 9 y 10 tienen el mismo puntaje fracción de 1 dentro de cada pregunta para completar 1 un punto en cada pregunta.

1. ¿Es específica la definición del objetivo y la hipótesis principal del estudio?
2. ¿El tamaño de muestra es mayor o igual a 15 sujetos?
3. ¿Hay uso de un grupo de control?
4. ¿La intervención es aleatoria?
5. ¿El seguimiento es mayor a 3 meses?
6. ¿Existe un análisis demográfico de los sujetos y su respectivo ajuste por posibles variables de confusión?
 - a. Edad
 - b. Sexo
 - c. Condiciones del entorno de trabajo
 - d. Otros (enfermedades, lesiones, etc.)
7. ¿Los sujetos tienen experiencia en la tarea a desarrollar?
8. ¿Son claros los criterios de inclusión de los sujetos al estudio?
9. ¿Fueron analizadas las diferencias entre los empleados que permanecieron en el estudio y los que se retiraron?
10. ¿La tarea bajo estudio es real (no simulada)?
11. ¿Existe estandarización del método de trabajo incluyendo tareas específicas y tiempos de descanso?
12. ¿La metodología para la medición directa de la señal es claramente descrita?
 - a. Instrumentos de medición (marca y referencia)
 - b. Procedimientos metodológicos (ubicación de los electrodos, limpieza de la superficie de la piel)
13. ¿El análisis de las variables de interés es consistente con la tarea analizada?
 - a. En señales EMG, para tareas poco diversas y con demandas muy estáticas un RMS puede no ser sensible a los cambios de la actividad muscular por fatiga. En este caso, ¿el estudio utiliza alguna otra variable complementaria para evaluar la fatiga?

- b. En el procesamiento de la señal se utilizó una transformada para analizar el comportamiento en frecuencia.
- c. El autor especifica los filtros y rangos utilizados para el procesamiento de la señal.
- d. La señal es normalizada para cada individuo con su contracción máxima voluntaria.

14. ¿Existen instrumentos de medición diferentes a EMG para soportar los resultados del estudio?

Adaptado de: Intervenciones Asociadas A La Prevención O Disminución De Desordenes Musculo-esqueléticos De Miembro Superior En El Ámbito Laboral - Revisión Sistemática De La Literatura. Lope y cols, 2008.

La puntuación inicial tiene un máximo de 14 puntos, para dimensionar más claramente la escala, se redefinió cada puntaje a una escala de 0 a 10. De acuerdo con lo anterior, los estudios se evaluaron según los siguientes rangos:

Escala de Puntuación (0..10)	
Clasificación Calidad	Puntaje
Alta	≥ 7.0
Media	$\geq 5.0; < 7.0$
Baja	< 5.0

Criterios para la Mejor Evidencia

A continuación se definen los criterios propuestos por el autor para encontrar la mejor evidencia en la revisión de literatura (15535). Estos criterios permiten realizar un análisis más objetivo de la comparabilidad y la consistencia entre los estudios incluidos. Esto para obtener las conclusiones más relevantes sin la necesidad de utilizar un meta-análisis más complejo.

Criterio 1: Comparabilidad

Coincidencia entre dos estudios		Comparabilidad entre dos estudios
Músculos evaluados	Dimensión de la rotación	
Sí	Sí	Alta
Sí	No	Media
No	Sí	Media
No	No	Baja

Criterio 2: Consistencia

Calidad Mínima	No. Estudios	Consistencia
Alta	≥ 2	Alta
Media	≥ 2	Media
Baja	≥ 2	Baja
-	-	Indefinida

ANEXO E – Resultados Evaluación de Calidad

A continuación se presentan las preguntas evaluadas y la proporción de estudios que contaron con cada criterio:

No. Pregunta	%Estudios
1. ¿Es específica la definición del objetivo y la hipótesis principal del estudio?	100%
2. ¿El tamaño de muestra es mayor o igual 15 sujetos?	32%
3. ¿Hay uso de un grupo de control?	91%
4. ¿La intervención es aleatoria?	55%
5. ¿El seguimiento es mayor a 3 meses ?	9%
6. ¿Existe un análisis demográfico de los sujetos y su respectivo ajuste por posibles variables de confusión?	48%
a. Edad	32%
b. Sexo	27%
c. Condiciones del entorno de trabajo	59%
d. Otros (enfermedades, lesiones, etc.)	73%
7. ¿Los sujetos tienen experiencia en la tarea a desarrollar?	45%
8. ¿Son claros los criterios de inclusión de los sujetos al estudio?	68%
9. ¿Fueron analizadas las diferencias entre los empleados que permanecieron en el estudio y los que se retiraron?	100%
10. ¿La tarea bajo estudio es real (no simulada)?	32%
11. ¿Existe estandarización del método de trabajo incluyendo tareas específicas y tiempos de descanso?	91%
12. ¿La metodología para la medición directa de la señal es claramente descrita?	80%
a. Instrumentos de medición (marca y referencia)	73%
b. Procedimientos metodológicos (ubicación de los electrodos, limpieza de la superficie de la piel)	86%
13. ¿El análisis de las variables de interés es consistente con la tarea analizada?	78%
a. En señales EMG, para tareas poco diversas y con demandas muy estáticas un RMS puede no ser sensible a los cambios de la actividad muscular por fatiga. En este caso, ¿el estudio utiliza alguna otra variable complementaria para evaluar la fatiga?	82%
b. En el procesamiento de la señal se utilizó una transformada para analizar el comportamiento en frecuencia.	55%
c. El autor especifica los filtros y rangos utilizados para el procesamiento de la señal.	82%
d. La señal es normalizada para cada individuo con su contracción máxima voluntaria.	95%
14. ¿Existen instrumentos de medición diferentes a EMG para soportar los resultados del estudio?	91%
Puntaje TOTAL (1..14)	9.13
Puntaje Normalizado (Base 10)	6.5
Calidad General	Media

La evaluación general de la calidad de los estudios es la siguiente:

Calidad	Estudios	Porcentaje
Alta	6	24%
Media	18	72%
Baja	1	4%

Resultados individuales por cada artículo:

Pregunta	Falla and Farina (2007)	Szeto <i>et al.</i> (2005)	Jonsson (1988)	Bosch <i>et al.</i> (2011)	Keir <i>et al.</i> (2011)	Luttmann <i>et al.</i> (2010)	Movahed <i>et al.</i> (2011)
1	1	1	1	1	1	1	1
2	0	1	1	0	0	0	0
3	1	1	0	1	1	1	1
4	1	0	0	1	1	0	0
5	0	0	0	0	0	1	0
6	0.5	0.5	0.25	0.25	0	1	0.25
6-a	1	0	0	0	0	1	0
6-b	1	0	0	0	0	1	0
6-c	0	1	1	0	0	1	0
6-d	0	1	0	1	0	1	1
7	0	1	1	0	0	0	0
8	1	1	1	1	0	0	1
9	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	1	0	0	1	0
11	1	1	0	1	1	1	1
12	1	1	0	1	1	0.5	1
12-a	1	1	0	1	1	0	1
12-b	1	1	0	1	1	1	1
13	1	0.5	0.25	1	0.75	1	1
13-a	1	0	0	1	1	1	1
13-b	1	0	0	1	0	1	1
13-c	1	1	0	1	1	1	1
13-d	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	0	1	1	1	1
Total (1..14)	9.5	10	6.5	9.25	7.75	9.5	8.25
Total Normalizado (10)	6.8	7.1	4.6	6.6	5.5	6.8	5.9
Calidad	Media	Alta	Baja	Media	Media	Media	Media

Pregunta	Rissen <i>et al.</i> (2002)	Howarth <i>et al.</i> (2009)	Balci and Aghazadeh (2004)	Samani <i>et al.</i> (2009a)	Samani <i>et al.</i> (2010)	Samani <i>et al.</i> (2009b)
1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	0	0	0	0
3	0	1	1	1	1	1
4	0	0	0	1	0	1
5	1	0	0	0	0	0
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.25
6-a	0	1	1	0	0	0
6-b	0	1	0	0	0	0
6-c	1	0	1	1	1	0
6-d	1	0	0	1	1	1
7	1	0	1	1	1	0
8	1	0	0	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1
10	1	0	1	0	0	0
11	0	1	1	1	1	1
12	1	1	0	1	1	1
12-a	1	1	0	1	1	1
12-b	1	1	0	1	1	1
13	0.75	0.25	0.25	0.75	1	1
13-a	1	0	0	1	1	1
13-b	0	0	0	0	1	1
13-c	1	0	0	1	1	1
13-d	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1
Total (1..14)	10.25	7.75	7.75	10.25	9.5	9.25
Total Normalizado (10)	7.3	5.5	5.5	7.3	6.8	6.6
Calidad	Alta	Media	Media	Alta	Media	Media

Pregunta	Möller <i>et al.</i> (2004)	Shin and Kim (2007)	Iridiastadi and Nussbaum (2006)	Eksioglu (2006)	Crenshaw <i>et al.</i> (2006)	Mathiassen and Winkel (1996)
1	1	1	1	1	1	1
2	0	0	0	0	1	0
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	0
5	0	0	0	0	0	0
6	0.75	0.25	0.5	0.75	0.5	0.5
6-a	0	0	0	1	0	0
6-b	1	0	1	0	0	0
6-c	1	0	0	1	1	1
6-d	1	1	1	1	1	1
7	1	0	0	0	0	1
8	1	1	1	1	0	0
9	1	1	1	1	1	1
10	1	0	0	0	0	1
11	1	1	1	1	1	1
12	0.5	0.5	1	1	1	1
12-a	0	0	1	1	1	1
12-b	1	1	1	1	1	1
13	0.75	1	1	1	0.75	1
13-a	1	1	1	1	1	1
13-b	1	1	1	1	0	1
13-c	0	1	1	1	1	1
13-d	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1
Total (1..14)	11	8.75	9.5	9.75	9.25	9.5
Total Normalizado (10)	7.9	6.3	6.8	7.0	6.6	6.8
Calidad	1			1		

Pregunta	Sundelin and Hagberg (1989)	Gerard <i>et al.</i> (2002)	Oksa <i>et al.</i> (2006)	Sundelin (1993)	Escorpizo and Moore (2007)	Raina and Dickerson (2009)
1	1	1	1	1	1	1
2	0	1	1	0	0	0
3	1	1	1	1	1	0
4	1	0	1	0	1	1
5	0	0	0	0	0	0
6	0.5	0.5	0.75	0.75	0.75	1
6-a	0	1	1	1	1	1
6-b	0	0	1	0	1	1
6-c	1	0	1	1	0	1
6-d	1	1	0	1	1	1
7	0	1	1	0	0	0
8	1	0	1	1	0	1
9	1	1	1	1	1	1
10	0	1	0	0	0	0
11	1	1	1	1	1	1
12	1	0.5	0.5	1	1	1
12-a	1	1	0	1	1	1
12-b	1	0	1	1	1	1
13	1	0.75	0.5	0.75	0.75	1
13-a	1	1	1	1	1	1
13-b	1	0	0	1	0	1
13-c	1	1	1	1	1	1
13-d	1	1	0	0	1	1
14	1	0	1	1	1	1
Total (1..14)	9.5	8.75	10.75	8.5	8.5	9
Total Normalizado (10)	6.8	6.3	7.7	6.1	6.1	6.4
Calidad			1			

ANEXO F – Descripción Trabajo a Optimizar

A continuación se presenta el detalle de las tareas que se utilizaron para evaluar un ejemplo de la herramienta de optimización propuesta.

La población del estudio de Luttmann *et al.* (2010) fueron trabajadores reales de la industria, y como el estudio fue observacional, todas las variables de ajuste por experiencia, sexo y condiciones laborales pudieron ser ajustadas. Por otro lado, para las intervenciones, se utilizó la información de Samani *et al.* (2009), en el que los sujetos fueron voluntarios sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos y con experiencia en la misma clase de tareas que aquellos sujetos del estudio de (Luttmann *et al.* 2010).

Tareas e Intervenciones

No.	Tarea	Descripción
1	Papeleo	Examinación de documentos e ingreso de datos en computador
2	Uso del Mouse	Tareas varias de consulta de información en computador
3	Uso del Teclado	Ingreso de información en el computador
4	Actividades Secundarias	Llamadas telefónicas, etc.
No.	Intervención	Descripción
1	Pausa Pasiva	Permanecer sentado con las manos sobre las piernas
2	Pausa Activa	Realizar ejercicios gimnásticos mientras se está sentado

Niveles de Activación muscular según la tarea a desarrollar

Actividad	%MVC		
	Antebrazo	Deltoides	Trapezio
Almuerzo	10	10	10
Mouse	36.453	5.712	14.042
Otros	31.308	9.562	22.512
Papel	47.703	13.24	33.04
Pausa_A	10	30	15.536
Pausa_P	4	3	5
Teclado	53.363	8.54	20.237

Condiciones de cada modelo

	Modelo001		Modelo002	
Tarea/ intervención	Duración mínima	Requerimiento	Duración mínima	Requerimiento
Almuerzo	60	60	60	60
Mouse	8	70	8	70
Otros	3	45	3	45
Papel	10	180	10	180
Pausa_A	6	15	6	15
Pausa_P	2	30	2	30
Teclado	5	120	5	120
TOTAL		520	94	520

ANEXO G – Resumen Estudios Revisión de Literatura de Tareas

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Samani <i>et al.</i> (2009a)	Trabajo en Computador, duplicando gráficas con uso exclusivo del mouse	Pausas Activas, Pausas Pasivas, Cambios de Ritmo,	% Contracción Máxima Voluntaria, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Se encontró que con un mayor ritmo de trabajo y con pausas activas, se desarrolla una variabilidad más grande en la activación muscular. El efecto más grande de las pausas activas fue para el trapecio superior; en general las intervenciones fueron significativas para los cambios de actividad muscular en todos los músculos evaluados en el estudio. Las actividades en el computador presentaron un menor tiempo relativo de descanso para las partes superiores del trapecio.	Los sujetos presentan un efecto más favorable para las pausas activas con un ritmo de trabajo libre, comparado con un ritmo acelerado y lento. Según los autores, el tiempo relativo de descanso está fuertemente relacionado con el desarrollo de enfermedades musculoesqueléticas en el trabajo.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Luttmann <i>et al.</i> (2010)	Trabajos en Computador, papeleo, uso del teléfono	Alternancia de Tareas	Índice de Fatiga en EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Otras variables observacionales,	se determinó que los trabajos de uso intensivo en el teclado son altamente demandantes para los músculos del antebrazo, En el hombro se encontró que en todas las tareas existe un nivel de actividad similar. Las tareas relacionadas con papeleo fueron las más fatigantes para el trapecio. Las tareas con uso específico del teclado fueron las más fatigantes para el antebrazo	Los sujetos que presentaron una mayor caída en la actividad eléctrica fueron los que menos quejas presentaron en el estudio. esto permite concluir que las pequeñas intervenciones como la autorregulación del ritmo de trabajo y el cambio de posturas ocasional puede ser suficiente para reducir el riesgo de MSD en el operario En el hombro se encontró que en todas las tareas existe un nivel de actividad similar, lo que sugiere que una rotación de tareas entre las estudiadas, no representará ningún beneficio para esta parte del cuerpo.
Balci and Aghazadeh (2004)	Trabajo en computador, tareas en teclado y con demanda cognitiva	Alternancia de Tareas, Pausas Activas, Pausas Pasivas,	% Contracción Máxima Voluntaria, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Desempeño general de la tarea (Efectividad y Velocidad) ,	Las intervenciones cortas con duración de 30 segundos presentaron menores niveles de activación muscular, de molestias y mayores niveles de productividad. La tarea de entrada simple de datos representó una mayor molestia para los operarios en comparación con la tarea cognitiva.	Las pausas de 30 segundos cada 5 minutos constituyen la mejor intervención evaluada en el estudio, los resultados son respaldados por la actividad muscular, los reportes de molestias y la productividad de cada operario. Además están en línea con los resultados de otros estudios que concluyen que pausas cortas y frecuentes son benéficas para el operario.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Sundelin and Hagberg (1989)	Trabajos en computador (uso del teclado)	Pausas Activas, Pausas Pasivas,	% Contracción Máxima Voluntaria, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	El efecto de las pausas activas fue más benéfico para los operarios dados sus resultados en los auto-reportes, sin embargo, la actividad muscular permaneció constante después de las pausas evaluadas en el estudio. Por lo que los resultados no presentan mayor evidencia del beneficio de la rotación de demandas.	El patrón muscular de activación se vio más afectado por las pausas activas, en las que se presentaron mayores cambios en magnitud.
Szeto <i>et al.</i> (2005)	Trabajos en computador (uso del teclado)	Cambios de Ritmo, Cambio de Cargas.	% Contracción Máxima Voluntaria, Distribución de Probabilidad de la Amplitud de la señal EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	El efecto de las intervenciones en ritmo y cargas fueron significativas para todos los casos, en general los ritmos más veloces mostraron cargas mayores a nivel de activación muscular que las demandas de fuerza mayores. Los sujetos con historial de enfermedades presentaron mayores niveles de activación muscular a mayores ritmos de trabajo en comparación con aquellos que han estado siempre sanos.	El trabajo a mayores velocidades muestra ser más demandante mecánicamente que aquel con mayores cargas en la tarea, por lo que representa un mayor riesgo de desarrollo de enfermedades musculoesqueléticas. El historial de enfermedades muestra ser un factor importante, pues los niveles de activación muscular son aún mayores en sujetos con este historial en comparación con aquellos que no han tenido enfermedades musculoesqueléticas.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Gerard <i>et al.</i> (2002)	Trabajos en computador (uso del teclado)	Cambios de Ritmo, Cambio de Cargas.	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Tiempos estándar de la tarea,	El ritmo a 50% de la velocidad máxima de cada sujeto y el ritmo libre no presentaron diferencias entre sí, pero el ritmo a 100% del máximo presento mayores activaciones en magnitud y en reportes de molestias a lo largo del trabajo.	Los resultados sugieren que cuando un operario aprende a teclear más rápidamente también aprende a manejar sus patrones de activación muscular, en los que tiende a escoger la velocidad máxima que puede manejar con una molestia mínima. Para trabajadores que no pueden teclear muy rápidamente, es más benéfico el trabajo a la velocidad más rápida posible con pausas frecuentes que un trabajo más lento sin pausas.
Crenshaw <i>et al.</i> (2006)	Trabajos en computador (uso del mouse)	Pausas Activas, Pausas Pasivas,	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Oxigenación de tejidos con espectroscopia cercana a infrarrojos, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	No se encontraron diferencias significativas para ninguna de las intervenciones evaluadas en la activación muscular, ni en los reportes de molestias. Sin embargo, después de las pausas activas se presentaron mayores niveles de hemoglobina, lo que se atribuye a una actividad de recuperación del músculo que no puede ser divisada por la EMG o percibida por el operario.	NP
Samani <i>et al.</i> (2010)	Trabajos en computador (uso del mouse)	Pausas Activas, Pausas Pasivas,	% Contracción Máxima Voluntaria, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Muestra Permutada de la entropía en EMG,	Las pausas activas presentaron mayores niveles de activación muscular frente a las pausas pasivas y sin pausas. Según los resultados, las pausas activas representan un cambio significativo para la parte superior del trapecio, y una intervención monótona para las otras partes del mismo.	Las pausas activas representan un cambio significativo para la parte superior del trapecio, y una intervención monótona para las otras partes del mismo pues no se dan mayores cambios en la actividad muscular en estas partes del trapecio.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Samani <i>et al.</i> (2009b)	Trabajos en computador (uso del mouse)	Pausas Activas, Pausas Pasivas,	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Los ejercicios excéntricos aumentaron, aunque no significativamente, las molestias musculares aún después de 24 horas de descanso para el desarrollo de tareas en el computador; los esfuerzos reportados en el trapecio fueron mayores después de dicha sesión de ejercicios excéntricos. Inmediatamente después de estos ejercicios, se presentaron menores niveles en magnitud de activación muscular, esto posiblemente debido a mecanismos de recuperación en curso en los músculos afectados. Además, las pausas activas tuvieron un efecto positivo en la magnitud de activación del trapecio, pues mostraron mayores variaciones en el patrón de activación en comparación a las pausas pasivas.	La fatiga mostrada por el músculo después de los ejercicios excéntricos, aún después de 24 horas, mostraron que el efecto de las pausas activas en la variabilidad del patrón de activación se ve reducido en comparación a las situaciones en las que no hay ningún daño o fatiga en ninguna de las unidades motoras.
Sundelin (1993)	Movimiento de cilindros en una secuencia estandarizada	Pausas Activas	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Los resultados en activación muscular mostraron en general menores niveles para el desarrollo de la tarea repetitiva con las pausas pasivas implementadas. Sin embargo, esto solo se vio reflejado en el análisis de la señal EMG, pues para los auto reportes, no se vieron reflejados cambios significativos para ninguno de los casos.	La percepción del esfuerzo después de intervenciones con pausas sugiere ser mayor cuando ya se han realizado esfuerzos de un nivel mayor.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Raina and Dickerson (2009)	Flexión y Abducción estandarizada del hombro	Alternancia de Tareas	% Contracción Máxima Voluntaria, Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, ,	La activación muscular para el trabajo monótono de las tareas evaluadas en el estudio, fue superior que la activación en un esquema de rotación entre las tareas. Estas diferencias fueron encontradas para una rotación de tareas en donde el orden de las mismas no tuvo mayor efecto en la magnitud de activación. Los auto-reportes, no mostraron los mismos cambios en la percepción de fatiga.	El orden de las tareas no tiene mayor impacto en la rotación de tareas cuando éstas tienen demandas mecánicas similares para los grupos musculares involucrados. De todos modos, la alternancia fue benéfica, pues la magnitud de activación se redujo comparado con esquemas en donde no se rota de tareas.
Eksioglu (2006)	Agarre con mano	Cambio de Ritmos, Cambio de Cargas	Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Presión Arterial, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	En este estudio, se evalúa cuál es la condición que permite al operario sentir que puede trabajar a la frecuencia máxima permitida; se encuentra que un tamaño de agarre menor al óptimo ergonómico, con un 15% de la fuerza máxima reportada permite la máxima velocidad sin tener impactos en las molestias percibidas y en la actividad muscular medida por EMG	Presenta para el diseño de trabajos y herramientas evidencia de que para trabajos con bajas demandas en fuerza (15% Fmax) para el operario es más conveniente una herramienta un poco menor a la óptima según criterios ergonómicos, y para trabajos con porcentaje de fuerza al rededor del 30% del máximo se recomienda el uso de herramientas con el óptimo ergonómico; lo anterior para alcanzar la velocidad máxima sin molestias reportadas.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Keir <i>et al.</i> (2011)	Agarre con mano, Levantamiento de cargas	Alternancia de Tareas	% Contracción Máxima Voluntaria, Distribución de Probabilidad de la Amplitud de la señal EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	El estudio presenta resultados favorables para la rotación de tareas, pues en la combinación de las tareas evaluadas, la magnitud de activación muscular fue significativamente menor que en el desarrollo de una tarea monótona. Adicionalmente no encuentra efecto importante sobre el efecto del orden en el que las tareas se desarrollen.	La rotación entre tareas de agarre y levantamiento de cargas fue muy positiva para los músculos de la extremidad superior, pues sus tiempos relativos de descanso fueron superiores al rotar entre las dos actividades. Para el Erector spinae inferior no se encontró una evidencia positiva, pues según los resultados este músculo no tiene tiempos de descansos importantes para las dos tareas evaluadas, por lo que de acuerdo con los resultados, para rotación de dicho músculo no se recomienda la combinación de estas dos tareas
Iridiastadi and Nussbaum (2006)	Abducción del brazo con esfuerzos estáticos e intermitentes	Cambio de Ritmos, Cambio de Cargas	% Contracción Máxima Voluntaria, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Se encuentra que las combinaciones más fatigantes para los operarios son 28%MVC / 0.75 Ciclo de trabajo /166 Tiempo de Ciclo, 28 /0.75/34 y 20/0.80/100. Pero que análisis como la contracción media, (%MVC*Ciclo de trabajo) no representan un buen indicador de lo fatigante que puede ser una tarea, pues no se encontró una correlación significativa con los otros indicadores de fatiga.	Los indicadores EMG de fatiga tuvieron una pobre correlación con los otros indicadores, como el tiempo de resistencia antes de fatiga o la disminución en fuerza. Esto posiblemente debido a que por el carácter intermitente de la tarea, se reclutaban en cada ocasión diferentes unidades motoras por lo que no se alcanzaban a presentar señales de fatiga a nivel de actividad muscular.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Rissen <i>et al.</i> (2002)	Trabajo en supermercado (Cajeros y por Departamentos)	Alternancia de Tareas	% Contracción Máxima Voluntaria, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Muestras de en orina de adrenalina y noradrenalina,	En los resultados se encuentra que la implementación de la rotación de tareas después de un seguimiento mayor a 4 años refleja una reducción del nivel de actividad muscular media por parte de los operarios, esto a pesar de que los reportes de molestias no presentan mayor variación, un mayor número de operarios presentó una reducción del nivel de dolor percibido.	La rotación de tareas presenta una evidencia fisiológica benéfica para los operarios, a pesar de esto, las mediciones con auto reportes no reflejaron mayor variación después de la rotación de tareas.
Möller <i>et al.</i> (2004)	Trabajo en líneas de ensamble de componentes electrónicos	Alternancia de Tareas (Enriquecimiento de la tarea)	% Contracción Máxima Voluntaria, Actividad Postural de las extremidades,	El enriquecimiento de la tarea representó una mayor variabilidad en la activación muscular del trapecio y de las posturas adquiridas en el trabajo, lo cual puede ser benéfico para los operarios. El antebrazo por el contrario tuvo el efecto contrario al esperado, lo cual indica que las tareas involucradas no tenían perfiles muy diferentes para este grupo muscular.	El enriquecimiento de la tarea tiene un potencial para diversificar la exposición a demandas mecánicas, pero de acuerdo al perfil de cada tarea involucrada puede o no efectivamente diversificar dicha exposición. Es importante entonces, tener en cuenta el impacto que tiene una intervención en cada uno de los grupos musculares pues la respuesta puede no ser positiva para todos los músculos involucrados.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Bosch <i>et al.</i> (2011)	Trabajo en líneas de ensamble de componentes	Cambio de ritmos	% Contracción Máxima Voluntaria, Tiempos estándar de la tarea, RMS de la aceleración del los movimientos del hombro, codo y muñeca, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	La intervención evacuada sólo tuvo un impacto significativo en la variabilidad de la activación muscular para el antebrazo, no para el trapecio ni para el deltoides; el aumento del ritmo de trabajo no tuvo impacto significativo en los reportes de fatiga ni en las magnitudes de activación,	Los cambios de ritmo evaluados (de normal a acelerado(+26%)) no tuvieron mayor impacto en la fatiga ni en la magnitud de activación muscular, pero sí aumentaron la variabilidad de la activación en el ciclo de trabajo. Sin embargo, los autores no recomiendan intervenir un puesto para aumentar la variabilidad pues la repetitividad de la tarea se ve aumentada y los errores en el desarrollo pueden igualmente aumentarse.
Mathiassen and Winkel (1996)	Ensamble de componentes en una línea de producción (simulación)	Pausas Activas, Pausas Pasivas y Cambio de Ritmos	% Contracción Máxima Voluntaria, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Temperatura de la Piel, Frecuencia Cardíaca,	En la actividad muscular medida con EMG, se encontró que la con implementación de las pausas hubo una reducción en la amplitud de activación aunque no significativamente. Para los cambios de ritmo, se encontró que el paso normal (100MTM según el estándar para la tarea) tuvo una menor amplitud y una mayor variabilidad en la actividad muscular, comparado con el ritmo rápido (120MTM). En este último, además se aumentó significativamente la frecuencia cardíaca y en cierta medida los reportes de fatiga.	En paso reducido en este tipo de tareas es una opción para reducir la exposición en magnitud a las demandas mecánicas, sin embargo parece ser más efectivo simplemente reducir la duración que los trabajadores desempeñan la tarea para reducir los niveles de fatiga y de activación en magnitud. Adicionalmente, los autores reconocen que dados los resultados existen otras medidas que han demostrado ser más efectivas para reducir la magnitud de activación y aumentar la variabilidad de la tarea, como las micro pausas.

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Oksa <i>et al.</i> (2006)	Empaque y corte de alimentos en condiciones de frío	Pausas Activas	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Temperatura de la Piel, Temperatura rectal,	Las pausas activas con una contracción de 10%MVC cada 3 segundos y una de 30% MVC mostró una mayor variación en el patrón de activación con mayor frecuencia en los tiempos de descanso en la señal EMG.	Una pausa activa con una contracción de 30%MVC cada 4 minutos permitió mejores patrones de activación que según el estudio reducen los niveles de fatiga reportados y aumentan la frecuencia de descanso de las unidades motoras comparada con una pausa activa de contracciones repetitivas de 10%MVC.
Falla and Farina (2007)	Esfuerzos estáticos e intermitentes sobre el hombro	Cambio de Cargas	% Contracción Máxima Voluntaria, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Temperatura de la Piel,	El análisis de EMG no muestra mayores cambios en la magnitud de activación para la carga constante y la carga con aumentos de fuerza periódicos, sin embargo, esta última presenta una mayor variación en la distribución espacial de la actividad muscular, lo que se reflejó en menores reportes de fatiga.	El estudio demuestra que las variaciones de fuerza aumentan la distribución espacial de la señal EMG en el trapecio, incrementando la rotación de unidades motoras y reduciendo la fatiga localizada
Jonsson (1988)	Varias industrias	Alternancia de Tareas	% Contracción Máxima Voluntaria, Distribución de Probabilidad de la Amplitud de la señal EMG,	El estudio incluye poca información relativa a los niveles de activación muscular; reporta que a lo largo de las diferentes industrias se encontraron mayores beneficios para la rotación de tareas más dinámicas	NP

Autor (año)	Tareas Evaluadas	Rotación de Demandas	Cuantificación Demandas y Desenlaces	Hallazgos Relevantes	Mecanismos
Escorpizo and Moore (2007)	Levantamiento y movimiento de cargas	Cambios de Ritmo	Distribución de Probabilidad de la Amplitud de la señal EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG),	En sus resultados se encuentra que a medida que se disminuye el tiempo de ciclo también se disminuye el tiempo de descanso de la tarea y se aumentan los picos de fuerza encontrados. En los ciclos de trabajo menores a 2 segundos los músculos del antebrazo parecen tener altas demandas mecánicas y los demás músculos (trapecio, infrapinatus, pectorales) cumplen funciones más estabilizadoras en este tipo de tareas. Adicionalmente, se encontró que los niveles de descanso de la tarea, es decir aquellos momentos en los que el operario no está realizando ningún movimiento fueron mayores a los tiempos de descanso del músculo, medidos con los periodos mayores a 2 segundos donde el músculo tiene una actividad menor a 0.5%MVC. Los reportes de molestias y dificultad fueron significativamente mayores para el ciclo de tiempo de 1 segundo; mientras que para los ciclos de 5s y 10 s no se encontraron diferencias entre sí.	Los resultados indican que incluso cuando la tarea se ha completado, los músculos no dejan de trabajar simultáneamente, sino que requieren un tiempo adicional para activarse o desactivarse. Los tiempos de descanso apropiados son mayores a 5 segundos según los resultados encontrados pues en estos ciclos de trabajo, se reducen las demandas estáticas y se minimizan los reportes de molestias.

ANEXO H - Tabla Característica Estudios Revisión de Literatura

Autor (Año)	Diseño del estudio	n muestra	Población	Trabajo	Rotación de Demandas	Partes del Cuerpo Evaluadas	Principales Variables de Interés	Calidad
Oksa <i>et al.</i> (2006)	Observacional	24	En trabajo de simulación hombres edad 25 (s.d. 4) mujeres 23 años (s.d. 3) Categoría: Trabajadores, 46% mujeres	Levantamiento y descarga de cargas (Alimentos - Industrial)	Pausas Activas,	Antebrazo, Bíceps, Tríceps,	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Temperatura de la Piel, Temperatura rectal,	Media
Rissen <i>et al.</i> (2002)	Experimental en campo no aleatorio	38	Trabajadores reales de la industria con experiencia media de 12 años; 100% mujeres con edad 47 años (Rango 23-61). Diestros	Cajero Supermercado (Industrial)	Alternancia de Tareas,	Trapezio,	% Contracción Máxima Voluntaria, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Muestras de en orina de adrenalina y noradrenalina,	Alta
Möller <i>et al.</i> (2004)	Experimental Antes - Después	5	Trabajadores reales con experiencia entre 1 y 4 años; 60% mujeres. Edad 27 (Rango 23-42). Diestros y sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos	Varios (Industriales)	Alternancia de Tareas,	Trapezio, Antebrazo,	% Contracción Máxima Voluntaria, Actividad Postural de las extremidades,	Alta

Autor (Año)	Diseño del estudio	n muestra	Población	Trabajo	Rotación de Demandas	Partes del Cuerpo Evaluadas	Principales Variables de Interés	Calidad
Jonsson (1988)	Observacional	20	Trabajadores reales en diferentes industrias. Rango de edad: 21 y 45 años	Varios (Industriales)	Alternancia de Tareas,	Trapezio, Espalda Baja, Deltoides,	% Contracción Máxima Voluntaria, Distribución de Probabilidad de la Amplitud de la señal EMG,	Baja
Bosch et al. (2011)	Experimental en campo no aleatorio	8	Voluntarios, 100% mujeres. Edad 20 años (s.d. 1,8). Diestros y sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos	Ensamble (industrial)	Cambios de Ritmo,	Trapezio, Deltoides, Antebrazo,	% Contracción Máxima Voluntaria, Tiempos estándar de la tarea, RMS de la aceleración de los movimientos del hombro, codo y muñeca, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Media
Mathiassen and Winkel	Experimental en laboratorio no aleatorio	8	100% mujeres, 27 años (Rango 22-32), sin experiencia en tareas de ensamble y sin síntomas de molestias musculares	Ensamble (Industrial)	Pausas Activas, Pausas Pasivas, Cambios de Ritmo,	Trapezio,	% Contracción Máxima Voluntaria, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Temperatura de la Piel, Frecuencia Cardíaca,	Media
Keir et al. (2011)	Experimental en campo no aleatorio	10	Estudiantes universitarios, hombres edad media 21.8 años (s.d. 2,2)	Levantamiento y descarga de cargas (Otros)	Alternancia de Tareas,	Trapezio, Antebrazo, Deltoides, Espalda Baja,	% Contracción Máxima Voluntaria, Distribución de Probabilidad de la Amplitud de la señal EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Media

Autor (Año)	Diseño del estudio	n muestra	Población	Trabajo	Rotación de Demandas	Partes del Cuerpo Evaluadas	Principales Variables de Interés	Calidad
Eksioglu (2006)	Experimental en laboratorio aleatorio	12	Voluntarios, estudiantes universitarios con alguna experiencia en trabajos de oficina sin experiencia en trabajos industriales. Sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos 25.6 Años (Sd. 3.3) 100% hombres,	Agarre (Otros)	Cambios de Ritmo, Cambio de Cargas.	Antebrazo,	Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Presión Arterial, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Alta
Iridiastadi and Nussbaum (2006)	Experimental en laboratorio aleatorio	6	Voluntarios, estudiantes universitarios con actividad física moderada. Sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos 21.8 Años (Sd. 2.0) 50% hombres.	Genérico (Otros)	Cambios de Ritmo, Cambio de Cargas.	Deltoides,	% Contracción Máxima Voluntaria, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Media
Falla and Farina (2007)	Experimental en campo aleatorio	9	Voluntarios sin molestias reportadas de dolores en el hombro o el cuello, sin desórdenes musculoesqueléticos. 46% mujeres Edad 26.6 años (s.d. 2.2.)	Elevación intermitente del hombro (Otros)	Cambio de Cargas.	Trapezio,	% Contracción Máxima Voluntaria, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Temperatura de la Piel,	Media
Sundelin (1993)	Experiment al en campo no aleatorio	12	Estudiantes voluntarios diestros con actividad física moderada, 100% mujeres 25.5 Años (s.d. 4.14)	Genérico (Otros)	Cambios de Ritmo,	Trapezio,	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Media

Autor (Año)	Diseño del estudio	n muestra	Población	Trabajo	Rotación de Demandas	Partes del Cuerpo Evaluadas	Principales Variables de Interés	Calidad
Raina and Dickerson (2009)	Experimental en laboratorio aleatorio	10	Estudiantes voluntarios sin desórdenes musculoesqueléticos 40% mujeres Edad 25.7 años (s.d. 5.4)	Genérico (Otros)	Alternancia de Tareas,	Deltoides	% Contracción Máxima Voluntaria, Frecuencia Espectral Media (MNF) de EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Media
Escorpizo and Moore (2007)	Experimental en laboratorio aleatorio	6	Estudiantes universitarios, 50% mujeres, diestras y sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos en el último año	Genérico (Otros)	Cambios de Ritmo,	Trapezio, antebrazo, pectorales, infraspinales	Distribución de Probabilidad de la Amplitud de la señal EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG),	Media
Samani et al. (2009a)	Experimental en campo aleatorio	12	Voluntarios Sin molestias reportadas de dolores en el hombro o el cuello, sin desórdenes musculoesqueléticos. Con experiencia en trabajos con computador 100% hombres, 22 años (s.d. 3)	VDT	Pausas Activas, Pausas Pasivas, Cambios de Ritmo,	Trapezio,	% Contracción Máxima Voluntaria, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Alta

Autor (Año)	Diseño del estudio	n muestra	Población	Trabajo	Rotación de Demandas	Partes del Cuerpo Evaluadas	Principales Variables de Interés	Calidad
Luttman <i>et al.</i> (2010)	Observacional	13	Trabajadores reales de oficina 78% mujeres 37 años (Rango 22-53)	VDT	Alternancia de Tareas,	Trapezio, Antebrazo, Deltoides,	Índice de Fatiga en EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Otras variables observacionales,	Media
Balci and Aghazadeh (2004)	Experimental en campo no aleatorio	10	Trabajadores con mínimo 3 años de experiencia en uso de computadores. 100% hombres	VDT	Alternancia de Tareas, Pausas Activas, Pausas Pasivas,	Trapezio, Antebrazo,	% Contracción Máxima Voluntaria, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Desempeño general de la tarea (Efectividad y Velocidad) ,	Media
Sundelin and	Observacional	12	Mujeres voluntarias sin señales de desórdenes musculoesqueléticos. Edad 33.1 años (s.d. 8.6)	VDT	Pausas Activas, Pausas Pasivas,	Trapezio, Elevador de la Escápula,	% Contracción Máxima Voluntaria, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Media
Szeto <i>et al.</i> (2005)	Experimental en campo no aleatorio	41	Mujeres con trabajos en oficinas con 4 horas diarias como mínimo de uso de VDT. Grupo de control con desórdenes musculoesqueléticos. Edad grupo 1. 39 años (s.d. 7.4). Grupo de control 30.4 años (s.d. 5.9)	VDT	Cambios de Ritmo, Cambio de Cargas.	Trapezio, Deltoides,	% Contracción Máxima Voluntaria, Distribución de Probabilidad de la Amplitud de la señal EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Alta

Autor (Año)	Diseño del estudio	n muestra	Población	Trabajo	Rotación de Demandas	Partes del Cuerpo Evaluadas	Principales Variables de Interés	Calidad
Gerard et al. (2002)	Experimental Antes - Después	18	88% mujeres, sujetos con experiencia entre 1 y 41 años en uso de computador. Sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos	VDT	Cambios de Ritmo, Cambio de Cargas.	Antebrazo,	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida, Tiempos estándar de la tarea,	Media
Crenshaw et al. (2006)	Experimental en laboratorio aleatorio	15	Mujeres estudiantes, sin experiencia, diestras y sin desórdenes musculoesqueléticos. Edad entre 19 y 24 años	VDT	Pausas Activas, Pausas Pasivas,	Antebrazo,	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Oxigenación de tejidos con espectroscopia cercana a infrarrojos, Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Media
Samani et al. (2010)	Experimental en campo no aleatorio	13	Hombres trabajadores de oficina, diestros y sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos. Edad 23 años (s.d. 3)	VDT	Pausas Activas, Pausas Pasivas,	Trapezio,	% Contracción Máxima Voluntaria, Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Muestra Permutada de la entropía en EMG,	Media
Samani et al. (2009b)	Experimental en laboratorio aleatorio	12	Hombres 83% diestros, 17% zurdos, sin pasado de desórdenes musculoesqueléticos	VDT	Pausas Activas, Pausas Pasivas,	Trapezio,	Raíz Media Cuadrática (RMS) de la señal EMG, Tiempos relativos de descanso en músculo (EMG), Auto reportes Fatiga o Molestia percibida,	Media

ANEXO I – Inventario de Tareas e Intervenciones

Grupo de Tareas VDT

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Alta	Tarea Evaluada					
Samani et al. (2009a)	1	Mouse	Movimientos pequeños, apuntar y definir tamaños de gráficos con mouse	NP	10 min	NP
	Intervención Evaluada					
	1	Pausa Pasiva	1. 8 Segundos, no hacer nada			Trapezio: 0%
	2	Pausa Activa				Trapezio: 30%
	3	Cambio de Ritmo		12seg/Op. a 8seg/op.		

Pausa/Ritmo	Músculo	Cambio Abs RMS	s.d.
Pasiva/Bajo	Trapezio	0.865	0.379
Activa/Bajo	Trapezio	2.385	0.316
Pasiva/Alto	Trapezio	0.356	0.554
Activa/Alto	Trapezio	0.046	0.274

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Luttman et al. 2010)	1	Papeleo	Examinación de documentos e ingreso de datos en computador	NP	NP	Tabla
	2	Uso del Mouse	Tareas varias de consulta de información en computador	NP	NP	Tabla
	3	Uso del Teclado	Ingreso de información en el computador	NP	NP	Tabla
	4	Actividades Secundarias	Llamadas telefónicas, etc.	NP	NP	Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Alternancia de Tareas	Rotación Simple de Tareas	NP	NP	NP

Tarea	Trapecio Derecho		Deltoides pars acromialis derecho		Deltoides pars clavicularis derecho		Extensor Carpi Ulnaris derecho	
	%MVC	s.d.	%MVC	s.d.	%MVC	s.d.	%MVC	s.d.
Papel	0.3304	0.2264	0.1324	0.08754	0.1196	0.12159	0.47703	0.18384
Mouse	0.14042	0.1154	0.05712	0.04663	0.05536	0.0452	0.36453	0.29332
Teclado	0.20237	0.24786	0.0854	0.08372	0.11532	0.10005	0.53363	0.20906
Otros	0.22512	0.17157	0.09562	0.08156	0.10213	0.10511	0.31308	0.02566
Todas	0.26755	0.18124	0.1107	0.07538	0.10163	0.10783	0.43691	0.14618

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
Artículo No. (Balci & Aghazadeh 2004)	1	Data	Escritura de textos	NP	15/30/60 min	NP
	2	Cognitiva	Cálculos aritméticos simples	NP	15/30/60 min	NP
	Intervención Evaluada					
	1	Pausa Pasiva	60 min trabajo / 10 Descanso	60/10	10 minutos	NP
	2	Pausa Pasiva	30 min trabajo / 5 Descanso	30/5	5 minutos	NP
	3	Micro Pausa	15 min trabajo / 0.5 Descanso	15/0.5	30 Segundos	NP

Intervención	Tarea	Trapecio	Flexor Carpi Radialis
60/10	Data	0.565	1.086
30/5	Data	0.421	1.003
15/0.5	Data	0.289	0.85
60/10	Cognitiva	0.353	0.855
30/5	Cognitiva	0.054	0.542
15/0.5	Cognitiva	0.125	0.291
Cambio Acumulado en la actividad muscular			

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%Contrac. Referencia
Media	Tarea Evaluada					
(Sundelin & Hagberg 1989)	1	Uso del Teclado	Escritura de textos	NP	NP	NP
	Intervención Evaluada					
	1	Pausa Pasiva	Permanecer sentado con las manos sobre las piernas	cada 6 minutos	15 a 20 segundos	Tabla
	2	Pausa Activa	Realizar ejercicios gimnásticos mientras se está sentado	cada 6 minutos	15 a 20 segundos	Tabla
3	Pausa Pasiva	Caminar por el corredor	cada 6 minutos	15 a 20 segundos	Tabla	

Músculo	%	Pasiva		Activa		Pasiva_1	
		Media	s.d.	Media	s.d.	Media	s.d.
Trapezio Lateral	99	0.3	0.4	1.3	1.7	1	1.3
Trapezio Lateral	90	2.5	2.4	3.2	3.3	2.9	2.3
Trapezio Lateral	50	5.2	4.9	5.7	5.2	5.4	4.8
Trapezio Lateral	10	9.3	7.4	10.4	7.4	9.5	6.9
Trapezio Lateral	1	17.9	13.7	36	39.7	21.3	17.3
Trapezio Cervical	99	2.6	6.9	3.4	8.3	4	11
Trapezio Cervical	90	5.9	10.2	8	11.4	4.9	12.7
Trapezio Cervical	50	14.2	15.4	18.3	15.8	17.3	15.7
Trapezio Cervical	10	25.2	22.1	32.2	22	30.6	22.1
Trapezio Cervical	1	32.6	26.7	133	77.5	60.1	43
Elevador de la escápula	99	0.4	0.5	0.6	0.6	0.5	0.6
Elevador de la escápula	90	2.2	2.4	2.6	2.8	2.2	2.6
Elevador de la escápula	50	4.7	4.1	5.1	4.2	4.6	3.9
Elevador de la escápula	10	7.8	5.4	9.4	5.6	8.4	5
Elevador de la escápula	1	13.5	6.3	30.7	22.2	19	9.2

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Alta	Tarea Evaluada					
(Szeto et al. 2005)	1	Uso del Teclado	Escritura de textos			Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Cambio de Ritmo	20% más rápido que lo normal		20 minutos	Tabla
	2	Cambio de Cargas	20% más fuerza requerida que lo normal		20 minutos	Tabla

Lado	Derecho				Izquierdo			
Muscle	CES	UT	LT	AD	CES	UT	LT	AD
NORMAL								
Case %MVC	24.968	16.387	15.387	5.429	13.836	5.479	11.108	3.942
s.d.	18.971	20.274	15.136	5.933	19.668	10.731	10.081	4.556
Control %MVC	19.891	11.916	13.958	4.705	22.783	12.229	8.634	2.784
s.d.	16.431	12.363	16.044	3.331	18.147	11.23	6.312	1.92
FASTER								
Case %MVC	32.501	21.695	24.248	7.03	30.143	17.644	23.929	4.705
s.d.	25.782	21.64	22.963	4.861	22.623	13.83	23.292	3.562
Control %MVC	23.571	18.482	21.273	7.03	29.355	20.437	21.323	5.544
s.d.	16.437	12.426	23.084	4.993	20.783	20.534	23.034	4.194
HARDER								
Case %MVC	29.594	19.739	20	6.486	26.463	14.198	20.5	5.121
s.d.	25.658	20.394	19.68	5.15	19.815	12.805	19.785	3.961
Control %MVC	22.389	15.649	18.786	5.897	28.04	16.806	18.783	4.233
s.d.	16.958	11.632	21.446	4.022	22.623	12.823	21.434	3.451

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Gerard et al. 2002)	1	Uso del Teclado	Escritura de textos	-	30	Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Cambio de Ritmo (Lento)	50% de la velocidad máxima que el sujeto propone para trabajar cómodamente todo el día	NA	30 minutos	Tabla
	2	Cambio de Ritmo (Voluntario)	100% de la velocidad máxima que el sujeto propone para trabajar cómodamente todo el día	NA	30 minutos	Tabla
	3	Cambio de Ritmo (Máximo)	82%+-10% de la velocidad máxima que el sujeto propone para trabajar cómodamente todo el día (ritmo libre)	NA	30 minutos	Tabla

Paso	Músculo	
	Extensor Digital	Flexor Digital
Lento	2.793	8.505
Voluntario	4.209	11.402
Máximo	5.363	12.43

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Crenshaw et al. 2006)	1	Uso del Mouse	Ajuste y edición de gráficos con mouse. Los niveles de activación se presentan entre 10 y 15% de CMV, los resultados difieren según el tipo de pausa evaluada	-	60 minutos 3 sesiones de 20 con pausas en los intermedios	Antebrazo 13.5%
	Intervención Evaluada					
	1	Pausa Activa	Extensiones de la muñeca y rotación de la mano durante 30 segundos, más 30 segundos de descanso antes de retomar la tarea	cada 20 minutos	1 minuto	NP
	2	Pausa Pasiva	La instrucción fue quitar las manos del escritorio y relajarse, generalmente se ubicaron las manos sobre las piernas.	cada 20 minutos	1 minuto	NP

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Samani et al. 2010)	1	Uso del Mouse	Ajuste y edición de gráficos con mouse		10 minutos	Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Pausa Activa	Las pausas se presentan según el modelo de retroalimentación, dependen de cada situación. El sujeto debía levantar un peso de 5kg con los músculos del hombro.	En cualquier momento según cálculos en el modelo	8 segundos	Tabla
	2	Pausa Pasiva	Las pausas se presentan según el modelo de retroalimentación, dependen de cada situación	En cualquier momento según cálculos en el modelo	8 segundos	Tabla

Condición	Trapezio			
	CLVC LPSI	DSCND LPSI	ASCND LPSI	DSCND CONTRA
Normal	11.171	7.636	63.702	5.336
Normal (s.d.)	0.855	0.814	7.137	0
Pasiva	14.658	10.269	78.77	7.235
Pasiva (s.d.)	1.504	1.003	9.715	0
Activa	15.536	12.089	46.056	11.799
Activa (s.d.)	0.971	1.066	3.37	0.889

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Samani et al. 2009b)	1	Uso del Mouse	Se realizaron pausas activas o pasivas (orden aleatorio) cada 40 segundos. Antes, inmediatamente después y 24 horas después de los ejercicios exéntricos		2 minutos	NP
	Intervención Evaluada					
	1	Pausa Activa	Elevación isométrica del hombro. Las intervenciones se realizaron antes, después y 24 horas después de los ejercicios exéntricos	Cada 40 segundos durante 2 minutos	8 segundos	Trapezio 30%
	2	Pausa Pasiva	Descanso con las manos en las piernas. Las intervenciones se realizaron antes, después y 24 horas después de los ejercicios exéntricos	Cada 40 segundos durante 2 minutos	8 segundos	NP

	Trapezio			
	CLAVICULAR	DESCENDING	TRANSVERSE	ASCENDING
	PASIVE			
Antes	9.238	11.646	8.53	9.632
s.d.	0.688	1.155	0.993	0.846
Inmediatamente después	6.142	5.946	7.022	9.669
s.d.	0.491	0.491	0.772	0.772
24 Horas después	7.273	8.108	9.118	9.265
s.d.	0.828	0.835	1.691	0.846
	ACTIVE			
Antes	14.25	15.873	6.507	8.934
s.d.	1.228	1.228	0.441	0.588
Inmediatamente después	7.518	7.469	7.243	9.228
s.d.	0.59	0.737	0.896	0.735
24 Horas después	10.811	11.745	9.743	8.971
s.d.	0	1.014	0	0.886
RMS señal EMG				

Grupo Tareas Industriales

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%Contrac. Referencia	
Alta	Tarea Evaluada						
	(Rissen et al. 2002)	1	Atender Caja Registradora supermercado	Varios		2 horas	Tabla
		2	Atender Departamentos	Varios, empaque de alimentos, ubicación del producto en estantes		2 horas	Tabla
	Intervención Evaluada						
	1	Alternancia de Tareas	Rotación de Tareas según requerimiento real	En promedio la intervención fue la siguiente: 40% del tiempo en tarea de caja (28) y 60% en departamentos (29)	2 horas de evaluación en un turno de 8 horas	Tabla	

Variable	Antes de la Rotación		Después de la Rotación		Valor-p
	Media	s.d.	Media	s.d.	
P10 %RVE Izquierda	56	29	32	16	<.01
P50 %RVE Izquierda	118	70	63	30	<.01
P90 %RVE Izquierda	192	121	114	48	<.05
P10 %RVE Derecha	40	23	32	24	n.s.
P50 %RVE Derecha	92	60	81	78	n.s.
P90 %RVE Derecha	175	124	162	165	n.s.
Tiempo Rel. Descanso% Izquierda	17	17	24	19	n.s.
Tiempo Rel. Descanso% Derecha	24	22	24	15	n.s.

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%Contrac. Referencia
Alta	Tarea Evaluada					
(Möller et al. 2004)	1	Ensamble de indicadores en línea de producción	movimiento de materiales, soldar, atornillar, ensamble manual	3 a 4 minutos por ciclo		Tabla
	2	Ensamble de tacómetros en línea de producción	Soldar, Atornillar, ensamblar, revisar			Tabla
	3	Ensamble de final de componentes línea de producción	Ensamblar, revisar, empaçar			Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Alternancia de Tareas	Esta intervención incluyó la combinación de 3 estaciones de trabajo en una sola para evaluar cómo se comporta la variabilidad de los músculos comparada con el trabajo individual en cada una de las estaciones.	Variable	NP	Tabla

Estación de Trabajo	Variable	Trapecio Derecho		Trapecio Izquierdo		Extensores Derechos		Extensores Izquierdos	
		Nivel*	Frecuencia#	Nivel*	Frecuencia#	Nivel*	Frecuencia#	Nivel*	Frecuencia#
a	Media	64.8	39.5	69.8	38.9	82.3	60.3	73.9	52.4
	S2WD	50.6	30.3	171.2	87	46.4	34.1	30	30
b	Media	71.1	35.1	79.4	34.8	83.9	56.2	76.8	52.6
	S2WD	125.5	51.5	172.8	76.5	136.7	30.5	81.3	15.7
c	Media	58.2	53.7	54.5	50.5	89.5	60.7	77.3	62.6
	S2WD	81.8	45.4	69.3	66.4	11.9	21	17.7	22.8
abc	Media	64.9	42.7	68.5	40.7	86.2	58.6	76.9	55.8
	S2WD	165.6	100.5	406.4	119.5	40.5	36.6	28	60.9

*: Porcentaje del tiempo en una actividad mayor al 20%RVE (trapecio) o 24%RVE (antebrazo)

#: Porcentaje del tiempo en una secuencia menor a 1seg dentro de la misma categoría de actividad muscular

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Bosch et al. 2011)	1	Ensamble de componentes	Agarrar, mover, levantar, quitar componentes de un ensamble		2 horas	Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Cambio de Ritmo	CT 48s = Paso normal; CT +126% = 38s			Tabla

	Trapezio	Deltoides	Extensor Carpi Radialis
Alto	14.403	5.08	6.224
(s.d.)	15.629	2.838	2.38
Bajo	8.994	5.492	4.943
(s.d.)	4.414	4.508	1.968

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Mathiassen & Winkel 1996)	1	Ensamble de componentes		68s por ciclo / 120MTM		NP
	Intervención Evaluada					
	1	Pausa Pasiva	Permanecer sentado con las manos sobre las piernas		20 minutos	NP
	2	Pausa Activa	3-4 minutos levantando cajas de componentes (8-15 kg) , 6-7 supliendo de componentes las máquinas, 10 en VDT		20 minutos	NP
	3	Cambios de Ritmo		100MTM paso normal, 120MTM paso acelerado		NP

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Oksa et al. 2006)	1	Procesamiento y empaque de alimentos	Condiciones frías, neveras alimentos. De pie	3-4 segundos por ciclo	120 min	NP
	Intervención Evaluada					
	1	Pausas Activas	Contracciones de 10%MVC	Cada 3-4 segundos	20 minutos	NP
	2	Pausas Activas	Para la pausa intermitente, se realizaron contracciones de 10%CMV con 1 cada 3 segundos y un aumento a 30%CMV cada 4 minutos		20 minutos	NP

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Baja	Tarea Evaluada					
(Jonsson 1988)	1	Tareas pequeñas, pesadas y dinámicas en varias industrias	Trabajos en industrias como líneas de ensamble, minería, electrónicos, entre otros			NP
	Intervención Evaluada					
	1	Alternancia de Tareas	Ensamble de teléfonos: rotación entre 6-7 tareas diferentes; montaje de electrónicos, rotación entre dos tareas: Montar e inspeccionar; Soplado de vidrio: 5 trabajadores rotan contra 5 tareas dentro de la industria; minería, rotación entre 5 tareas altamente demandantes mecánicamente y algunas poco demandantes como supervisar			NP

Grupo Otras Tareas

Inventario Evidencias						
Grupo de Tareas Otros						
Calidad	No .	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MV C
Media	Tarea Evaluada					
(Keir et al. 2011)	1	Levantamiento y Descarga de Cajas (L)	Cajas de 12Kg desde la cintura a 55 arriba de la cima. Un peso adecuado para el 50% de la población de trabajadores industriales, por lo que para algunos sujetos es una tarea más desafiante	6 levantamientos por minuto. Ciclos de 5 segundos para el levantamiento y 5 para descansar	El tiempo máximo permitido era de 5 segundos	Tabla
	2	Agarre con mano (G)	Flexión y Abducción simétricas de la mano con dinamómetro. Agarrre con el 20% de la fuerza máxima reportada		El tiempo máximo permitido era de 5 segundos	Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Alternancia de Tareas	Tarea de agarre 20%Fmax y tarea de levantamiento 12Kg	Cada 15 minutos cambio de tareas	2 Sesiones de 30 minutos con otros 30 minutos de descanso entre las sesiones. Durante varios días	Trapezio 30% y variable

Orden Tareas	Extensor Carpi Radialis	Extensor Digitoriu m	Flexor Carpi Radialis	Flexor Digitorium Superficialis	Anterior Deltoid	Trapezio	UE	LE
LL	2.113	2.93	1.743	1.973	1.45	2.479	8.349	6.367
LG	3.355	4.634	1.65	1.97	0.703	1.423	3.493	2.153
GL	4.087	4.801	2.28	1.866	1.269	1.578	2.393	2.018
GG	5.265	5.774	2.093	2.809	0.669	1.054	2.387	1.304

Calidad	No	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC	
Alta	Tarea Evaluada						
(Eksioglu 2006)	1	Agarre con mano	Flexión y Abducción simétricas de la mano con dinamómetro. Diferentes combinaciones de fuerza, postura y frecuencia. 25° flexión y 30° Abducción del hombro,. Tamaño de la apertura óptima relativa (ROGS) +- 2 cm	Los usuarios variaban la frecuencia del ejercicio continuamente para encontrar un óptimo considerando un trabajo de 8 horas.	5 segundos por contracción. 20 del Experimento	Antrebrazo: 15% y 20%	
	Intervención Evaluada						
	1	Cambio de Ritmo		El objetivo fue evaluar el ritmo óptimo de operación según el operario propone	Cambiaba constantemente para que el operario definiera una frecuencia que soportara durante 8 horas	5s contracción. 20 minutos	NP
	2	Cambio de Cargas		15% Fuerza Máxima	Variable según el operario propone	20 minutos	NP
3	Cambio de Cargas		30% Fuerza Máxima	Variable según el operario propone	20 minutos	NP	

Postura	Fuerza de Agarre	Ancho del agarre	Frecuencia Máxima Aceptada (MAF's)		Tiempo mínimo de descanso (Tr)		Intensidad media (Im)	Frecuencia Media normalizada Antebrazo(n MFfa)		Raíz Media Cuadrática normalizada Antebrazo (nRMSfa)	
			Media	s.d	Media	s.d		%Fmax	Media	s.d	Media
25° Flexión Hombro	15%Fmax	ROGS-2	4.8	1	7.6	2.8	5.9	1	0.1	1.2	0.3
25° Flexión Hombro	15%Fmax	ROGS	4.3	1	9	3.4	5.3	1	0.1	1	0.3
25° Flexión Hombro	15%Fmax	ROGS+2	3.9	1.2	10.3	4.7	4.9	1	0.2	1	0.3
25° Flexión Hombro	30%Fmax	ROGS-2	2.9	0.8	16	8.4	7.2	1	0.1	1	0.3
25° Flexión Hombro	20%Fmax	ROGS	3.1	0.7	14.5	5.2	7.7	1	0.1	1	0.4
25° Flexión Hombro	20%Fmax	ROGS+2	2.4	0.9	20	11.1	6	1	0.1	0.9	0.4
30° Abducción	15%Fmax	ROGS-2	4.4	1	8.7	3.4	5.5	1	0.1	1	0.3
30° Abducción	15%Fmax	ROGS	3.7	1	11.1	5.5	4.7	1	0.1	1	0.2
30° Abducción	15%Fmax	ROGS+2	3.3	0.9	13.1	5.9	4.1	1	0.2	1.2	0.3
30° Abducción	30%Fmax	ROGS-2	2.9	1	15.7	9	7.3	0.9	0.2	1	0.2
30° Abducción	20%Fmax	ROGS	3	1	15.3	8.5	7.4	1	0.1	1.1	0.4
30° Abducción	20%Fmax	ROGS+2	2.5	0.8	19.1	10.7	6.2	1	0.1	1.1	0.2

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Iridiastadi & Nussbaum 2006)	1	Abducción Isométrica-isotónica del brazo	Abducción del hombro a 90°	6 segundos para cada contracción cada 2 minutos	Hasta presencia de fatiga o 60 minutos, lo que ocurriera primero	Deltoides: 30%, 28%, 12%, 10%
	Intervención Evaluada					
	1	Cambio de Cargas				60 minutos o hasta fatiga
	2	Cambio de Ritmo	Ciclo de trabajo a 0.8, 0.75, 0.5, 0.25, 0.2	Tiempo de ciclo 180s, 166s, 100s, 34s, 20s	60 minutos o hasta fatiga	Deltoides: 30%, 28%, 12%, 10%

Condiciones ejercicio (%CMV/DC/CT)	ET (SD)		Fuerza (SD)		RPD (SD)		RMS (SD)		MNF (SD)		MDF (SD)	
	%min-1	SD	%min-1	SD	%min-1	SD	%min-1	SD	%min-1	SD	%min-1	SD
28/0.75/166	20.7	(11.4)	70.87	(0.39)	0.43	(0.13)	0.60	(0.38)	71.62	(1.41)	71.75	(1.37)
28/0.75/34	33.7	(22.0)	70.87	(0.81)	0.25	(0.17)	0.34	(0.74)	70.67	(1.27)	70.70	(1.21)
28/0.25/166	56.7	(8.2)	70.33	(0.29)	0.10	(0.03)	0.00	(0.08)	70.03	(0.07)	70.03	(0.05)
28/0.25/34	58.3	(4.1)	70.40	(0.07)	0.11	(0.07)	0.00	(0.08)	70.02	(0.08)	70.01	(0.08)
12/0.75/166	60.0	(0.0)	70.14	(0.26)	0.08	(0.06)	70.04	(0.08)	70.18	(0.26)	70.17	(0.18)
12/0.75/34	60.0	(0.0)	70.21	(0.22)	0.07	(0.06)	70.02	(0.02)	70.02	(0.10)	70.03	(0.10)
12/0.25/166	60.0	(0.0)	70.14	(0.21)	0.05	(0.05)	70.02	(0.02)	70.01	(0.11)	70.04	(0.07)
12/0.25/34	60.0	(0.0)	70.06	(0.09)	0.05	(0.02)	0.01	(0.06)	0.07	(0.12)	0.05	(0.12)
30/0.5/100	58.3	(4.1)	70.36	(0.19)	0.12	(0.04)	0.09	(0.17)	70.18	(0.10)	70.25	(0.13)
10/0.5/100	60.0	(0.0)	70.16	(0.17)	0.05	(0.03)	70.06	(0.05)	0.02	(0.06)	0.00	(0.04)
20/0.8/100	31.3	(22.4)	70.47	(0.26)	0.31	(0.17)	0.05	(0.21)	70.24	(0.27)	70.28	(0.34)
20/0.2/100	60.0	(0.0)	70.13	(0.07)	0.05	(0.03)	70.05	(0.06)	0.03	(0.13)	0.00	(0.11)
20/0.5/180	60.0	(0.0)	70.25	(0.17)	0.10	(0.06)	70.13	(0.50)	70.21	(0.20)	70.13	(0.17)
20/0.5/20	60.0	(0.0)	70.15	(0.33)	0.07	(0.03)	70.05	(0.09)	70.05	(0.11)	70.06	(0.12)
20/0.5/100	60.0	(0.0)	70.18	(0.26)	0.08	(0.03)	70.06	(0.15)	70.07	(0.10)	70.07	(0.13)

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Sundel in 1993)	1	Agarre y movimiento de cilindros pequeños	Agarrar, mover		2 horas	NP
	Intervención Evaluada					
	1	Pausa Activa	Movimiento de una caja de 2 Kg.	1 minuto cada 6	5 repeticiones en un minuto	NP

Músculo	Hora	Coeficiente de Fatiga	
		Grupo 1	Grupo 2
Trapezio Lateral	1	0.36	0.31
Trapezio Lateral	2	0.22	0.25
Trapezio Cervical	1	0.43	0.43
Trapezio Cervical	2	0.4	0.33
Infraspinatus	1	0.38	0.28
Infraspinatus	2	0.38	0.32

Grupo	Hora 1	Hora 2
1	Trabajo Continuo	Trabajo con Pausas
2	Trabajo con Pausas	Trabajo Continuo

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC (P10)
Media	Tarea Evaluada					
(Escorpi zo & Moore 2007)	1	Levantamiento y movimiento de materiales pequeños	Agarrar, mover, levantar. El peso de las partes a mover fue de 0,7Kg	De acuerdo al ciclo de trabajo definido	5 min con 5 de descanso	Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Cambios de Ritmo	Se evaluó además el efecto que tiene el tipo de agarre que tenía el operario	Ciclos de trabajo de 1, 2, 5 y 10 s	5 minutos	Tabla

CT (s)	UTR*		INF*		PEC*		BRA*		ECR*		FDS*	
	mean	S.d										
1	1.9	2.7	2.3	1.7	1.3	1.5	4.4	3.5	9.1	4.9	4.8	1.3
2	1.2	1.7	1.7	1	0.7	0.9	1.5	1.5	4.4	2.1	2	0.6
5	0.3	0.4	0.4	0.8	0	0	0.2	0.5	0.5	0.6	0.6	1.2
10	0.5	0.8	0.2	0.4	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	0.7

*Resultados para el nivel estático (10P) a lo largo de los sujetos y tipo de agarre.

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
	Tarea Evaluada					
(Raina & Dickerson 2009)	1	Movimientos Básicos Hombro (Tarea A)	Flexión (30°) del Hombro		2 minutos por combinación (4 minutos)	Tabla
	2	Movimientos Básicos Hombro (Tarea B)	Abducción (90°) del Hombro		2 minutos por combinación (4 minutos)	Tabla
	Intervención Evaluada					
	1	Alternancia de Tareas	El objetivo fue evaluar el efecto de la rotación y el orden de las tareas.	2 minutos, 4 combinaciones entre las tareas 20 y 21	2 minutos por tarea, 4 del esquema total	Tabla

	Deltoides		
Orden Tareas	ANTERIOR	MIDDLE	POSTERIOR
AA	50.538	25.495	7.352
s.d.	6.035	4.989	1.925
AB	50.538	36.987	12.191
s.d.	5.851	4.989	1.814
BA	53.464	38.045	14.005
s.d.	6.05	4.839	1.966
BB	47.872	55.583	23.984
s.d.	6.048	4.989	1.814

Calidad	No.	Nombre	Descripción	Frecuencia	Duración	%MVC
Media	Tarea Evaluada					
(Falla & Farina 2007)	1	Levantamiento hombro Contracción continua		Estática durante los 6 min	6 min	Trapezio 20%
	Intervención Evaluada					
	1	Cambio de Cargas	contracción continua de 20%CMV	cada 30 seg, aumento a 30%CMV	6 minutos	20%CMV con incrementos cada 30s a 30%CMV durante 2 seg.

ANEXO J - Mejor Evidencia sobre los efectos de la rotación de demandas mecánicas

Tareas en VDT

Grupo 1.1		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Cambio de Ritmos	Alta	Trapezio
Tarea	Comparabilidad	Alta
VDT	Consistencia	Alta
Artículos		
<p>Este grupo de artículos evaluó los efectos de las intervenciones en frecuencia y específicamente en velocidad de trabajo. En general los resultados muestran que un ritmo voluntario, muestra mayor variabilidad de la actividad muscular con niveles en magnitud aceptables. Sin embargo, cuando se busca forzar el paso más rápido, las magnitudes se incrementan y puede generar mayores riesgos de MSD.</p> <p>En conclusiones puntuales, el estudio Samani <i>et al.</i> (2009a) encontró que en tareas de digitación el tiempo relativo de descanso es menor que con otras actividades posiblemente por las funciones estabilizadoras que este músculo debe cumplir. En Szeto <i>et al.</i> (2005) se encontró que los sujetos con pasado de MSD muestran mayor variabilidad y mayores niveles de activación que los sujetos sin pasado de MSD, por lo que los autores concluyen que el pasado de MSD tiene un efecto contraproducente en el riesgo de adquirir MSD de nuevo.</p>		

Grupo 1.2		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Pausas Activas y Pasivas	Media	Trapezio
Tarea	Comparabilidad	Alta
VDT	Consistencia	Media
<p>Artículos: Balci and Aghazadeh (2004)1636, Samani <i>et al.</i> (2010)47, Samani <i>et al.</i> (2009a)43, Samani <i>et al.</i> (2009b)268, Sundelin and Hagberg (1989)713</p> <p>En los resultados de 3 de los 5 estudios incluidos en este grupo, se encontró que las pausas activas tienen un efecto positivo en los patrones de activación muscular, esto medido a través de la entropía, la variabilidad de la señal y el cambio en %MVC después de la pausa. Sin embargo, en Samani <i>et al.</i> (2010), se encontró que no hubo mayor diferencia en las pausas activas; pero teniendo en cuenta que este estudio evaluó un modelo de inferencia de lógica difusa para dar una retroalimentación en vivo al operario, esta validez está sujeta a la misma validez de dicho modelo; por lo que es posible interpretar los resultados como consecuencia de la efectividad del modelo y no de las pausas activas. En Sundelin and Hagberg (1989), no se encontraron diferencias en la activación muscular, posiblemente debido a los pocos cambios en magnitud que representaban para el operario; de todos modos, en los auto-reportes sí se encontraron menores niveles de molestias percibidas al realizar las pausas activas.</p> <p>En los resultados específicos se encuentran soportadas las siguientes hipótesis: Las pausas activas más frecuentes (de 30 segundos cada 5 minutos) resultaron ser más efectivas que otros esquemas de pausas más largas pero menos frecuentes (Balci & Aghazadeh 2004); las pausas activas fueron más efectivas para trabajos intensivos con el mouse; cuando el músculo está fatigado después de ejercicios altamente demandantes, las intervenciones reducen su efectividad pues el músculo parece mostrar menor capacidad de variabilidad (Samani <i>et al.</i> 2009b).</p>		
Grupo 1.3		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Alternancia de Tareas	Media	Trapezio y Antebrazo (Grupo)
Tarea	Comparabilidad	Alta
VDT	Consistencia	Media
<p>Artículos: Luttmann <i>et al.</i> (2010), Balci and Aghazadeh (2004)1636</p> <p>Los dos estudios que evaluaron alternancia de tareas, no presentan en general conclusiones comparables; en Luttmann <i>et al.</i> (2010), se concluye que a mayores cambios en magnitud de activación muscular disminuyen las molestias reportadas. Por otro lado, en Balci and Aghazadeh (2004), específicamente para la rotación de tareas se hace únicamente para una tarea cognitiva y una manual de entrada de datos con el teclado, y las conclusiones en este aspecto es que las molestias reportadas son menores en la tarea cognitiva.</p>		

Tareas Industriales

Grupo 2.1		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Alternancia de Tareas	Alta	Trapezio
Tarea	Comparabilidad	Alta
Industrial	Consistencia	Alta
Artículos: Rissen <i>et al.</i> (2002); Möller <i>et al.</i> (2004)		
<p>En alternancia de tareas, se encuentra evidencia de que rotar de tareas sí permite mayores niveles de variabilidad y que además tiene el potencial de reducir las magnitudes de activación muscular en los operarios; lo cual tiene el potencial de reducir los reportes de molestias. El efecto de la rotación no es igual para cada músculo, pues en función del perfil que tenga cada uno en determinada tarea, puede o no ser benéfico para el operario. Por lo anterior, es importante tener en cuenta todos los músculos involucrados en la rotación pues se puede estar aumentando el riesgo de MSD en determinada zona si no se tienen en cuenta las recomendaciones anteriores.</p>		
Grupo 2.2		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Cambio de Ritmos	Media	Trapezio
Tarea	Comparabilidad	Alta
Industrial	Consistencia	Media
Artículos: Bosch <i>et al.</i> (2011), Mathiassen and Winkel (1996)		
<p>Para tareas industriales, el cambio de ritmos disminuye los niveles en magnitud de la actividad muscular y tiene el potencial de aumentar la variabilidad de la activación muscular. Este efecto en Bosch <i>et al.</i> (2011) no fue significativo. En Mathiassen and Winkel (1996), si se encontró que la variabilidad es mayor para un ritmo normal de trabajo y que la magnitud es menor comparada con ritmos acelerados de trabajo.</p>		
Grupo 2.3		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Pausas Activas y Pasivas	Media	-
Tarea	Comparabilidad	Media
Industrial	Consistencia	Media
Artículos: Oksa <i>et al.</i> (2006), Mathiassen and Winkel (1996)		
<p>Los dos estudios en este grupo muestran algunas evidencias sobre las ventajas de realizar las pausas activas; en Mathiassen and Winkel (1996), las pausas mostraron una reducción no significativa en las magnitudes de activación muscular y en Oksa <i>et al.</i> (2006), las pausas más demandantes (de 30%MVC) indujeron mayor variabilidad medida a través de los tiempos relativos de descanso. En general existe una evidencia de consistencia media sobre las ventajas de utilizar pausas activas para aumentar la variabilidad de la activación muscular en el trapecio teniendo en cuenta la calidad y la comparabilidad en los estudios.</p>		

Otras Tareas

Grupo 3.1		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Alternancia de Tareas	Media	Deltoides
Tarea	Comparabilidad	Alta
Otros	Consistencia	Media
Artículos: Keir <i>et al.</i> (2011), Sundelin (1993)		
Los estudios de alternancia de tareas en "otras tareas" presentan conclusiones muy similares; en ambos el efecto del orden de las tareas es no significativo; y la rotación entre las tareas analizadas en cada estudio son benéficas para el operario pues en promedio se reduce la magnitud de activación muscular.		
Grupo 3.2		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Cambio de Ritmos	Media	-
Tarea	Comparabilidad	Media
Otros	Consistencia	Media
Artículos: Eksioglu (2006), Iridiastadi and Nussbaum (2006), Escorpizo and Moore (2007)		
Para los cambios de ritmos se encontraron diversas conclusiones en diferentes aspectos, por tanto se expone para cada estudio los resultados más relevantes en cambios de ritmo. En Escorpizo and Moore (2007), se encontró que cuando se reduce el ritmo de trabajo con ciclos de tiempo mayores a 5 segundos en tareas de levantamiento de cargas, los picos en magnitud de activación muscular para el trapecio y el antebrazo disminuyen, las molestias disminuyen. En Eksioglu (2006), se encontró que los cambios de ritmos no alteraban las variables medidas en el estudio; sin embargo, es importante tener en cuenta que se utilizó como criterio base la proyección de lo que el operario percibe en 20 minutos para 8 horas de trabajo; lo cual podría ser cuestionado. En Iridiastadi and Nussbaum (2006), se evaluaron varios ciclos de trabajo en los que la duración máxima hasta fatiga difería en cada combinación, aquí se encontró que con niveles de activación superiores al 20%MVC y tiempos relativos de trabajo cercanos al 80% la duración de cada ciclo hasta fatiga era menor, es decir más fatigantes. La contracción media (%MVC*Ciclo de trabajo) no tuvo relación alguna con los tiempos de duración hasta fatiga, por lo que no constituye un buen indicador para la misma.		

Grupo 3.3		
Coincidencias		
Intervenciones	Calidad mínima	Músculos Evaluados
Cambio de Cargas	Media	-
Tarea	Comparabilidad	Media
Otros	Consistencia	Media
Artículos: Eksioglu (2006), Iridiastadi and Nussbaum (2006), Falla and Farina (2007)		
<p>Los cambios de cargas como intervención para rotación de demandas no parecen tener aún un estándar definido pues de los estudios incluidos en este grupo solo uno evaluó como se afecta el desarrollo de la tarea cuando se alteran las cargas de un trabajo. En Falla and Farina (2007), un estudio sobre ejercicios de contracción del hombro, se encontró que en el trapecio se presentan menores reportes de fatiga para una tarea de 20%MVC con aumentos intermitentes a 30%MVC, en comparación a una tarea sin intermitencias con una demanda constante de 20%MVC. En los otros estudios, se encuentran esquemas de trabajo en los que para tareas de flexión y abducción del antebrazo y tareas de agarre con mano, los niveles de activación superiores a 20%MVC presentaron significativamente mayores reportes de fatiga.</p>		

ANEXO K – Resumen Estudios Revisión de Literatura de Modelos

Autor (año)	Título	Designing safe job rotation schedules using optimization and heuristic search
[Carnahan <i>et al.</i> (2000)]	Descripción General	Programación entera y un algoritmo genético son utilizados para construir esquemas de rotación de tareas. Los esquemas se componen de tareas de levantamiento de cargas que tienen un potencial de daño para los operarios medido a través del JSI. El peso de los objetos, la distancia a mover y la repetición variaban con el tiempo. Cada rotación se aplicó aun grupo de un género específico, y de acuerdo a su capacidad de levantamiento.
	Función Objetivo	Minimizar el máximo JSI encontrado en todos los trabajadores incluidos en el esquema de rotación.
	Variables de Interés	En este estudio los trabajadores fueron clasificados en 4 grupos de capacidad según genero, se tuvieron en cuenta 4 tareas de levantamiento y 8 periodos de tiempo: 128 variables de decisión X_{ijt} trabajador i realiza el trabajo j en el tiempo t .
	Parámetros	El costo variable C_{ijt} , es un número real que representa el costo en términos del JSI de un trabajador i realizando la tarea j en el periodo t .
	Restricciones	El primer grupo de restricciones asegura que cada tarea sea realizada por sólo un trabajador en cada uno de los 8 periodos tenidos en cuenta. El segundo grupo asegura que un trabajador sólo realice una tarea de levantamiento en un periodo de tiempo. El tercer grupo de restricciones considera las demandas generales de una tarea sobre un grupo de un género específico fundamentado en las asignaciones de trabajo y calcula el valor JSI para cada grupo de trabajadores.
	Método Resolución	Para todas las operaciones, el algoritmo genético utiliza un generador de números aleatorios para crear el peso, la frecuencia y la distancia de las tareas considerando distribuciones de probabilidad uniformes en determinado rango. Para el proceso de selección se evalúan las características de los dos padres según la secuencia de tareas que tengan, y se cruzan intermitentemente las características para finalmente remplazar a los padres con el hijo en la población. Para la mutación, se selecciona aleatoriamente un sujeto de la población y sus posiciones en el esquema de rotación son cambiadas aleatoriamente; igualmente el sujeto mutado remplaza al sujeto original.

Autor (año)	Título	A Quantitative Method for Determining Proper Job Rotation Intervals
Tharmmaphornphilas and Norman (2004)	Descripción General	El estudio presenta una aproximación con programación entera para el desarrollo de esquemas de rotación utilizando diferentes intervalos de rotación con el fin de determinar qué tipo de rotación de tareas bajo diferentes condiciones reduce el potencial de molestias de los trabajadores. Específicamente para tareas de levantamiento de cargas, se evalúa el efecto de permitir a los trabajadores rotar en cualquier momento, rotar cada hora, cada dos horas, cada 4 horas y sin rotación.
	Función Objetivo	Minimizar el máximo de los valores JSI de cada trabajador involucrado en el esquema de rotación.
	Variables de Interés	Variable binaria: el trabajador i realiza el trabajo j en el tiempo k
	Parámetros	c_{ijt} = el valor JSI relacionado con asignar al trabajador i a la tarea j en el tiempo t . Los valores JSI de las tareas de levantamiento fueron estimados mediante un programa de simulación utilizado para todas las combinaciones de demandas, tareas trabajadores y horas de trabajo.
	Restricciones	Un trabajador i por tarea j en el tiempo t .
	Método Resolución	El modelo se soluciona a través de CPLEX, un programa comercial para resolver problemas de programación lineal. Una vez solucionado el modelo para diferentes intervalos de rotación, se realizó un ANOVA completo para determinar la diferencia en las soluciones y encontrar un intervalo más óptimo para rotar las tareas buscando siempre minimizar los valores JSI

Autor (año)	Título	A simulated annealing approach to the solution of job rotation scheduling problems
Seckiner and Kurt (2007)	Descripción General	El modelo es una modificación al presentado por Carnahan y cols. (2000). En este caso se tiene en cuenta los requerimientos de trabajo a lo largo de 12 horas/día durante 7 días en un ámbito operativo en el que se tiene que cumplir a cabalidad todos los requerimientos de trabajo.
	Función Objetivo	El modelo busca minimizar el máximo W (costo de carga de trabajo) encontrado a lo largo de las programaciones de cada uno de los trabajadores tenidos en cuenta en el modelo.
	VARIABLES DE INTERÉS	Número de empleados asignados para el turno k en el día i para desarrollar la tarea de tipo m . Variable binaria donde X_{nmik} es 1 si el empleado n es asignado al turno k para desarrollar la tarea de tipo m en el día i ; 0, de lo contrario
	Parámetros	El costo variable C_{mik} es un número real que representa el costo en términos de carga de trabajo de un trabajador desarrollando la tarea de tipo m en el turno k el día i .
	Restricciones	El primer grupo de restricciones asegura que suficientes trabajadores estén disponibles para satisfacer las demandas de trabajo tipo m en el turno k para el día i . El segundo grupo, asegura que cada trabajador desarrolle solo una tarea en un periodo de tiempo. El tercer grupo, considera de manera general las demandas de trabajo sobre todos los operarios en cada asignación de trabajo y calcula el valor W de cada trabajador. La minimización de la F.O. fuerza al programa entero a encontrar el grupo de valores X_{nmik} que corresponden a la rotación que minimiza el máximo W de todos los trabajadores, lo que hace que la programación sea balanceada a todos los trabajadores. El cuarto grupo de restricciones asegura que cada trabajador es asignado a cierta carga de trabajo, y a cierto tiempo de descanso cada semana.
Método Resolución	La simulación de Recocido (Simulated annealing, SA) es una heurística de búsqueda para problemas de optimización combinatorios. Según los autores la heurística tiene la capacidad de saltar por fuera de óptimos locales buscando un óptimo global. esta capacidad es adquirida aceptando con cierta probabilidad soluciones vecinas que son peores que la solución actual. la probabilidad de aceptación es determinada por un parámetro de control (temperatura) que disminuye durante cada iteración. SA ha sido aplicada satisfactoriamente a diferentes problemas relacionados con: Diseño de plantas, programación de esquemas de trabajo flexibles, entre otros.	

Autor (año)	Título	Ant colony optimization for the job rotation scheduling problem
Seçkiner and Kurt (2008)	Descripción General	El modelo está enfocado en encontrar esquemas de rotación factibles que distribuyen la carga a lo largo de todos los operarios utilizando un algoritmo de colonia de hormigas que es capaz de tener en cuenta restricciones como días de descanso, los requerimientos de trabajo para cada trabajo, entre otros.
	Función Objetivo	Minimizar el máximo de la carga de trabajo según el esquema de trabajo entre todos los operarios.
	Variables de Interés	Los esquemas de rotación de trabajo son definidos por la variable de decisión X_{nmik} que muestra si un trabajador n es asignado (1) a un turno k para hacer un trabajo m en un el día i o no (0).
	Parámetros	Se tiene en cuenta el costo C_{mik} que representa la carga de trabajo de un trabajo en determinado turno para determinado día. Además tiene en cuenta el número de turnos disponibles y los trabajadores que deben ser asignados a cada turno.
	Restricciones	El primer grupo de restricciones asegura que el suficiente número de trabajadores esté disponible para satisfacer las necesidades de un trabajo en determinado turno para determinado día. El segundo grupo asegura que un trabajador sólo realice un trabajo en cada periodo de tiempo. y el último grupo de restricciones calcula el máximo de carga que un trabajador tiene asignado.
	Método Resolución	El estudio utiliza el Algoritmo de Colonia de Hormigas, que busca resolver el problema de balancear la carga de trabajo a lo largo de todos los operarios. La formulación se basa en el problema tradicional del Agente Viajero (Travel Sales Problem, TSP) en donde se considera el costo (carga de trabajo) de realizar o no una tarea teniendo en cuenta que se tiene una demanda (productividad mínima) de cada tarea.

Autor (año)	Título	A methodology to create robust job rotation schedules
Tharmmaphornphils and Norman (2007)	Descripción General	El estudio propone una metodología para desarrollar esquemas robustos de rotación de trabajo para reducir la probabilidad de adquirir molestias en la espalda baja debido al levantamiento de cargas. Los autores consideran condiciones en las que existen demandas de la tarea desconocidas y diferentes perfiles de trabajadores para simular las condiciones reales de trabajo. Se utiliza una versión determinística del problema.
	Función Objetivo	Minimizar el máximo de los días perdidos por lesiones musculoesqueléticas. Minimizar el total de días perdidos. Los días perdidos fueron calculados en función del valor JSI de cada esquema de trabajo. Minimizar el máximo del JSI de los trabajadores.
	Variables de Interés	$x_{ijt} = 1$ si el trabajador i realiza la tarea j en el tiempo t , 0 de lo contrario d_i = variable distribuida normalmente para representar el JSI de todo el día del trabajador i w_i = la desviación estándar del JSI de todo el día del trabajador i . N_{max} = El máximo de número de días perdidos.
	Parámetros	Capacidad de levantamiento: determinada por el máximo peso que un trabajador puede levantar repetitivamente durante largos periodos de tiempo sin someterse a estrés o fatiga. JSI: Job Strain Index, en términos muy generales considera la capacidad requerida de levantamiento y la capacidad real del trabajador.
	Restricciones	Existe un grupo de restricciones para asegurar la asignación correcta de los trabajadores a todos los trabajos requeridos. Una restricción adicional para asegurar que Z (Función Obj.) sea el máximo del JSI entre todos los trabajadores. Para el problema con variables aleatorias se tiene: una restricción para calcular el JSI de cada trabajador en función de las v.a. Para el cálculo de los días perdidos dado un valor JSI, se utiliza una integral definida que calcula dicho número de días.
	Método Resolución	Los autores proponen un procedimiento heurístico dado que no existe un procedimiento definido para resolver este tipo de problemas óptimamente pues tiene variables estocásticas. La heurística es llamada voraz con procedimiento de diversificación (GreedyRD) Para las versiones estocásticas del problema, se utiliza el teorema del límite central para calcular el JSI del día de un trabajador y su desviación estándar en vez de utilizar una simulación de las v.a. en tiempo real.

Autor (año)	Título	A multi-criteria genetic algorithm for the generation of job rotation schedules
Diego-Mas <i>et al.</i> (2009)	Descripción General	Modelo de minimización del riesgo de adquirir enfermedades musculoesqueléticas mediante la rotación de tareas. Mediante una evaluación observacional de las tareas y los esquemas de rotación, incluyendo la repetitividad de movimientos, las demandas cognitivas y mecánicas de las tareas y las preferencias de cada sujeto. La solución se dio en dos fases, primero, el valor de los ítems de la rotación de un individuo específico teniendo en cuenta las rotaciones anteriores, y en la segunda fase la calidad de la solución calculada comparando el valor de todos los trabajadores para equilibrar la carga en todos los operarios.
	Función Objetivo	Se utilizó una suma ponderada de los criterios de evaluación de cada esquema de rotación. Para cada criterio se ponderó de acuerdo a la importancia relativa en relación a los demás.
	VARIABLES DE INTERÉS	Evaluación cualitativa W de la rotación en función de los ítems de los trabajos desarrollados anteriormente teniendo en cuenta el efecto de dichos trabajos anteriores. En la segunda fase de la evaluación, se obtiene un valor de afinidad F de cada individuo comparado con toda la población, para evaluar qué tan uniformemente se están asignando los trabajos en todos los operarios involucrados.
	Parámetros	Frecuencia de los micro-movimientos de cada tarea. Habilidades generales de los operarios. Habilidades requeridas para cada estación de trabajo. Requerimiento de las habilidades de un trabajador para cierta tarea específica teniendo en cuenta los grupos musculares involucrados. Preferencia de un trabajador para realizar cierta labor.
	Restricciones	El algoritmo compara los requerimientos de cada trabajo con las habilidades de un operario. Se define un tiempo máximo en el que el operario puede trabajar en determinada tarea teniendo en cuenta el siguiente supuesto: Entre más larga la duración de las rotaciones previas y entre más corto el tiempo transcurrido desde que finalizó la tarea anterior, mayor es el efecto en el valor W del siguiente ítem en la rotación. Se evalúa el tiempo que el operario lleva trabajando con cierto grupo muscular, y si este ha superado el Tmax definido, el valor W de la rotación es penalizado haciendo que ese esquema de rotación reduzca su probabilidad de sobrevivir dentro de las iteraciones del algoritmo. Las habilidades generales de los operarios deben ajustarse a las necesidades de cada tarea.
	Método Resolución	El uso de meta-heurísticas provee soluciones aceptables con un tiempo de procesamiento reducido; específicamente los algoritmos genéticos son eficientes para resolver problemas combinatorios como el evaluado en el artículo.

Autor (año)	Título	Designing safe job rotation schedules based upon workers' skills
Aryanezhad <i>et al.</i> (2009)	Descripción General	Teniendo en cuenta algunos trabajos predefinidos en los sistemas de manufactura, se clasificaron los trabajos en diferentes categorías según su afinidad en cuanto a requerimientos de procesamiento. los trabajadores fueron clasificados según su nivel de habilidades para diferentes trabajos. Se busca asignar el mejor patrón de asignación de acuerdo a las demandas de cada tarea y la afinidad (media con las habilidades requeridas) que tiene cada trabajador con un trabajo.
	Función Objetivo	Multi-objetivo ponderado: Minimizar el máximo de la Dosis de Ruido entre todos los trabajadores. Minimizar el número de días perdidos por molestias por levantamiento de cargas.
	Variables de Interés	$X_{l;k;j;t;d} = 1$ si el trabajador l del nivel de experiencia k es asignado a la categoría de trabajo j durante la rotación t en el día d ; 0 otros.
	Parámetros	J Número de categorías de trabajo. ; S Número de rotaciones por día. ; D Número de días por planear.; K Número de niveles de experiencia. ; l_k Número de trabajadores en el nivel de experiencia k .; N_j Número de trabajadores necesarios para trabajos de la categoría j .; f_j Frecuencia de levantamiento de la categoría j durante un día de trabajo.; WT_j Máximo peso a levantar requerido por la categoría de trabajo j durante un día de trabajo.; T_j Máximo permitido de la exposición al ruido en la categoría de trabajo j . $CAP_{l,k}$ Máximo peso que un trabajador l del nivel k puede levantar durante un día de trabajo. $FX_{l,k}$ Frecuencia que un trabajador l del nivel k puede levantar de peso $CAP_{l,k}$ durante un día de trabajo. $I_{k;j} = 1$ si la asignación del nivel k de experiencia al trabajo de categoría j es posible; 0 Otros.
	Restricciones	Restricciones para asignar correctamente los trabajos a los operarios: cada trabajador es asignado únicamente a una categoría de trabajo durante un período de rotación. Se satisface que el número de trabajadores necesario para cada categoría de trabajo estén asignados. se garantiza que solo trabajadores con la experiencia necesaria estén asignados a las cada categoría de trabajo. El número de días perdidos por molestias se calcula en función de los valores JSI con puntos de cambio en 1,5 y 1,6 del índice mencionado.
	Método Resolución	Como el modelo propuesto es muti-objetivo, se resolvió mediante métodos de programación lineal (SIMPLEX) el problema con cada función objetivo por aparte. luego para tener en cuenta ambos objetivos se definió una función objetivo que minimiza la suma normalizada de las diferencias entre cada F.O y los respectivos valores óptimos de cada objetivo inicial. Específicamente se utilizó el software Lingo 8.0. para resolver el modelo propuesto.

Autor (año)	Título	An optimization model for task assignment in home health care
Bachouch <i>et al.</i> (2010)	Descripción General	Se modela una programación mixta para asignar esquemas de rotación que distribuyan la carga equitativamente a lo largo de diferentes enfermeras que afrontan una serie de eventos impredecibles a lo largo del día que pueden alterar las cargas manejadas.
	Función Objetivo	El objetivo es balancear la carga de trabajo entre todas las enfermeras. Se formuló de la siguiente manera: $\text{Min } Z = P_{\text{max}} - P_{\text{min}}$ Donde P_{max} es el máximo de las cargas asignadas para cada enfermera y P_{min} el mínimo.
	Variables de Interés	La variable binaria X_{ijt} asigna 1 si la tarea i es asignada a la enfermera j que tiene el rango r ; 0, otros. A_i indica el tiempo de inicio de la tarea i ; B_i el tiempo de finalización de la tarea i .
	Parámetros	La duración de las tareas es generada aleatoriamente utilizando una distribución uniforme en determinado rango (15min a 105 min).
	Restricciones	Existen dos restricciones que aseguran que cada tarea es asignada a una y solo una enfermera de acuerdo al rango que tiene en el hospital. Todas las tareas deben realizarse dentro del día de trabajo de la enfermera. Además, la primera tarea debe empezar después de que ya ha empezado el turno de cada enfermera. Igualmente, la última tarea debe finalizarse antes de que se finalice el turno de la enfermera. La enfermera debe tener las habilidades necesarias para realizar la tarea asignada. El final de una tarea debe coincidir con el comienzo de otra.
Método Resolución	Para resolver el modelo se utilizó LINGO, que permite una configuración sencilla para que el programador del esquema pueda ingresar los datos a Excel e importarlos automáticamente a LINGO, y luego el mismo programa devuelva la solución a EXCEL sin necesidad de intervenir manualmente; lo cual es bastante deseable en el hospital.	

Autor (año)	Título	Sequencing labor-intensive production by ergonomic assessment for reduction of work-related musculoskeletal disorders
Schomburg (2011)	Descripción General	Para las estaciones de trabajo tenidas en cuenta, un modelo de procesamiento unitario fue aplicado para representar las actividades. En general, cada trabajo j corresponde directamente a una familia de productos F_j , que son grupos de trabajos que tienen requerimientos de procesamiento similares. Tiene en cuenta las fechas en las que se debe entregar un trabajo, la duración de cada tarea y la capacidad de trabajo de los recursos involucrados.
	Función Objetivo	Como función objetivo se tienen tres criterios diferentes para tres modelos, maximizar el cambio en la actividad del sistema musculo-esquelético, secuenciación para disminuir paulatinamente la actividad musculo-esquelética y minimizar las actividades repetitivas.
	VARIABLES DE INTERÉS	Variable binaria: el trabajador i realiza el trabajo j en el tiempo k
	Parámetros	La evaluación REBA para cada familia de producto, asociando el nivel del riesgo y las acciones recomendadas para intervenir.
	Restricciones	Se tienen en cuenta restricciones para asignar correctamente un trabajador a una tarea específica en un tiempo determinado. Se tiene además una restricción para calcular el máximo riesgo encontrado en un esquema de trabajo, medido a través del REBA.
	Método Resolución	Se propone una heurística simple que cuenta con diferentes alteraciones, pero en general sigue los siguientes pasos: 1) Seleccionar como primer trabajo aquél que tenga el mayor REBA de los disponibles. 2) priorizar para el siguiente trabajo aquél que tenga el mayor cambio en REBA, o el siguiente más grande según sea el objetivo 3) detener si ya se han asignado todos los trabajos.

Autor (año)	Título	Reducing ergonomic risks at mixed-model assembly lines by job rotation scheduling
Alena Ottoa (2011)	Descripción General	El modelo ergonómico de rotación de tareas, como lo definen los autores es comparable con el de Carnahan y cols. (2000). Mide el riesgo ergonómico con puntos ergonómicos que pueden ser medidos en cada esquema de trabajo. Se define un conjunto J de n trabajadores, un número T de periodos. Los trabajos son asignados a los trabajadores mediante una función de permutación $P_i(t,i)$ que significa que para un periodo t, un trabajador i tiene que desarrollar el trabajo $a(p_i(t,i))$. Cada trabajo es caracterizado por sus puntos ergonómicos para periodos específicos de tiempo.
	Función Objetivo	El objetivo es encontrar un conjunto T de permutaciones de trabajo que minimice el máximo de la exposición al riesgo E de cualquier trabajador.
	Variables de Interés	Los esquemas de rotación de trabajo son definidos por la variable de decisión X_{ijt} que muestra si un trabajador es asignado (1) a un trabajo j en un periodo t o no.
	Parámetros	El riesgo de cada esquema de trabajo se define con los puntos ergonómicos como una suma ponderada de los puntos ergonómicos de cada trabajo de acuerdo a la duración de cada asignación.
	Restricciones	Los esquemas de rotación son definidos por las variables de decisión binarias descritas anteriormente. Existen restricciones que aseguran que cada trabajador es asignado exactamente a un puesto de trabajo en cada periodo.
	Método Resolución	Para la resolución del problema se definen 3 alternativas que pueden tener o no diferentes ventajas: 1) Procedimiento "ingenuo" de construcción; aquí se define simplemente que se vaya asignando el trabajo de menor riesgo si se ha asignado anteriormente uno de alto riesgo. 2) Suavización Heurística; aquí se utiliza el primer procedimiento, pero se evalúa al final de la construcción de una solución si se ha mejorado la FO en relación a la iteración anterior y guarda esta solución si es mejor que la anterior. 3) Búsqueda Tabú; metaheurística propuesta por Glover en 1986.

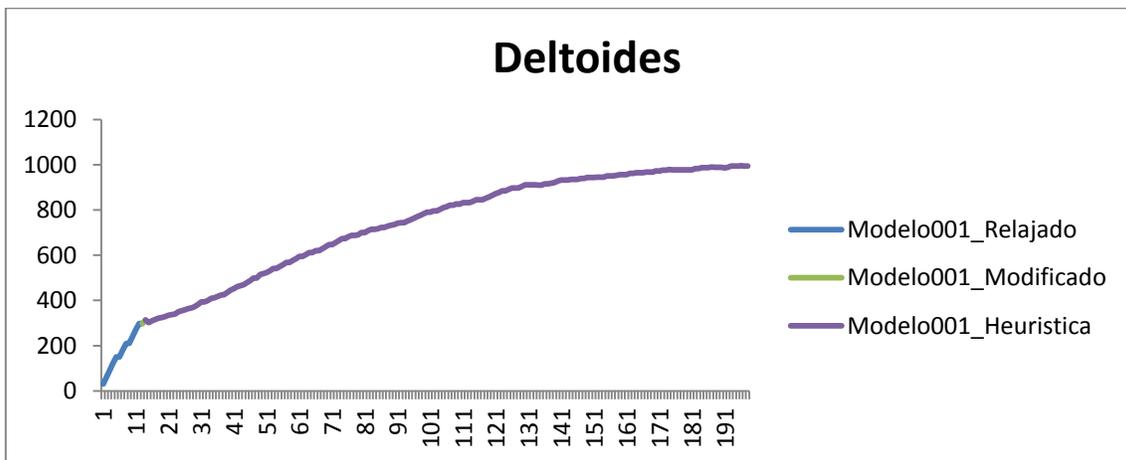
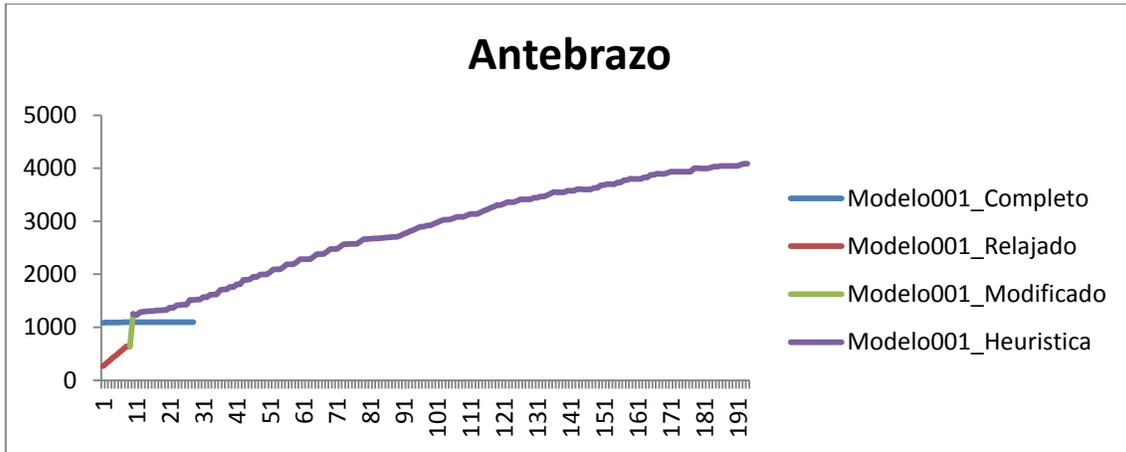
ANEXO M – Resultados Modelos de Optimización

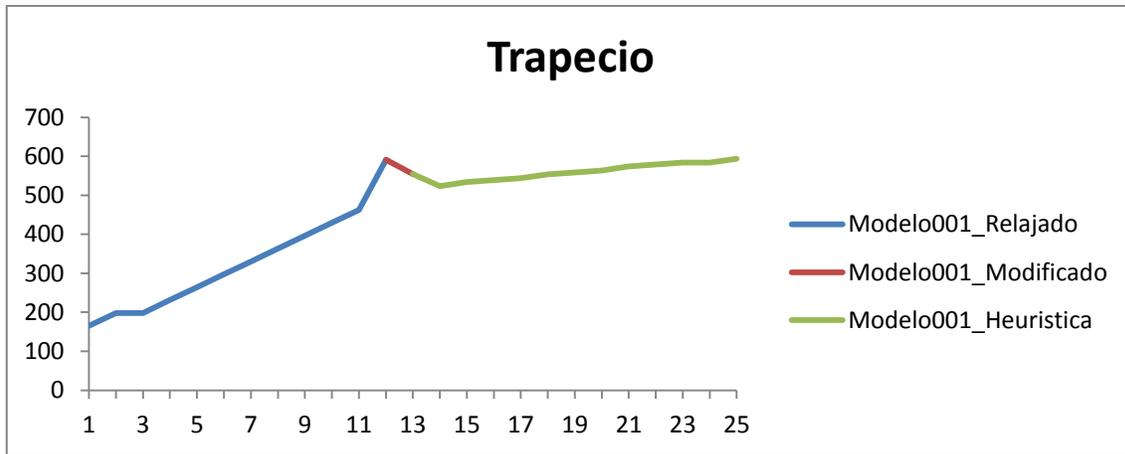
Modelo001

Nombre	Herramienta	Variables		Tiempo Computacional
Modelo001_Completo	LPSolve	Completo variables binarias, enteras y continuas		1000 segundos
RESULTADOS	Todos	Antebrazo	Deltoides	Trapezio
Función Objetivo	N/A	1095.5	Sin éxito	Sin éxito
Total Iteraciones	N/A	2211558	2224665	2394345
Iteraciones Solución Básica Relajada	N/A	602302	602302	602302
Exactitud de la solución	N/A	0.03	N/A	N/A
GAP	N/A	100%	N/A	N/A
Mejora F.O. Vs 1ra iter.	N/A	1%	N/A	N/A
Nombre	Herramienta	Variables		Tiempo Computacional
Modelo001_Relajado	LPSolve	Variable x continua		200 segundos
RESULTADOS	Todos	Antebrazo	Deltoides	Trapezio
Función Objetivo (x binaria)	-153%	1249.8	313.1	553.1
Función Objetivo	-188%	640.4	297.2	591.0
Total Iteraciones	2861977 (1000Segundos)	504086	506106	501858
Iteraciones Solución Básica Relajada	10717	10717	10717	10717
Exactitud de la solución	0.046875	0.05	0.05	227.61
GAP	100%	100%	100%	100%
Mejora F.O. Vs Completo	N/A	14%	N/A	N/A

Nombre	Herramienta	Variables	Criterio de Parada	Tiempo Computacional
Modelo001_Heuristica	Heurística	Completo variables binarias, enteras y continuas	Mejora en F.O <1%	200 segundos
RESULTADOS	Todos	Antebrazo	Deltoides	Trapezio
Función Objetivo	136%	2702.9	743.9	1575.4
Solución Inicial	-153%	1249.8	313.1	553.1
Iteraciones	220	185	185	13
Tiempo (Segundos)	218.69	58.3	56.3	56.3
Mejora F.O. Vs Relajado	189%	227%	218%	7%

Evolución de la Función Objetivo por músculo evaluado



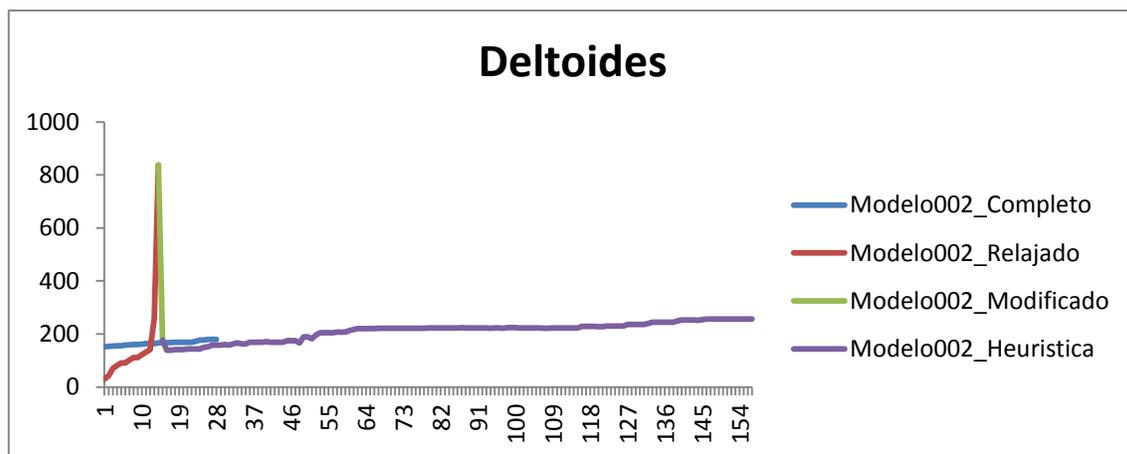
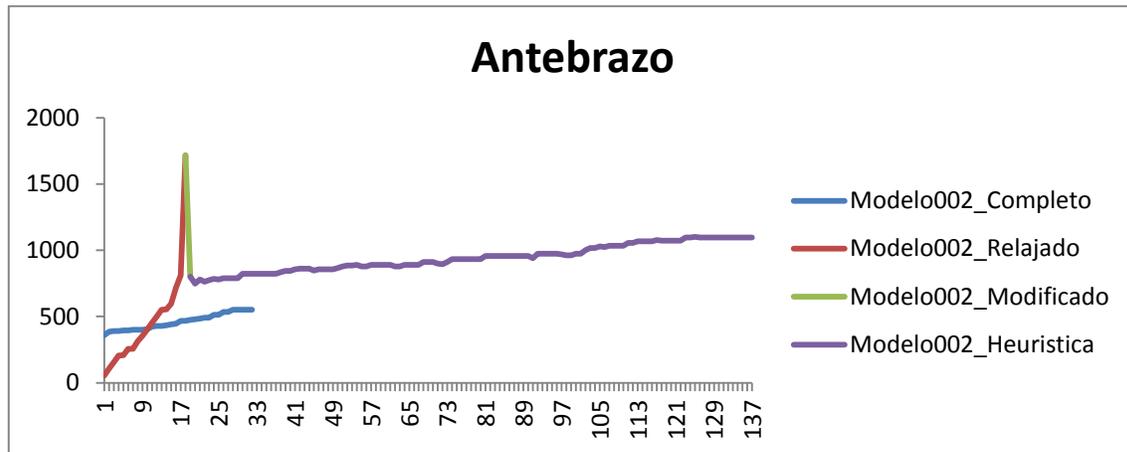


Modelo002

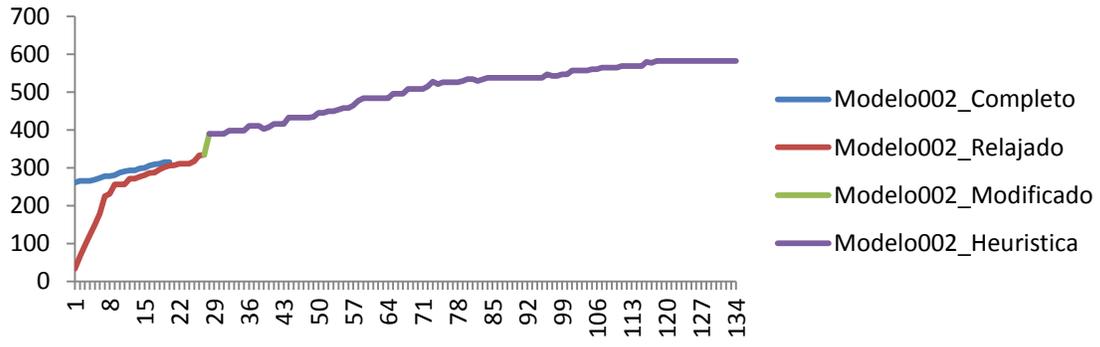
Nombre	Herramienta	Variables		Tiempo Computacional
Modelo002_Completo	LPSolve	Completo variables binarias, enteras y continuas		200 segundos
RESULTADOS	Todos	Antebrazo	Deltoides	Trapezio
Func. Obj.	-52.35%	551.4	179.4	314.9
Total Iteraciones	352766	853361	890453	932117
Iteraciones Solución Básica Relajada	10154	10154	10154	10154
Exactitud de la solución	0.03125	0.031	0.031	0.031
GAP	100%	100%	100%	100%
Mejora F.O. Vs 1ra it.	0.01%	53.69%	7.61%	20.83%
Nombre	Herramienta	Variables		Tiempo Computacional
Modelo002_Relajado	LPSolve	Variable x continua		200 segundos
RESULTADOS	Todos	Antebrazo	Deltoides	Trapezio
Función Objetivo (x binaria)	10.76%	801.561	176.532	389.316
Función Objetivo	-207%	1716.6	837.6	334.1
Total Iteraciones	1499754	1404015	1388871	1410800
Iteraciones Solución Básica Relajada	1997	1778	1778	1778
Exactitud de la solución	0.046875	1261.96	671.16	17.25
GAP	100%	100%	100%	100%
Mejora F.O. Vs Completo	No Comparable	45%	-2%	24%

Nombre	Herramienta	Variables	Criterio de Parada	Tiempo Computacional
Modelo002_Heuristica	Heurística	Completo variables binarias, enteras y continuas	Mejora en F.O <1%	200 segundos
RESULTADOS	Todos*	Antebrazo	Deltoides	Trapezio
Func. Obj.	-4%	1095.169	256.896	581.8
Solución Inicial	-84%	801.561	176.532	394.316
Iteraciones	60	119	143	107
Tiempo (Segundos)	3.16796875	6.1	7.0	5.4
Mejora F.O. Vs Relajado	No Comparable	37%	46%	49%

Evolución de la Función Objetivo por músculo evaluado



Trapezio



ANEXO N - Esquemas de Trabajo Propuestos por los Modelos

	Hora Inicio	Hora Fin	Papel	Mouse	Teclado	Pausa_A	Otros	Pausa_P	Almuerzo
Papel	07:00 a.m.	07:10 a.m.	■						
Mouse	07:10 a.m.	07:34 a.m.		■					
Teclado	07:34 a.m.	07:44 a.m.			■				
Pausa_A	07:44 a.m.	07:56 a.m.				■			
Teclado	07:56 a.m.	08:01 a.m.			■				
Pausa_A	08:01 a.m.	08:07 a.m.				■			
Mouse	08:07 a.m.	08:23 a.m.		■					
Otros	08:23 a.m.	08:26 a.m.					■		
Pausa_P	08:26 a.m.	08:28 a.m.						■	
Teclado	08:28 a.m.	08:38 a.m.			■				
Otros	08:38 a.m.	08:41 a.m.					■		
Mouse	08:41 a.m.	08:49 a.m.		■					
Teclado	08:49 a.m.	08:59 a.m.			■				
Mouse	08:59 a.m.	09:07 a.m.		■					
Otros	09:07 a.m.	09:10 a.m.					■		
Pausa_P	09:10 a.m.	09:12 a.m.						■	
Otros	09:12 a.m.	09:15 a.m.					■		
Pausa_P	09:15 a.m.	09:17 a.m.						■	
Otros	09:17 a.m.	09:20 a.m.					■		
Pausa_P	09:20 a.m.	09:22 a.m.						■	
Otros	09:22 a.m.	09:28 a.m.					■		
Pausa_P	09:28 a.m.	09:30 a.m.						■	
Otros	09:30 a.m.	09:33 a.m.					■		
Pausa_P	09:33 a.m.	09:35 a.m.						■	
Otros	09:35 a.m.	09:38 a.m.					■		
Pausa_P	09:38 a.m.	09:40 a.m.						■	
Teclado	09:40 a.m.	09:45 a.m.			■				
Pausa_P	09:45 a.m.	09:47 a.m.						■	
Teclado	09:47 a.m.	09:52 a.m.			■				
Pausa_P	09:52 a.m.	09:54 a.m.						■	
Mouse	09:54 a.m.	10:02 a.m.		■					
Otros	10:02 a.m.	10:05 a.m.					■		
Papel	10:05 a.m.	10:15 a.m.	■						
Pausa_P	10:15 a.m.	10:17 a.m.						■	
Teclado	10:17 a.m.	10:22 a.m.			■				
Pausa_P	10:22 a.m.	10:24 a.m.						■	
Teclado	10:24 a.m.	10:29 a.m.			■				
Pausa_P	10:29 a.m.	10:31 a.m.						■	
Teclado	10:31 a.m.	10:36 a.m.			■				
Pausa_P	10:36 a.m.	10:38 a.m.						■	
Teclado	10:38 a.m.	10:53 a.m.			■				
Otros	10:53 a.m.	10:56 a.m.					■		
Almuerzo	10:56 a.m.	11:56 a.m.							■

ANEXO N - Esquemas de Trabajo Propuestos por los Modelos

	Hora Inicio	Hora Fin	Papel	Mouse	Teclado	Pausa_A	Otros	Pausa_P	Almuerzo
Teclado	11:56 a.m.	12:11 p.m.							
Papel	12:11 p.m.	12:21 p.m.							
Teclado	12:21 p.m.	12:26 p.m.							
Mouse	12:26 p.m.	12:34 p.m.							
Pausa_P	12:34 p.m.	12:36 p.m.							
Papel	12:36 p.m.	12:46 p.m.							
Teclado	12:46 p.m.	12:56 p.m.							
Teclado	12:56 p.m.	01:01 p.m.							
Otros	01:01 p.m.	01:04 p.m.							
Papel	01:04 p.m.	02:04 p.m.							
Otros	02:04 p.m.	02:07 p.m.							
Teclado	02:07 p.m.	02:12 p.m.							
Papel	02:12 p.m.	03:32 p.m.							
Teclado	03:32 p.m.	03:37 p.m.							
Papel	03:37 p.m.	03:47 p.m.							
Otros	03:47 p.m.	03:50 p.m.							
Teclado	03:50 p.m.	03:55 p.m.							
Pausa_P	03:55 p.m.	03:57 p.m.							
Otros	03:57 p.m.	04:00 p.m.							

ANEXO N - Esquemas de Trabajo Propuestos por los Modelos

Modelo002

	Hora Inicio	Hora Fin	Papel	Mouse	Teclado	Pausa_A	Otros	Pausa_P	Almuerzo
Otros	07:00 a.m.	07:15 a.m.					■		
Mouse	07:15 a.m.	07:27 a.m.		■					
Teclado	07:27 a.m.	07:39 a.m.			■				
Mouse	07:39 a.m.	07:51 a.m.		■					
Teclado	07:51 a.m.	08:03 a.m.			■				
Mouse	08:03 a.m.	08:15 a.m.		■					
Papel	08:15 a.m.	08:35 a.m.	■						
Mouse	08:35 a.m.	08:47 a.m.		■					
Otros	08:47 a.m.	09:02 a.m.					■		
Teclado	09:02 a.m.	09:14 a.m.			■				
Pausa_P	09:14 a.m.	09:20 a.m.						■	
Teclado	09:20 a.m.	09:32 a.m.			■				
Otros	09:32 a.m.	09:47 a.m.					■		
Teclado	09:47 a.m.	09:59 a.m.			■				
Pausa_P	09:59 a.m.	10:05 a.m.						■	
Papel	10:05 a.m.	10:25 a.m.	■						
Pausa_P	10:25 a.m.	10:31 a.m.						■	
Teclado	10:31 a.m.	10:43 a.m.			■				
Almuerzo	10:43 a.m.	11:43 a.m.							■
Teclado	11:43 a.m.	11:55 a.m.			■				
Papel	11:55 a.m.	12:15 p.m.	■						
Mouse	12:15 p.m.	12:27 p.m.		■					
Papel	12:27 p.m.	12:47 p.m.	■						
Teclado	12:47 p.m.	12:59 p.m.			■				
Papel	12:59 p.m.	01:19 p.m.	■						
Pausa_P	01:19 p.m.	01:25 p.m.						■	
Papel	01:25 p.m.	01:45 p.m.	■						
Pausa_P	01:45 p.m.	01:51 p.m.						■	
Papel	01:51 p.m.	02:11 p.m.	■						
Pausa_P	02:11 p.m.	02:17 p.m.						■	
Papel	02:17 p.m.	02:37 p.m.	■						
Mouse	02:37 p.m.	02:49 p.m.		■					
Teclado	02:49 p.m.	03:01 p.m.			■				
Pausa_A	03:01 p.m.	03:16 p.m.				■			
Teclado	03:16 p.m.	03:28 p.m.			■				
Papel	03:28 p.m.	03:48 p.m.	■						
Mouse	03:48 p.m.	04:00 p.m.		■					