

EVALUACIÓN ERGONÓMICA DE LAS SUB-TAREAS MONTAJE Y DESMONTAJE DE UN FILTRO DE PROCESO

Lizanette López Castellar
Manufactura Competitiva

Miriam Pabón, Ph.D.
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Politécnica de Puerto Rico

SINOPSIS

Estudio ergonómico aplicando la ecuación de levantamiento de NIOSH y Análisis biomecánico a las sub tareas montaje y desmontaje de un filtro de proceso en las etapas inicial, intermedia y final, considerando las percentilas de 5, 50 y 95 de la población. El propósito del estudio es identificar riesgos ergonómicos y poder recomendar modificaciones en las sub tareas minimizando las lesiones músculoesqueletales. Resultados obtenidos luego de aplicar NIOSH: RWL = 18.22 lbs, LI (montaje placa) = 1.07 y LI (desmontaje del filtrado) = 1.61 el cual presenta un riesgo de lesión en la espalda baja. Resultado luego del Análisis Biomecánico: la rodilla resultó ser la articulación con menor capacidad de fuerza.

INTRODUCCIÓN

Tras la necesidad de realizar un filtrado en un área de proceso, algunos trabajadores han reportado lesiones de carácter músculoesqueletales. Esta es la razón principal para realizar una evaluación ergonómica considerando las etapas inicial, intermedia y final de las sub-tareas (montaje y desmontaje) de un filtro de proceso.

Existen muchas metodologías para las evaluaciones ergonómicas. Durante este estudio se estarán aplicando los siguientes dos métodos de análisis: Ecuación de Levantamiento de NIOSH y Análisis Biomecánico utilizando el programa 3DSSPP aplicándolo a ambos géneros (femenino y masculino) en las percentilas de 5, 50 y 95 de la población.

Los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Identificar riesgos ergonómicos aplicando la ecuación de levantamiento de NIOSH y el análisis biomecánico.
- Recomendar modificaciones en las sub-tareas del montaje y desmontaje durante el manejo manual del filtro de manera que se puedan minimizar las lesiones músculoesqueletales.

La contribución de este proyecto es disminuir movimientos repetitivos o incómodos por los operadores en el manejo manual del filtro que puedan ocasionar lesiones músculoesqueletales.

Durante la revisión de literatura se encontró que la ergonomía es la ciencia de ajustar las condiciones en los lugares de trabajo y las demandas del mismo a las capacidades de los empleados. Muchas veces la ergonomía es confundida con los desórdenes musculoesqueletales, los cuales representan una amplia gama de desordenes que pueden diferir en el grado de severidad desde síntomas periódicos leves hasta condiciones debilitantes crónicas severas. Sin embargo la ergonomía examina: las capacidades físicas del cuerpo humano, las limitaciones del cuerpo humano en relación con las tareas que debe realizar una persona, las herramientas utilizadas y el entorno del trabajo. En otras palabras, los desordenes musculoesqueletales son el problema y la ergonomía es la solución.

El proceso operacional que será evaluado ergonómicamente consiste de dos operadores que montan y desmontan un filtro de proceso para su limpieza de manera que puedan volver a utilizarlo en una próxima manufactura. Esta tarea se realiza

removiendo sus partes que incluyen mallas de metal, papeles de filtro y placas de metal. Estas partes se encuentran instaladas en un eje de 65" de alto sobre una paleta de 5", para un total de 70".

Para desmontarlo se remueven todas sus partes una a una levantándolas y elevándolas sobre un eje total de 70". En total se remueven 24 placas, 24 papeles de filtro y 24 mallas. La altura inicial del primer levantamiento es 58.5" y finaliza con un último nivel de la placa sobre la paleta plástica que se encuentra a 5" del suelo.

Cada filtro con el material filtrado pesa 26.6 kilos (58.79 lbs.), cada placa de metal pesa 17.6 kilos (38.89 lbs.) con 2" de espesor y ambos tienen un diámetro de 43". Luego de ser removidas las placas se colocan en un estante de metal de forma vertical para luego limpiarlas y ser utilizadas en la próxima manufactura.

Esta tarea de limpieza que incluye las sub-tareas de montaje y desmontaje se realiza de una a dos veces en el turno por los mismos operadores todos los días. De realizarse dos veces en el turno de trabajo esto representaría que los asociados levantarían las piezas realizando un alcance sobre 70" de alto y levantándolas desde 5" a 58" de alto en aproximadamente 300 ocasiones. En la mayoría de los levantamientos se requiere que el operador incline su torso y luego lo extienda con pesos entre 17 a 26 kilos (38 lbs. a 58 lbs.).

Luego de completar la limpieza de las 24 placas estas se vuelven a colocar sobre el eje con nuevas mallas y papel de filtro. De igual forma se requiere que se inserten en el eje de 70" de alto.

Las metodologías que serán aplicadas en las evaluaciones ergonómicas de las sub-tareas montaje y desmontaje del filtro de proceso son:

- La primera metodología es la ecuación de levantamiento de NIOSH – su propósito es proveer guías concretas para ayudar en la prevención de lesiones músculoesqueléticas causadas por esfuerzos efectuados durante el levantamiento de materiales [1].

La ecuación de NIOSH permite evaluar tareas en las que se realizan levantamientos de carga, ofreciendo como resultado el peso máximo

recomendado (RWL) que es posible levantar en las condiciones del puesto para evitar la aparición de dichos trastornos dados las condiciones del levantamiento y el peso levantado. Los resultados intermedios sirven de apoyo al evaluador para determinar los cambios a introducir en el puesto para mejorar las condiciones del levantamiento [1].

Los siguientes tres criterios son empleados para definir los componentes de la ecuación: biomecánico, fisiológico y psicofísico. El criterio biomecánico se basa en que al manejar una carga pesada o una carga ligera incorrectamente levantada, aparecen momentos mecánicos que se transmiten por los segmentos corporales hasta las vertebrae lumbares dando lugar a un acusado estrés. El criterio fisiológico reconoce que las tareas con levantamientos repetitivos pueden fácilmente exceder las capacidades normales de energía del trabajador, provocando una prematura disminución de su resistencia y un aumento de la probabilidad de lesión. Por último, el criterio psicofísico se basa en datos sobre la resistencia y la capacidad de los trabajadores que manejan cargas con diferentes frecuencias y duraciones, para considerar combinadamente los efectos biomecánicos y fisiológicos del levantamiento. [1]

La ecuación de NIOSH calcula el peso límite recomendado mediante la siguiente fórmula:

$RWL = LC * HM * VM * DM * AM * FM * CM$,
en donde: LC es la constante de carga, HM es el factor de distancia horizontal, VM es el factor de distancia vertical, DM es el factor de desplazamiento vertical, AM es el factor de asimetría, FM es el factor de frecuencia y CM es el factor de agarre. [2]

- La segunda metodología es el análisis biomecánico – la biomecánica es la ciencia que apoya a los principios y las leyes de la física, que puede ayudar a la comprensión de los mecanismos biológicos, es una ciencia donde intervienen diferentes disciplinas como la fisiología y la anatomía, la mecánica, las matemáticas y la ingeniería, que pretenden explicar el comportamiento de los sistemas vivos, así como resolver los problemas generados por las distintas

situaciones a las que se ven sometidos. Su propósito es determinar la fuerza de compresión en el área de la espalda baja para las tres etapas (inicial, intermedia y final). Para el análisis biomecánico utilizamos el programa 3DSSPP lo que significa según sus siglas en inglés “3D Static Strength Prediction Program”. Para este análisis consideramos la sub-tarea (montaje o desmontaje), etapa de la sub-tarea (inicial, intermedia, final), género (sexo), la percentila 5, 50 y 95 de la población. [3]

ANÁLISIS Y RESULTADOS

Este proyecto se encuentra enfocado en realizar una evaluación ergonómica en las etapas inicial, intermedia y final de las sub-tareas montaje y desmontaje de un filtro de proceso. Utilizando las herramientas de análisis de manejo manual de materiales; Ecuación de Levantamiento de NIOSH y Análisis Biomecánico con el propósito de identificar riesgos ergonómicos.

La sub-tarea del montaje del filtro se encuentra descrita en los siguientes pasos:

- Dos operadores montan el filtro.
- Se colocan las placas sobre el eje.
- Se coloca la malla sobre la placa.
- coloca papel de filtro sobre la malla.
- Se repite el proceso hasta completar el montaje del filtro.

La sub-tarea del desmontaje del filtro se encuentra descrita en los siguientes pasos:

- Dos operadores desmontan el filtro.
- Se remueve la malla junto al papel de filtro y el material filtrado.
- Se vacía el material filtrado junto al filtro en un “dumper”.
- Se remueve la placa.
- Las placas son colocadas en un estante de metal de forma vertical.
- Se repite el proceso hasta completar el desmontaje del filtro.

Las siguientes posturas fueron consideradas iguales en las etapas al momento de ejecutar la sub-tareas (montaje y desmontaje):

- **Caso 1:** Montaje placa (etapa inicial) = Desmontaje filtrado (etapa final)
- **Caso 2:** Montaje placa (etapa intermedia) = Desmontaje filtrado (etapa intermedia)
- **Caso 3:** Montaje placa (etapa final) = Desmontaje filtrado (etapa inicial)

La primera herramienta aplicada fue la ecuación de levantamiento de NIOSH (determinar el peso limitante para las sub-tareas). Con los datos recolectados fueron calculados los factores multiplicadores de la ecuación y el resultado final fue el peso máximo recomendado (RWL). Conociendo el RWL fue calculado el Índice de Levantamiento (LI), debido a que las tareas estudiadas requieren de control significativo de la carga en el destino, fue calculado un RWL para el inicio y otro para el final de la actividad. A través de la ecuación con la herramienta matemática de NIOSH, fue determinado el RWL desfavorable o sea el valor de RWL más pequeño. (i. e., menor cantidad de peso en libras).

La Tabla 1 presenta los resultados de las constantes y multiplicadores utilizados para calcular el RWL del caso 1: las sub tareas montaje placa (etapa inicial) = desmontaje filtrado (etapa final) en el inicio y final de la actividad.

Tabla 1: Resultados RWL: Caso 1

Inicio	Final
LC = 51.00 lbs.	LC = 51.00 lbs.
H = 16.50" HM = 0.61	H = 16.50" HM = 0.61
V = 56.00" VM = 0.81	V = 56.50" VM = 0.80
D = 0.50" DM = 4.42	D = 0.50" DM = 4.42
A = 0.00° AM = 1.00	A = 0.00° AM = 1.00
FM = 0.80	FM = 0.80
CM = 1.00	CM = 1.00

Al aplicar la ecuación del peso máximo recomendado (RWL), en donde

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

Para el caso # 1 obtuvimos los siguientes resultados:

$$RWL \text{ (inicio)} = 19.91 \text{ lbs.}$$

$$RWL \text{ (final)} = 19.81 \text{ lbs.}$$

La Tabla 2 resume los resultados de las constantes y multiplicadores utilizados para calcular el RWL del caso 2: las sub tareas montaje placa (etapa intermedia) = desmontaje filtrado (etapa intermedia) en el inicio y final de la actividad.

Tabla 2: Resultados RWL: Caso 2

Inicio	Final
LC = 51.00 lbs.	LC = 51.00 lbs.
H = 16.50" HM = 0.61	H = 16.50" HM = 0.61
V = 34.00" VM = 0.97	V = 51.00" VM = 0.84
D = 17.00" DM = 0.93	D = 17.00" DM = 0.93
A = 0.00° AM = 1.00	A = 0.00° AM = 1.00
FM = 0.80	FM = 0.80
CM = 1.00	CM = 1.00

Al aplicar la ecuación del peso máximo recomendado (RWL), en donde

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

Para el caso # 2 obtuvimos los siguientes resultados:

$$RWL \text{ (inicio)} = 22.21 \text{ lbs.}$$

$$RWL \text{ (final)} = 19.29 \text{ lbs.}$$

La Tabla 3 resume los resultados de las constantes y multiplicadores utilizados para calcular el RWL del caso 3: las sub tareas montaje placa (etapa final) = desmontaje filtrado (etapa inicial) en el inicio y final de la actividad.

Tabla 3: Resultados RWL: Caso 3

Inicio	Final
LC = 51.00 lbs.	LC = 51.00 lbs.
H = 16.50" HM = 0.61	H = 16.50" HM = 0.61
V = 15.00" VM = 0.89	V = 50.50" VM = 0.85
D = 35.50" DM = 0.87	D = 35.50" DM = 0.87
A = 0.00° AM = 1.00	A = 0.00° AM = 1.00
FM = 0.80	FM = 0.80
CM = 1.00	CM = 1.00

Al aplicar la ecuación del peso máximo recomendado (RWL), en donde

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

Para el caso # 3 obtuvimos los siguientes resultados:

$$RWL \text{ (inicio)} = 19.11 \text{ lbs.}$$

$$RWL \text{ (final)} = 18.22 \text{ lbs.}$$

La Tabla 4 resume los resultados de los RWL para los tres casos estudiados en las sub tareas del montaje de la placa y desmontaje del filtrado en el inicio y final de la actividad.

Tabla 4: Resultados: RWL para los tres casos

Casos Estudiados	RWL (inicial)	RWL (final)
1	19.91 lbs.	19.81 lbs.
2	22.21 lbs.	19.29 lbs.
3	19.11 lbs.	18.22 lbs.

El RWL seleccionado es 18.22 lbs. dado que fue el valor menor obtenido y representa el peso que puede manejar el operador al principio y al final de la sub-tarea. Actualmente los pesos manejados durante las sub-tareas son los siguientes: en el montaje de la placa el peso manejado es 38.90 lbs. (17.6 kgs.) y en el desmontaje del filtrado el peso manejado es 58.79 lbs. (26.6 kgs.).

Sin embargo, es importante mencionar que estos pesos son manejados entre dos operadores. Si se presume que la carga es manejada de forma equitativa entre los dos operadores y que de igual forma se reparte la carga equitativamente entre las dos manos, resulta en una carga real de 10 lbs. en el montaje de la placa y 15 lbs. en el desmontaje del filtrado.

Luego de conocer el RWL, calculamos el LI aplicado a cada sub-tarea (montaje placa y desmontaje filtrado). Los resultados para el LI fueron los siguientes:

$$LI = \frac{\text{Peso de la carga levantada}}{\text{RWL}}$$

$$LI = \frac{19.45 \text{ lbs}}{18.22 \text{ lbs}}$$

$$LI = 1.07$$

El resultado de LI para la operación del montaje de la placa fue 1.07. Este resultado demuestra que no hay un riesgo en donde el operador resulte con una lesión en la espalda baja.

$$LI = \frac{\text{Peso de la carga levantada}}{\text{RWL}}$$

$$LI = \frac{29.39 \text{ lbs}}{18.22 \text{ lbs}}$$

$$LI = 1.61$$

El resultado de LI para la operación del desmontaje del filtrado fue 1.61. Este resultado fue mayor de 1, lo que implica que existe un riesgo en donde el operador resulte con una lesión en la espalda baja.

La segunda herramienta aplicada fue el análisis biomecánico para la cual se utilizó el siguiente programa "3D Static Strength Prediction Program™ Versión 5.0.8" (3DSSPP), este programa es utilizado para estudiar la fuerza de compresión en la espalda baja (L4/L5) y el porcentaje de la población que es capaz de ejercer la fuerza necesaria para mantener la posición representada en la sub tarea.

Para el análisis se considero como iguales las posturas en las siguientes etapas al momento de ejecutar la sub-tareas (montaje y desmontaje):

- **Caso 1:** Montaje placa (etapa inicial) = Desmontaje filtrado (etapa final)
- **Caso 2:** Montaje placa (etapa intermedia) = Desmontaje filtrado (etapa intermedia)
- **Caso 3:** Montaje placa (etapa final) = Desmontaje filtrado (etapa inicial)

Utilizando el programa 3DSSPP se determinó la capacidad de fuerzas en las distintas articulaciones (codo, hombro, tronco, cadera, rodilla y tobillo) e impacto en la espalda baja (L4/L5 compresión lumbar). El análisis fue aplicado a los géneros femenino y masculino en las percentilas de 5, 50 y 95 de la población.

La Tabla 5 es un resumen de los valores establecidos para las percentilas 5, 50 y 95 de la población según el programa 3DSSPP.

Tabla 5: Valores de percentilas según 3DSSPP

Género	Percentila 5	Percentila 50	Percentila 95
Femenino	Estatura = 59.2" Peso = 105.6 lbs.	Estatura = 63.7" Peso = 144.6 lbs.	Estatura = 68.1" Peso = 226.0 lbs.
Masculino	Estatura = 64.4" Peso = 131.6 lbs.	Estatura = 69.1" Peso = 176.4 lbs.	Estatura = 73.9" Peso = 244.3 lbs.

Las Tablas 6 y 7 resumen los resultados obtenidos en el análisis biomecánico (3DSSPP) (fuerza de compresión espalda baja y articulaciones con menos del 90% de capacidad de fuerza) según las percentilas de 5, 50 y 95 para el género femenino en las tres etapas estudiadas (inicial, intermedia y final) de las sub-tareas montaje y desmontaje. A continuación el detalle de los resultados presentados en las tablas 6 y 7.

Resultados obtenidos para el género femenino (montaje placa):

- La etapa inicial del montaje de la placa fue la única etapa que obtuvo resultados menores de 90% de capacidad de fuerza en las articulaciones.

- La fuerza de compresión en la espalda baja (L4/L5) no resultó ser un riesgo en la sub tarea.
- La articulación con menos de 90% de capacidad de fuerza resultó ser la rodilla.
- El impacto mayor en la articulación de la rodilla fue obtenido en la fémica con una percentila de 95 (mujer con estatura de 68.1" y un peso de 226 lbs.) obteniendo un resultado de 0%, en segundo lugar resultó ser la fémica con una percentila de 50 (mujer con estura de 63.7" y un peso de 144.6 lbs.) con un 37 % y la percentila con el impacto menor lo obtuvo la fémica con una percentila de 5 (mujer con estatura de 59.2" y un peso de 105.6 lbs.) con un resultado de 74%. Esto quiere decir que la fémica alta al doblarse para colocar la placa tiene una distancia perpendicular entre la articulación de la rodilla y el centro de masa del cuerpo mayor, que la fémica de menor estatura. Esta distancia perpendicular aumenta el valor del momento ($M = F \times \text{distancia perpendicular al eje de rotación}$) requerido para mantener la posición en la sub tarea.

Resultados obtenidos en: género femenino (desmontaje filtrado):

- La etapa final del desmontaje del filtro fue la que obtuvo la mayor cantidad de articulaciones con un resultado menor de 90% de capacidad de fuerza.
- La fuerza de compresión en la espalda baja (L4/L5) no resultó ser un riesgo en la sub tarea.
- Los resultados demuestran que la articulación de la rodilla obtuvo el menor porcentaje en las tres percentilas (5, 50 y 95) de la población.
- El impacto mayor se obtuvo en la fémica con una percentila de 95 (mujer con estatura de 68.1" y un peso de 226 lbs.) obteniendo un resultado de 1%, en segundo lugar resulto ser la fémica con una percentila de 50 (mujer con estura de 63.7" y un peso de 144.6 lbs.) con un 48 % y la percentila con el impacto menor lo obtuvo la fémica de 5 (mujer con estatura de 59.2" y un peso de 105.6 lbs.) con un resultado de 86%. Esto quiere decir que la distancia perpendicular aumenta el valor del Momento ($M = F \times \text{distancia perpendicular al eje}$

de rotación) requerido para mantener la posición en la sub tarea.

Tabla 6: Resultados: Análisis Biomecánico – Montaje Placa - Femenino

Femenino Etapa Inicial	Montaje (placa)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	75	49	205
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	rodilla 74%	rodilla 37%	rodilla 0%
Femenino Etapa Intermedia	Montaje (placa)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	105	122	102
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	N/A	N/A
Femenino Etapa Final	Montaje (placa)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	92	110	141
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	N/A	N/A

Tabla 7: Resultados: Análisis Biomecánico – Desmontaje Filtrado - Femenino

Femenino Etapa Inicial	Desmontaje (filtrado)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	167	190	232
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	N/A	hombros 83%
Femenino Etapa Intermedia	Desmontaje (filtrado)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	326	174	148
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	codos 70%	codos 70% rodillas 85%
Femenino Etapa Final	Desmontaje (filtrado)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	484	524	576
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	rodillas 86%	rodillas 48%	hombros 79% rodillas 1%

Las Tablas 8 y 9 resumen los resultados obtenidos en el análisis biomecánico (fuerza de compresión espalda baja y articulaciones con menos del 90% de capacidad de fuerza) según las percentilas de 5, 50 y 95 para el género masculino en las tres etapas estudiadas (inicial, intermedia y final) de las sub-tareas montaje y desmontaje. A continuación el detalle de los resultados presentados en las Tabla 8 y 9.

Resultados obtenidos para el género masculino (montaje placa y desmontaje filtrado):

- La etapa inicial del montaje de la placa y la etapa final del desmontaje del filtrado fueron las únicas etapas en donde los resultados fueron menores de 90% de capacidad de fuerza en la articulación de la rodilla.
- La fuerza de compresión en la espalda baja (L4/L5) no resultó ser un riesgo en la sub tarea.
- El impacto mayor en la sub-tarea del montaje de la placa (etapa inicial) se obtuvo en el masculino con una percentila de 95 (hombre con estatura de 73.9" y un peso de 244.3 lbs.) obteniendo un resultado de 12%, en segundo lugar resultó ser el masculino con una percentila de 50 (hombre con estura de 69.1" y un peso de 176.4 lbs.) con un 53 % y la percentila con el impacto menor lo obtuvo el masculino con una percentila de 5 (hombre con estatura de 64.4" y un peso de 131.6 lbs.) con un resultado de 81%. Esto quiere decir que el masculino alto al doblarse para colocar la placa tiene una distancia perpendicular entre la articulación de la rodilla y el centro de masa del cuerpo mayor que el masculino de menor estatura. Esta distancia perpendicular aumenta el valor del Momento ($M = F \times \text{distancia perpendicular al eje de rotación}$) requerido para mantener la posición en la sub tarea.
- El impacto mayor en la sub-tarea del desmontaje del filtrado se obtuvo en el masculino con una percentila de 95 (hombre con estatura de 73.9" y un peso de 244.3 lbs.) obteniendo un resultado de 24% y en segundo lugar resulto ser el masculino con una percentila de 50 (hombre con estura de 69.1" y un peso de 176.4 lbs.) con un 69%. Esto quiere decir que la distancia

perpendicular aumenta el valor del Momento ($M = F \times \text{distancia perpendicular al eje de rotación}$) requerido para mantener la posición en la sub tarea.

Tabla 8: Resultados: Análisis Biomecánico – Montaje Placa - Masculino

Masculino Etapa Inicial	Montaje (placa)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	59	154	307
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	rodilla 81%	rodilla 53%	rodilla 12%
Masculino Etapa Intermedia	Montaje (placa)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	92	112	96
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	N/A	N/A
Masculino Etapa Final	Montaje (placa)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	108	131	163
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	N/A	N/A

Tabla 9: Resultados: Análisis Biomecánico – Desmontaje Filtrado - Masculino

Masculino Etapa Inicial	Desmontaje (filtrado)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	184	212	257
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	N/A	N/A
Masculino Etapa Intermedia	Desmontaje (filtrado)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	347	152	125
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	N/A	N/A
Masculino Etapa Final	Desmontaje (filtrado)		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	543	667	842
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	N/A	rodillas 69%	rodillas 24%

Las Tablas 10 y 11 resumen los resultados obtenidos para el género femenino en el escenario peor (Caso 1: Montaje placa (etapa inicial) = Desmontaje filtrado (etapa final)).

- Para establecer cuál era el escenario peor se realizaron varios estudios comparativos considerando la sub-tarea, etapa y percentila.
- Para ambos géneros el escenario peor es el montaje de la placa en la etapa inicial y el desmontaje del filtrado en la etapa final.

Tabla 10: Resultados Femenino Montaje Placa (escenario peor)

Femenino Etapa Inicial	Montaje (placa)-Escenario peor		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	98	51	162
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	rodilla 66%	rodilla 25%	rodilla 0%

Tabla 11: Resultados Femenino Desmontaje Filtrado (escenario peor)

Femenino Etapa final	Desmontaje (filtrado) Escenario peor		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	468	560	725
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	rodilla 81%	hombros 80% rodilla 44%	hombros 65% rodilla 0%

Las Tablas 12 y 13 resumen los resultados obtenidos para el género masculino en el escenario peor (Caso 1: Montaje placa (etapa inicial) = Desmontaje filtrado (etapa final)).

Tabla 12: Resultados Masculinos Montaje Placa (escenario peor)

Masculino Etapa Inicial	Montaje (placa)-Escenario peor		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	57	118	256
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	rodilla 74%	rodilla 40%	rodilla 5%

Tabla 13: Resultados masculino Desmontaje Filtrado (escenario peor)

Masculino Etapa final	Desmontaje (filtrado) Escenario peor		
Percentila	5	50	95
3D Low Back (lbs.)	524	635	796
Articulaciones con menos de 90% de capacidad de fuerza.	rodilla 85%	rodilla 57%	rodilla 11%

Los siguientes son los resultados obtenidos para el escenario peor en ambos géneros (femeninos y masculinos) en el montaje de la placa en la etapa inicial y desmontaje del filtrado en la etapa final:

- Para ambos géneros el montaje de la placa en la etapa inicial y el desmontaje del filtrado en la etapa final fue el escenario peor. Siendo la rodilla la articulación que refleja menos del 90% de capacidad de fuerza.
- En ambos géneros la articulación de la rodilla tuvo su impacto mayor en la percentila de 95. La Tabla 14 presenta los resultados obteniendo en la percentila 95 para ambos géneros en el escenario peor (montaje placa en la etapa inicial y desmontaje filtrado en la etapa final).

Tabla 14: Resultados Femeninos y Masculinos (escenario peor)

Percentila 95	Montaje placa	Desmontaje filtrado
Femenino	rodilla 0%	rodilla 0%
Masculino	rodilla 5%	rodilla 11%

Una vez más se corrobora que la distancia perpendicular aumenta el valor del momento ($M = F \times \text{distancia perpendicular al eje de rotación}$) requerido para mantener la posición en la sub-tarea.

CONCLUSIONES

Luego de aplicar la primera herramienta, ecuación de levantamiento de NIOSH fueron consideradas como iguales las siguientes posturas en las etapas al momento de ejecutar la sub-tareas (montaje y desmontaje):

- **Caso 1:** Montaje placa (etapa inicial) = Desmontaje filtrado (etapa final)
- **Caso 2:** Montaje placa (etapa intermedia) = Desmontaje filtrado (etapa intermedia)
- **Caso 3:** Montaje placa (etapa final) = Desmontaje filtrado (etapa inicial)

El resultado obtenido para el RWL fue 18.22 lbs., por lo cual no se recomienda manejar un peso mayor a 18.00 lbs. En el montaje de la placa el peso manejado es 38.90 lbs. (17.6 kgs.) y en el desmontaje del filtrado el peso manejado es 58.79 lbs. (26.6 kgs.). Sin embargo, es importante mencionar que estos pesos son manejados entre dos operadores. Si se presume que la carga es manejada de forma equitativa entre los dos operadores y que de igual forma se reparte la carga equitativamente entre las dos manos, resulta en una carga real de 10 lbs. en el montaje de la placa y 15 lbs. en el desmontaje del filtrado.

Luego de conocer el RWL, fue calculado el LI y los resultados fueron los siguientes: Para la sub tarea del montaje de la placa el resultado de LI fue 1.07 lo cual demuestra que el riesgo en donde el operador resulte con una lesión en la espalda baja es mínimo y el resultado obtenido para la sub tarea del desmontaje del filtrado fue un LI de 1.61, este resultado fue mayor de 1, lo que implica que existe un riesgo en donde el operador puede resultar con una lesión en la espalda baja.

Luego de aplicar la segunda herramienta, análisis biomecánico (3DSSPP) a las sub-tareas del montaje de las placas y desmontaje del filtrado en las etapas inicial, intermedia y final en los géneros femeninos y masculinos con unas percentilas de 5, 50 y 95 de la población se concluye lo siguiente: el impacto mayor para ambos géneros fue en la etapa inicial del montaje de la placa y en la etapa final del desmontaje del filtrado en la percentila de 95 lo que equivale a una mujer con una estatura de 68.1" y un peso de 226 lbs. y un hombre con una estatura de 73.9" y un peso de 244.3 lbs. Esto quiere decir que ambos géneros (fémica y masculino) altos al doblarse para colocar la placa y/o desmontar el filtrado ambos en la etapa inicial tienen una distancia

perpendicular entre la articulación de la rodilla y el centro de masa del cuerpo mayor que los géneros que tienen una estatura menor. Esta distancia perpendicular aumenta el valor del Momento ($M = F \times \text{distancia perpendicular al eje de rotación}$) requerido para mantener la posición en la sub tarea.

La rodilla resulto ser la articulación con la menor capacidad de fuerza. Es importante señalar que la rodilla es una articulación vulnerable en su construcción ósea y que por lo tanto no maneja, al compararse a otras articulaciones del cuerpo, fácilmente fuerzas de compresión, tensión y cortantes.

RECOMENDACIONES

Luego de concluir el estudio se recomienda lo siguientes:

- Adiestrar a los operadores en las técnicas para el manejo manual de materiales (levantamiento de placas y/o material filtrado) de forma que evitemos lesiones musculoesqueléticas.
- Considerar instalar una estación para el filtro que le permita a los operadores manipular la altura del eje dependiendo de la sub-tarea a realizar en donde podamos mejorar la posición de forma tal que se reduzca la fuerza en la rodilla. De forma que esto resulte en una disminución en las lesiones musculoesqueléticas.
- Evaluar la posibilidad de que el eje central se pueda dividir en secciones de forma que nos permita reducir el impacto en la rodilla especialmente en la etapa inicial del montaje de la placa y en la etapa final del desmontaje del filtro.

REFERENCIAS

- [1] Diego – Mas, José Antonio; Sabina Asencio Cuestas. "Métodos RULA Y NIOSH". 2006-2009. Universidad Politécnica de Valencia. <http://www.ergonautas.com>
- [2] Stephan Konz; Steven Jonson. "Work Design: Occupational Ergonomics". Holcomb Hathway, Publisher, Inc. Arizona, 2004.

- [3] University of Michigan. "3D Static Strength Prediction Program" TM version 5.0.8. Ann Arbor 1986-2007.



Lizanette López se graduó del programa de Maestría en Manufactura Competitiva, en la colación de grados de 2009. La señora López posee un grado de bachillerato en Química y sus intereses en investigación van alineados al área de Procesos Farmacéuticos.