

# Evaluación al desempeño de una estación de trabajo en un proceso de impresión de producto médico



## Colaboración

Ilse Anilú Silva López; María de los Ángeles Ramírez Ambriz; Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez; Jesús Aguirre Solís, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez; Mirella Parada González, Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez

**RESUMEN:** Las empresas aplican nuevas tecnologías para mejorar su producción, introducir nuevos productos y ampliar su mercado. Una empresa dedicada a la extrusión de plástico, creó nuevas líneas de producción para la fabricación de buretas de plástico (producto médico). Este proceso de fabricación, consta de dos procesos, extrusión e impresión. Para evaluar el desempeño de impresión de buretas, se realizó un análisis de las operaciones, se evaluaron las máquinas que intervienen en el proceso, así como las actividades que realizan los operadores. Se hizo una toma de tiempos con cronómetro y video de las máquinas y operadores, y una evaluación ergonómica a los operadores con el método de Evaluación rápida de miembros superiores (RULA, por sus siglas en inglés). Con un análisis estadístico de los tiempos se mejoró el flujo del proceso de impresión. Con los niveles de actuación obtenidos del método RULA, se propusieron las mejoras para que los operadores trabajen en un ambiente seguro.

**PALABRAS CLAVE:** Cuello de botella, Análisis estadístico, Riesgos ergonómicos, Estudio de tiempos.

**ABSTRACT:** Companies apply new technologies to improve their production, introduce new products and expand their market. A company dedicated to the extrusion of plastic created new production lines for the manufacture of plastic burettes (medical products). The manufacturing process of the plastic burettes consists of two processes, extrusion, and printing. The performance of the burette printing process needed to be evaluated. The machines that intervene in the process were evaluated, as well as the activities carried out by the operators. A video and taking time with chronometer of the machines and operators were performed, as well as an ergonomic evaluation of the operators with Rapid upper limb assessment or RULA method. With a statistical analysis of the times, the flow of the printing process was improved. With the levels of action obtained from the RULA method, the improvements were proposed so that the operators carry out their tasks in a safe environment.

**KEYWORDS:** Bottleneck, Statistical analysis, Ergonomic risks, Study of times.

## INTRODUCCIÓN

La fabricación de un nuevo producto exige líneas de producción que cumplan con las especificaciones del cliente, considerando la calidad y el tiempo requerido para cumplir con las fechas de entrega. El estudio de tiempos es el más utilizado por las empresas para medir el tiempo que requiere una persona o máquina para realizar una determinada tarea. Para este tipo de estudio se puede utilizar un cronómetro y una cámara de video [5], [6].

Una vez obtenido el tiempo estándar de cada operación, se puede hacer visible un cuello de botella, "el recurso que se queda sin capacidad primero y, por lo tanto, limita el rendimiento del sistema". Para mejorar el flujo de la línea, es conveniente realizar el balanceo de la misma, para igualar los tiempos de trabajo en todas las estaciones,

para maximizar la mano de obra y del equipo [2], [7]. Aunado al balanceo de la línea, que mejora el flujo o productividad, también generalmente se pueden mejorar las condiciones de trabajo de los operadores, reduciendo sus niveles de riesgo ergonómico y creando un ambiente de trabajo más saludable para ellos. Es aquí donde la ingeniería de métodos y la ergonomía en forma conjunta mejoran el flujo de la línea, y las condiciones de trabajo de los operadores [3], [4].

En una empresa local de Ciudad Juárez, en el proceso de impresión de las buretas, los operadores presentaban riesgos ergonómicos, dolor de espalda, cuello y cadera durante su jornada laboral, así como cansancio. Los operadores adoptaban diferentes posturas y movimientos riesgosos con las manos, al pasar las piezas de la banda de la cortadora a la banda de la impresora. Otros riesgos similares ocurrían en el empaquetado. Se evaluaron las posturas de los operadores con las tablas de puntuación del método RULA, para establecer el nivel de actuación ergonómica, que evite el riesgo de lesiones en los operadores de la estación de impresión. Es importante que las empresas utilicen Métodos de Evaluación Ergonómica para detectar a tiempo el tipo de riesgo que puede tener una actividad dentro de una estación., existen diferentes métodos para cada factor de riesgo y son de fácil aplicación [1].

## MATERIAL Y MÉTODOS

El proceso de fabricación de las buretas de plástico consta de dos procesos, extrusión e impresión. El proceso de extrusión es complejo y no permite modificar sus parámetros fácilmente por la calidad del tubo extruido. El proceso de impresión se debe realizar bajo condiciones de cuarto limpio.

En el cuarto limpio se encuentra la máquina cortadora de las buretas, la que define la tasa de producción para la máquina impresora, este material se transporta en una banda donde un operador carga y descarga los tubos a la banda de la impresora. En la impresora se imprime una escala milimétrica en cada bureta, un operador extra en este subproceso almacena los tubos ya que no es un proceso fluido. Los tubos que salen de la máquina impresora se transportan en una banda con ayuda de un operador y luego son empaquetados en cajas para su envío por cuatro operadores (Figura 1).

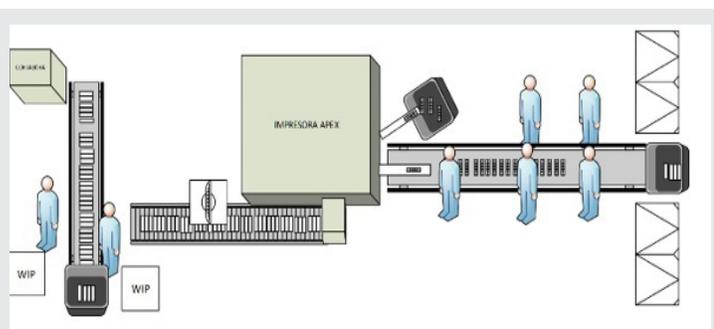


Figura 1. Proceso de impresión de buretas de plástico

Para desarrollar esta investigación se utilizó el cronómetro y video de un celular para la toma tiempos, los datos de cada corrida fueron anotados en una libreta científica. Para la evaluación ergonómica de los operadores de este proceso se aplicaron las tablas de puntuación de McAtamney, L. y Corlett, E.N. (1993), RULA para determinar el nivel de actuación. Para el análisis estadístico de los tiempos se utilizó el software Minitab 17°.

La metodología propuesta para esta investigación inició con un análisis del proceso de fabricación de buretas de plástico para delimitar el área de estudio, como primer paso se efectuó un estudio de tiempos, donde se seleccionó uno de los números de parte de bureta que estuviera validado por el cliente y que fuera procesado con mayor periodicidad.

Con los datos obtenidos en la toma de tiempos se realizó un análisis estadístico para determinar las tasas de producción de cada máquina, donde se detectó la presencia de un cuello de botella. Posteriormente se evaluó el desempeño de los trabajadores por medio del análisis de los tiempos. Para evaluar las condiciones de trabajo de los operadores o nivel de actuación se aplicó el método RULA.

## RESULTADOS

Se inició con el estudio de tiempos de los equipos, que son, la cortadora y la impresora, con la intención de identificar el cuello de botella, seguido de esto se analizó el desempeño de los operadores en cada parte del proceso, se evaluaron las posturas para detectar posibles riesgos en la manera en que realizaban sus actividades diarias.

En el estudio de tiempos, para el número de parte 3032, se tomaron muestras de los tiempos en cada parte del proceso de impresión, en la cortadora e impresora, contemplando a los operadores de cada subproceso respectivamente. Con los datos del estudio de tiempos se procedió a realizar un análisis estadístico con la ayuda del programa Minitab 17°, donde primero se analizaron los tiempos de las máquinas.

La máquina cortadora, como se ha descrito previamente, es la encargada de cortar el tubo extruido conforme a las dimensiones del cliente, ésta máquina es la que define la tasa de producción para el resto del proceso de impresión.

Para realizar el análisis estadístico se utilizó una base de 229 datos, que fueron recolectados aleatoriamente, con una media de 0.95480 segundos, lo cual establece que una pieza es cortada cada 0.95 segundos, en un minuto prácticamente se obtendrían mínimo 60 piezas (Figura 2).

cada uno de los operadores en la carga y descarga del material, con el fin de optimizar el número de operadores en cada parte del proceso. Se hizo un análisis estadístico en Minitab 17<sup>o</sup> y con esto la evaluación del desempeño de los operadores.

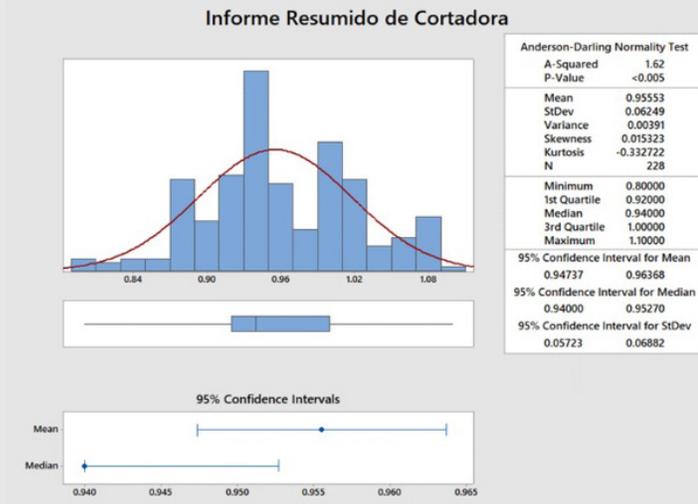


Figura 2. Análisis estadístico de los tiempos de la máquina cortadora

La máquina impresora, imprime las medidas milimétricas en el tubo de plástico, del cual se obtuvo una media de 1.3198 minutos, que es el tiempo promedio que tarda en salir una pieza impresa (Figura 3).

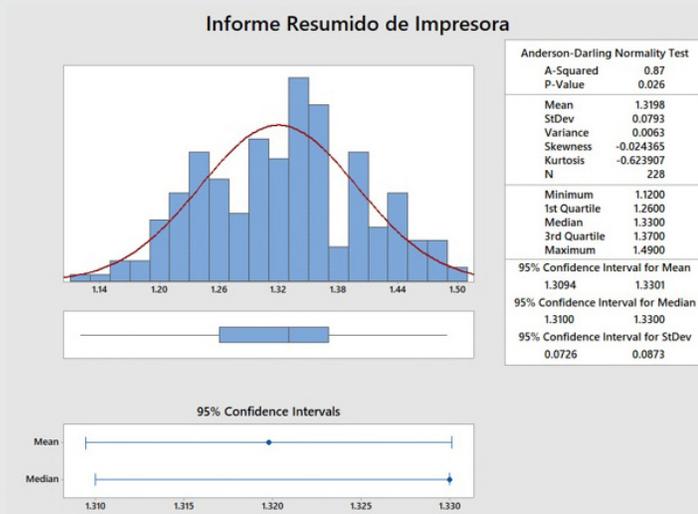


Figura 3. Análisis estadístico de los tiempos de la máquina impresora

Al contrastar las medias de los tiempos de las dos máquinas (Figura 4), se pudo ver que hay una diferencia significativa en la tasa de producción, la cortadora con una pieza por cada 0.95 segundos y la impresora una pieza por cada 1.32 segundos; esta diferencia genera un cuello de botella que hace necesario almacenar piezas para posteriormente ser impresas. Lo que nos hace referirnos al método de cola más larga, donde se considera la estación o máquina que tiene mayor número de trabajos detenidos como cuello de botella (Betterson y Silver, 2011).

Para los operadores que intervienen en el proceso de impresión, se tomó una muestra de tiempos con cronómetro y video para analizar las tareas que realizan

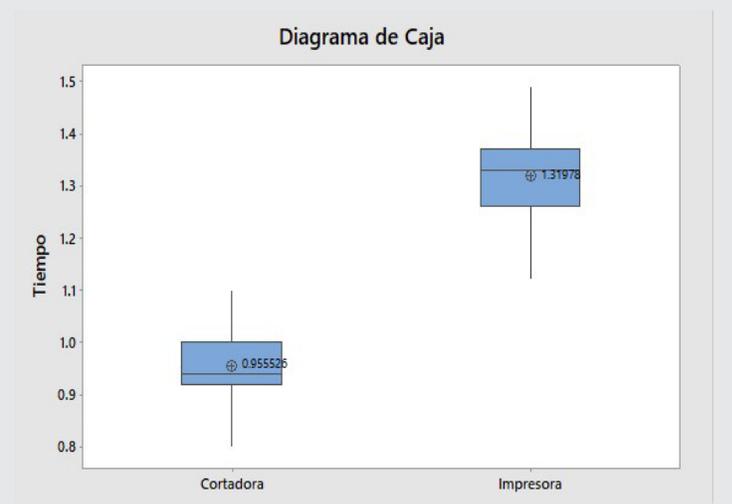


Figura 4 Comparación de tiempos entre máquina cortadora e impresora

El operador 1 (Op<sub>1\_C</sub>), que se encarga de recibir y almacenar las piezas de la cortadora que no se pueden pasar directamente a la banda de la impresora se obtuvo un tiempo promedio de 23.668 segundos. El operador 2 (Op<sub>2\_I<sub>e</sub></sub>), que se encarga de la carga y descarga del material en la banda de la impresora se obtuvo un tiempo promedio de 7.483 segundos. Para el operador 3 (Op<sub>3\_I<sub>s</sub></sub>), que realiza la actividad de redirigir los tubos que salen de la impresora para la banda del empaquetado, se obtuvo un tiempo promedio de 1.07432 segundos. Para los cuatro operadores del empaquetado (Op<sub>i\_E</sub>), las operaciones tienen un intervalo de confianza al 95% de tiempo de operación de 26 a 29 segundos en cada carga de 8 piezas (Figura 5 y Figura 6).

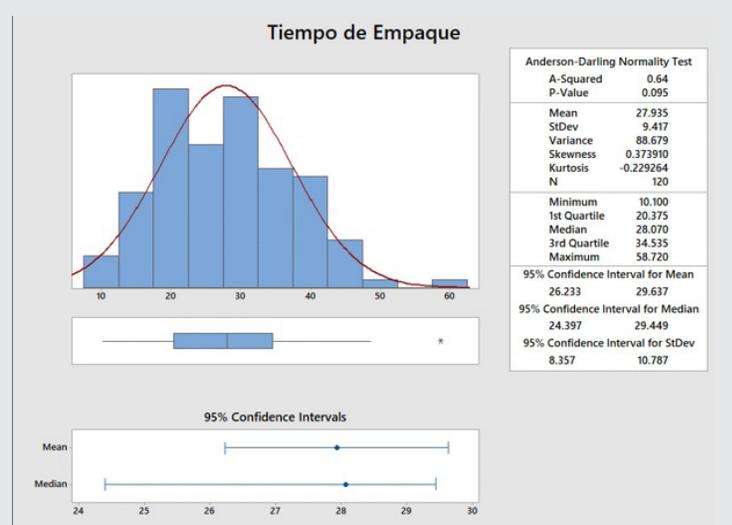


Figura 5. Análisis Estadístico del tiempo de empaque

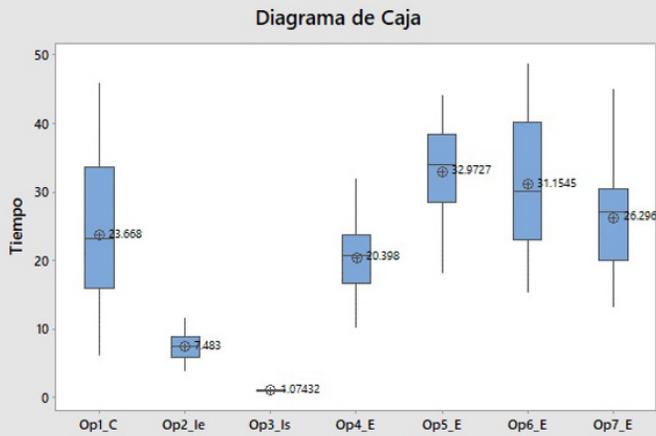


Figura 6. Comparación de tiempos de los operadores del proceso de empaque (E), con los de impresión (I) y el que descarga la cortadora (C).

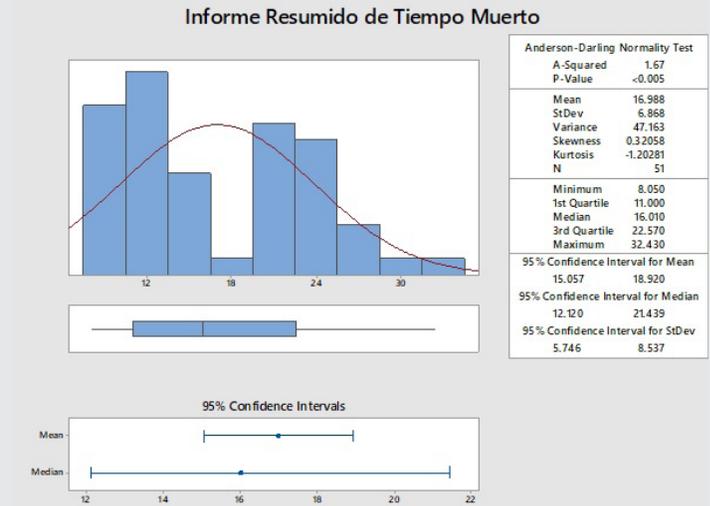


Figura 7. Análisis estadístico del tiempo muerto para empaque

Para determinar el número de operadores necesarios en el sub-proceso de empaque, con base en la demanda por turno del número de parte 3032 y tiempo disponible. La demanda por un turno de 8.6 horas (30,960 segundos) es de 6,621 piezas. El tiempo de operación de los cuatro operadores es de 110.8212 segundos, que refiere al tiempo promedio acumulado de cada uno (Tabla 1), al cual se le resta el tiempo muerto promedio 16.988 de los mismos (Figura 7), dando un total de 93.012 segundos. Al aplicar la fórmula, con el tiempo en segundos y la demanda, considerando que cada operador toma 8 piezas a la vez, el tiempo de operación nos da como resultado 3 operadores para este sub-proceso.

$$\text{Ciclos requeridos} = \frac{6,621 \text{ piezas/turno}}{8 \text{ piezas/ciclo}} = 828 \text{ ciclos/turno} \quad \text{Ec. (1)}$$

$$\text{Ciclos por operador por turno} = \frac{30,960 \text{ segundos/turno}}{93,012 \text{ segundos} \times \text{operador/ciclo}} \quad \text{Ec. (2)}$$

$$= 332.474 \text{ ciclos/turno} \times \text{operador}$$

$$\text{Operadores necesarios} = \frac{828 \text{ ciclos/turno}}{332.474 \text{ ciclos/turno} \times \text{operador}} \cong 3 \text{ operadores} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$\text{Takt time} = \frac{30,960 \text{ segundos/turno}}{6,621 \text{ piezas/turno}} = 4.676 \text{ segundos/piezas} \quad \text{Ec. (4)}$$

y para ocho piezas por ciclo =  $4.676 \times 8 = 37.408 \text{ segundos/ciclo}$   
y tiempo promedio empaque =  $27.935 \text{ segundos/ciclo} < \text{Takt time}$

Tabla 1. Tiempo de operación acumulado de los operadores de empaque

Operador	Tiempo de Operación (Segundos)
1	20.398
2	32.9727
3	31.1545
4	26.296
<b>Total</b>	<b>110.8212 segundos</b>

Para cada uno de los siete operadores que participan en los subprocesos de la cortadora, impresión y empaquetado de la fabricación de buretas de plástico se hizo un análisis de las actividades que realizaban, con la ayuda de videos y observación para medir el riesgo ergonómico en el que se encontraban (Tabla 2).

Tabla 2. Descripción de las actividades de los Operadores

Operador	Máquina	Actividades
Operador 1	Cortadora	Almacena los tubos que salen de la cortadora.
Operador 2	Cortadora	Alimenta la banda de la cortadora a la banda de la impresora. Inspecciona para detectar algún defecto, cuando se detiene la impresora se dedica a almacenar tubos que después serán graduados.
Operador 3	Impresora	Direcciona los tubos graduados en forma vertical para que los operadores siguientes inspeccionen y empaqueten.
Operadores 4, 5, 6 y 7	Empaque	Inspeccionan los tubos graduados para detectar defectos en la impresión y enviarlos a scrap. Las piezas buenas se empaquetan en charolas.

La evaluación ergonómica a cada operador se hizo con el método RULA, se midieron los ángulos de las posturas superiores, tomando en cuenta la adopción de posturas no neutrales de la carga y descarga de los tubos de la cortadora a la impresora y de la impresora al empaquetado. La atención se ubicó en el movimiento de las manos donde lo crítico está en las muñecas como se muestra en la Figura 8.

El operador 1, hace una flexión de los brazos de 88 grados para alcanzar los tubos, al tiempo que el hombro es rotado. Referente al antebrazo, este tiene un ángulo de flexión mayor a 100 grados, al insertar los dedos dentro de los tubos, el operador hace una flexión extrema de su muñeca a 84 grados, mayor a 15 grados de su posición de pronación lo que ocasiona un 3 que es la puntuación más alta en el método RULA, sumando un punto más ya que existe una desviación radial de la muñeca. Estos valores localizados en la tabla dan una puntuación total de 6 para el grupo A (brazo, muñeca).

**RULA**  
Hoja de evaluación del empleado

**A. Análisis de brazo y muñeca**  
Paso 1: Localizar la postura más alta del brazo  
Paso 2: Ajuste  
Paso 3: Localizar la posición de la muñeca  
Paso 4: Giro de la muñeca  
Paso 5: Buscar puntaje en tabla A  
Paso 6: Agregar puntos por uso muscular  
Paso 7: Agregar puntos por fuerza o carga  
Paso 8: Encontrar valor en tabla C

**B. Análisis de cuello, tronco y piernas**  
Paso 9: Localizar posición de cuello  
Paso 10: Localizar posición del tronco  
Paso 11: Piernas  
Paso 12: Buscar puntaje de postura tabla B  
Paso 13: Agregar puntaje por uso muscular  
Paso 14: Agregar punto por fuerza/carga  
Paso 15: Encontrar valor en tabla C

**Tabla A: Puntaje de postura brazo, muñeca**

Abraza brazo abajo	Muñeca			
	Giro muñeca 1	Giro muñeca 2	Giro muñeca 3	Giro muñeca 4
1	1	2	3	4
2	2	3	4	5
3	3	4	5	6
4	4	5	6	7
5	5	6	7	8
6	6	7	8	9
7	7	8	9	10
8	8	9	10	11
9	9	10	11	12

**Tabla B: Puntaje de postura del cuello**

Cuello	Tronco			
	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	3	4	5
3	3	4	5	6
4	4	5	6	7
5	5	6	7	8
6	6	7	8	9
7	7	8	9	10
8	8	9	10	11
9	9	10	11	12

**Tabla C: Puntaje postura cuello, tronco y piernas**

Cuello	Tronco				Piernas			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4
2	2	3	4	5	2	3	4	5
3	3	4	5	6	3	4	5	6
4	4	5	6	7	4	5	6	7
5	5	6	7	8	5	6	7	8
6	6	7	8	9	6	7	8	9
7	7	8	9	10	7	8	9	10
8	8	9	10	11	8	9	10	11
9	9	10	11	12	9	10	11	12

**PUNTAJE FINAL**

Puntaje Postura Tabla A	7	Puntaje Postura Tabla B	7
Puntaje uso de músculo	1	Puntaje fuerza carga	0
Puntaje final brazo/muñeca	6	Puntaje final cuello, tronco y piernas	8

EMPRESA: Cuarto Limpio PUESTO DE TRABAJO: operar ANALISTA: Ise Anís Silva Lopez FECHA: 20-Mayo-2018  
OPERACIÓN: Cortadora

Figura 9. Evaluación del operador 1

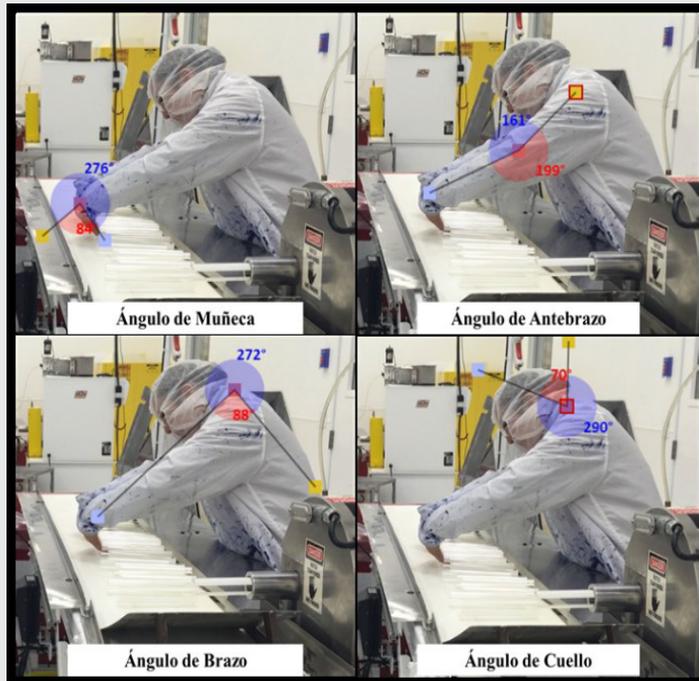


Figura 8. Medición de ángulos en el operador 1

Para el Grupo B (cuello, tronco y piernas), el ángulo del cuello tiene una flexión de 70 grados con una puntuación de 3, sumando a este 1 punto más porque el cuello se encuentra doblado al lado derecho, provocando que su tronco este posicionado entre los 20 y 50 grados y las piernas no están balanceadas, pues el peso de su cuerpo se carga hacia un mismo lado. Ubicando los valores en la tabla dan una puntuación total de 8.

Para los grupos A y B el puntaje final en esta evaluación fue de 7. Para esta puntuación el método Rula sugiere una investigación y un cambio inmediato de las condiciones de operación. La Figura 9 presenta la evaluación ergonómica del operador 1.

En la inspección de los tubos, el operador 2 hace una flexión del brazo de más de 81 grados y levanta el hombro, lo que da una puntuación de 4, el antebrazo es flexionado a un ángulo mayor de 100 grados con una puntuación de 2. La posición de la muñeca se encuentra en un ángulo de 69 grados con una torsión fuera de la línea media y un giro de rango medio que le da una puntuación de 4. Al posicionar los valores obtenidos en la tabla se obtiene un puntaje final de 6 para el Grupo A (Figura 10).

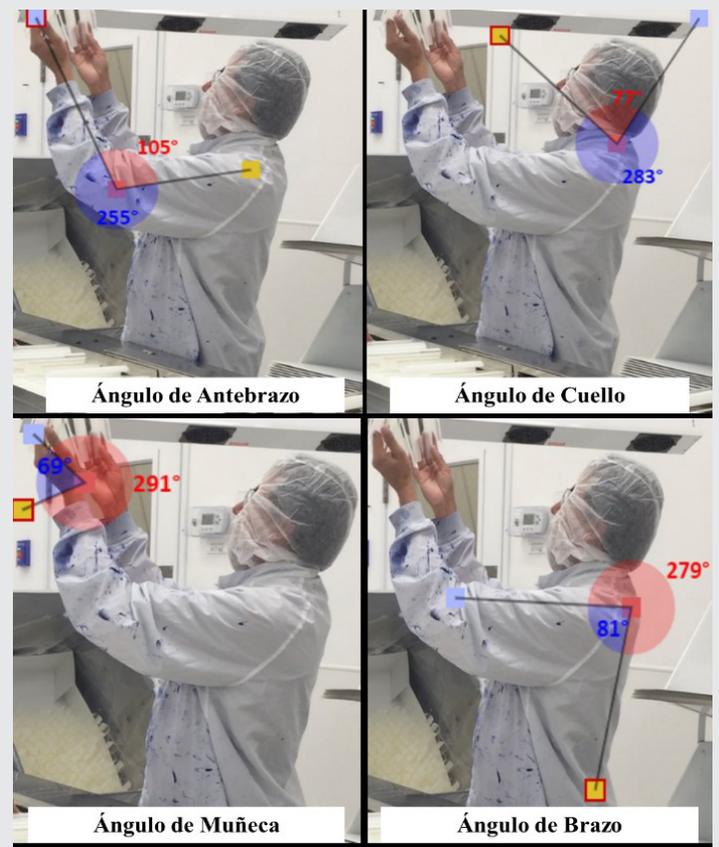


Figura 10. Medición de ángulos en el operador 2

Otra postura de atención del operador 2 es la adoptada al momento de inspeccionar los tubos. Al poner las piezas a contra luz para detectar algún defecto de calidad, el operador presenta un riesgo por el ángulo del cuello, con una extensión mayor a 0 grados, que es la puntuación de 4, la más alta para el método y se suman 2 puntos más por el giro y 1 punto más por la posición de sus piernas. Estos valores posicionados en la tabla dan un puntaje total de 6 para el Grupo B.

Al sumar los puntajes del Grupo A y B se obtiene un puntaje final de 7, que sugiere una investigación y un cambio inmediato de las condiciones de operación para prevenir lesiones músculo-esqueléticas. La Figura 11 presenta la evaluación ergonómica del operador 2.

**RULA** Hoja de evaluación del empleado

**A. Análisis de brazo y muñeca**  
 Paso 1: Localizar la postura más alta del brazo  
 Paso 1a: Ajuste  
 Paso 2: Localizar la posición más baja del brazo  
 Paso 2a: Ajuste  
 Paso 3: Localizar la posición de la muñeca  
 Paso 3a: Ajuste  
 Paso 4: Giro de la muñeca

**B. Análisis de cuello, tronco y piernas**  
 Paso 9: Localizar posición de cuello  
 Paso 9a: Ajuste  
 Paso 10: Localizar posición del tronco  
 Paso 10a: Ajuste  
 Paso 11: Piernas

**Tabla A: Puntaje de postura brazo, muñeca**

Brazo abajo	Muñeca			
	1	2	3	4
1	1	2	3	4
2	2	3	4	5
3	3	4	5	6
4	4	5	6	7
5	5	6	7	8
6	6	7	8	9
7	7	8	9	10
8	8	9	10	11
9	9	10	11	12
10	10	11	12	13

**Tabla B: Puntaje de postura cuello, tronco y piernas**

Cuello	Tronco				Piernas			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4
2	2	3	4	5	2	3	4	5
3	3	4	5	6	3	4	5	6
4	4	5	6	7	4	5	6	7
5	5	6	7	8	5	6	7	8
6	6	7	8	9	6	7	8	9
7	7	8	9	10	7	8	9	10
8	8	9	10	11	8	9	10	11
9	9	10	11	12	9	10	11	12
10	10	11	12	13	10	11	12	13

**Tabla C: Puntaje postura cuello, tronco y piernas**

Cuello	Tronco				Piernas			
	1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	4	1	2	3	4
2	2	3	4	5	2	3	4	5
3	3	4	5	6	3	4	5	6
4	4	5	6	7	4	5	6	7
5	5	6	7	8	5	6	7	8
6	6	7	8	9	6	7	8	9
7	7	8	9	10	7	8	9	10
8	8	9	10	11	8	9	10	11
9	9	10	11	12	9	10	11	12
10	10	11	12	13	10	11	12	13

**PUNTAJE FINAL**

Puntaje Postura Tabla A: 5  
 Puntaje Postura Tabla B: 5  
 Puntaje uso de músculo: 1  
 Puntaje fuerza carga: 0  
 Puntaje final brazo muñeca: 6  
 Puntaje final cuello, tronco y piernas: 6  
**PUNTAJE FINAL: 7**

EMPRESA: Cuatro limpio PUESTO DE TRABAJO: operador OPERACIÓN: Cortadora  
 ANALISTA: Ise Aní Silva Lopez FECHA: 20-Mayo-2018

Figura 11. Evaluación del operador 2

El operador 3 se encarga de direccionar los tubos graduados para que los operadores sigüentes inspeccionen y empaquen. Permanece en una posición estática la mayor parte de su jornada laboral, lo que provoca cansancio de cadera y espalda por los constantes giros de su tronco y desequilibrio de sus piernas al recargar todo el peso de su cuerpo a un solo lado (Figura 12).

La evaluación ergonómica muestra, que su brazo izquierdo tiene una flexión mayor a 45 grados y le otorga una puntuación de 3 y se le suma 1 punto más al tener abducido el brazo obteniendo un total de 4. El antebrazo tiene una flexión con un ángulo de 130 grados lo que da una puntuación de 2, se agrega 1 punto más al trabajar a través de la línea media del cuerpo lo que da una puntuación de 3. La muñeca del operador hace una flexión al dirigir los tubos con un ángulo mayor de 15 grados da una puntuación de 3 y se agrega 1 punto más por la torsión fuera de la línea media, obteniendo 1 punto más por el giro de su muñeca a un rango medio. Al posicionar los valores en la tabla se tiene una puntuación total de 6 para el Grupo A.



Figura 12. Postura crítica del operador 3

Al direccionar las piezas, el cuello del operador 3 hace una flexión a un ángulo mayor de 20 grados le otorga una puntuación de 3. Su tronco se flexiona con un ángulo mayor de 20 grados, esto le otorga una puntuación de 2, y se agrega 1 punto más por girar su tronco, lo que da una puntuación de 3. El giro le ocasiona un desequilibrio en sus piernas lo que agrega 2 puntos más. Estos valores posicionados en la tabla dan un puntaje total de 6 para el grupo B.

Al sumar los puntajes del Grupo A y B se obtiene un puntaje final de 7, que sugiere una investigación y un cambio inmediato de las condiciones de operación.

Los operadores 4, 5, 6 y 7, en el subproceso de empaquetado, debido a la carga y descarga de material e inspección de los tubos graduados, mantienen el foco de atención en las manos y el cuello. Los resultados de las evaluaciones ergonómicas con el método RULA, dieron un puntaje final de entre 6 y 7 que sugiere investigación y cambios inmediatos de las condiciones de operación.

Los resultados de la evaluación ergonómica de los siete operadores del proceso de impresión de buretas presentan niveles de actuación con un puntaje entre 6 y 7 lo que sugiere que se investigue y cambie rápido la manera como se realizan sus actividades.

## CONCLUSIONES

Con el estudio de los tiempos de los operadores, se propuso balancear la carga de trabajo del operador 2, colocando al operador 1 del otro lado de la banda para que tuviera la actividad de carga y descarga en la banda de la impresora, así también almacenar el excedente de producción. Para la actividad que realiza el operador

3, se propuso diseñar un dispositivo que automatice la orientación de las buretas en la banda, lo que elimina la actividad del operador 3. Para la actividad de empaque, se tienen un intervalo de confianza del 95% en el tiempo muerto de 15 a 18 segundos en las 8 piezas, por lo que se propuso dejar a tres operadores de los cuatro que se tiene.

Para mejorar las condiciones de trabajo de los operadores, se realizaron propuestas de mejora para la línea con la intención de bajar el nivel de riesgo que presenta cada operador al desempeñar sus actividades.

Para los operadores 1, 2 y 3 se recomendó utilizar una silla giratoria con respaldo, y de altura ajustable que le permita al operador adaptarse a las diferentes alturas de las bandas del proceso. Esto ayudará a que los operadores mantengan su codo a 90 grados de flexión y eliminen giros en sus troncos, previniendo así trastornos músculo esqueléticos acumulativos.

Se recomendó colocar una lupa con iluminación en la banda de la cortadora para que el operador 1 pueda realizar la inspección de los tubos sin inclinarse, de forma cómoda y con una mejor visión. De este modo se podrá eliminar la inspección del operador 2 de la cortadora delimitando su trabajo a solo transportar los tubos a la banda de la impresora. Esto ayudará al operador 2, tendrá mayor eficiencia en el llenado de la banda de la impresora.

Para el operador 3 se recomendó colocar una lupa con iluminación en la banda de empaquetado, para que al salir los tubos impresos se inspeccionen y redirijan los tubos y los operadores posteriores realicen su empaquetado con mayor fluidez.

Otra opción para el operador 1 es moverlo al final de la banda de la cortadora del lado derecho para equilibrar la carga de trabajo del operador 2 al transportar los tubos de plástico a la banda de la impresora.

Para los operadores en el proceso de impresión se sugirió diseñar una herramienta que permita sustituir los dedos como herramienta para carga y descarga de los tubos, disminuyendo los movimientos riesgosos de las manos, evitando los ángulos de flexión y giros de la posición neutra de la muñeca.

En las bandas del proceso de impresión se localizan aspiradoras que ayudan a la eliminación de partículas en los tubos, para que el vacío de la aspiradora sea efectivo, se recomendó colocar láminas de acrílico transparente que cubran las bandas de corte y empaque dejando un espacio propio para la toma del material, así mismo evita que los operadores realicen movimientos innecesarios al tomar las piezas antes de tiempo.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Batante, M. C., Asensio, S. C., & Diego, J. M. (2012). *Evaluación ergonómica de puestos de trabajo (1ra ed.)*. Madrid, España: Ediciones Paraninfo.
- [2] Betterton, C. E., & Silver, S. J. (2012). *Detecting bottlenecks in serial production lines – a focus on interdeparture time variance*. *International Journal of Production Research*, 4159-4162.
- [3] Freivalds, A., & Niebel, B. W. (2009). *Ingeniería Industrial: Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo (12a ed.)* México, DF: McGraw-Hill.
- [4] Fonseca, M., & Moraga, A. (2011). *Desórdenes del sistema músculo-esquelético por trauma acumulativo en estudiantes universitarios de computación e informática*. Repositorio Institucional de la Universidad de Costa Rica, 2.
- [5] Hodson, W. K. (2001). *Manual del Ingeniero Industrial*. México: Mc Graw Hill.
- [6] Meyers, F. E. (2000). *Estudio de tiempos y movimientos (2nd ed.)*. México: Person Educación.
- [7] Neira, A. M., Peña, D. L., & Ruiz, R. A. (2016). *Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento*. *Scientia et Technica*, 240-241.