

Mejora ergonómica y productiva en prensa CNC en empresa manufacturera

Ergonomic and productive improvement in CNC bending machine in manufacturing company

Rigoberto Zamora Alarcón^{1a, 2}, Christian Axel Contreras Peñuelas^{1a}, Jesús Rene Valencia Lara^{1a}, Acela Castellón

Barraza^{1a, 2} , Arturo Sinue Ontiveros Zepeda^{1b}

¹Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, {^aMexicali, ^bTecate}, Baja California, México

²Departamento de Ingeniería Industrial, TecNM/Instituto Tecnológico de Mexicali, Mexicali, Baja California, México

RESUMEN

En el área industrial metalmecánica, el presente proyecto tuvo como objetivo mejorar las estaciones de trabajo integradas a un proceso de conformado, analizando las estaciones de trabajo donde operan máquinas de corte con láser, mesa de planos, doblado CNC e inspección en una empresa mexicana ubicada en la ciudad de Mexicali, Baja California. Se identificaron áreas donde se requería mejorar las condiciones de trabajo y operación, tomando mediciones de las condiciones laborales y realizando una evaluación con las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) relacionadas con ruido, iluminación, condiciones térmicas elevadas o abatidas, condiciones de seguridad e higiene, así como factores de riesgo ergonómico en el trabajo. Además, con la evaluación de algunos métodos ergonómicos, se logró identificar la probabilidad de actividades que pudieran generar riesgos de lesiones musculoesqueléticas, aplicando herramientas de mejora industrial, como la reingeniería de proceso, 5S, SMED y ergonómica. Se hizo una propuesta de mejora del proceso de prensa CNC, logrando una mejora en las medidas de rendimiento y disminuir las condiciones de riesgo ergonómico de nivel medio a bajo, así como incrementar la productividad del proceso.

PALABRAS CLAVE: Sue Rodgers; RULA; REBA; 5S; SMED.

ABSTRACT

In the metalworking industrial area, this project aimed to improve the workstations integrated into a forming process, analyzing the workstations where laser cutting, drawing table, CNC bending and inspection machines operate in a Mexican company. Areas where it was necessary to improve working and operating conditions were identified, taking measurements of working conditions and carrying out an evaluation with the Mexican Official Standards (NOM) related to noise, lighting, elevated or low thermal conditions, safety and hygiene conditions, as well as ergonomic risk factors at work. Furthermore, with the evaluation of some ergonomic methods, it was possible to identify the probability of activities that could generate risks of musculoskeletal injuries, applying industrial improvement tools, such as process reengineering, 5S, SMED and ergonomics. A proposal was made to improve the CNC press process, achieving an improvement in performance measures and reducing ergonomic risk conditions from a medium to low level, as well as increasing the productivity of the process.

KEYWORDS: Sue Rodgers; RULA; REBA; 5S; SMED.

Correspondencia:

DESTINATARIO: Acela Castellón Barraza.

INSTITUCIÓN: Instituto Tecnológico de Mexicali / Universidad Autónoma de Baja California.

DIRECCIÓN: Av. Tecnológico s/n, col. Plutarco Elías Calles, C. P. 21376, Mexicali, B. C., México.

CORREO ELECTRÓNICO: acelacastillon@itmexicali.edu.mx

Fecha de recepción: 10 de septiembre de 2023. **Fecha de aceptación:** 27 de febrero de 2024. **Fecha de publicación:** 5 de abril de 2024.



I. INTRODUCCIÓN

Para toda empresa, la mejora continua de sus procesos debe ser vital para aumentar la eficiencia de estos y la calidad de sus productos [1]. Además, se debe verificar que sus procesos cumplan con los requisitos mínimos de seguridad y salud en el trabajo para prevenir accidentes y enfermedades laborales. Para ello, las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones esenciales emitidas por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) [2] que toda empresa debe cumplir.

La aplicación de estas normas puede ayudar a reducir y prevenir accidentes, brindando una mayor protección a los empleados al desempeñar su trabajo.

El presente artículo describe cómo una empresa mexicana que cuenta con experiencia en el diseño industrial y fabricación de carpintería, aprovisionamiento de materiales, modificaciones de distribución de planta, preocupada por la mejora en sus áreas de trabajo y por verificar la seguridad de sus empleados, la calidad y mejora de sus procesos, desarrolló un proyecto donde se aplicó la reingeniería, la ergonomía y la evaluación de las NOM en el área de cortado con láser con Control Numérico Computarizado (CNC).

En el área de estudio, que cuenta con una máquina cortadora con láser CNC y una máquina dobladora en prensa CNC, se observaron y evaluaron altos valores de riesgos ergonómicos a los que están expuestos los trabajadores en sus actividades laborales y que pueden llegar a causar lesiones musculoesqueléticas que generarán incapacidades, según el Reporte de Salud Ocupacional expedido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) [3].

Algunos factores de riesgos son la generación de fuerzas internas en segmentos auriculares de gran intensidad o con una significativa frecuencia, así como la alta periodicidad de movimientos repetitivos y la duración de larga exposición [4].

En este estudio, se tomaron los datos necesarios para posteriormente valorar los resultados que permitieron mejorar el transporte, el manejo del material y los procesos de conformado e inspección de las piezas producidas.

Tomando en cuenta lo anterior, se realizó la validación de las condiciones de seguridad según las NOM corres-

pondientes, buscando corregir posturas que pudieran mejorar la salud de los trabajadores.

El principal problema detectado fue en el traslado del producto, con un 28 % de prioridad; siguiendo la inspección, con un 26.7 %; manejo de material, con 23 %, y, por último, el proceso de doblado, con un 22.3 %. Por consiguiente, se evaluó el proceso según la Norma Oficial Mexicana NOM-036-1-STPS-2018 [5], la cual ayudó a determinar los factores de riesgo ergonómico en los centros de trabajo en el manejo manual de cargas y, a continuación, se hicieron propuestas de mejora que puedan prevenir alteraciones a la salud de los trabajadores.

Con el fin de analizar los procesos en las actividades críticas dentro del área de estudio, se utilizaron las metodologías establecidas en las normas mexicanas NOM-011-STPS-2001 [6], NOM-025-STPS-2008 [7], NOM-015-STPS-2001 [8] y NOM-036-1-STPS-2018 [5]; los métodos ergonómicos Sue Rodgers, REBA, RULA, ARTOOL, QEC, OWAS y WERA, entre otros, y recomendaciones de la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) [9].

II. METODOLOGÍA

Para el análisis del proceso se tomaron vídeos, fotografías y mediciones con sonómetros, luxómetros y termómetros del área de trabajo integrada al proceso de doblado de láminas en prensa CNC y se hicieron diagramas de recorrido y de flujo de proceso para facilitar la toma de decisiones de la herramienta a emplear, todo ello para estructurar una propuesta de mejora en los procesos.

Posteriormente, con las Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS) se evaluó los factores de riesgo. Con el análisis de las actividades realizadas por los operadores se realizó un análisis del área, aplicando esta normatividad en temas como la iluminación y el ruido y evaluando el área de trabajo, además de validar los factores de riesgos ergonómicos que determinan las condiciones para la prevención de riesgos de trabajo, dado lo que establece la NOM-036-1-STPS-2018 de la STPS.

De igual manera, se consideraron los métodos ergonómicos que evalúan las tareas en las que se realizan levantamientos de carga. Se aplicó la ecuación del peso máxi-

mo recomendado según las condiciones del puesto, con la intención de evitar el riesgo de problemas de espalda o lumbalgias ^[10].

El método Sue Rodgers ^[11] ayudó a analizar la fatiga muscular en los operadores, considerando el esfuerzo, la duración y la frecuencia para realizar una determinada tarea.

Con la intención de continuar evaluando los factores de riesgos físicos asociados con trastornos musculoesqueléticos en el trabajo, se aplicaron los métodos REBA (Rapid Entire Body Assessment), RULA (Rapid Upper Limb Assessment), ARTOOL (Assessment of Repetitive Tasks of the Upper Limbs), QEC (Quick Exposure Check), OWAS (Ovako Working Analysis System) y WERA (Workplace Ergonomic Risks Assessment) que consta de seis factores: postura, repetición, esfuerzo de fuerza y la fuerza, vibración, estrés de contacto y duración de cada tarea que involucre las cinco partes principales del cuerpo, que son hombros, muñecas, espalda, cuello y piernas ^[12].

Mediante la antropometría y la medición de estaciones de trabajo se realizó una propuesta de prototipo para disminuir los riesgos y mejorar el flujo de materiales. A su vez, se realizó el mejoramiento del área con la aplicación de 5S, que es el acrónimo de cinco palabras japonesas: seiri, seiton, seiso, seiketsu y shitsuke, que significan clasificación, orden, limpieza, estandarización y disciplina ^[13] y SMED (Single Minute Exchange of Die, o cambio de matriz en menos de 10 minutos) que permitan establecer un método óptimo de alternativas de trabajo ordenadas y simplificadas ^[14].

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al aplicarse las NOM para condiciones de seguridad e higiene en espacios de trabajo, se inició estableciendo una malla de 4×4 para determinar los puntos a evaluar dentro del área de trabajo.

Con referencia a la NOM-011-STPS-2001, el ruido dentro de la oficina está debajo de 85 dB(A), cifra dentro de lo permitido por la norma, por lo que no es necesario el uso de equipo de protección auditiva. En la [Figura 1](#) se enlistan los decibelios percibidos en la empresa que se encuentran dentro del rango, pero, aun así, los trabajadores utilizan equipo de protección.

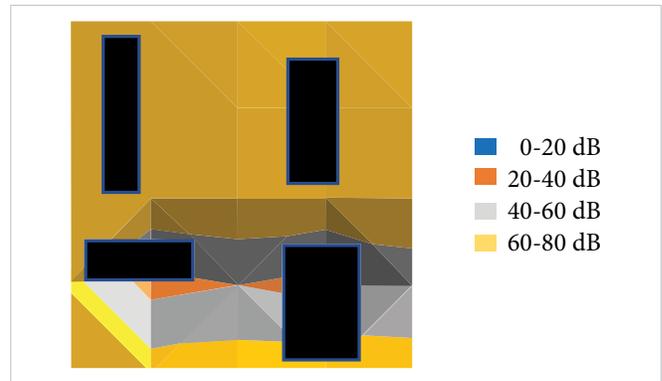


Figura 1. Decibelios percibidos en área de trabajo en evaluación del ruido.

Al evaluar la iluminación dentro área de trabajo, con base en la NOM-025-STPS-2008, se obtuvieron los datos mostrados en la [Figura 2](#), por lo cual se recomienda la iluminación adecuada, cuidando no asignar equipo o máquinas en zona roja, ya que el valor recomendado es de 500 lux y en esa área no se cumple con lo requerido.

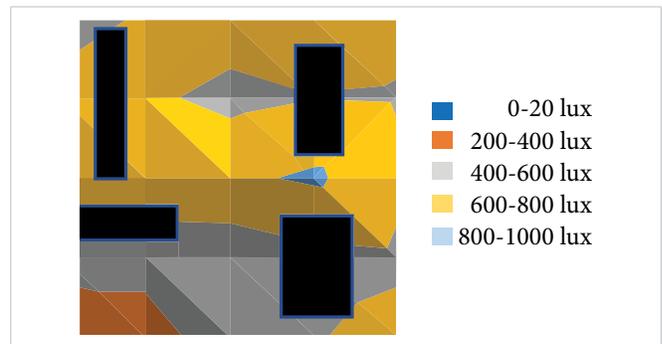


Figura 2. Evaluación de iluminación en el área de interacción de trabajo.

Con base en la NOM-015-STPS-2001, relativa a la exposición laboral de las condiciones térmicas elevadas o abatidas en los centros de trabajo ^[8], en la empresa se detectaron temperaturas acordes a la norma, puesto que la más alta se encuentra en 24 °C, lo cual quiere decir que el taller está a temperatura ambiente, de 20 a 24 °C en promedio, pero cuando se utiliza la máquina de corte láser se debe descansar por diez minutos.

En cuanto a la NOM-036-1-STPS-2018, sobre el manejo manual de cargas, al evaluar esta actividad se encontró que en el levantamiento de la carga el riesgo presentado es medio, por lo tanto, se recomienda realizar una evaluación más específica y medidas de control para así poder implementar un programa de ergonomía para el manejo de cargas manuales. Además, se evaluó el trans-

porte de carga clasificando la actividad con riesgo medio. Véanse los resultados en la [Tabla 1](#).

TABLA 1
RESULTADOS AL APLICAR LA NOM-036-1-STPS-2018

| FACTOR DE RIESGO | LEVANTA | TRASLADA |
|-----------------------------|---------|----------|
| Peso y carga | 4* | 4 |
| Distancia horizontal | 3 | 0 |
| Región vertical | 0 | |
| Torsión y flexión del torso | 2 | 1 |
| Restricciones de postura | 0 | 0 |
| Acoplamiento mano-carga | 1 | 1 |
| Superficie de trabajo | 0 | 0 |
| Otros factores ambientales | 0 | 0 |
| Distancia de transporte | | 1 |
| Obstáculo de ruta | | 0 |
| Puntuación: | 10 | 7 |
| Nivel de Riesgo: | Medio | Medio |

*Las unidades correspondientes son asignadas por la NOM-036-1-STPS-2018, según el movimiento que realiza el trabajador y el factor de riesgo de ese movimiento.

Cada lámina metálica tiene un peso mayor a los 3 kg. Para poder comprobar dicha medición, se adjuntan datos resultado del peso usando un dinamómetro. En el proceso evaluado, se cargaron más de 5 láminas al momento de transportarlas a la mesa de inspección, lo que significa un levantamiento de carga mayor a 15 kg, por lo que se propuso la mesa móvil (*dolly*).

Se realizó un diagrama de recorrido antes de la propuesta, como se muestra en la [Figura 3](#).

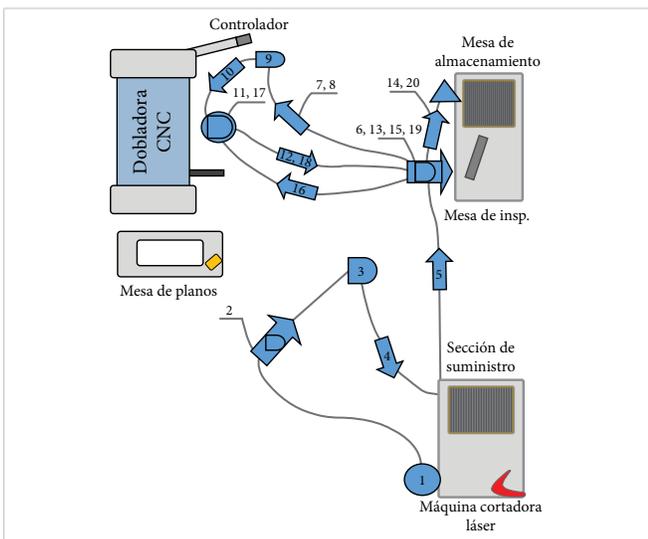


Figura 3. Diagrama de recorrido antes de la mejora.

En la [Figura 4](#) se muestra el diagrama después de la mejora propuesta, con la aplicación de las necesidades ergonómicas analizadas y de los métodos de mejoramiento industrial asignadas o su inspección, según el caso.

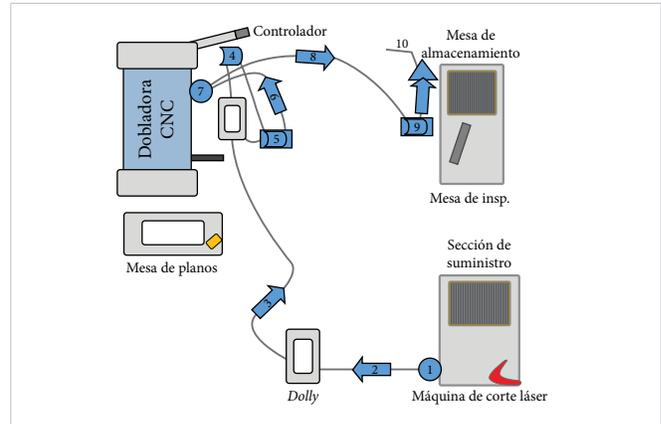


Figura 4. Diagrama de recorrido después de la mejora.

En la propuesta de mejora se propuso usar una mesa móvil (*dolly*) para hacer algunas actividades en el área de trabajo, la cual se desarrolló conforme la antropometría de los dos operadores ([Tabla 2](#)). Esta mesa permitió llevar las cargas de las placas cortadas a las máquinas, disminuyendo el esfuerzo del operador.

TABLA 2
ANTROPOMETRÍA DE UNO DE LOS OPERADORES PARA EL DISEÑO DE LA MESA MÓVIL

| DESCRIPCIÓN DE LA MEDICIÓN | cm |
|-----------------------------|--------|
| Estatura | 176.00 |
| Altura de la vista al suelo | 163.80 |
| Altura hombro al suelo | 145.00 |
| Altura codo flexionado | 107.50 |
| Altura rodilla al suelo | 51.60 |
| Extensión brazo doblado | 38.80 |
| Extensión hacia el frente | 91.80 |
| Extensión brazo lateral | 94.90 |
| Ancho de codo a codo | 53.20 |
| Profundidad máxima cuerpo | 22.50 |

En la [Figura 5](#) se muestra el proceso realizado por un operador: a) levantamiento y transporte manual de láminas cortadas de la cortadora láser al área de trabajo asignada, b) manejo de material entre operaciones de inspección a prensa y de prensa a inspección, c) procesamiento de láminas en piezas dobladas en la prensa CNC y d) inspección de piezas dobladas y almacenamiento.



Figura 5. a) Transporte de material, b) manejo de material, c) proceso de doblado y d) inspección.

La aplicación de los métodos ergonómicos permitió valorar los factores de riesgo ergonómico, como se muestra de la [Tabla 3](#) a la [Tabla 7](#). Esto permitió observar que, en algunos casos, los niveles eran de medios a muy altos antes de aplicar mejoras y, por tanto, había gran riesgo.

La [Tabla 3](#) muestra la valoración ergonómica de los factores de riesgo antes y después de aplicar las mejoras ergonómicas y productivas en la operación de transporte de material de forma manual y utilizando como mejora la mesa móvil por el operador de corte de lámina, ya no por el operador de doblado.

TABLA 3
RESULTADOS DE LOS MÉTODOS ERGONÓMICOS EN EL TRANSPORTE DE LÁMINAS CORTADAS A PRENSA

| FACTOR DE RIESGO | | Cuello | Espalda | Brazo | Antebrazo | Muñeca | Pierna | Fuerza |
|------------------|---|--------|---------|-------|-----------|--------|--------|--------|
| Sue Rodgers | A | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | - |
| | D | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | - |
| REBA | A | 3 | 5 | 4 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| | D | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| RULA | A | 3 | 5 | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 |
| | D | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| ARTOOL | A | 1 | 2 | 2 | - | 1 | - | 6 |
| | D | 0 | 0 | 0 | - | 0 | - | 0 |
| OWAS | A | - | 4 | 1 | - | - | 7 | 3 |
| | D | - | 1 | 1 | - | - | 2 | 1 |
| WERA | A | 4 | 4 | 4 | - | 3 | 5 | 6 |
| | D | 2 | 3 | 3 | - | 3 | 4 | 3 |
| QEC | A | H | H | V | - | H | - | - |
| | D | H | M | B | - | H | - | - |

A = antes; D = después; V = muy alto; H = alto; M = medio; B = bajo.

Estas mejoras ergonómicas y productivas permitieron, en promedio en todos los casos, mejorar las posturas de cuello (46.8 %), espalda (56.6 %), brazos (40.4 %), antebrazos (61.1 %) y muñeca/mano (43.4 %), que fueron de un 62.6 % a 30.6 % y en algunos métodos no se identificó cambios. También, se registró una mejora en el factor fuerza de 62.6 % en promedio.

Todas las mejoras, en promedio, fueron de 48.8 % y obtenidas según los métodos ergonómicos en un 87.8 % de ellos para la valoración del riesgo ergonómico.

La [Tabla 4](#) muestra que por usar la mesa móvil, que permitió eliminar el transporte manual de las láminas, se mejoró, en promedio, algunas de las posturas de espalda (16.7 %), brazos (27.8 %), antebrazos (16.7 %) y muñeca/mano (21.2 %), que fueron de un 27.8 % a 16.7 % y en algunos métodos no se identificó cambios, como en cuello, piernas y factor fuerza. Todas las mejoras, en promedio, fueron de 11.8 % y obtenidas según los métodos ergonómicos en un 22.1 % de ellos para la valoración del riesgo ergonómico.

TABLA 4
RESULTADOS DE LOS MÉTODOS ERGONÓMICOS EN EL MANEJO DE LÁMINAS A PRENSA Y DE PRENSA A LA MESA DE INSPECCIÓN

| FACTOR DE RIESGO | | Cuello | Espalda | Brazo | Antebrazo | Muñeca | Pierna | Fuerza |
|------------------|---|--------|---------|-------|-----------|--------|--------|--------|
| Sue Rodgers | A | 1 | 1 | 4 | 4 | 7 | 1 | - |
| | D | 1 | 1 | 1 | 4 | 4 | 1 | - |
| REBA | A | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 2 | 0 |
| | D | 3 | 2 | 3 | 1 | 2 | 2 | 0 |
| RULA | A | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 1 | 2 |
| | D | 1 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| ARTOOL | A | 1 | 1 | 2 | - | 1 | - | 4 |
| | D | 1 | 1 | 0 | - | 1 | - | 4 |
| OWAS | A | - | 2 | 2 | - | - | 7 | 1 |
| | D | - | 1 | 1 | - | - | 7 | 1 |
| WERA | A | 3 | 4 | 4 | - | 3 | 4 | 3 |
| | D | 3 | 4 | 4 | - | 3 | 4 | 3 |
| QEC | A | H | M | M | - | H | - | - |
| | D | H | M | M | - | H | - | - |

A = antes; D = después.

En la operación de doblado no hubo cambios significativos, sino que solo se mejoraron posturas observadas en vídeos con los que posteriormente se entrenó a los operadores. En este caso, la [Tabla 5](#) muestra que, en promedio en todos los casos, en las posturas de cuello hubo mejoras del 8.3 %, antebrazos (11.1 %) y muñeca/mano (5.6 %), que fueron de un 11.1 % a 11.6 % y

en algunos métodos no se identificó cambios, como en espalda, brazos, piernas y factor fuerza. Todas las mejoras en promedio fueron de 3.6 % y obtenidas según los métodos ergonómicos en un 11.9 % de ellos para la valoración del riesgo ergonómico.

TABLA 5 RESULTADOS DE LOS MÉTODOS ERGONÓMICOS EN LA OPERACIÓN DE DOBLADO EN LA PRENSA CNC

| FACTOR DE RIESGO | | Cuello | Espalda | Brazo | Ante-brazo | Muñeca | Pierna | Fuerza |
|------------------|---|--------|---------|-------|------------|--------|--------|--------|
| Sue Rodgers | A | 2 | 2 | 6 | 6 | 9 | 2 | - |
| | D | 2 | 2 | 6 | 6 | 6 | 2 | - |
| REBA | A | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| | D | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 0 |
| RULA | A | 4 | 2 | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 |
| | D | 3 | 2 | 4 | 2 | 4 | 1 | 2 |
| ARTOOL | A | 1 | 0 | 2 | - | 1 | - | 2 |
| | D | 1 | 0 | 2 | - | 1 | - | 2 |
| OWAS | A | - | 1 | 1 | - | - | 3 | 1 |
| | D | - | 1 | 1 | - | - | 3 | 1 |
| WERA | A | 4 | 2 | 4 | - | 3 | 4 | 2 |
| | D | 3 | 2 | 4 | - | 3 | 4 | 2 |
| QEC | A | H | M | M | - | H | - | - |
| | D | H | M | M | - | H | - | - |

A = antes; D = después.

En la inspección de piezas dobladas hubo mejoras al ubicar a otro operador para compartir dicha tarea y utilizar una mesa móvil ajustable, quedando los resultados iguales a la inspección anterior (Tabla 6).

TABLA 6 RESULTADOS DE LOS MÉTODOS ERGONÓMICOS EN LA INSPECCIÓN DE PIEZAS DOBLADAS

| FACTOR DE RIESGO | | Cuello | Espalda | Brazo | Antebrazo | Muñeca | Pierna | Fuerza |
|------------------|---|--------|---------|-------|-----------|--------|--------|--------|
| Sue Rodgers | 7 | 5 | 7 | 7 | 10 | 5 | - | - |
| | 6 | 2 | 6 | 6 | 6 | 2 | - | - |
| REBA | 3 | 3 | 4 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| | 2 | 2 | 4 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| RULA | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 1 | 2 | 2 |
| | 3 | 2 | 4 | 2 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| ARTOOL | 1 | 1 | 2 | - | 1 | - | 2 | 2 |
| | 1 | 1 | 0 | - | 0 | - | 2 | 2 |
| OWAS | - | 2 | 2 | - | - | 1 | 1 | 1 |
| | - | 2 | 1 | - | - | 1 | 1 | 1 |
| WERA | 4 | 3 | 5 | - | 3 | 4 | 3 | 2 |
| | 4 | 3 | 4 | - | 3 | 4 | 3 | 2 |
| QEC | H | M | M | - | H | - | - | - |
| | H | M | M | - | M | - | - | - |

A = antes; D = después.

Las operaciones de inspección disminuyeron y mejoraron, en promedio, las posturas de cuello (12.2 %), espalda (18.1 %), brazos (21.1 %), antebrazos (32.6 %), muñeca/mano (31.1 %) y piernas (12 %), que fueron de un 32.6 % a 12 %, y en algunos métodos no identificó cambios, como en factor fuerza. Todas las mejoras en promedio fueron de 18.1 % y obtenidas según los métodos ergonómicos en un 50.5 % de ellos para la valoración del riesgo ergonómico.

Por otra parte, se registró una disminución de los niveles de riesgo finales, como se puede apreciar en la Tabla 7, de un 50.0 % de los casos, siendo esto una mejora apreciable.

TABLA 7 CONCENTRADO DE RESULTADOS DE LOS MÉTODOS QUE MUESTRAN SUS NIVELES DE RIESGO

| FACTOR DE RIESGO ERGONÓMICO | | Traslado | Manejo | Proceso | Inspección |
|-----------------------------|--------|----------|--------|---------|------------|
| REBA | Antes | MA | A | A | A |
| | Mejora | B | M | A | M |
| RULA | Antes | MA | MA | MA | MA |
| | Mejora | M | A | MA | A |
| ARTOOL | Antes | A | A | M | M |
| | Mejora | B | M | M | M |
| OWAS | Antes | A | M | A | A |
| | Mejora | B | B | A | A |
| WERA | Antes | M | M | M | M |
| | Mejora | M | M | M | M |
| QEC | Antes | MA | A | A | A |
| | Mejora | A | A | A | A |
| Sue Rodgers | Antes | B | M | A | MA |
| | Mejora | B | B | M | M |

Hubo una reducción en el traslado de láminas cortadas (71.4 % de los casos en los métodos ergonómicos presentados para la valoración), en el manejo de piezas en estaciones (71.4 %), en el proceso de doblado de láminas en la dobladora CNC (14.3 %) y en la inspección y almacenaje de piezas (42.9 %).

Después de aplicar reingeniería, 5S y SMED, los números indican que se quedan con piezas las 3 estaciones incluyendo la mesa móvil (*dolly*). En este caso se concluye que el proceso quedó como el método de manufactura esbelta lo indica (una pieza a la vez). Los operadores han están trabajando relajados puesto que tienen más tiempo libre entre piezas, como se muestra en la Tabla 8.

TABLA 8
CONCENTRADO DE MEDIDAS DE RENDIMIENTO DESPUÉS DE APLICAR MEJORAMIENTO INDUSTRIAL

| MEDIDA DE RENDIMIENTO | ANTES | DESPUÉS | MEJORA |
|-----------------------------------|-------|---------|--------|
| Razón de producción (piezas/hora) | 34.6 | 60 | 73.4 % |
| Capacidad producida (piezas/día) | 1156 | 2039 | 76.3 % |
| Utilización (%) | 86.5 | 49.04 | 43.3 % |
| Disponibilidad (%) | 95 | 95 | 0.0 % |
| Inventario en proceso (piezas) | 5.6 | 3 | 4.6 % |

Después del análisis, se realizó una propuesta de distribución que se muestra en la [Figura 6 a\)](#) el mapa 5S y b) la ruta con la mesa móvil (*dolly*) y que fue implementada en el área de trabajo, como se muestra en la [Figura 7](#).

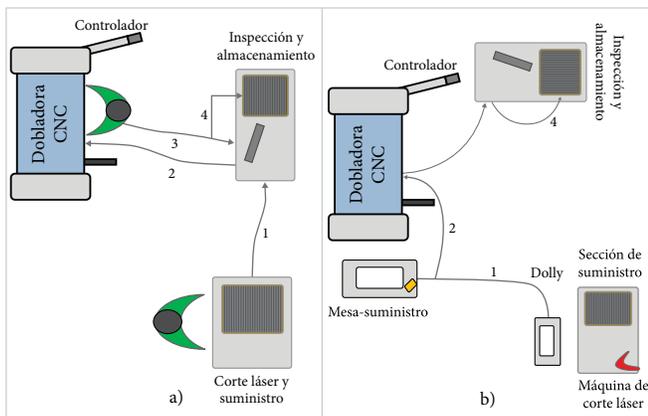


Figura 6. Mapa 5S: a) antes y b) después de aplicarlo.



Figura 7. Verificación de la mesa móvil (*dolly*) con los cambios propuestos y valorados.

Los resultados obtenidos de la aplicación SMED se muestran en la [Figura 8](#), que describe un sistema de mejora industrial, detectándose un 13.1 % del tiempo en preparaciones internas. Esto indicó que las máquinas permanecían sin operar mientras se preparaban las piezas o se inspeccionaba.

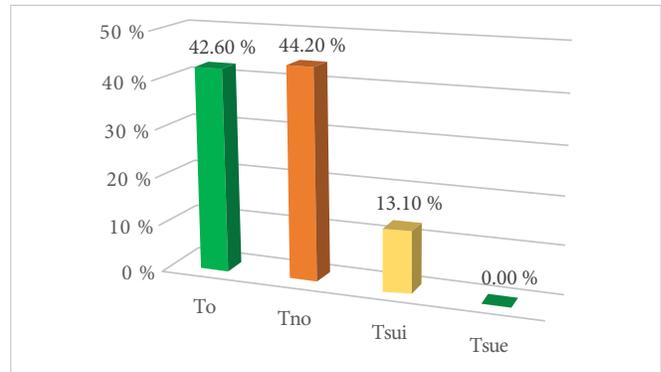


Figura 8. Diagramas muestran mejora en tiempos de preparación (antes).

Después, como muestra la [Figura 9](#), dicha preparación se convirtió en preparación externa porque se tiene el material y herramientas en el sitio donde se van a utilizar.

En este caso, la implementación del uso de la mesa móvil con las herramientas y materiales requeridos en el orden y cantidad necesaria fue de gran importancia para la disminución de los tiempos de preparación.

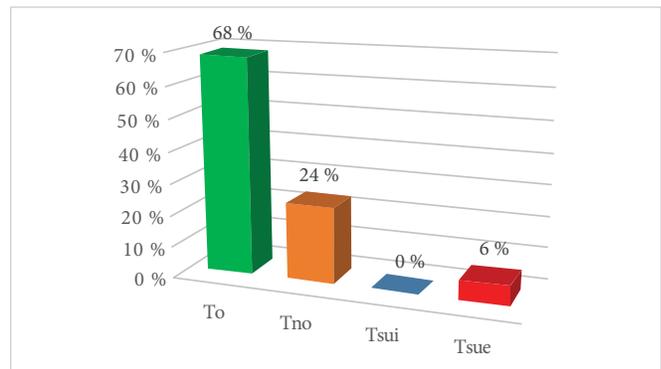


Figura 9. Diagramas muestran mejora en tiempos de preparación (después).

La valoración metodológica de las normas mexicanas permitió identificar y disminuir las condiciones expuestas del transporte y a su vez disminuyeron las posturas incómodas al utilizar el móvil y adaptarlo a la altura de operadores. Después de aplicar el método SMED se mejoró la preparación en un 48.09 % y la operativa en 60.56 %.

IV. CONCLUSIONES

En el área de la máquina de corte por láser CNC y la dobladora mejoraron sus operaciones integradas de forma significativa, disminuyendo los riesgos ergonómicos,

con la aplicación de las diversas herramientas de ingeniería y la evaluación con base en las normas oficiales aplicadas.

Hubo mejoría en la producción del área con el análisis de reingeniería de procesos, pues se hicieron propuestas de mejora para las actividades identificadas como riesgos ergonómicos.

La optimización de las operaciones y el rediseño de los equipos de manejo de cargas fueron indispensables para disminuir radicalmente las cargas manuales que podrían provocar daños musculoesqueléticos, sobre todo cuando se considera la selección por medidas antropométricas y la validación de resultados de los métodos ergonómicos.

Las normas mexicanas fueron la guía para hacer mediciones que, a su vez, permitieron identificar la óptima operación de las estaciones de trabajo. Con los métodos ergonómicos se valoró si las mejoras productivas también disminuían los riesgos ergonómicos considerados.

En esta experiencia propositiva, la mejora ergonómica permite disminuir actividades que no agregan valor, reducir los riesgos y aumentar la productividad.

También, los diagramas de recorrido permiten diagnosticar procesos antes y después de mejoras, así como lo que agregan y no agregan valor a los procesos analizados para disminuir riesgos ergonómicos de manejo de materiales.

La metodología de las herramientas de manufactura esbelta, como 5S y SMED, posibilitan formular opciones de mejora de procesos de forma más rápida y, paralelamente, disminuir los riesgos ergonómicos inherentes.

Las recomendaciones internacionales de la OIT ayudaron a identificar el elemento de manejo de carga que permite ser utilizado como una subestación de apoyo para ordenar y disminuir los traslados de material, con lo cual se redujeron los traslados y aumentó la productividad.

Las valoraciones derivadas de este trabajo pueden ayudar a mejorar las condiciones de trabajo en el área de transporte, manejo e inspección de materiales, disminuyendo el riesgo de lesiones musculoesqueléticas, así como proporcionar las bases para hacer la propuesta

general de adaptación de actividades y del área de trabajo actual de los operadores.

REFERENCIAS

- [1] Keisen Consultores. “Manual de Control y Mejora Continua de los Procesos”, Kaisen, 2015. Accedido: jul. 8, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://keisen.com/es/wp-content/uploads/2015/05/Manual-de-Control-y-mejora-continua-de-los-procesos.pdf>
- [2] STPS, “Evaluación de la Normatividad en Seguridad y Salud en el Trabajo para el Proceso de Transmisión”, Secretaría del Trabajo y Previsión Social. Accedido: jul. 8, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.stps.gob.mx/BP/SECCIONES/dgsst/publicaciones/prac_seg/sec_elec/evaluacionNor.pdf
- [3] M. I. Clemente, A. F. Cruz, R. E. Arcos y J. Rocha, “Evaluación de un Ciclo de Trabajo, Bajo la Norma Oficial Mexicana NOM-036-1 de Riesgos Ergonómicos”, *JC*, vol. 10, 2021, <https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/3296>.
- [4] A. Fragoso, R. Pérez, A. K. Merino y J. T. Oliva, “Un análisis ergonómico del manejo manual de cargas: NOM-036-1-STPS-2018 en proceso de fabricación de calzado para pie diabético: NMX-A-238-SCFI-2019”, *INCEPTUM*, vol. 17, n.º 33, pp. 79-107, 2023, doi: <http://dx.doi.org/10.33110/inceptum.v17i33.428>.
- [5] *Factores de Riesgo Ergonómico en el Trabajo-Identificación, Análisis, Prevención y Control. Parte 1: Manejo Manual de cargas*, NOM-036-1-STPS-2018, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, nov. 23, 2018. [En línea]. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5544579&fecha=23/11/2018#gsc.tab=0
- [6] *Condiciones de Seguridad e Higiene en los Centros de Trabajo Donde se Genere Ruido*, NOM-011-STPS-2001, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, abr. 17, 2002. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=734536&fecha=17/04/2002#gsc.tab=0
- [7] *Condiciones de Iluminación en los Centros de Trabajo*, NOM-025-STPS-2008, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, dic. 29, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/3581/stps/stps.htm>

- [8] *Condiciones Térmicas Elevadas o Abatidas-Condiciones de Seguridad e Higiene*, NOM-015-STPS-2001, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, jun. 14, 2002. [En línea]. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=728016&fecha=14/06/2002#gsc.tab=0
- [9] OIT, “Lista de Comprobación Ergonómica / Ergonomics Checkpoints”, Oficina Internacional del Trabajo en colaboración con la Asociación Internacional de Ergonomía. Accedido: jul. 8, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@protrav/@safework/documents/instructionalmaterial/wcms_345646.pdf
- [10] J. A. Diego-Mas, “Ecuación de NIOSH. Evaluación del Levantamiento de Carga”, *Ergonautas*, 2015, <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/niosh/niosh-ayuda.php>
- [11] A. García (2020). Método Suzanne Rodgers [Presentación para descarga]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/488691475/METODO-SUZANNE-RODGERS-ppt>
- [12] ChanelAlberto (2019). Método WERA. [Presentación para descarga]. Disponible en: <https://www.scribd.com/document/412838172/Metodo-WERA>
- [13] Rivera, “Método de las 5S: Orden, Limpieza y Disciplina”, *limpiezarivera.com*. <https://www.limpiezasrivera.com/2019/7/3/metodo-5s> (accedido en mar. 18, 2023).
- [14] J. Müller, “SMED aplicado a matrices de conformado en frío en una autopartista”, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, dic. 2014. Accedido: mar. 18, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/1830>