

# Estudio de tiempos para mejorar la productividad de las líneas de producción en una planta de autopartes de Celaya

***José Ignacio Vélez Navarrete***

Instituto Tecnológico de Celaya

*08030844@itcelaya.edu.mx*

***Salvador Hernández González***

Instituto Tecnológico de Celaya

*salvador.hernandez@itcelaya.edu.mx*

***Miguel Ángel Melchor Navarro***

Instituto Tecnológico de Celaya

*miguel.melchor@itcelaya.edu.mx*

***Vicente Figueroa Fernández***

Instituto Tecnológico de Celaya

*vicente.figueroa@itcelaya.edu.mx*

## 1. Introducción

Garantizar el buen uso de recursos humanos y materiales en las operaciones productivas son metas que las empresas establecen como parte de sus operaciones diarias. Para conseguirlas, es necesario primero identificar los elementos y/o procesos críticos que afectan directamente el nivel de productividad de las células o estaciones de trabajo, identificar oportunidades de mejora de condiciones de trabajo del operador para que sean ergonómicas y seguras.

En este sentido el desarrollo de cualquier empresa trae consigo la necesidad de mejora continua en los procesos, la gente y las células de trabajo con el fin de lograr y mantener un alto nivel de productividad de sus unidades de negocio, por tanto, la mecánica adecuada de balanceo de operaciones entre hombre y máquina, nos

permitirá identificar y establecer los parámetros adecuados de medición para la productividad de las células

En este trabajo se presenta el caso de una planta de autopartes de Celaya donde se aplican las herramientas del estudio de tiempos para establecer la mecánica adecuada de balanceo de operaciones entre hombre y máquina, así como identificar y establecer los parámetros adecuados de medición para la productividad de las células.

## **2. Antecedentes**

En la presente sección se hará una breve descripción de las metodologías utilizadas para la solución de los problemas mencionados anteriormente.

### **2.1 El estudio de tiempos**

El estudio de tiempo se define como *el análisis de una operación específica con el fin de determinar los elementos de trabajo requeridos para realizarla, el orden en que ocurren estos elementos y los tiempos requeridos para llevarla a cabo en forma eficiente.* (Maynard & Zandin, 2008). Esta área de la Ingeniería Industrial juega un papel importante en la productividad de cualquier empresa de productos o servicios: se pueden determinar los estándares de tiempo para la planeación, calcular costos, programar, contratar, evaluar la productividad, establecer planes de pago, entre otras actividades por lo que, cualquier empresa que busque un alto nivel competitivo debe centrar su atención (entre otras) en las técnicas de estudio de tiempos, y tener la capacidad de seleccionar la técnica adecuada para analizar la actividad seleccionada.

En la planta de partes automotrices, el estudio de tiempos es utilizado comúnmente para definir el tiempo estándar (tiempo ciclo) de producción de todas las unidades de negocio. Las áreas de ingeniería industrial, del departamento de manufactura, realizan los estudios de tiempos y establecen los tiempos estándar, los cuales son utilizados por otros departamentos para la programación de la producción, la estimación de capacidades, la adquisición de nuevos negocios, etc.

El área de Ingeniería Industrial utiliza los estudios de tiempos también para detectar oportunidades de mejora, detectar problemas de producción y dar seguimiento a

mejoras, reparaciones o modificaciones hechas a las células (Maynhard & Zandin, 2008).

## **2.2 Rediseño de sistemas de manejo de materiales**

Hay muchos factores para tener en cuenta para desarrollar o modificar sistemas de manejo de materiales: el material, el medio ambiente requerido (refrigerador, congelador, etc.), el volumen y la velocidad de movimiento, el tipo de instalación necesario, que tipo de equipo se requiere y con qué nivel de automatización. (Maynhard & Zandin, 2008)

Si bien, muchas de las maquinas son alimentadas de manera manual, la gran mayoría de las operaciones son alimentadas en forma automatizada, siendo el tiempo de carga y descarga parte importante del tiempo ciclo, porque es una parte importante que no agrega valor real a la pieza, por lo que en las empresas la búsqueda de sistemas más efectivos nunca se detiene. De igual manera para las operaciones manuales, el manejo de materiales debe ser una forma de facilitar el trabajo al operador, de manera que su productividad se vea lo menos afectada posible por la fatiga.

Dado el énfasis actual que se pone en la ergonomía, se dio una nueva importancia a los temas de manejo de materiales. Esto se debe a que brindar una ergonomía apropiada en cualquier relación de un ser humano con un proceso implica equipos y/o métodos modificados. (Maynhard & Zandin, 2008)

Como menciona Maynhard en el Manual del ingeniero industrial, la metodología para diseñar, o rediseñar los sistemas de manejo de materiales se basa en 10 principios básicos:

- **Planificación:** el diseño es resultado de un plan con necesidades a resolver, objetivos y métodos bien definidos.
- **Estandarización:** el sistema diseñado debe estandarizarse para alcanzar el rendimiento requerido sin sacrificar la flexibilidad.
- **Trabajo:** el manejo de materiales debe ser siempre el mínimo requerido. Puede calcularse la relación de trabajo dividiendo el flujo de material entre la distancia recorrida.

- Ergonomía: deben reconocerse y respetarse las capacidades y limitaciones de los factores humanos de en los diseños.
- Unidad de carga: debe conocerse el tamaño y los requerimientos de manejo de la unidad de carga, que puede llegar a contener más de una pieza individual.
- Espacio: El espacio de manejo es en tres dimensiones, así que el diseño debe ser aprovechando las 3.
- Sistema productivo: el manejo, la operación y el almacenamiento son un solo sistema, y las necesidades de cada parte deben ser tomadas en cuenta para el diseño.
- Automatización: la automatización solo se utiliza donde se mejora la eficiencia laboral, se uniformiza un proceso, y/o se eliminen actividades repetitivas o inseguras.
- Medio Ambiente: El consumo de energía y el impacto al medio ambiente debe ser un criterio de elección, sistemas que consumen menos energía son más eficientes.
- Costo de ciclo de vida: siempre deben considerarse costos tanto de inversión como de operación, de manera que el sistema debe ser un ahorro a largo plazo y nunca un costo adicional para el proceso.

### **2.3 Balance de líneas de trabajo**

El balanceo es una metodología que busca establecer cargas de trabajo equitativas entre los trabajadores de una línea de producción. Al aplicar esta metodología es posible detectar si hay operadores de más o de menos, y reasignar el trabajo dentro de la misma, a fin de que se aprovechen los recursos de la manera más óptima.

El procedimiento consiste en realizar un estudio de tiempos de las actividades de los operadores y mediante el desarrollo de modelos matemáticos, presentes en la literatura de ingeniería industrial, se determina el nivel de carga de trabajo de cada operador, por pieza con el ciclo actual, y la secuencia ideal para el número de operadores óptimo necesarios para la misma carga de trabajo por pieza.

Por lo regular en las compañías (sobre todo de manufactura) se tienen formatos de

estudios ya estandarizados, donde se han recopilado las fórmulas de balanceo consideradas las más adecuadas para los estudios de la planta, y son estos formatos los que se utilizaron para la solución de los estudios realizados.

### **3. Caso de estudio: empresa de autopartes en Celaya**

A continuación se muestra el caso de una empresa de autopartes radicada en Celaya. Por cuestiones de confidencialidad se omiten los datos relevantes del proceso, sin embargo esto no afecta el rigor científico del estudio.

Dentro de la empresa existe una división conocida como área de ingeniería industrial, y es la encargada de la optimización de recursos productivos tales como el espacio en piso, el manejo de materiales, la mejora de métodos, reducción de movimientos y aseguramiento de flujo de materiales entre otros. Esta área también se encarga del control de tiempo ciclo, que es la principal herramienta de control de producción y planificación que las áreas de producción utilizan para regular sus actividades. También se encarga del diseño de células y su distribución, buscando como ya se mencionó, optimizar el espacio en piso, y asegurar condiciones seguras de trabajo para los operadores. De igual manera busca integrar mejoras de células nuevas en células ya existentes, o adecuarlas, de manera que se puedan aprovechar más los recursos de la planta.

#### **3.1 Descripción de problemas a resolver**

##### **3.1.1 Cargas de trabajo desbalanceadas en la línea A del componente C1**

El C1 es un componente del producto terminado, cuya función es absorber la energía de los movimientos de la dirección en el auto ensamblado. Este componente se produce en varias líneas que son flexibles a cambios de modelo. La línea A es una línea con equipos nuevos, y con la tecnología de producción de C1 más avanzada, la mitad de la línea es completamente automatizada, mientras que la otra mitad, y la alimentación y descarga de la línea son manuales. Para asegurar la competitividad de la compañía en el mercado, se construirá una nueva línea, con las mismas características que la línea A, en cuanto a equipos y maquinaria se refiere, sin embargo, durante los últimos meses, los operadores de esta línea han tenido

problemas debido a que la carga de trabajo que tienen les fatiga mucho, a algunos, mientras que es muy ligera para otros. Como la línea nueva es igual a esta, se espera diseñarla de manera que no se repita el desbalanceo de cargas de trabajo para los operadores, buscando al mismo tiempo la optimización del personal.

### **3.2.1 Célula de roscado y barrenado**

Algunos de los C1 requieren por diseño del cliente, una perforación, que se realiza en una célula compuesta por centros de maquinado y centros de inspección de fisuras. En esta célula teóricamente debería realizarse el barrenado y roscado, un lavado, la inspección de fisuras y un segundo lavado, para su envío al ensamble.

Pero a pesar de tener todos los equipos para realizar el proceso descrito, no se está trabajando de esa manera. El material es sacado de la célula, lavado e inspeccionado fuera de esta, y devuelta para la última lavada y el envío al ensamble. Además de que se están utilizando 9 personas para operar 4 máquinas manuales y 3 automáticas, que se sabe, podrían ser operadas hasta por 4 personas.

### **3.2.2 Manejo de materiales en operación calibrado, área de forja.**

La nave de forja de la planta de autopartes fabrica a partir de barras de acero la preforma de los componentes que se maquinan en la nave de maquinados a través de dos operaciones principales: la forja en caliente y el calibrado. Debido a la expansión que se está teniendo, se ha aumentado la capacidad de la forja en caliente agregando una línea de forja en caliente a la nave, pero no se han aumentado las líneas de calibrado.

Esto último se debe a que las líneas de calibrado, que consisten en prensas hidráulicas que dan las dimensiones finales a las preformas de los componentes, han sido “alentadas” debido a que los sistemas automáticos de carga instalados son muy lentos, y operar la maquina manualmente es demasiado peligroso, aunque en ocasiones debe hacerse para algunos modelos, que los sistemas de manejo no son capaces de cargar.

Por lo tanto, es necesario un sistema más flexible y veloz para realizar la carga de las líneas de la operación de calibrado, para que esta dé abasto a la forja en caliente y se cumpla con la demanda de las operaciones posteriores.

### 3.2.3 Roladora cuello de botella del componente S1.

El rolado es la operación para estriados y roscados más utilizado dentro de la planta, se caracteriza por ser muy veloz en su tiempo de proceso. El S1 es el componente sobre el cual todos los demás componentes se ensamblan, por lo que cada pieza lleva dos estriados, y esta es razón por la cual, el rolado de este componente es más tardado que los demás.

La línea 11 es la línea más nueva, compuesta de máquinas nuevas y veloces casi en su totalidad, sin embargo la roladora utilizada en ella es una de las más antiguas, además de que ha sido reconstruida con componentes no originales, lo que ha llevado a esta línea “modelo” a estancar su producción debido a la roladora, que no puede dar salida a las piezas que le suministra la parte inicial de la línea.

## 4. Análisis

### 4.1 Trabajo estándar en L8 de C1.

Primero se llenó el ciclo de trabajo estándar, que es un registro de los elementos de trabajo que el estudio de tiempos asistido por filmación dio como la secuencia de trabajo cíclica, los resultados de la cargas observadas se graficaron y se concluyó que hay una disparidad en cargas de trabajo (se observa que las cargas de trabajo son dispares y superan el tiempo ciclo de la línea) así como la capacidad sobrada (figura 1a). En la tabla 1 se presentan los resultados del estudio de las actividades.

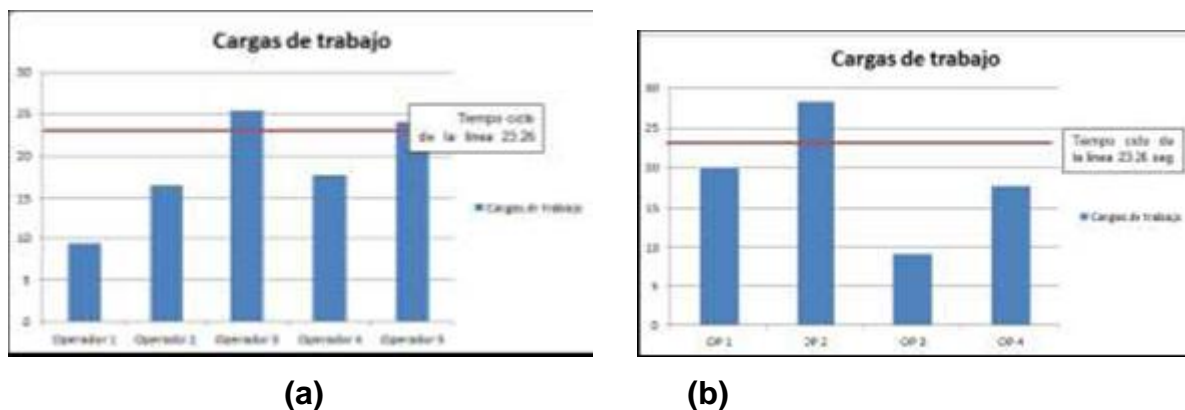


Figura 1 Cargas de trabajo de la línea: (a) Sistema actual: Se observa disparidad entre los operadores. (b) Con reasignación de actividades: prevalece la disparidad entre operadores.

Tabla 1 Resultados del ciclo de trabajo: Estado actual para la línea, el estudio de tiempos sugiere que hay cargas de trabajo desbalanceadas

OEE Objetivo	85%	
T.Ciclo de línea	23.26	Seg.
Pz/hr	154	pz
Total de trabajo manual	63.90	seg
Tiempo disponible (hora)	3060	seg
<b>Operadores requeridos</b>	<b>3.2</b>	<b>gente</b>

Se realizaron modificaciones en las actividades reasignando operaciones a cada operador con la finalidad de balancear las cargas de trabajo. Al obtener las cargas de trabajo se observa que prevalece e inclusive la carga de trabajo de uno de los operadores es mucho mayor al tiempo ciclo; tomando esto como referencia se concluyó que debería realizarse una reubicación de las células de trabajo (figura 1b y tabla 2).

Tabla 2 Resultados del ciclo de trabajo con modificaciones: el estudio de tiempos sugiere que es posible optimizar personal en una persona.

OEE Objetivo	85%	
T. Ciclo de línea	23.26	seg.
Pz/hr	154	pz
Total de trabajo manual	75.23	Seg.
Tiempo disponible (hora)	3060	Seg.
<b>Operadores requeridos</b>	<b>3.8</b>	<b>gente</b>

Con base en esto, se efectuó la reubicación de una de las células, de manera que la estación de inspección de fisuras fue enviada al final de la línea, y al operador de esta se le reasignaron algunas de las tareas de manera de que fuese posible realizar el balanceo. El resultado de dichas modificaciones en las cargas de trabajo fue una distribución más uniforme en la carga de trabajo de cada operador (figura 3 y tabla 3).



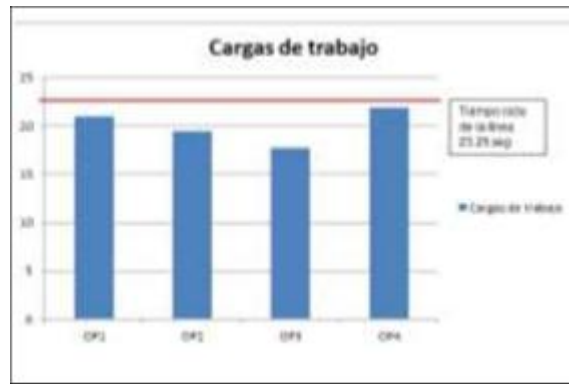


Figura 3. Cargas de trabajo de la línea con la sección de inspección de fisuras al final de la línea. Se observa una carga más uniforme entre los operadores.

Tabla 3 Ciclo de trabajo con las tareas balanceadas después de ser reubicada la estación de inspección de fisuras.

OEE Objetivo	85%	
T. Ciclo de línea	23.26	Seg.
Pz/hr	154	pz
Total de trabajo manual	79.90	Seg.
Tiempo disponible (hora)	3060	Seg.
<b>Operadores requeridos</b>	<b>4.0</b>	<b>gente</b>

De los resultados anteriores se concluye que la mejor forma de realizar la estandarización de cargas de trabajo es reubicar la inspección de fisuras, y asignando las tareas como lo demuestra el ciclo de trabajo propuesto.

#### 4.2 Trabajo estándar en la célula de roscado

Para el caso de la célula de roscado, se buscaba que los operadores utilizaran los equipos de la línea, pues al no usarlos era necesario contratar mano de obra extra de outsourcing, el ciclo de trabajo y la carta estándar de la situación actual muestran la magnitud del problema.

Los operadores de outsourcing no utilizan los equipos de inspección fisuras de la célula y llevan entre cuatro personas las piezas a otra línea.

Se realizó el estudio de tiempos asistido por filme, y el dimensionamiento de distancias, estaciones etc. y se vaciaron los datos en formato de ciclo de trabajo de la misma forma que en el caso de la Línea 8. En el resultado se observa que sobra al menos una persona si se continúa trabajando de esta forma (tabla 4), y para confirmar este dato se construyeron las gráficas correspondientes a las cargas de trabajo (figura 4a).

Tabla 4 Ciclo de trabajo. Estado actual y con reasignación de operaciones dentro de una sola célula.

OEE Objetivo	85%	
T. Ciclo de línea	30.07	Seg.
Pz/hr	119	pz
Total de trabajo manual	202.80	Seg.
Tiempo disponible (hora)	3384	Seg.
<b>Operadores requeridos</b>	<b>7.1</b>	<b>gente</b>

OEE Objetivo	85%	
T. Ciclo de línea	30.07	Seg.
Pz/hr	119	pz
Total de trabajo manual	111.15	Seg.
Tiempo disponible (hora)	3384	Seg.
<b>Operadores requeridos</b>	<b>3.9</b>	<b>gente</b>

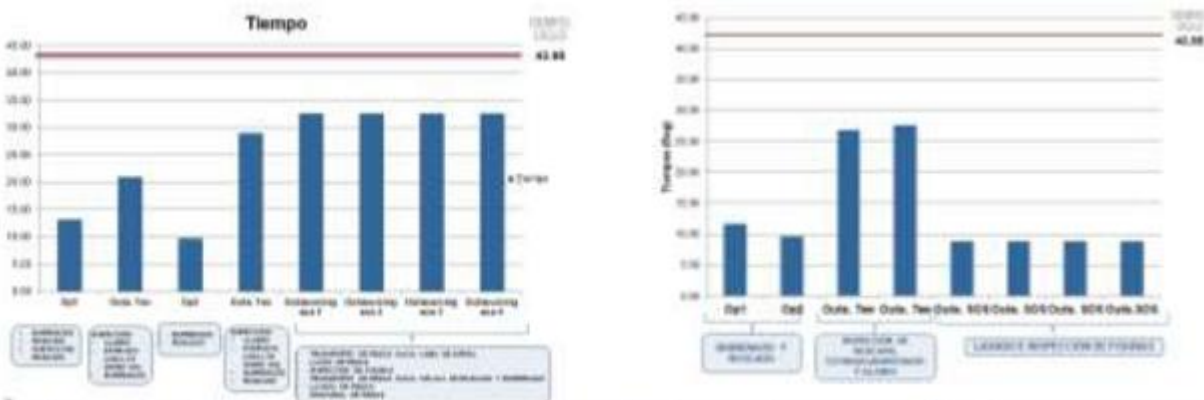


Figura 4. Cargas de trabajo: (a) Estado actual donde se observa disparidad en las cargas. (b) Cargas de trabajo con modificaciones

Como lo que se busca es utilizar los equipos dentro de la célula se realizó un escenario supuesto de cómo deberían distribuirse las cargas de trabajo dentro de una sola célula

de trabajo, obteniéndose la tabla 4; con estos datos se determinaron las cargas de trabajo las cuales se graficaron y se pudo determinar que el área de oportunidad está en (figura 4b).

Con base en la información anterior, se reasignaron las tareas entre las 4 personas que el ciclo de trabajo indicaba, además de que se propuso redistribuir las mesas de trabajo de manera que fuera sencillo para cada operador realizar sus propias tareas.

Se realizó un análisis de sensibilidad sobre la operación con 3 operadores, se graficaron las cargas de ambas propuestas y observó que era posible mejorar la distribución de cargas de los operadores (figura 5 a y b). Tomando como referencia éste resultado, se preparó una propuesta adicional de 3 operadores, asignando ambas estaciones de inspección de fisuras a una sola persona y aplicando el formato de ciclo de trabajo.

Tabla 5 Ciclo de trabajo. Propuesta inicial con 3 operadores y nueva con 3 operadores

OEE Objetivo	85%		OEE Objetivo	85%	
Ciclo de línea	30.0	Seg.	T.Ciclo de línea	30.07	Seg.
Pza./hr	7		Pz/hr	119	pz
Total de trabajo manual	86.5	Seg.	Total de trabajo manual	86.68	Seg.
	4				
Tiempo disponible (hora)	3384	Seg.	Tiempo disponible (hora)	3384	Seg.
<b>Operadores requeridos</b>	<b>3.0</b>	<b>gente</b>	<b>Operadores requeridos</b>	<b>3.0</b>	<b>gente</b>

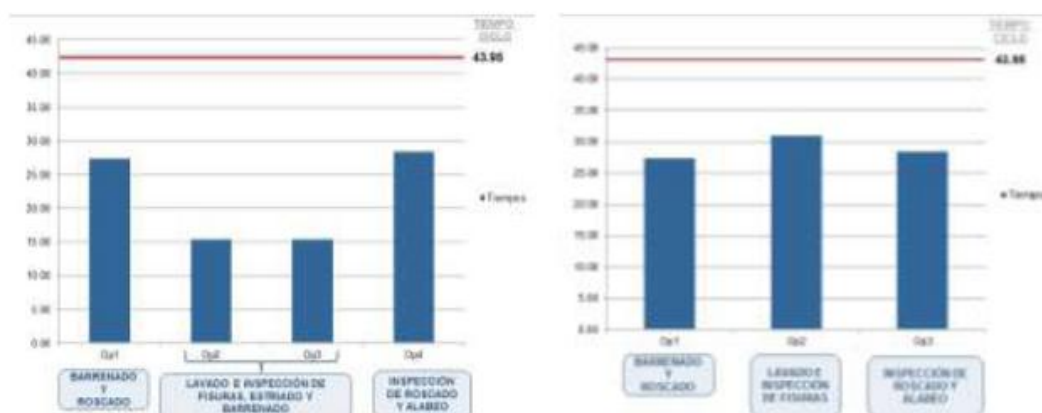


Figura 5. Cargas de trabajo: (a) Propuesta original con 3 operadores. (b) Propuesta nueva con 3 operadores, se observa una mejora en la distribución de las cargas de trabajo

Debido a que optimizar personal es un proceso largo y no siempre muy bien recibido, se presentaron ambas propuestas sugiriéndose que a corto plazo se trabajara con 4 personas y a largo plazo se utilizaran 3.

### 4.3 Rediseño del manejo de materiales en las prensas de calibrado

El estudio de tiempos y movimientos dio como resultado el promedio de cuanto duran los movimientos de toda la operación, estos se grafican de manera que es posible detectar el área de oportunidad, al observarse simultáneamente como se hacen las secuencias de movimientos, y donde comienza el retraso, y el resultado se presenta en la figura 6.



Figura 6 Diagrama de movimientos simultáneos, elementos de trabajo de operación calibrado.

La propuesta consistió en que con un posicionador adicional, era posible reducir la espera del robot a cero segundos, pues los movimientos de la pieza izquierda y derecha se harían al mismo tiempo, mientras que reprogramando el robot era posible reducir lo que resta de la espera de la prensa, haciendo la carga durante la última parte del regreso del punzón reduciendo el tiempo ciclo de 8.15 a 4.30 segundos.

Para realizar la propuesta es necesario cambiar el transportador por uno de banda y colocar 2 gripers con movimiento hacia atrás y delante, y varios pistones con triangulo

de manera que se cargaran 2 piezas de manera simultánea, y el robot fuera el que las volteara, el sketch del sistema de manejo es el representado por la figura 7.

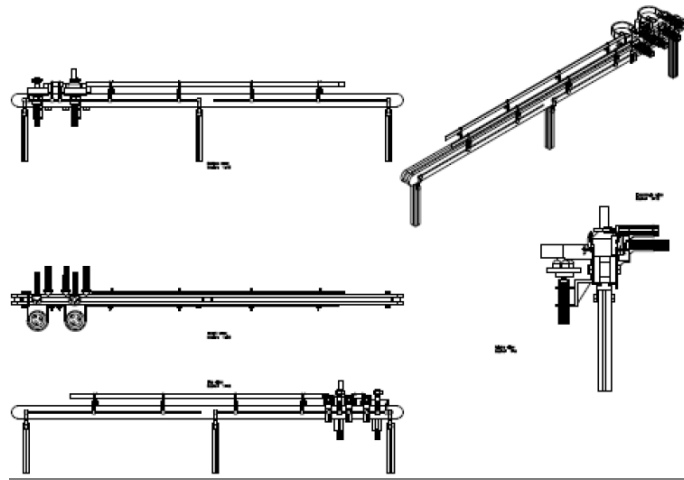


Figura 7 Sketch del sistema de manejo de materiales propuesto, el sistema puede posicionar y alimentar 2 piezas al mismo tiempo.

#### 4.4 Propuestas de mejora para roladora cuello de botella en L11 de S1

En la roladora los estudios de tiempos de mostraron que si bien, se podían tener mejoras en el manejo de materiales, eran los movimientos de la maquina los que eran muy lentos como podemos observar en la figura 8.

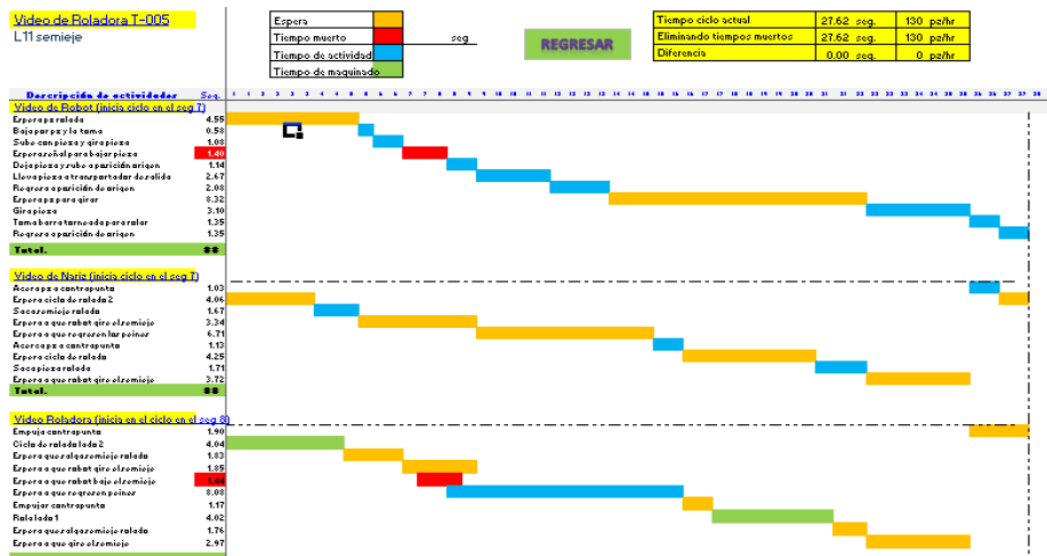


Figura 8 Diagrama de movimientos simultáneos de elementos de trabajo de roladora L11 S1.

Para identificar los elementos de la roladora con oportunidades de mejora son la nariz, el hidráulico y los peines. La máquina de la es la más lenta tiene varias diferencias con respecto a las otras líneas, como un apoyo de pieza estático, en lugar de uno giratorio, y un hidráulico más pequeño.

El hidráulico es el equipo que da potencia y velocidad a los movimientos de la máquina, y al comparar con la roladora de la línea 8, donde el hidráulico es mucho más grande y da más presión, se observó la misma operación mucho más rápida. Investigando el historial de mantenimiento de la maquina se descubrió que el hidráulico que actualmente tiene la roladora, originalmente era de un compresor de aire, y fue instalado ahí después de que el original se averió, explicando por qué la maquina es la más lenta.

Para comprobar el desempeño de las diferentes maquinas se realizó un estudio comparativo de tiempos de las tres máquinas, donde se muestran las diferencias entre componentes, que es fácilmente visualizable en la figura 9.

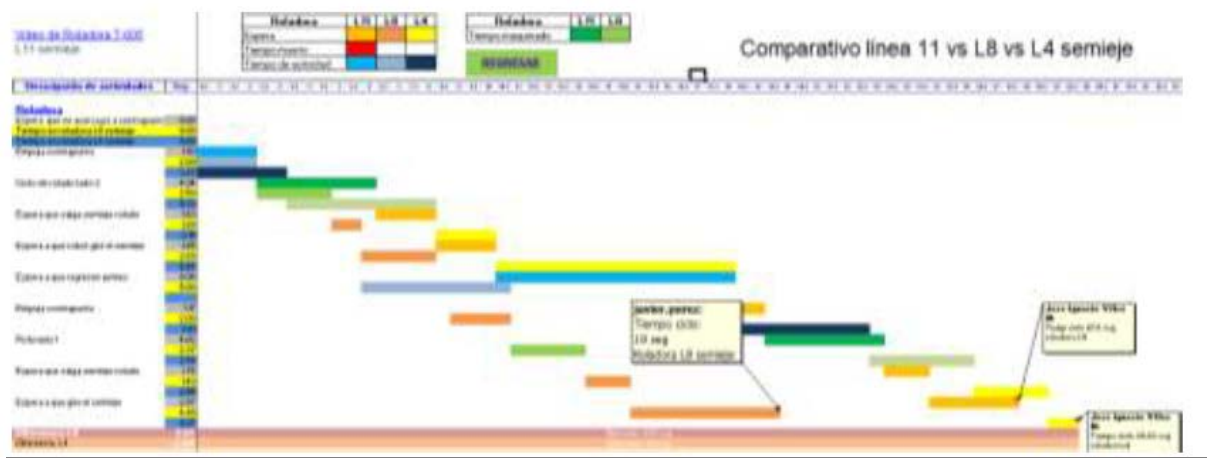


Figura 9. Comparativo de movimientos entre las roladoras, arriba la línea 11, en medio la línea 4 y abajo la línea 8.

De este comparativo se generó una propuesta reemplazando todos los componentes que se detectaron, por los equivalentes en las otras máquinas obteniendo el ciclo indicado por la figura 10.



- [2] Maynard, H. B., & Zandin, K. b. (2008). *Manual del ingeniero industrial* (Vol. I). Ed. McGraw-Hill.
- [3] Niebel, B. W., & Freivalds, A. (s.f.). *Metodos estandares y diseño del trabajo*. Onceava ed., Vol. I. Pennsylvania, Estados Unidos de America: ALFAOMEGA.