

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



Software para cálculo de balanceo por el método de Pesos posicionales ponderados

Tesis

para cubrir los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Ramón Eduardo Castañeda Pacheco

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México
2019

Software para cálculo de balanceo por el método de Pesos Posicionales Ponderados

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en
Ciencias de la Ingeniería

Presenta:

Ramón Eduardo Castañeda Pacheco

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Dra. _____
Dr. _____
Dr. _____
Dra. _____

Dr. Ricardo Martínez Soto
Coordinador del Posgrado en Ingeniería e
Innovación

Resumen de la tesis que presenta **Ramón Eduardo Castañeda Pacheco** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería e innovación.

Software para cálculo de balanceo por el método de Pesos Posicionales Ponderados

La presente tesis basó su desarrollo en un software de cálculo para balanceo de operaciones de lijado en la empresa Schlage de Mexico S. A. de C. V. debido a la falta en el volumen producido durante el primer trimestre del 2019 con un apego del 92%.

El objetivo fue incrementar la productividad de las células de producción hasta alcanzar un apego mínimo del 98% al volumen de producción mejorando el desempeño y agilizando los procesos en las estaciones de trabajo a través de la implementación de un software para el cálculo de balanceo.

El Proyecto es basado en una investigación documental en la cual fueron evaluados diversos métodos de balanceo los cuales fueron sometidos a cálculos con la finalidad de validar la efectividad de cada uno de ellos y de esta manera seleccionar el modelo con mayor productividad. Seguido del análisis de métodos fue desarrollado el software para el cálculo de balanceo de operaciones mediante el método de Pesos Posicionales Ponderados el cual fue sometido a pruebas estadísticas para confirmar la existencia de un cambio significativo en el proceso posterior a la implementación y así confirmar la efectividad del cambio.

De esta manera fue concluida la mejora del modelo de Pesos Posicionales Ponderados en comparación con el de Heurística de tiempos más largos, por la característica de productividad o piezas por operador.

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Palabras clave: Método, Pesos Posicionales Ponderados, Productividad

Abstract of the thesis presented by **Ramon Eduardo Castaneda Pacheco** as a partial requirement to obtain the Master or Doctor of Science degree in Engineering and Innovation with orientation in

Software for line balancing by the Positional Weight method

This thesis is based on a calculation software for balancing sanding operations in the company Schlage of Mexico S. A. de C. V. due to the lack in the volume produced during the first quarter of 2019 with an attachment of 92%.

The objective was to increase the productivity of the production cells until reaching a minimum attachment of 98% to the volume of production, improving the performance and speeding up the processes in the work stations through the implementation of a software for balancing.

The Project is based on a documentary research in which various balancing methods are evaluated which were subjected to calculations in order to validate the effectiveness of each of them and thus select the model with higher productivity. Following the analysis of methods, software was developed for the calculation of the balancing of operations through the Weighted Positional Weights method, which was subjected to statistical tests to confirm a significant change in the post-implementation process and thus confirm the effectiveness change.

In this way, it was possible to conclude the improvement of the Weighted Positional Weights model in comparison with the Heuristic of longer times, by the characteristic of productivity or parts per operator.

Abstract approved by:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Keywords: Method, Weighted Positional Weights, Productivity

Dedicatoria

A mi Madre Ofelia Pacheco.

Por su paciencia y dedicación en cada una de las etapas de mi formación. Por sus consejos y motivación durante el periodo de posgrado.

A mi padre Ramón Castañeda.

Por sus ejemplos de constancia y determinación para salir adelante al demostrar siempre tenemos una opción adicional.

A mi prometida Abby Salazar.

Por su gran apoyo durante los últimos años, tolerancia y cariño. Por creer en mí y ser un ejemplo de mejora constante en toda situación. Gracias por todo el amor.

A mis hermanos.

Por ser un gran ejemplo de apoyo unión y trabajo en equipo: Cristy Castañeda, Jorge Castañeda, Cristyan Castañeda y Karen Castañeda.

A mis compañeros de equipo.

Por su ayuda y dedicación en cada uno de los proyectos desarrollados durante esta nueva etapa. A todos muchas gracias por su colaboración.

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas quienes participaron de manera directa e indirectamente en la elaboración de esta tesis. Especialmente a familiares y amigos los cuales demostraron su interés durante el proceso, su paciencia y motivación.

A mi madre Ofelia Pacheco, por todo su cariño y comprensión, por ser el ejemplo de esfuerzo, amor y dedicación más grande. A mi padre Ramón Castañeda quien me dio su apoyo incondicional durante mis estudios, por enseñarme a tener una buena actitud en cualquier momento.

A mi pareja Abby Salazar le agradezco todo su amor y motivación para concluir con esta nueva etapa. Por enseñarme que todo lo que vale toma tiempo y solo debemos ser pacientes.

Gracias a mis hermanos quienes me han apoyado de manera incondicional en cualquier situación desde niño.

A mis maestros los cuales me enseñaron las bases para concluir con este trabajo, aquellos quienes hicieron su mayor esfuerzo por resolver mis dudas y su motivación para ser autodidacta.

Gracias a mis compañeros de trabajo por darme la retroalimentación para robustecer mi proyecto, por las críticas y las opiniones para la elaboración de este documento.

Gracias especiales a mi primo Oscar Pacheco por enseñarme la única cosa con mayor valor en la vida; el tiempo y como debes dedicarlo a ti y a tus seres queridos.

Lista de figuras

Figura		Página
1	Ensamble de línea Flujo Lineal	3
2	Línea de Ensamble de modelo simple	4
3	Diagrama de precedencia Método de Kilbridge & Wester	8
4	Diagrama de precedencia Método de pesos posicionales ponderados.	10
5	Desarrollo de software y proceso de operación.....	13
6	Flujo de proceso Lijado Comercial	13
7	Flujo de proceso Lijado Residencial	14
8	Flujo de proceso en lijado de Escudos.....	14
9	Flujo de proceso en lijado Horizontal.....	15
10	Línea base volumen primer cuarto 2019.....	16
11	Diagrama de flujo Lijado 06-224 ACC	23
12	Diagrama de flujo Lijado 06-224 ACC por estaciones.....	23
13	Balanceo Pesos posicionales ponderados 06-224 ELA.....	38
14	Balanceo Pesos posicionales ponderados 06-224 MNH	38
15	Balanceo Pesos posicionales ponderados 06-233 MER.....	39
16	Balanceo Pesos posicionales ponderados 06-224 JAZ.....	39
17	Balanceo Pesos posicionales ponderados 08-020 ELA.....	40
18	Balanceo Pesos posicionales ponderados 03-200 RHO.....	40
19	Balanceo Pesos posicionales ponderados 03-200 SPA.....	41
20	Balanceo Pesos posicionales ponderados 03-230 ATH.....	41
21	Balanceo Pesos posicionales ponderados 07-220 NBK.....	42
22	Balanceo Pesos posicionales ponderados 03-233 SPA.....	42
23	Prueba de Normalidad Heurística de tiempos más largos.....	44
24	Prueba de Normalidad Pesos Posicionales Ponderados.....	44

25	Prueba de dos varianzas.....	45
26	Prueba de Hipótesis.....	45
27	Prueba t de dos muestras	46
28	Volumenes Mes Enero – Mayo 2019.....	47
29	Plan de producción Línea Auxiliar.....	48

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Investigaciones en Balanceo de Líneas	5
2	Balanceo Mediante división de trabajo.....	7
3	Paso 1 Heurística de tiempos más largos.....	7
4	Paso 2 Heurística de tiempos más largos.....	8
5	Orden de precedencias y Elementos de trabajo.....	9
6	Estaciones de trabajo Método de Kilbridge & Wester.....	9
7	Calculo de pesos posicionales ponderados.....	11
8	Orden de estaciones Método Peso posicional ponderado	11
9	Tabla de ponderación para selección del modelo de balanceo.....	21
10	Diagrama de precedencia ejemplo 1 Heurística de tiempos más largos.....	24
11	Consolidado de elementos de trabajo Ejemplo 1 Heurística de tiempos más largos.....	24
12	Selección de estaciones Ejemplo 1 Heurística de tiempos más largos.....	24
13	Diagrama de precedencia Ejemplo 1 Pesos posicionales ponderados.....	26
14	Cálculo de pesos posicionales ponderados Ejemplo 1.....	26
15	Cálculo de estaciones por pesos posicionales ponderados.....	27
16	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 06-224 ELA.....	28
17	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 06-224 MNH.....	29
18	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 06-233 MER.....	30
19	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 06-224 JAZ.....	31

20	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 08-020 ELA.....	32
21	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 03-200 RHO.....	33
22	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 03-200 SPA.....	34
23	Balanceo Heurística de tiempos mas largos Modelo 03-230 ATH.....	35
24	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 07-220 NBK.....	36
25	Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 03-233 SPA.....	37
26	Sumario de Productividad por operador.....	43

Índice

	Página
Resumen español	ii
Resumen inglés	iii
Dedicatorias	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	vi
Lista de tablas	vii
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Balanceo de operaciones de forma automática.....	2
Capítulo 2. Antecedentes	3
2.1 Definición de balanceo de línea.....	3
2.1.1 Líneas de Ensamble	4
2.1.2 Evolución del balanceo de líneas.....	5
2.1.3 Variables del balanceo de líneas.....	6
2.1.4 Tipos de balanceo de línea de producción masiva.....	6
2.1.5 Beneficios del balanceo de línea	12
2.2 Automatización del algoritmo de balanceo de línea con software.....	12
2.2.1 Software adaptativo para la automatización del balanceo de líneas.....	12
2.3 Línea base de balanceo de línea	13
Capítulo 3. Justificación y Objetivos	16
3.1 Justificación	16
3.2 Pregunta de Investigación.....	16
3.3 Hipótesis	17
3.4 Objetivo General.....	17
3.5 Objetivos específicos.....	17
Capítulo 4. Metodología	18
4.1 Investigación documental de la problemática.....	18

4.2 Selección del modelo de balanceo.....	18
4.3 Experimentación	19
4.4Análisis estadísticos de los resultados.....	19
Capítulo 5. Resultados Análisis y presentación de resultados	21
5.1 Selección del modelo de balanceo	21
5.2 Comparativa de Modelo Heurística de tiempos más largos y Pesos posicionales ponderados.....	22
5.2.1 Modelo de pesos posicionales ponderados.....	26
5.3 Prueba de factibilidad.....	27
5.4 Cálculo de software: Método de pesos posicionales ponderados.....	38
5.5 Análisis estadísticos: Prueba de normalidad.....	27
5.6 Prueba de dos varianzas.....	27
5.7 Prueba de hipótesis.....	27
Capítulo 6. Discusión de resultados.....	49
Capítulo 7. Conclusiones	50
Capítulo 8. Lista de referencias bibliográficas	51

Capítulo 1. Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo mostrar la relación de un balanceo automático de operaciones manuales con el desempeño del personal directo, mediante el uso de herramientas visuales. Reduciendo los desperdicios al clasificar al personal en el proceso productivo.

Estos beneficios son determinados a través del tiempo de producción utilizado para la clasificación del personal en busca del mejor balanceo en circunstancias donde el ausentismo, la rotación o incrementos inesperados en la demanda son continuamente variables. El propósito de esto es medir la diferencia del método de Heurística del tiempo de tarea más largo comparado a un método automático empleando el modelo de Pesos Posicionales Ponderados .

La importancia de esta investigación es la eficiencia del proceso productivo al no contar con un valor agregado al clasificar el personal en las áreas de producción afectando a las operaciones predecesoras incrementando el tiempo de ciclo al no tener disponibilidad del operario. Adicionalmente el uso de recursos para la administración de estos movimientos genera un costo de producción y en ciertos casos implica el uso de tiempo extra como medida de contención afectando aún más las ganancias de la operación.

Existen diversos trabajos referentes a este tema y diversa cantidad de software para el balanceo de operaciones como: WinQSB, Flexsim entre otros. Este tipo de software es empleado para operaciones de líneas de ensamble usando como variables de entrada tiempo de jornada laboral estaciones y número de operaciones. Ninguno de los softwares actuales considera una restricción la cantidad de personal o habilidades técnicas en las operaciones. Este trabajo, por el contrario, pretende diseñar un software con las consideraciones mencionadas y adicionalmente reasignar a operadores en otras estaciones de acuerdo con el tiempo de ocio.

El capítulo II introduce los antecedentes del balanceo tradicionales y su evolución para finalizar con la descripción del proceso y el estado actual en las células de manufactura.

El capítulo III aborda los detalles de la justificación y objetivos generales y específicos del proyecto, así como la pregunta de investigación. El capítulo IV por otra parte muestra la metodología de investigación para la solución del problema.

El capítulo V muestra la etapa de análisis de la información, donde mediante técnicas estadísticas fue validada la hipótesis del ejercicio. Presenta también la interpretación de los datos obtenidos mediante este método.

El último capítulo revela las conclusiones de la implementación del balanceo automático en la empresa de manufactura Schlage de México además de presentar las recomendaciones, riesgos y oportunidades durante la ejecución.

Capítulo 2. Antecedentes

El balanceo de línea es una de las herramientas más importantes para el control de la producción. En una línea de fabricación equilibrada depende la optimización de ciertas variables las cuales afectan la productividad de un proceso. Establecer una línea de producción balanceada requiere de una juiciosa consecución de datos, aplicación teórica, movimiento de recursos e incluso inversiones económicas. (Vargas, 2006).

2.1 Definición de Balanceo de Línea

El ensamble de línea consiste en un número consecutivo de estaciones de trabajo en las cuales son ensamblados productos mediante tareas sucesivas.

Prabhu, M. y D. Kititsis, (2013) mencionan que el balanceo de línea busca minimizar el número de estaciones de trabajo requeridas por la asignación de tareas precedentes en un tiempo de ciclo límite. Por otra parte Sule, (1994) define el balanceo de línea como una técnica usada en conexión con el diseño de las estaciones de trabajo teniendo como principal objetivo minimizar el tiempo de ocio y distribuir las operaciones de la manera más uniforme posible.

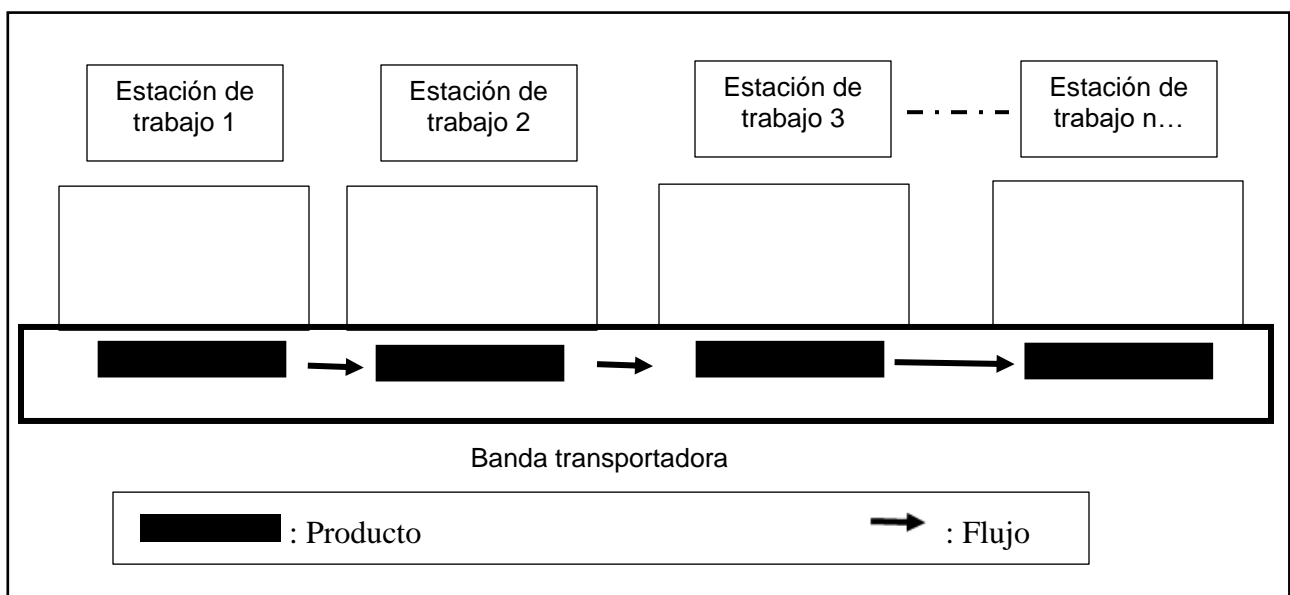


Figura 1. Ensamble de línea Flujo Lineal. Fuente: (Sule,1994)

El balanceo de líneas permite una producción eficiente de alto volumen. Implica asignar todas las tareas de producción necesarias para transformar una unidad a una serie de estaciones de trabajo, de este modo cada estación de trabajo no tendrá más trabajo asignado al definido por un tiempo fijo conocido como tiempo de ciclo. En general, el objetivo del problema de equilibrio de líneas es asignar todas las tareas al menor número de estaciones de trabajo en las diferentes líneas de ensamble (Swamidass, 2000).

2.1.1 Líneas de ensamble

Las diferentes líneas de ensamble pueden ser clasificadas de acuerdo con el tipo de modelos y mezcla la cual procesan.

- Línea de Ensamble de modelo simple: Son aquellas líneas sin variación debido al cambio de modelo. Ver Figura 2 Línea de ensamble de modelo simple.
- Línea de Ensamble de modelos mixtos: En estas líneas el tiempo de preparación para el cambio de modelo disminuye lo suficiente para ser ignorado, esto determina el tipo de modelo a ensamblar. Ver Figura 2 Línea de ensamble de modelos mixtos.
- Línea de ensamble de modelos múltiples: Estas líneas realizan el ensamble en lotes para reducir los impactos en tiempo por cambios de modelo. Ver Figura 2 Línea de ensamble de modelos múltiples.

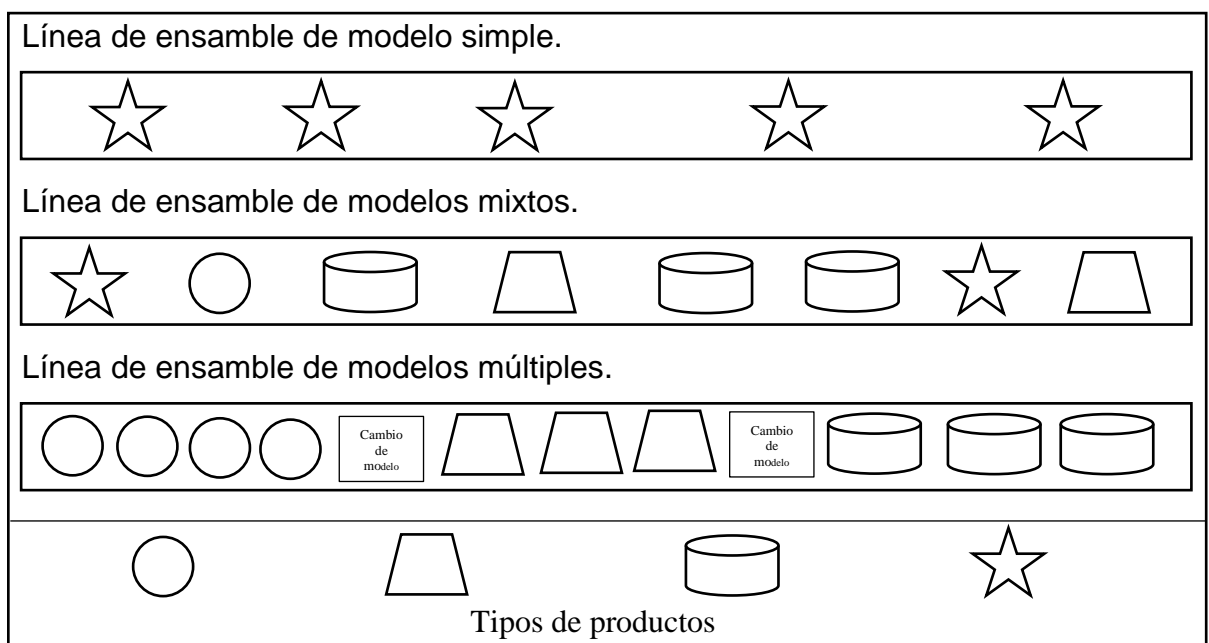


Figura 2 Modelos de líneas de ensamble. Fuente: Elaboración propia

La línea de ensamble continúa variando a través del tiempo.

2.1.2 Evolución del balanceo de Línea

El balanceo de líneas ha sido considerado de las grandes innovaciones del siglo XX, siendo un factor clave para las empresas en la reducción de desperdicios. Un ejemplo es la industria automotriz a comienzos de la revolución industrial donde los operadores trabajaban únicamente en un producto para reducir los tiempos de ensamble. Fue hasta 1901 cuando Ransom Olds patentó la línea de ensamble y mediante esta metodología el crecimiento en el volumen de producción fue de un quinientos por ciento. Este fue el modelo usado por Henry Ford para construir la producción en masa. El balanceo de líneas ha tenido gran cantidad de contribuciones a lo largo de la última década, gran cantidad de autores han experimentado y desarrollado contribuciones a través de diferentes métodos como: Modelos Matemáticos (Gokcen, 2006), Heurísticos (Panneerselvam, 1993), Algoritmos Genéticos (Yegul, 2010), Algoritmo de red Petri (Kilinci, 2006), Algoritmos de Optimización (Tasan, 2008), Algoritmo de la ruta más corta (Kao, 2010), Algoritmo de abeja (Tapkan, 2012). Cada uno de ellos con la finalidad de mejorarla eficiencia en las operaciones (Sivasankaran, 2014).

La tabla 1 muestra aportaciones en balanceo de líneas desde el año 2000. (Dalgodnind, 2014).

Tabla 1 Investigaciones en Balanceo de Líneas Fuente: Elaboración propia.

No	Nombre del Autor (Año)	Tipo de problema de investigación
1	Amen (2000)	Balanceo de Línea orientado a costo
2	Jin and Wu (2002)	Balanceo de líneas mixtas
3	Fleszar and Hindi (2003)	Heurística y reducción de métodos para el balanceo de líneas.
4	Karabati and Sayin (2003)	Balanceo de líneas con secuencia en la mezcla de modelos
5	Simaria and Vilarinho (2004)	MMALB Balanceo Tipo II
6	Fonseca et al. (2005)	Lógica difusa en el balanceo de líneas.
7	Gokcen (2005)	Balanceo simple en celda tipo U.
8	Agpak and Gokcen (2005)	Balanceo en líneas de ensamble.
9	Bukchin and Rabanowith (2006)	MMALB Problema para minimizar estaciones.
10	Levitin et al (2006)	Balanceo de línea en ensamblajes robóticos
11	Gokcen and Agpak (2006)	Balanceo simple en celda tipo U
12	Hop (2006)	Balanceo de modelos con lógica difusa.
13	Gamberini et al (2006)	Rebalanceo de líneas de ensamble

Cada balanceo debe considerar variables específicas para su elaboración.

2.1.3 Variables del balanceo de línea

Al equilibrar una línea, deben tenerse en cuenta los siguientes factores: tasa de salida del producto, restricciones de precedencia, restricciones de zonificación, duplicación o réplicas.

- Salida del producto: Depende de la demanda y el tiempo disponible para su elaboración.
- Restricciones de precedencia: Es el orden de secuencia en la continuación de las tareas.
- Restricciones de zonificación: Estas son restricciones en donde ciertas tareas o combinaciones de tareas deben o no deben tener lugar.
- Duplicación o replica: Esta actividad es realizada cuando cualquier tarea demore más del tiempo de ciclo disponible requiriendo una nueva estación de trabajo.

El problema del balanceo de línea comprende dos aspectos: La determinación del número de estaciones y la asignación de tareas a cada estación con el objetivo de maximizar la eficiencia (Sule, 1994).

2.1.4 Tipos de balanceo de Línea para producción masiva

Existen diversos métodos de balanceo usados comúnmente en la industria para mejorar la eficiencia de procesos:

Balanceo mediante división de trabajo

Este balanceo considera una estación de trabajo para cada elemento de trabajo, el método no tiene consideraciones en las restricciones de zonificación. La división de trabajo es el modelo con menor eficiencia al considerar una persona por operación sin considerar el tiempo requerido. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Balanceo Mediante división de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de Ciclo (Tc)	Tiempo de estación
1	1	0.70	0.70
2	2	0.30	0.30
3	3	1.30	1.30
4	4	0.19	0.19

Heurística del tiempo más largo.

El método es desarrollado mediante dos pasos principales. El primero de ellos es la clasificación descendente de los tiempos de ciclo (Tc) y posteriormente el análisis de estaciones.

1.- El primer paso inicia al clasificar de manera descendente los elementos de trabajo de acuerdo con el Tc. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Paso 1 Heurística de tiempos más largo. Fuente: Elaboración propia.

Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Precedido por
3	0.70	1
8	0.60	3, 4
11	0.60	9, 10
2	0.40	-
10	0.38	5, 8
7	0.32	3
5	0.30	2
9	0.27	6, 7, 8
1	0.12	-
12	0.20	11
6	0.11	3
4	0.10	1,2

2.- El segundo paso es el análisis de los tiempos de ciclo, mediante el cual será agrupado los tiempos para cada estación de acuerdo a los precedentes de los elementos de trabajo. El número de elementos será limitado por el ritmo de producción definido por la demanda y el tiempo total disponible. Ver Tabla 4.

Tabla 4. Paso 2 Heurística del tiempo más largo. Fuente: Elaboración propia.

Estación	Elemento del trabajo	Tiempo Ciclo (min)	Tiempo de Estación
1	2	0.40	1
	5	0.30	
	1	0.20	
	4	0.10	
2	3	0.70	0.81
	6	0.11	
3	8	0.60	0.98
	10	0.38	
4	7	0.32	0.59
	9	0.27	
5	11	0.50	0.62
	12	0.12	

La tabla superior muestra el tiempo máximo de ciclo para la estación de trabajo número uno el cual es equivalente a un minuto, lo cual representa el límite con respecto al ritmo de producción. Por este motivo ninguna de las estaciones supera este cuello de botella.

Método de Kilbridge y Wester

El método tiene inicio en 1961 y es basado en un procedimiento heurístico seleccionando elementos de trabajo para la asignación de las estaciones de acuerdo a su posición en el diagrama de precedencia. A diferencia del método de heurística de tiempo más largo los precedentes tienen una mayor importancia frente a este método. Durante el diagrama de precedencia los elementos son arreglados en listas de acuerdo a las columnas. Si un elemento puede localizarse en más de una columna entonces será mencionado en dicho arreglo. Ver Figura 3.

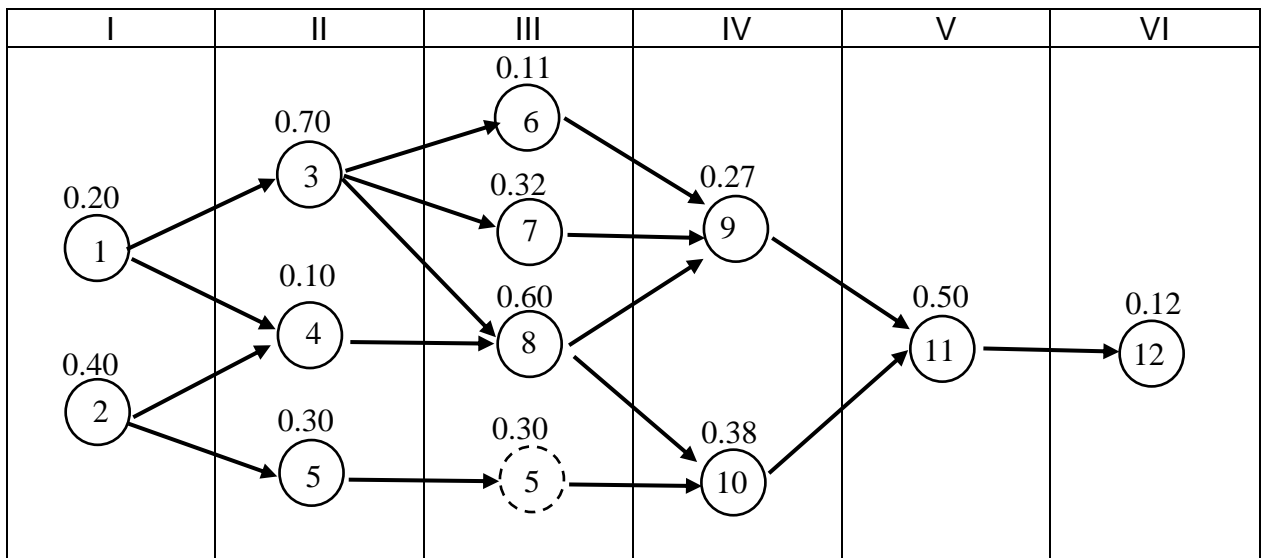


Figura 3 Diagrama de precedencia Método Kilbridge & Wester. Fuente: Elaboración Propia.

Posterior al diagrama de precedencia la información es transportada a una tabla para ordenando los elementos de trabajo de acuerdo el orden de precedencia como prioridad. Tabla Ver 5.

Tabla 5. Orden de precedencias y Elementos de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Elemento de trabajo	Columna	Tiempo de ciclo (min)	Precedido por
2	I	0.40	-
1	I	0.20	-
3	II	0.70	1
5	II, III	0.30	2
4	II	0.10	1, 2
8	III	0.60	3, 4
7	III	0.32	3
6	III	0.11	3
10	IV	0.38	5, 8
9	IV	0.27	6, 7, 8
11	V	0.50	9, 10
12	VI	0.12	11

El último paso en el método Kilbridge & Wester es agrupar los tiempo de ciclo de acuerdo a los precedentes de la tabla y definir el tiempo de estación sin sobrepasar el tiempo de ritmo de producción correspondiente. Ver Tabla 6.

Tabla 6. Estaciones de trabajo Método de Kilbridge & Wester. Fuente Elaboración propia.

Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo (min)	Tiempo de estación (min)
1	2	0.40	1
	1	0.20	
	5	0.30	
	4	0.10	
2	3	0.70	0.81
	6	0.11	
3	8	0.60	0.92
	7	0.32	
4	10	0.38	0.65
	9	0.27	
5	11	0.50	0.62
	12	0.12	

Al comparar ambos métodos podemos apreciar como el número de estaciones para el ejemplo anterior es el mismo, sin embargo, los tiempos por estación difieren entre cada uno.

Método de pesos posicionales ponderados

El método de pesos posicionales ponderados trabaja mediante un valor asignado a cada elemento de trabajo a través del diagrama de precedencia. El primer paso para la implementación de este método es la elaboración del diagrama de precedencia. Ver Figura 4.

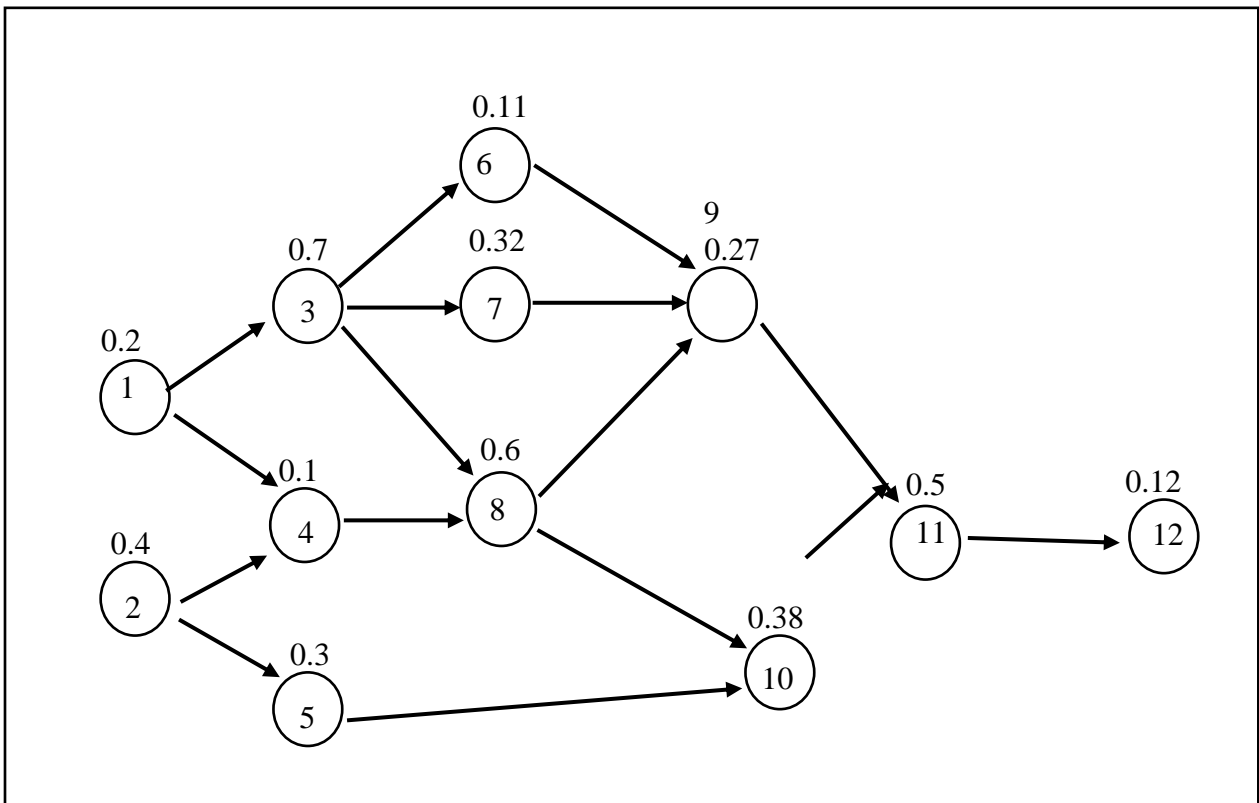


Figura 4 Diagrama de precedencia Método de Pesos Posicionales ponderados. Fuente: Elaboración Propia

Seguido del diagrama de precedencia el siguiente paso es calcular el valor del peso posicional ponderado para cada uno de los elementos de trabajo presentes. Para realizar esto debe realizar la suma de los elementos de trabajo.

Por Ejemplo:

$$PPP_{11} = 0.5 + 0.12 = 0.62$$

$$PP_8 = 0.6 + 0.27 + 0.38 + 0.5 + 0.12 = 1.87$$

Los elementos deben ser compilados en una lista de acuerdo a los valores de Pesos Posicional Ponderados (PPP) y colocados de manera descendente de acuerdo al valor del peso posicional. Ver Tabla 7.

Tabla 7. Calculo de pesos posicionales ponderados. Fuente: Elaboración propia.

Elemento de trabajo	PPP	Tiempo de ciclo (min)	Precedido por
1	3.30	0.20	-
3	3.30	0.70	1
2	2.67	0.40	-
4	1.97	0.10	1, 2
8	1.87	0.60	3, 4
5	1.30	0.30	2
7	1.21	0.32	3
6	1.00	0.11	3
10	1.00	0.38	5, 8
9	0.89	0.27	6, 7, 8
11	0.62	0.50	9, 10
12	0.12	0.12	11

Por último, es necesario agrupar los tiempos de ciclo de cada estación para obtener la cantidad de estaciones de la línea a balancear.

Tabla 8. Orden de estaciones Método Peso posicional ponderado. Fuente: Elaboración propia.

Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo (min)	Tiempo estación (min)
1	1	0.20	0.90
	3	0.70	
2	2	0.40	0.91
	4	0.10	
	5	0.30	
	6	0.11	
3	8	0.60	0.92
	7	0.32	
4	10	0.38	0.65
	9	0.27	
5	11	0.50	0.62
	12	0.12	

En su ritmo más rápido, el balance de la línea mejora y el ritmo de producción incrementa.

Redes de Petri

Las redes de Petri son consideradas una herramienta de estudio de los sistemas. Con su ayuda podemos modelar el comportamiento y la estructura de un sistema, y llevar el modelo a condiciones límite, donde en un sistema real son difíciles de lograr o muy

costosas. La teoría ha llegado a ser reconocida como una metodología establecida en la literatura de la robótica para modelar los sistemas de manufactura flexibles.

Cada uno de los métodos de balanceo ofrecen diferentes tipos de beneficios en las diferentes áreas de aplicación.

2.1.5 Beneficios del balanceo de Línea

Los beneficios del balanceo tienen un impacto significativo inmediato en las organizaciones debido a las consecuencias. Un incremento de velocidad en los procesos productivos denota una mayor capacidad de proceso y por tanto una reducción en los costos de producto, permitiendo generar mayores ganancias para las empresas. Entre los mayores beneficios tenemos:

- Reducir el costo de producción mejorando la productividad
- Determina el número factible de operaciones
- Identifica de manera rápida el cuello de botella y busca eliminarlo
- Identifica la necesidad de nueva maquinaria o recursos
- Distribuye de manera proporcional las cargas de trabajo a través de la línea de producción
- Minimiza el tiempo ocioso y el número de operadores requeridos.

2.2 Automatización del algoritmo de balanceo de línea con software.

Software: Información organizada en forma de sistemas operativos, utilidades, programas y aplicaciones las cuales permiten el funcionamiento de las computadoras. El software está compuesto de instrucciones cuidadosamente organizadas y códigos escritos por programadores de los diversos lenguajes informáticos especiales. Incluyendo por tanto las estructuras de datos y la documentación implícita en el programa. Como concepto general, el software puede dividirse en varias categorías basadas en el tipo de trabajo realizado. Las dos categorías primarias de software son los sistemas operativos, los

cuales controlan los trabajos del ordenador y el software de aplicación el cual dirige las distintas tareas para de una computadora.

2.2.1 Software adaptativo para la automatización del balanceo de líneas

Software de Adaptación

El software adaptativo busca anticiparse a las fuentes posibles de cambios y adaptarse según corresponda si es necesario. Requiere de inspecciones de expertos para descubrir las dependencias imprevistas y planificar las actividades de rediseño mediante una verificación formal en el área de operaciones y la retroalimentación de los usuarios.

Ver Figura 5.

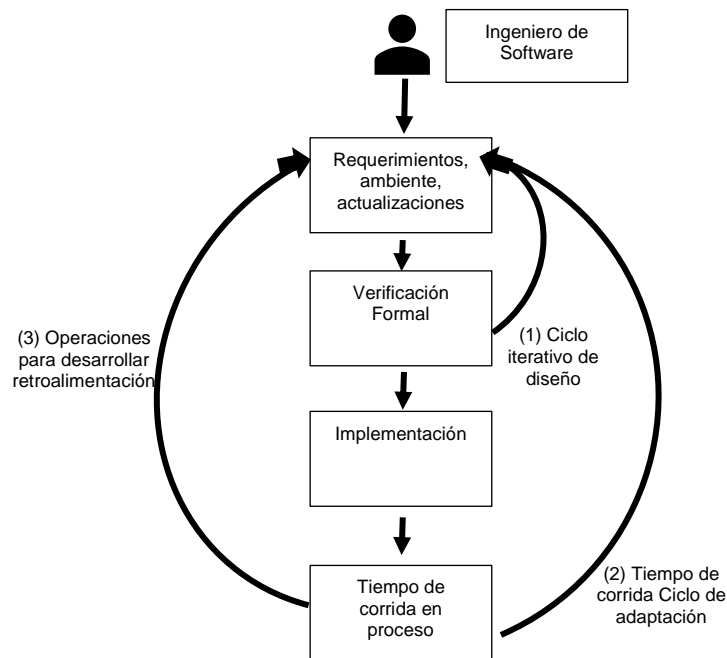


Figura 5. Desarrollo de software y proceso de operación. Fuente: Elaboración Propia

2.3 Línea base de balanceo de líneas actuales

Actualmente el área de lijado en la empresa cuenta con 32 empleados directos calculados bajo el método actual. El está dividida en 4 diferentes secciones.

Lijado comercial: Es el área de preparación de las palancas de uso privado o comercial, por ejemplo; hospitales, escuelas, bancos, centros de gobierno, parques de diversiones etc. Ver Figura 6.

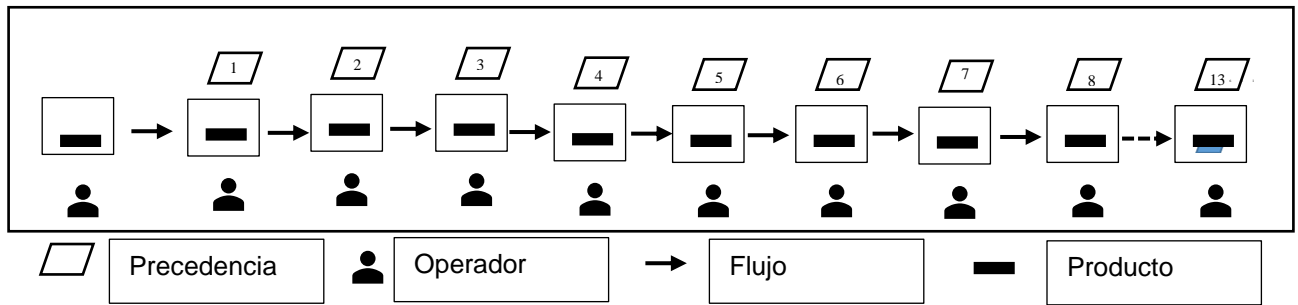


Figura 6. Flujo de proceso lijado comercial. Fuente: Elaboración propia

Lijado residencial: Es el área de preparación de los componentes para casa habitación, representa cerca del 70 % del volumen actual en la empresa. Ver Figura7.

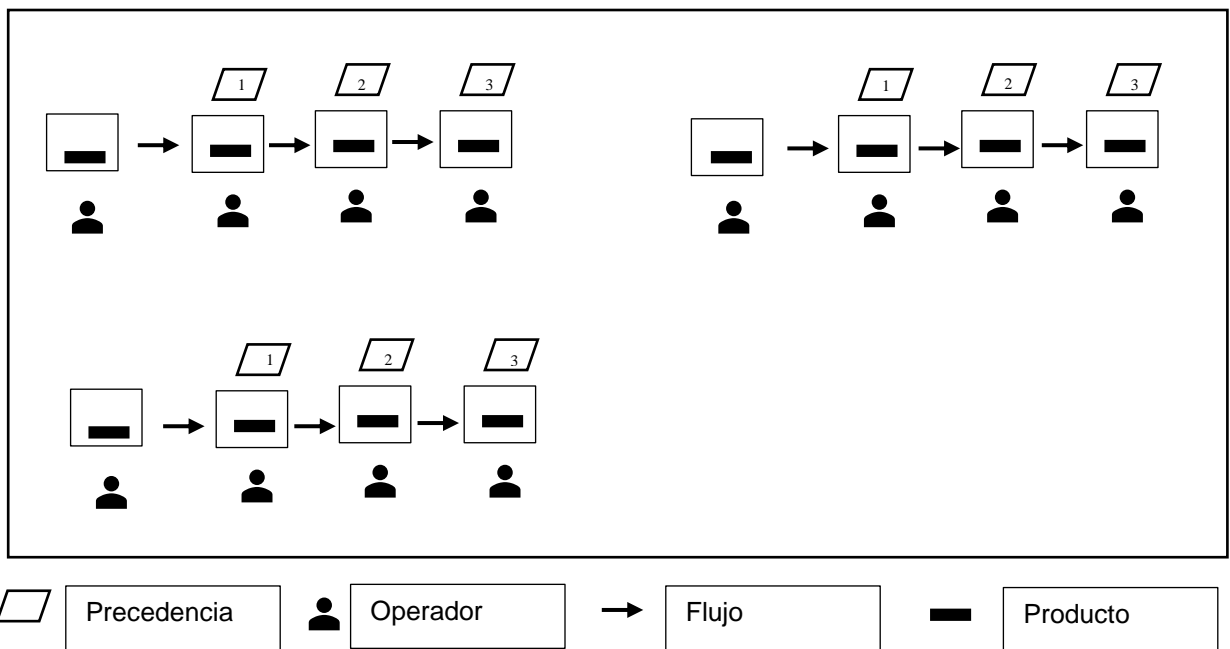


Figura 7. Flujo de proceso en lijado residencial. Fuente: Elaboración propia

Lijado de Escudos: Es el área de preparación para los escudos decorativos en las cerraduras residenciales y comerciales. Es la línea con mayor diversidad de productos y geometrías. Ver Figura 8.

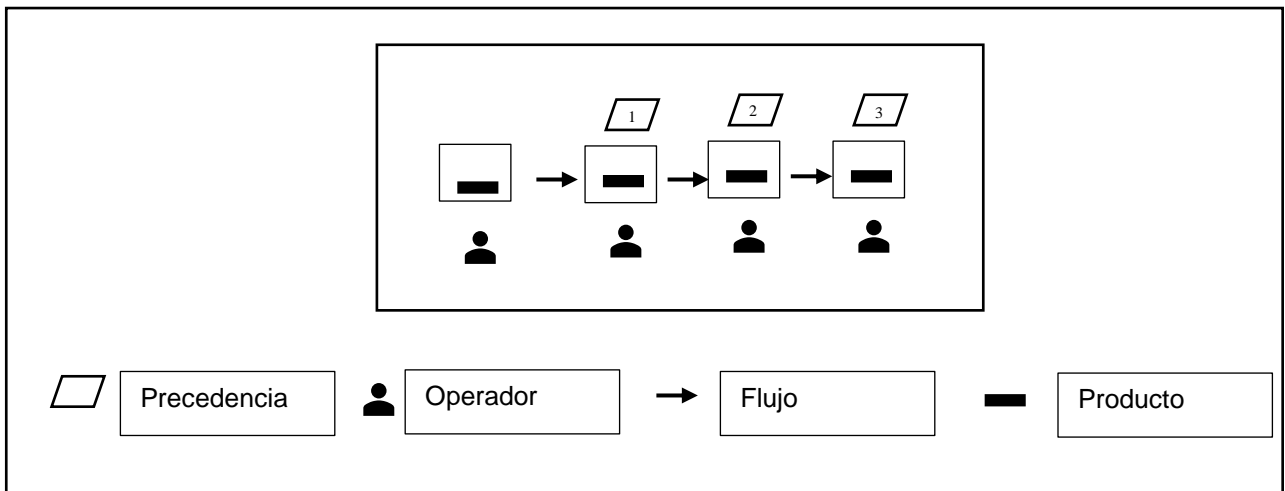


Figura 8. Flujo de proceso en lijado de escudos. Fuente: Elaboración propia

- Lijado horizontal: Es el área de preparación con el segundo lugar en diversidad de geometrías, esta operación es realizada de forma semi automática. Ver Figura 9.

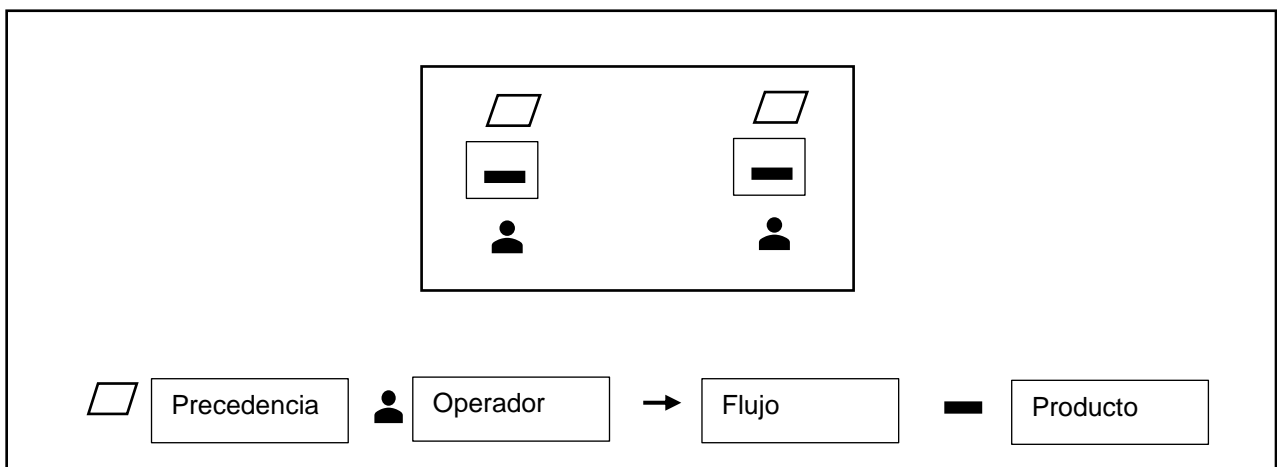


Figura 9. Flujo de proceso en lijado horizontal. Fuente: elaboración propia

Capítulo 3. Justificación y Objetivos

3.1 Justificación

El desarrollo del proyecto pretende incrementar el volumen de producción actual en un 10% obteniendo un apego al plan de un 98%. Considerando una línea base del primer cuatrimestre del año de un 92% de apego al plan de producción y un volumen promedio de 236.1 piezas por operador. Ver Figura 10 Línea base volumen primer cuarto 2019.

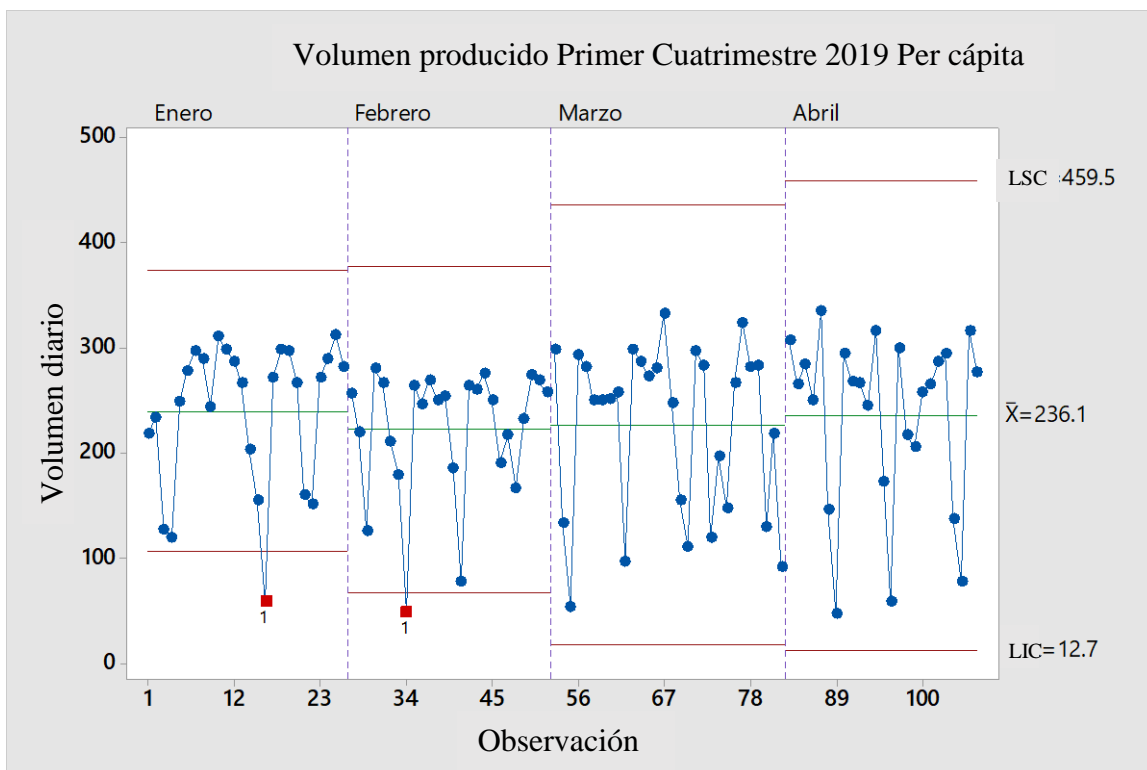


Figura 10 Línea Base Volumen primer cuarto 2019. Fuente: Elaboración Propia

3.2 Pregunta de investigación

¿Existe un modelo de balanceo de línea con mejor salida de proceso que el de heurística de tiempos más largos?

3.3 Hipótesis

Hipótesis Nula: El método de Pesos posicionales ponderados tiene una menor salida de proceso que el método heurístico de tiempos más largos

Hipótesis Alternativa: El método de Pesos posicionales ponderados tiene la misma o mayor salida de proceso que el método heurístico de tiempos más largos.

3.4 Objetivo general

Mejorar la productividad de las células de producción con un modelo automatizado de balanceo.

3.5 Objetivos Específicos

1.- Identificar método de balanceo

2.- Desarrollar software para el cálculo de balanceo automático de las operaciones.

Capítulo 4. Metodología

4.1 Investigación documental de la problemática.

El punto de partida fue una investigación documentada para identificar métodos de balanceo entre ellos balanceo por división de trabajo, heurística de tiempos más largos, promedios ponderados y algoritmo de Petri a través de la historia. Esto con el objetivo de conocer las ventajas de cada uno de los modelos y su eficiencia durante la aplicación describiendo cada uno de los pasos para la construcción de estos modelos. Adicionalmente fueron analizados los distintos tipos de líneas de ensamble seguido de una búsqueda a través del software adaptativo, el cual será usado como parte de la solución durante este ejercicio. Por último, fue realizado un estudio para identificar las características del software iterativo comenzando con una etapa de iteraciones continua como retroalimentación del cliente al programador para adaptar y otorgar mejores resultados durante la ejecución del programa. Este trabajo fue desarrollado como revisión a la posterior selección del modelo de balanceo.

4.2 Selección de modelo de balanceo

La selección del modelo de balanceo será realizada mediante la característica de productividad en el balanceo bajo la siguiente fórmula.

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

Fuente: (De la fuente, 2006)

La productividad es una medida del rendimiento del proceso, pudiendo expresarse como el cociente salidas / entradas. Los recursos o factores productivos considerados como entradas podrán tener tanto carácter material como humano. Los productos resultantes considerados como output, pueden hacer referencia a bienes de uso o a servicios prestados (De la Fuente, 2006).

La eficiencia del balanceo define el mejor uso del personal durante el proceso productivo teniendo como resultado final un mayor incremento en la salida de la línea de producción.

4.3 Experimentación

En esta etapa tendrá lugar la toma de decisión para la selección del método de balanceo, esto definirá el desarrollo del software. El método de balanceo seleccionado fue aquel una mejor productividad en la salida de piezas y un menor número de estaciones, representando un menor costo de implementación.

Seguido de la selección continúa en un cálculo de manera manual entre el método de balanceo actual y el método seleccionado con el objetivo de demostrar la factibilidad para una correcta implementación.

El software será desarrollado para la solución del cálculo manual para demostrar su desempeño antes de la aplicación en el área de producción. Posterior a la etapa de factibilidad, el software será sometido a prueba durante el proceso productivo evaluando la salida de material de las líneas de producción del experimento para posteriormente realizar el análisis estadístico en comparación con el balanceo actual.

4.4 Análisis estadísticos de los resultados

Al concluir con la etapa de experimentación serán analizadas las medias de salida de material en las líneas de producción con el método de balanceo actual en comparación con el proceso de balanceo automático mediante la implementación del software. Repitiendo este ejercicio con el porcentaje defectivo del área validando la posible afectación posterior a la implementación.

Este análisis estará siendo desarrollado en Minitab utilizando la herramienta estadística llamada Prueba T de comparación de medias de dos muestras. El resultado fue evaluado mediante el criterio de P-value para determinar el rechazo o la aceptación de la hipótesis nula. Todo esto realizado posterior a la evaluación de normalidad y prueba de varianzas entre ambos métodos para poder inferir en los resultados.

Capítulo 5. Resultados, análisis y presentación de resultados

5.1 Selección de Modelo de Balanceo

La tabla 9 evalúa la selección del método de balanceo y los valores de ponderación en la tabla son regidos bajo la siguiente clasificación:

3: Regular

5: Bueno

9: Excelente

La valoración de cada característica es basada en la productividad el método de balanceo.

Tabla 9: Tabla de ponderación para selección del modelo de balanceo. Fuente: Elaboración propia.

Método	Aspecto	Regular Hasta 3	Bueno Hasta 5	Excelente Hasta 9	Puntaje	Valor Total
División de trabajo	Productividad	La productividad es baja debido a la eficiencia de balanceo	El método es busca maximizar la productividad por operador	El balceo de operaciones incrementa la productividad de la estación hasta en un 10%	3	9
	Precedencia	El balanceo no considera precedencia	El balanceo considera precedencia	El balanceo considera precedencia y basa su ruta por peso	3	
	Aplicación y Desarrollo	Utilizado en talleres y pequeñas industrias.	Usado en manufactura flexible para el desarrollo de simulaciones.	Usado en balanceos de línea simples y modelos mixtos.	3	
Heurística de tiempos más largos	Productividad	La productividad es baja debido a la eficiencia de balanceo	El método es busca maximizar la productividad por operador	El balceo de operaciones incrementa la productividad de la estación hasta en un 10%	5	19
	Precedencia	El balanceo no considera precedencia	El balanceo considera precedencia	El balanceo considera precedencia y basa su ruta por peso	5	
	Aplicación y Desarrollo	Utilizado en talleres y pequeñas industrias	Usado en manufactura flexible para el desarrollo de simulaciones.	Usado en balanceos de línea simples y modelos mixtos	9	
	Productividad	La productividad es baja debido a la eficiencia de balanceo	El método es busca maximizar la productividad por operador	El balceo de operaciones incrementa la productividad de la estación hasta en un 10%	9	

Pesos Posicionales Ponderados	Precedencia	El balanceo no considera precedencia	El balanceo considera precedencia	El balanceo considera precedencia y basa su ruta por peso	9	27
	Aplicación y Desarrollo	Utilizado en talleres y pequeñas industrias	Usado en manufactura flexible para el desarrollo de simulaciones.	Usado en balanceos de línea simples y modelos mixtos	9	
Algoritmo de Petri	Productividad	La productividad es baja debido a la eficiencia de balanceo	El método es busca maximizar la productividad por operador	El balceo de operaciones incrementa la productividad de la estación hasta en un 10%	9	19
	Precedencia	El balanceo no considera precedencia	El balanceo considera precedencia	El balanceo considera precedencia y basa su ruta por peso	5	
	Aplicación y Desarrollo	Utilizado en talleres y pequeñas industrias	Usado en manufactura flexible para el desarrollo de simulaciones.	Usado en balanceos de línea simples y modelos mixtos	5	

El análisis ponderado para el balanceo el método de pesos posicionales ponderados como el indicado para la aplicación de balanceo de células de manufactura lineales.

5.2 Comparativa de Modelo Heurístico de tiempos más largos y Pesos posicionales Ponderados

Como parte de la validación es usado el modelo 06-224 ACC. Analizado primeramente por el Método de Heurística de tiempos más largos.

El proceso de lijado actual está compuesto actualmente por cuatro pasos los cuales son mostrados en el siguiente diagrama de Flujo. Ver Tabla 11.

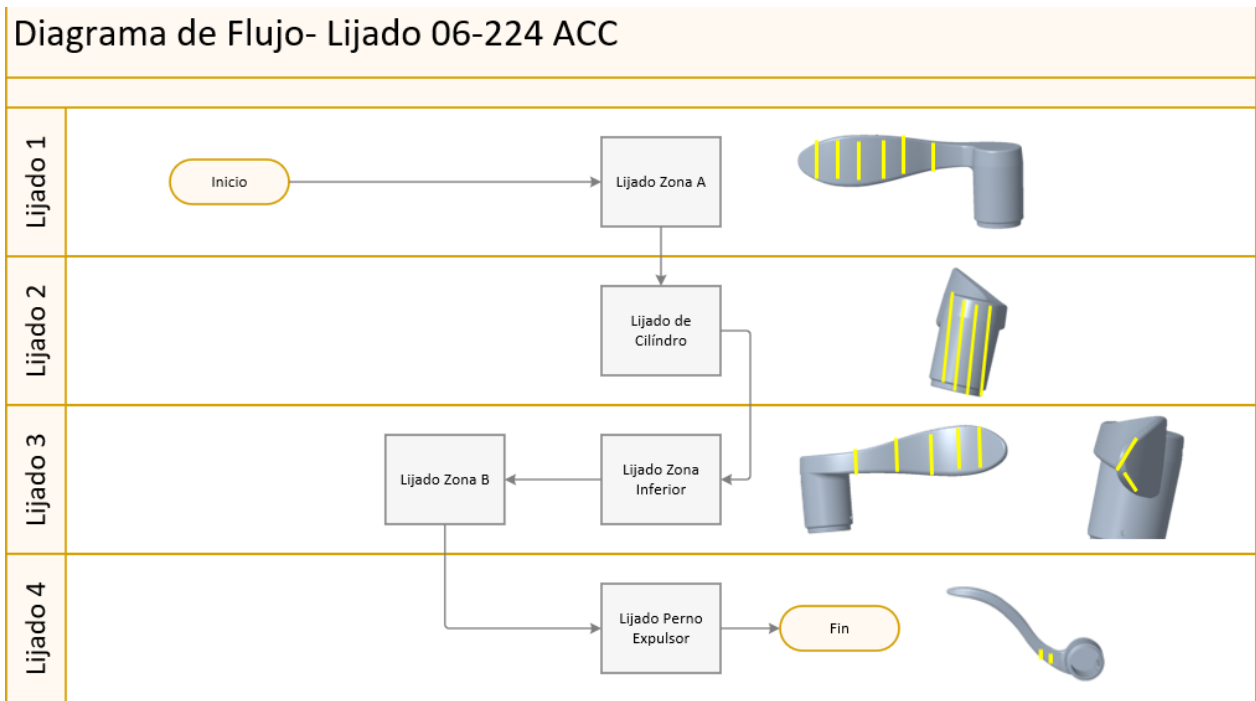


Figura 11 Diagrama de Flujo Lijado 06-224 ACC. Fuente: Elaboración propia.

El proceso es realizado por cuatro operadores en una línea recta de izquierda a derecha Ver Figura11. La operación de lijado es usada para remover las marcas de molde y líneas de inyección como parte de la preparación del acabado final.

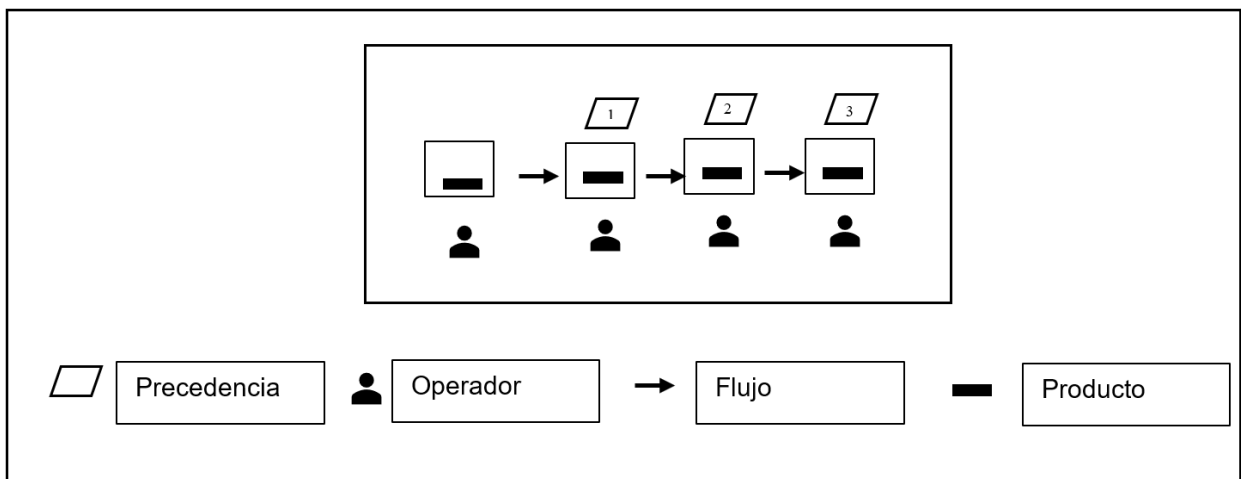
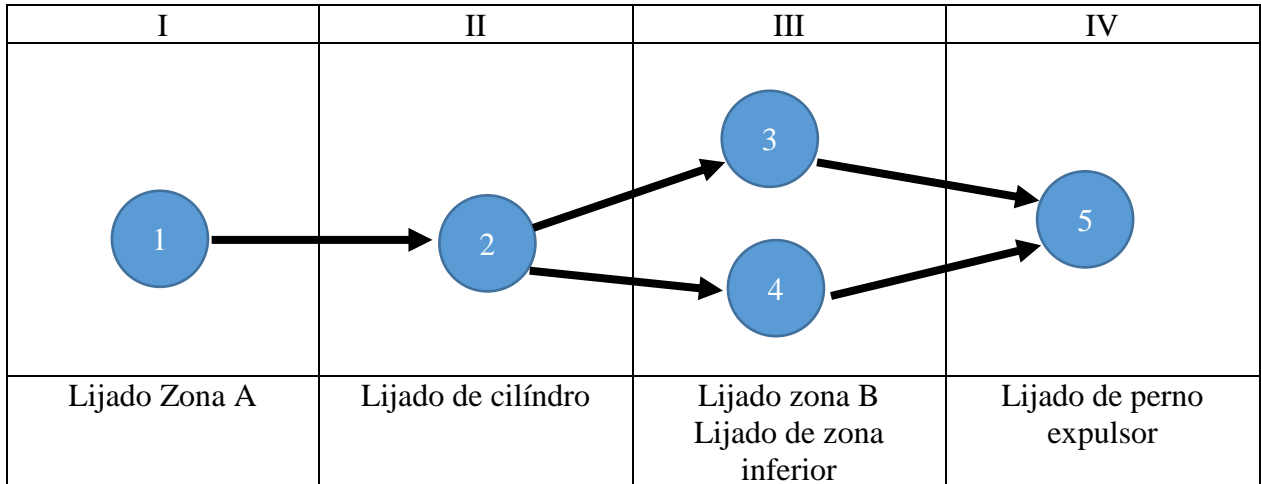


Figura 12 Diagrama de Flujo Lijado 06-224 ACC por estaciones. Fuente: Elaboración propia

El primer paso en el proceso es realizar el diagrama de precedencia en uno de los procesos de lijado en el cual son analizadas 5 operaciones. Ver Tabla 10.

Tabla 10 Diagrama de Precedencia Ejemplo 1 Heurística de tiempos más largos. Fuente: Elaboración propia



Como segunda parte en el método de heurística de tiempos más largos son registrados los elementos de trabajo, columnas y tiempos de ciclo. Los elementos de trabajo son ubicados de manera descendente. Ver Tabla 11.

Tabla 11 Consolidado de Elementos de trabajo Ejemplo 1 Heurística de tiempos más largos. Fuente: Elaboración propia

Elemento de trabajo	Columna	Tiempo de ciclo (seg)	Precedido por
1	I	4.54	-
2	II	3.23	1
3	III	2.17	1,2
4	IV	1.46	3
5	V	3.18	4

El siguiente paso en el proceso de balanceo es la selección de estaciones, agrupando los elementos de trabajo de acuerdo a su tiempo de ciclo y respetando no sobrepasar el tiempo takt de la operación. Ver tabla 12.

Tabla 12 Selección de Estaciones Ejemplo 1 Heurística de tiempos más largos. Fuente: Elaboración propia.

Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	4.54	4.54
2	2	3.23	3.23
3	3	2.17	2.17
	4	1.46	1.46
4	5	3.18	3.18

Para calcular la productividad del proceso de lijado es usada la siguiente fórmula.

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ célula}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600\text{seg}}{4.54\text{seg}}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600\text{seg}}{4.54\text{seg}}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 793$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

$$Productividad = \frac{793}{4}$$

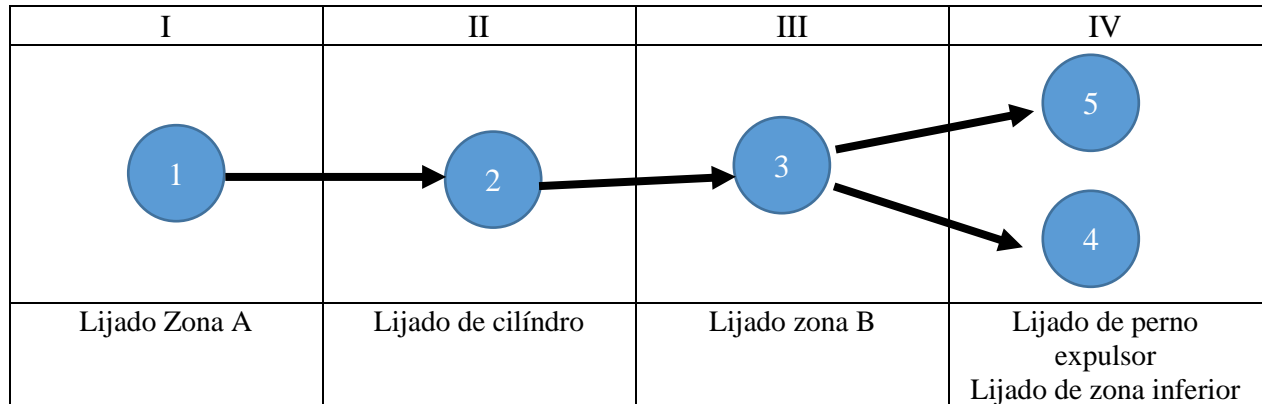
Resultando:

$$Productividad = 198\ unidades\ por\ operador$$

5.2.1 Modelo de Pesos posicionales ponderados

Igual al método de Heurística de tiempos más largos, el primer paso en este método es la elaboración del diagrama de precedencia. Usando el modelo 06-224 ACC proceso para ser balanceado, la configuración es la siguiente. Ver Tabla 13.

Tabla 13 Diagrama de Precedencia Ejemplo 1 Pesos de Posicionales Ponderados. Fuente: Elaboración propia.



Seguido del diagrama de precedencia, el procedimiento indica la elaboración de la tabla de pesos posicionales ponderados de manera ascendente. El peso posicional con mayor valor será colocado al inicio y seguido por el valor más alto en el total de peso ponderado. Ver Tabla 14.

Tabla 14 Cálculo de Pesos Posicionales Ponderados Ejemplo 1. Fuente: Elaboración propia

Peso posicional ponderado	Tiempos de ciclo	Peso total ponderado
PPP1	$3.22+3.05+2.93+2.87+1.64$	13.71
PPP2	$3.05+2.93+2.87+1.64$	10.49
PPP3	$2.93+2.87+1.64$	7.44
PPP4	1.64	1.64
PPP5	2.87	2.87

Por último, en el proceso de balanceo es la selección de estaciones sumando los tiempos de ciclo de acuerdo a su precedente y buscando no sobrepasar el tiempo takt del proceso. Ver Tabla 15.

Tabla 15 Cálculo de estaciones por Pesos Posicionales Ponderados. Fuente Elaboración propia.

Estación	Elementos de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de estaciones
1	1	3.22	3.22
2	2	3.05	3.05
3	3	2.93	2.93
4	4	1.64	4.11
	5	2.47	

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600\text{seg}}{4.11\text{seg}}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 876$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

$$Productividad = \frac{876}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 219\text{ Unidades por operador}$$

En comparativa ambos procesos son muy similares, sin embargo, el Método de balanceo por pesos posicionales ponderados muestra una mayor productividad. En este caso es de un 10% en comparación al método anterior. De acuerdo al análisis el siguiente paso en la evaluación es la prueba de factibilidad utilizando el software para el cálculo de balanceo con el método seleccionado.

5.3 Prueba de Factibilidad

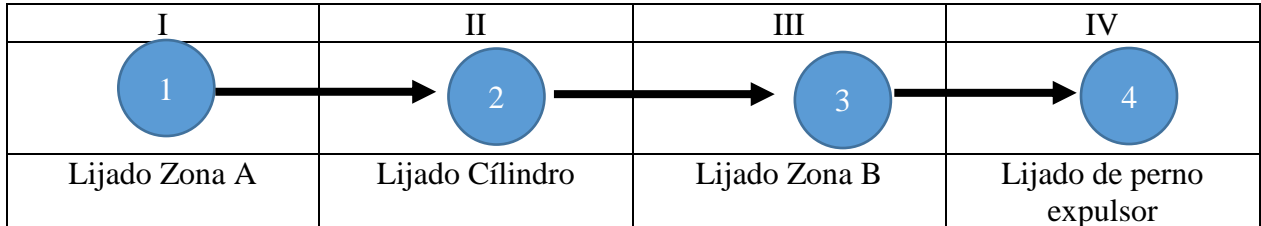
Como parte del análisis en la certeza de la información obtenida por el software buscando su fiabilidad, repetibilidad y reproducibilidad fueron ejecutadas pruebas de desempeño

del programa en comparación con cálculos de forma manual con los siguientes resultados.

Estado Actual cálculos matemáticos Heurística de tiempos más largos.

Cálculo 1 del Modelo: 06-224 ELA

Tabla 16 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 06-224 ELA. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	3.12	3.12
2	2	3.54	3.54
3	3	3.65	3.65
4	4	2.84	2.84

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

De la fuente, (2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600seg}{3.65\ seg}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 820$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

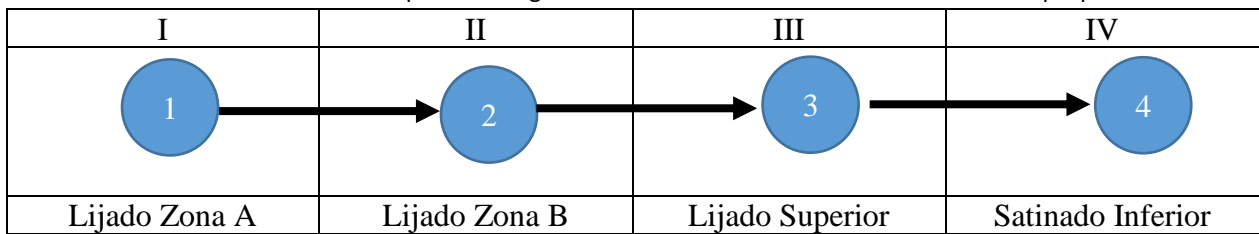
$$Productividad = \frac{986}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 246\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 2 del Modelo: 06-224 MNH

Tabla 17 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 06-224 MNH. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	2.93	2.93
2	2	3.27	3.27
3	3	3.10	3.10
4	4	2.89	2.89

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600seg}{3.27\ seg}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 1100$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

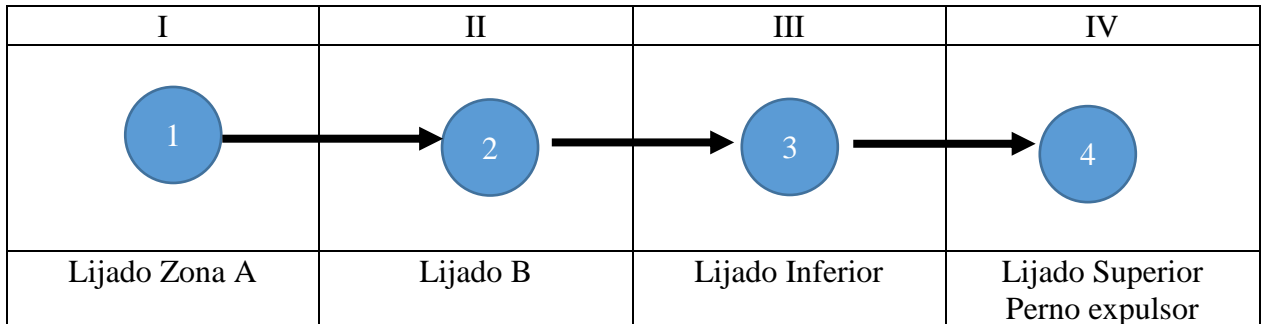
$$Productividad = \frac{1100}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 275\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 3 del Modelo: 06-233 MER

Tabla 18 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 06-233 MER. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	2.93	2.93
2	2	3.27	3.27
3	3	3.20	3.20
4	4	3.93	3.93

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600\text{seg}}{3.93\text{seg}}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 916$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

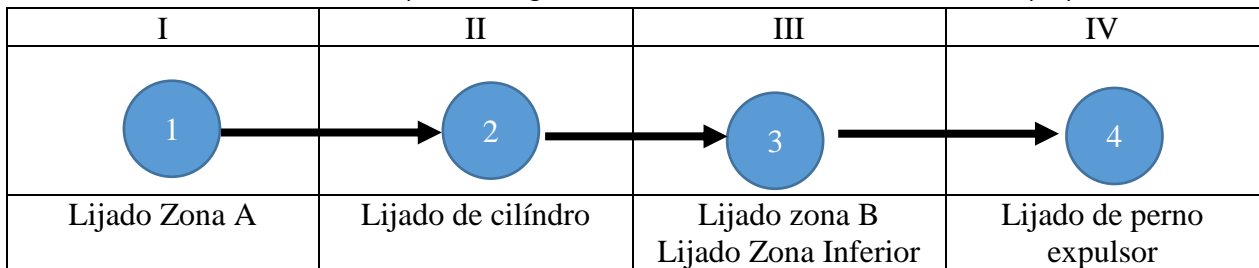
$$Productividad = \frac{916}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 229\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 4 del Modelo: 06-224 JAZ

Tabla 19 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 06-224 JAZ. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	4.02	4.02
2	2	3.89	3.89
3	3	4.05	4.05
4	4	2.55	2.55

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600seg}{4.05\ seg}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 888$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

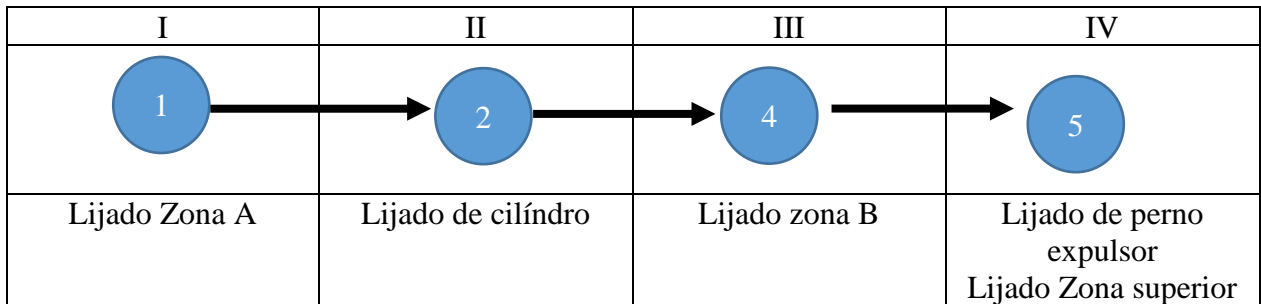
$$Productividad = \frac{888}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 222\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 5 del Modelo: 08-020 ELA

Tabla 20 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 08-020 ELA. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	4.22	4.22
2	2	3.37	3.37
3	3	2.51	2.51
4	4	4.39	4.39

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600\ seg}{4.39\ seg}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 820$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

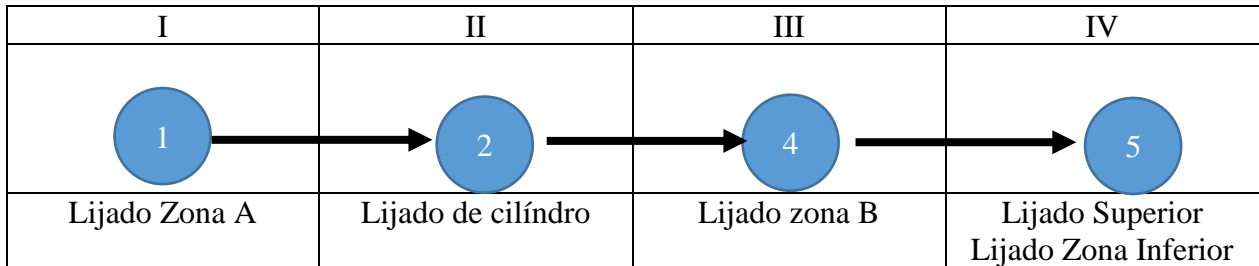
$$Productividad = \frac{820}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 205\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 6 del Modelo: 03-200 RHO

Tabla 21 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 03-200 RHO. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	2.91	2.91
2	2	3.68	3.68
3	3	4.12	4.12
4	4	4.39	4.39

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600seg}{4.39\ seg}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 820$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

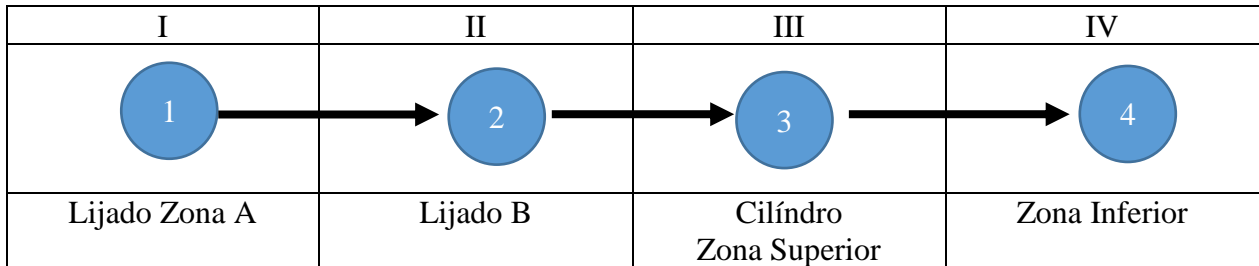
$$Productividad = \frac{820}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 205\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 7 del Modelo: 03-200 SPA

Tabla 22 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 03-200 SPA. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	4.03	4.03
2	2	4.26	4.26
3	3	4.73	4.73
4	4	4.06	4.06

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600seg}{4.73\ seg}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 756$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

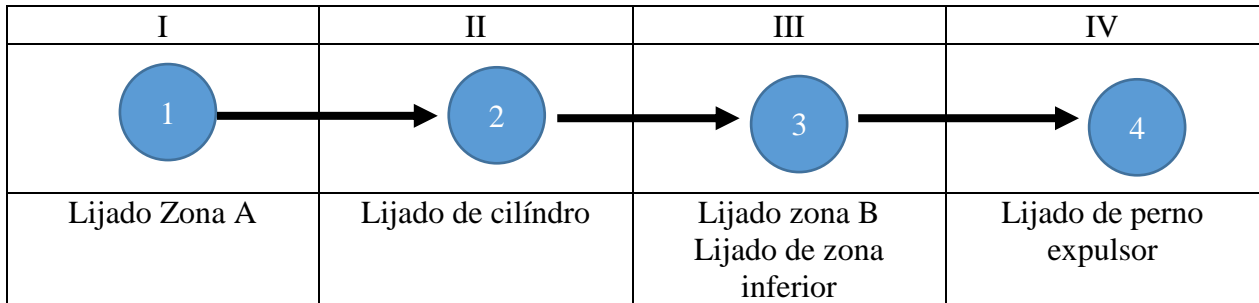
$$Productividad = \frac{756}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 190\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 8 del Modelo: 03-230 ATH

Tabla 23 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 03-230 ATH. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	3.27	3.27
2	2	3.15	3.15
3	3	3.58	3.58
4	5	3.10	3.10

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600seg}{3.58\ seg}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 1005$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

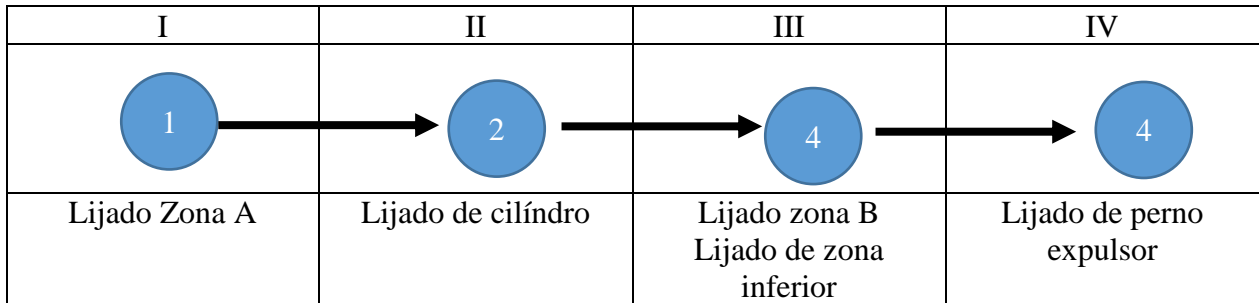
$$Productividad = \frac{1005}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 251\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 9 del Modelo: 07-220 NBK

Tabla 24 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 07-220 NBK. Fuente: Elaboración propia.



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	3.29	3.29
2	2	3.77	3.77
3	3	4.37	4.37
4	4	2.79	2.79

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600\text{seg}}{4.37\text{seg}}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 823$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

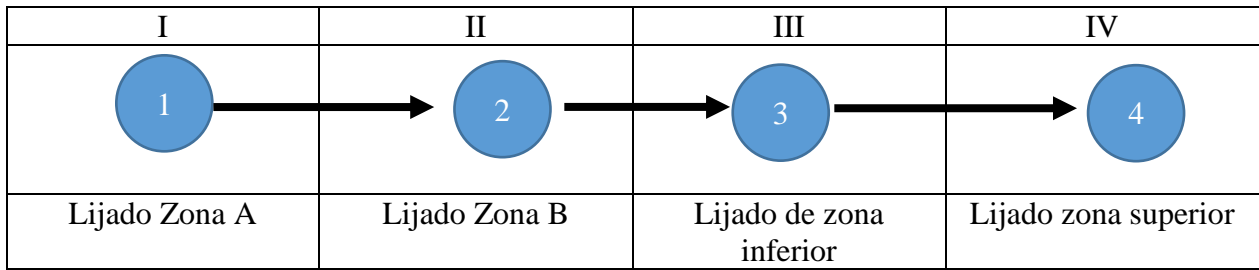
$$Productividad = \frac{823}{4}$$

Resultando:

$$Productividad = 206\ Unidades\ por\ operador$$

Cálculo 10 del Modelo: 03-233 SPA

Tabla 25 Balanceo Heurística de tiempos más largos Modelo 03-233 SPA. Fuente: Elaboración propia



Estación	Elemento de trabajo	Tiempo de ciclo	Tiempo de Estación
1	1	4.03	4.03
2	2	3.26	3.26
3	3	4.39	4.39
4	4	4.06	4.06

$$Productividad = \frac{Salida\ Unidades}{Número\ de\ personas\ por\ jornada}$$

(De la fuente, 2006)

Donde:

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{Segundos\ disponibles\ por\ hora}{Cuello\ de\ botella}$$

$$Salida\ de\ Unidades = \frac{3600seg}{4.39\ seg}$$

$$Salida\ de\ Unidades = 820$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = Total\ de\ operadores\ por\ estación$$

$$Número\ de\ personas\ por\ célula = 4$$

Resultando:

$$Productividad = \frac{820}{4}$$

$$Productividad = 205\ unidades\ por\ operador$$

5.4 Cálculo con Software: Método de Pesos Posicionales Ponderados

Cálculo 1 del Modelo: 06-224 ELA

TIEMPO DISPONIBLE:

DEMANDA:

Registro de Ope

PASO:

TIEMPO DE CICLO:

PASO PRECEDENTE: 4 **AGREGAR**

	PASO	TC
▶	1	3.21
	2	3.50
	3	2.22
	4	1.31
*	5	3.43

CANCELAR **CALCULAR**

RESULTADOS

TAKT TIME: 4.5

	ESTACION	ELEMENTOS	TC	TE
▶	1	1	3.21	3.21
	2	2	3.5	3.5
	3	3	2.22	3.53
	3	4	1.31	3.53
	4	5	3.43	3.43

PRODUCTIVIDAD CELDA: 1019.83002832861
PRODUCTIVIDAD X OPERADOR: 254.957507082153

Figura 13 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 06-224 ELA. Fuente: Elaboración propia.

La Figura 13 muestra la productividad por célula en el modelo 06-224 ELA equivalente a 1,019 piezas por célula, es decir un 4% de incremento en la productividad debido al nuevo método.

Cálculo 2 del Modelo: 06-224 MNH

TIEMPO DISPONIBLE:

DEMANDA:

Registro de Ope

PASO: 5

TIEMPO DE CICLO:

PASO PRECEDENTE: 4 **AGREGAR**

	PASO	TC
▶	1	3.10
	2	2.87
	3	3.05
	4	2.89

CANCELAR **CALCULAR**

RESULTADOS

TAKT TIME: 4.5

	ESTACION	ELEMENTOS	TC	TE
▶	1	1	3.1	3.1
	2	2	2.87	2.87
	3	3	3.05	3.05
	4	4	2.89	2.89

PRODUCTIVIDAD CELDA: 1161.29032258065
PRODUCTIVIDAD X OPERADOR: 290.322580645161

Figura 14 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 06-224 MNH. Fuente: Elaboración propia.

La figura 14 detalla una productividad de 1161 piezas por célula de manufactura lo cual no representa un incremento volumen para el modelo 06-224 MNH.

Cálculo 3 del Modelo: 06-233 MER

balanceo

TIEMPO DISPONIBLE:

DEMANDA:

Registro de Ope

PASO:

TIEMPO DE CICLO:

PASO PRECEDENTE: 4 **AGREGAR**

PASO	TC
1	3.33
2	3.27
3	1.27
4	2.13
5	3.20
*	

CANCELAR **CALCULAR**

RESULTADOS

TAKT TIME: 4.5

ESTACION	ELEMENTOS	TC	TE
1	1	3.33	3.33
2	2	3.27	3.27
3	3	1.27	3.4
3	4	2.13	3.4
4	5	3.2	3.2
*			

PRODUCTIVIDAD CELDA: 1058.82352941176
PRODUCTIVIDAD X OPERADOR: 264.705882352941

Figura 15 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 06-233 MER. Fuente: Elaboración propia.

La figura 15 muestra un volumen por célula de manufactura del modelo 06-233 MER. Este modelo presenta un 13% de incremento en comparación con el método actual de Heurística de tiempos más largos.

Cálculo 4 del Modelo: 06-224 JAZ

balanceo

TIEMPO DISPONIBLE:

DEMANDA:

Registro de Ope

PASO:

TIEMPO DE CICLO:

PASO PRECEDENTE: 4 **AGREGAR**

PASO	TC
1	3.06
2	3.53
3	2.46
4	1.22
5	3.61
*	

CANCELAR **CALCULAR**

RESULTADOS

TAKT TIME: 4.5

ESTACION	ELEMENTOS	TC	TE
1	1	3.06	3.06
2	2	3.53	3.53
3	3	2.46	3.68
3	4	1.22	3.68
4	5	3.61	3.61
*			

PRODUCTIVIDAD CELDA: 978.260869565217
PRODUCTIVIDAD X OPERADOR: 244.565217391304

Figura 16 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 06-224 JAZ. Fuente: Elaboración propia.

El incremento de productividad en el modelo 06-224 JAZ es equivalente a 9% comparado con el proceso de balanceo actual. Ver Figura 16.

Cálculo 5 del Modelo: 08-020 ELA

TIEMPO DISPONIBLE:

DEMANDA:

Registro de Ope

PASO:

TIEMPO DE CICLO:

PASO PRECEDENTE: 4 **AGREGAR**

PASO	TC
1	3.22
2	3.37
3	2.41
4	1.24
5	3.54

CANCELAR **CALCULAR**

RESULTADOS

TAKT TIME: 4.5

ESTACION	ELEMENTOS	TC	TE
1	1	3.22	3.22
2	2	3.37	3.37
3	3	2.41	3.65
3	4	1.24	3.65
4	5	3.54	3.54

PRODUCTIVIDAD CELDA: 986.301369863014
 PRODUCTIVIDAD X OPERADOR: 246.575342465753

Figura 17 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 08-020 ELA. Fuente: Elaboración propia.

La figura 17 muestra una productividad por célula de 986 piezas por célula. Este volumen es equivalente a un incremento del 16%.

Cálculo 6 del Modelo: 03-200 RHO

TIEMPO DISPONIBLE:

DEMANDA:

Registro de Ope

PASO:

TIEMPO DE CICLO:

PASO PRECEDENTE: 4 **AGREGAR**

PASO	TC
1	2.41
2	1.40
3	3.69
4	3.22
5	3.64

CANCELAR **CALCULAR**

RESULTADOS

TAKT TIME: 4.5

ESTACION	ELEMENTOS	TC	TE
1	1	2.41	3.81
1	2	1.4	3.81
2	3	3.69	3.69
3	4	3.22	3.22
4	5	3.64	3.64

PRODUCTIVIDAD CELDA: 944.88188976378
 PRODUCTIVIDAD X OPERADOR: 236.220472440945

Figura 18 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 03-200 RHO. Fuente: Elaboración propia.

La figura 18 detalla una producción por hora de 944 piezas por célula en la producción del modelo 03-200 RHO equivalente a un 13% de incremento con respecto al balanceo actual.

Cálculo 7 del Modelo: 03-200 SPA

balanceo

TIEMPO DISPONIBLE:

DEMANDA:

Registro de Ope

PASO:

TIEMPO DE CICLO:

PASO PRECEDENTE: 4 **AGREGAR**

PASO	TC
1	4.17
2	4.12
3	1.31
4	3.10
5	4.06
*	

CANCELAR **CALCULAR**

RESULTADOS

TAKT TIME: 4.5

ESTACION	ELEMENTOS	TC	TE
1	1	4.17	4.17
2	2	4.12	4.12
3	3	1.31	4.41
3	4	3.1	4.41
4	5	4.06	4.06
*			

PRODUCTIVIDAD CELDA: 816.326530612245
PRODUCTIVIDAD X OPERADOR: 204.081632653061

Figura 19 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 03-200 SPA. Fuente: Elaboración propia.

El modelo 03-200 SPA tiene un incremento del 7% con respecto al balanceo actual. Ver Figura 19.

Cálculo 8 del Modelo: 06-230 ATH

balanceo

TIEMPO DISPONIBLE:

DEMANDA:

Registro de Ope

PASO: 5

TIEMPO DE CICLO:

PASO PRECEDENTE: 4 **AGREGAR**

PASO	TC
1	3.44
2	3.15
3	3.58
4	3.40
*	

CANCELAR **CALCULAR**

RESULTADOS

TAKT TIME: 4.5

ESTACION	ELEMENTOS	TC	TE
1	1	3.44	3.44
2	2	3.15	3.15
3	3	3.58	3.58
4	4	3.4	3.4
*			

PRODUCTIVIDAD CELDA: 1005.58659217877
PRODUCTIVIDAD X OPERADOR: 251.396648044693

Figura 20 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 06-230 ATH. Fuente: Elaboración propia.

El balanceo calculado en la Figura 20 no muestra incremento en la productividad del modelo 06-230 ATH.

Cálculo 9 del Modelo: 07- 220 NBK

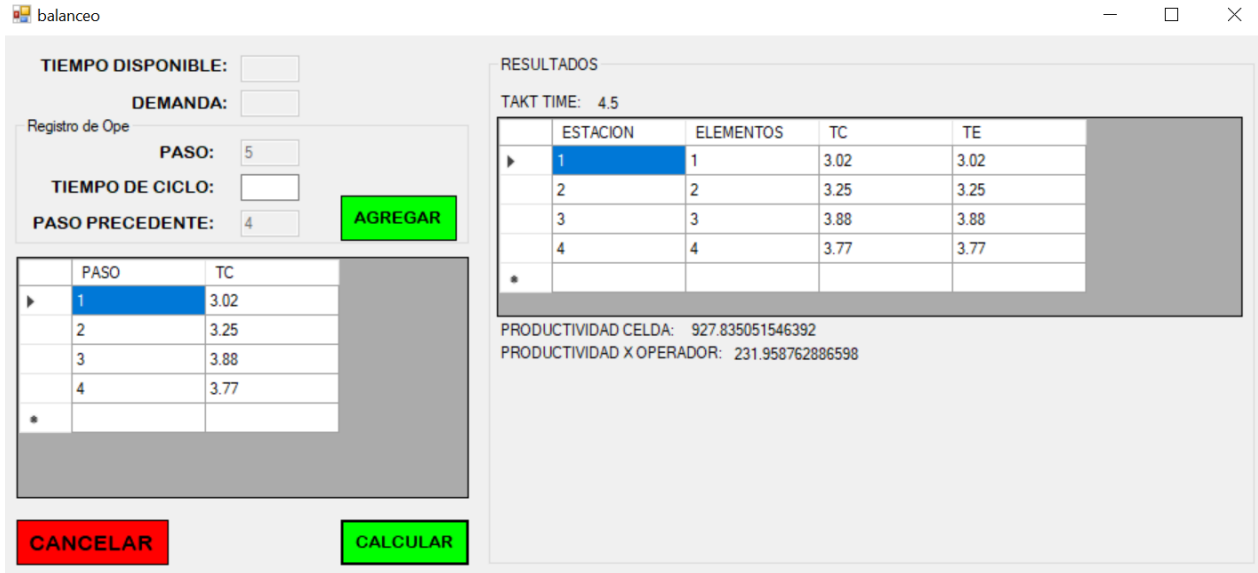


Figura 21 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 07-220 NBK. Fuente: Elaboración propia.

La figura 21 muestra el balanceo del modelo 07-220 NBK con un incremento del 11% con respecto al balanceo actual.

Cálculo 10 del Modelo: 03-233 SPA

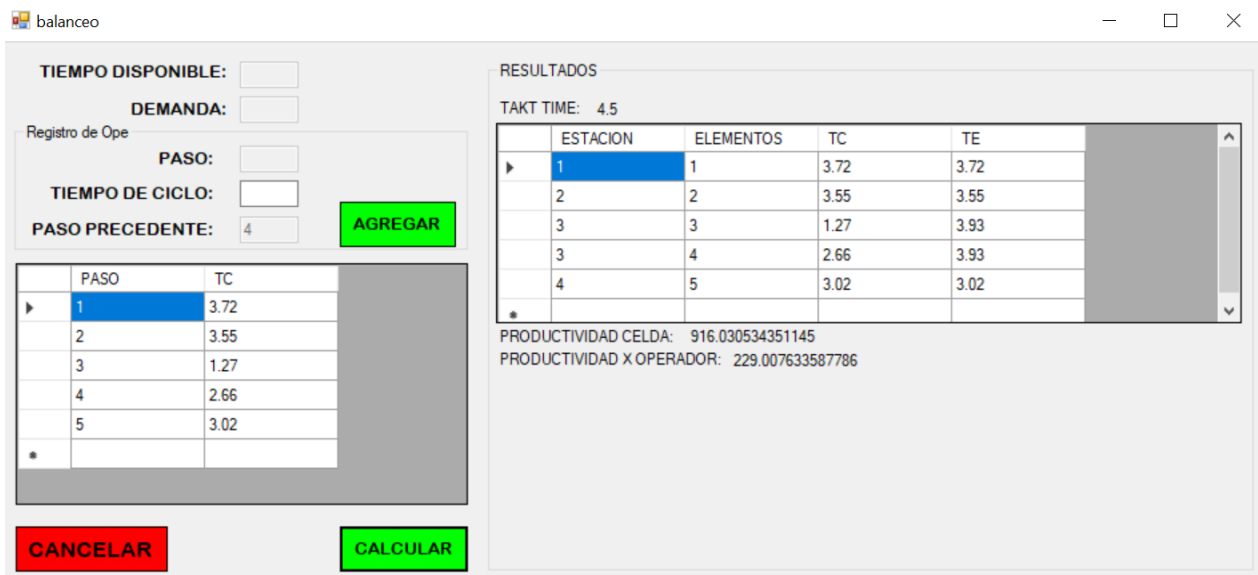


Figura 22 Balanceo Pesos Posicionales Ponderados 03-233 SPA. Fuente: Elaboración propia.

El balanceo del modelo 03-233 SPA en la Figura 22 muestra un incremento en el volumen de producción del 10%.

Tabla 26 Sumario de productividad por operador. Fuente: Elaboración propia.

Modelo	Productividad por operador Método Heurístico de tiempos mas largos	Productividad por operador Software de balanceo PPP	Porcentaje de variacion por método de balanceo
06-224 ELA	246	256	4%
06-224 MNH	275	291	6%
06-233 MNH	229	264	13%
06-224 JAZ	222	244	9%
08-020 ELA	205	246	16%
03-200 RHO	205	236	13%
03-200 SPA	190	204	7%
03-230 ATH	251	251	0%
07-220 NBK	206	232	11%
03-233 SPA	205	229	10%
Promedio			9.5%

La tabla 26 es una comparativa de productividad por operador. El promedio de incremento en el balanceo de Pesos posicionales ponderados en comparación con el método actual es de 9.54%.

La siguiente etapa en la solución de este problema fue el análisis estadístico realizado para confirmar la mejora posterior al cambio.

5.5 Análisis estadísticos: Prueba de Normalidad

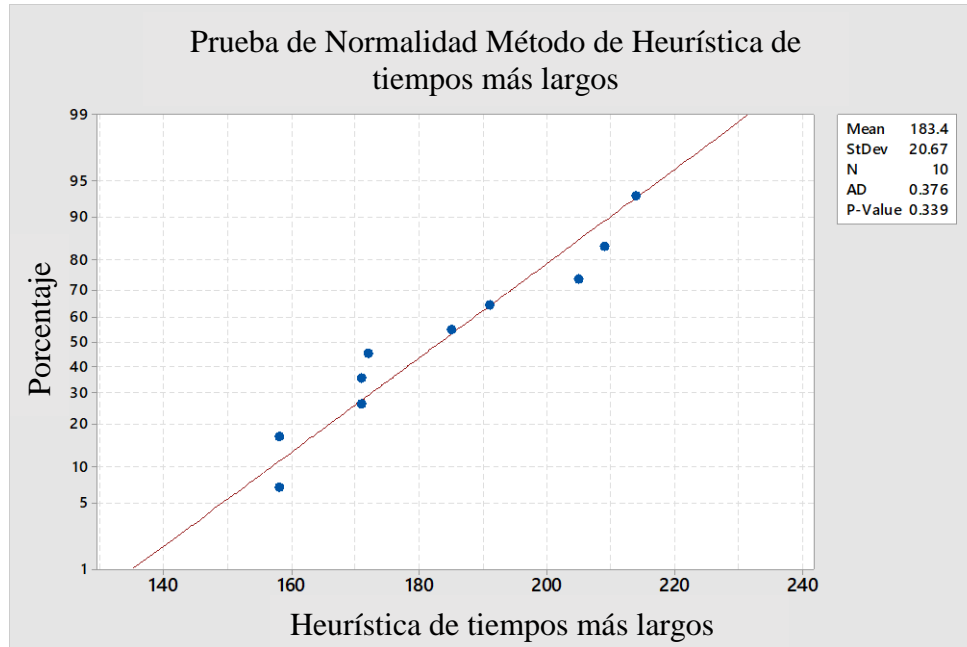


Figura 23 Prueba de Normalidad Heurística de tiempos más largos. Fuente: Elaboración propia

El primer paso en el análisis estadístico fue la prueba de normalidad. Es necesario probar normalidad antes de hacer inferencias en algún proceso. De acuerdo a la Figura 23 Los datos siguen un comportamiento normal al tener un Pvalue > 0.05 .

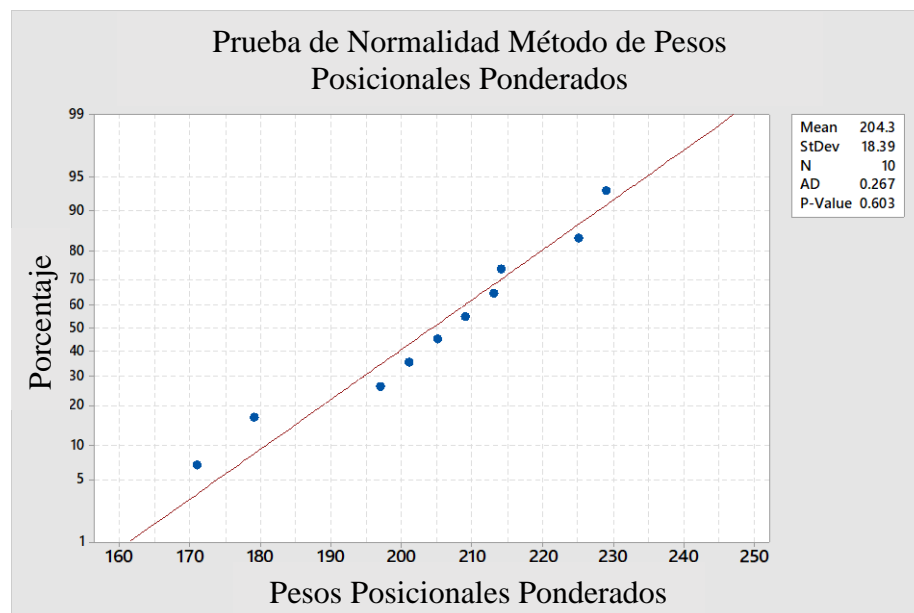


Figura 24 Prueba de Normalidad Pesos Posicionales Ponderados. Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo al método de Anderson Darling los datos de la Figura 24 muestran normalidad al tener un Pvalue > 0.05 . Con esto es posible inferir en ambos procesos.

5.6 Prueba de dos Varianzas

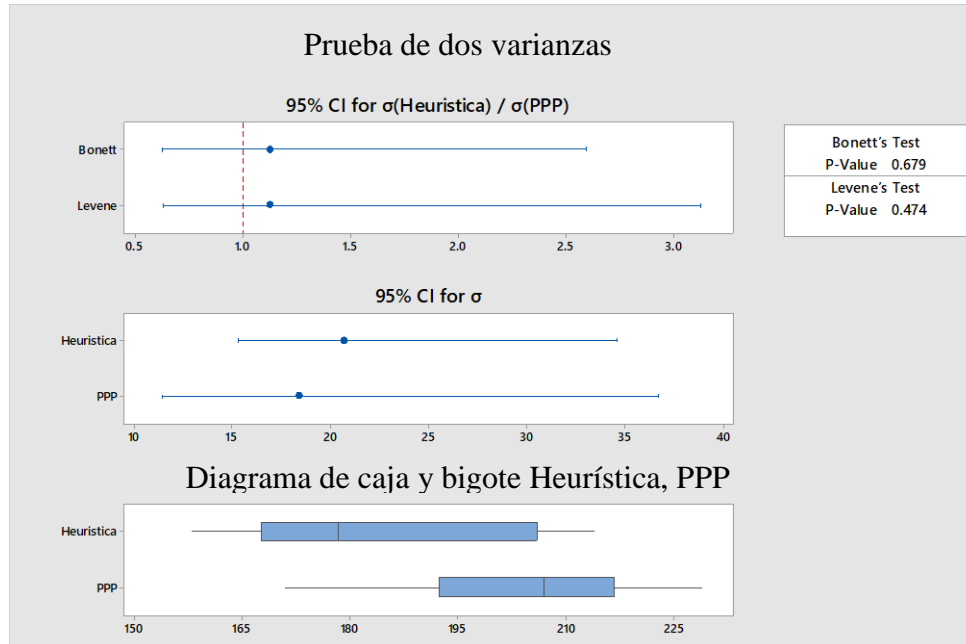


Figura 25 Prueba de dos varianzas. Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso en el proceso de análisis estadístico es la prueba de igualdad de varianzas. El objetivo de esta prueba es comprobar si ambos procesos tienen varianzas iguales lo cual es comprobado con el criterio de un Pvalue > 0.05 . Ver Figura 25.

5.7 Prueba de Hipótesis

La prueba de hipótesis pretende comprobar si el proceso tuvo una modificación posterior al cambio. Para ello fue utilizado Minitab como herramienta de solución en el estudio estadístico con los siguientes resultados. Ver Figura 26.

Prueba t de dos muestras: Heurística de tiempos más largos, Pesos posicionales Ponderados.

u1: Promedio de Heurística de tiempos más largos

u2: Promedio Pesos Posicionales Ponderados

Prueba:

Hipótesis nula: $H_0: u_1 - u_2 = 0$

Hipótesis alternativa: $u_1 - u_2 \neq 0$

P-value = 0.028

Figura 26 Prueba de Hipótesis PPP vs Heurística de tiempos más largos. Fuente: Elaboración propia.

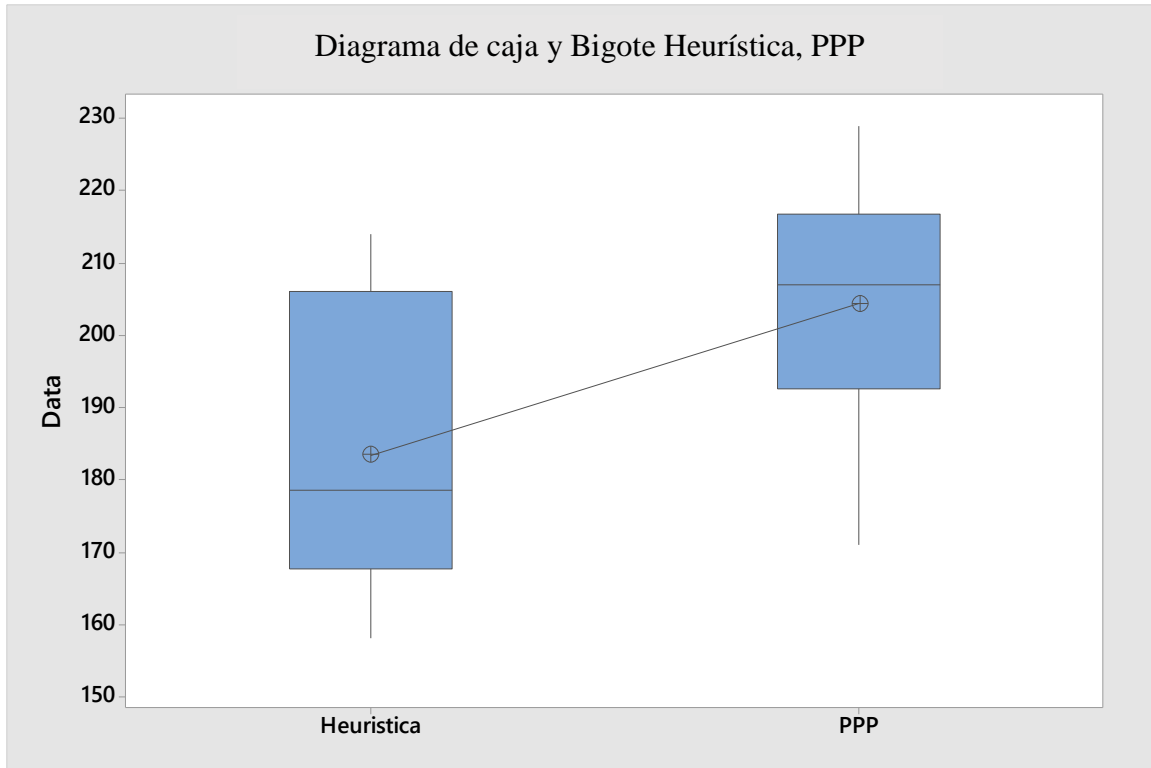


Figura 27 Prueba t de dos muestras. Fuente: Elaboración propia.

La figura 27 muestra la diferencia en promedios de balanceo, así como la dispersión en los datos. Con esto es posible concluir mediante un $P\text{value} > 0.05$ la diferencia de balanceo del método de pesos posicionales ponderados es diferente del balanceo actual con un 95% de confianza al rechazar H_0 .

Prueba de proceso productivo

La prueba de proceso productivo comprende el uso de la herramienta de balanceo en un periodo de 1 semana, durante la evaluación fue registrado el volumen diario de producción para confirmar la tendencia positiva o negativa posterior a la implementación. La figura 28 muestra una tendencia favorable en el volumen promedio de 268.4 piezas por operador incrementando en un 8.79 % en el volumen de producción.

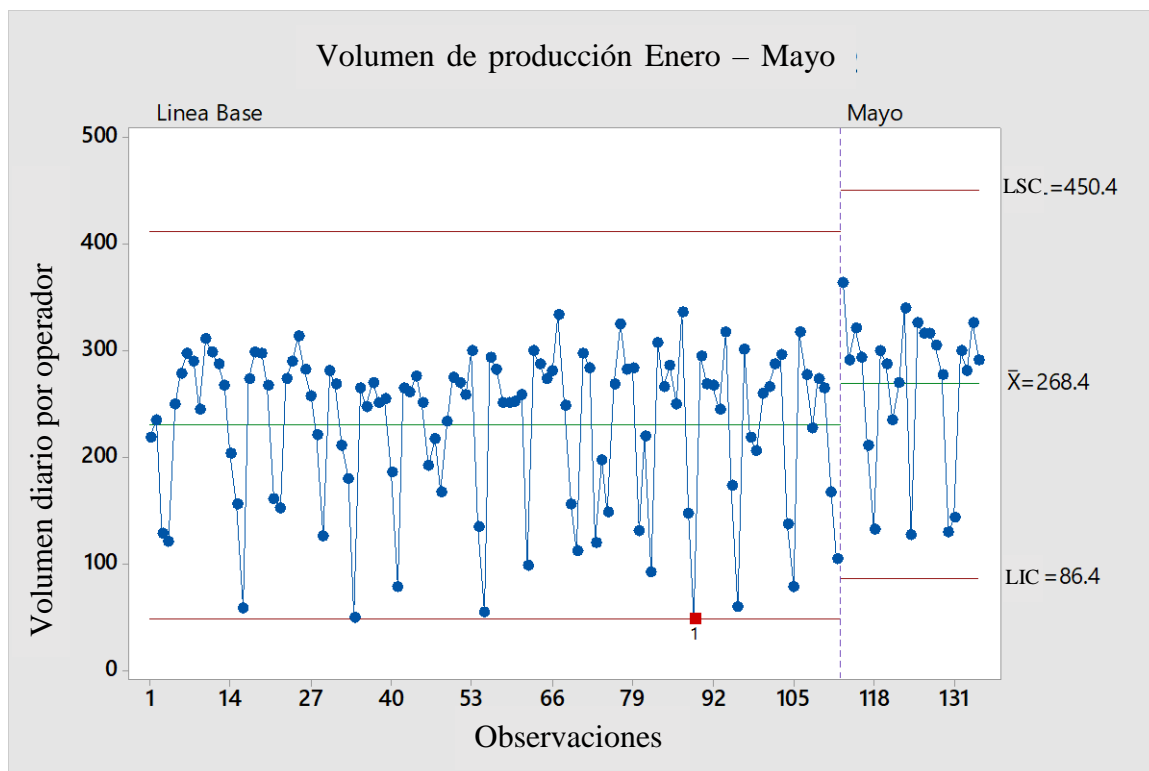


Figura 28 Volumen Mes de Enero - Mayo 2019. Fuente: Elaboración propia

La figura 28 detalla la tendencia en el volumen promedio de producción durante cada mes donde es posible observar una tendencia positiva en el volumen del primer cuarto seguido de un decremento en el volumen de producción durante el mes de Abril el cual fue afectado debido al periodo vacacional del segundo cuarto sin embargo muestra un

incremento significativo durante el periodo de prueba en comparación a los meses anteriores.

Por otra parte la Figura 29 muestra un ejemplo del detalle del plan de producción.

The screenshot shows a software window titled "auxiliar" with three buttons: "REGRESAR", "CALCULAR", and "RECARGAR TABLA". Below the buttons are two summary tables and a main data table.

Lijado Summary Table:

ID	NOMBRE	CERTIFICACION
20001186	Escalante Escob...	A
20009486	Esquibel Agular, ...	A
11015462	Gutierrez Morales...	A
11015290	Olmedo Barradas...	A

Satinado Summary Table:

ID	NOMBRE	CERTIFICACION
11015335	Rivera Vazquez, ...	B
20009402	Martinez Martinez...	B
20010547	Lucero Luna Luis...	B
20001337	Montoya Saaved...	B

Main Production Plan Table:

ID	NOEMPLEADO	NOMBRE	CERTIFICACION	CELDA	INICIO	FIN	F8	COMENTARIOS	A PARTIR DE
1	20001186	Escalante Escob...	A	Auxiliar 1	12/30/1899 6:00...	12/30/1899 1:09...	7.158888888888...	MOVER A LINEA...	12/30/1899 1:09...
2	20009486	Esquibel Agular, ...	A	Auxiliar 1	12/30/1899 6:00...	12/30/1899 1:09...	7.158888888888...	MOVER A LINEA...	12/30/1899 1:09...
3	11015462	Gutierrez Morales...	A	Auxiliar 1	12/30/1899 6:00...	12/30/1899 1:09...	7.158888888888...	MOVER A LINEA...	12/30/1899 1:09...
4	11015290	Olmedo Barradas...	A	Auxiliar 1	12/30/1899 6:00...	12/30/1899 1:09...	7.158888888888...	MOVER A LINEA...	12/30/1899 1:09...
5	20001186	Escalante Escob...	A	Satinado	12/30/1899 6:00...	12/30/1899 1:09...	7.158888888888...	MOVER A LINEA...	12/30/1899 1:09...
6	20009486	Esquibel Agular, ...	A	Satinado	12/30/1899 6:00...	12/30/1899 1:09...	7.158888888888...	MOVER A LINEA...	12/30/1899 1:09...
7	11015462	Gutierrez Morales...	A	Satinado	12/30/1899 6:00...	12/30/1899 1:09...	7.158888888888...	MOVER A LINEA...	12/30/1899 1:09...
8	11015290	Olmedo Barradas...	A	Satinado	12/30/1899 6:00...	12/30/1899 1:09...	7.158888888888...	MOVER A LINEA...	12/30/1899 1:09...

Figura 29 Plan de Producción Línea Auxiliar. Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 6. Discusión de resultados

En base a los resultados obtenidos el método de pesos posicionales ponderados demuestra ser superior al método actual de Heurística de tiempos mas largos, para la evaluación de este ejercicio muestra una mejora promedio cercana al 10% en comparativa, sin embargo, en ciertos balanceos registra un incremento de hasta un 14% durante los cálculos matemáticos. Un tema interesante por evaluar posterior a esta implementación es el uso del software de cálculo para balancear operaciones en distintas áreas de manufactura como ensamble, con el fin de estimar la mejora promedio del método de pesos posicionales ponderados en contra de diversos métodos.

La pregunta de investigación fue resuelta demostrando como método de balanceo superior al de pesos posicionales ponderados teniendo una mejor salida de volumen comparado con el método de actual. De acuerdo al análisis Ho es rechazada con la condición de un $Pvalue < 0.05$. Una vez implementado el nuevo balanceo en el proceso productivo el volumen de producción muestra un incremento del 8.79%, esto implica una pérdida de la función del balanceo esperada debido a diversos factores como: supervisión, disciplina, disponibilidad de materia prima y disponibilidad de herramienta.

La supervisión es de suma importancia para la correcta administración de los recursos y adicionalmente conocer los problemas de producción para ser solucionados de manera inmediata. La disciplina por otra parte demuestra su importancia en el respeto a los periodos de descanso, llegada y paros de equipo los cuales afectan directamente el tiempo disponible. Por último, la disponibilidad de la materia prima llegó a afectar el tiempo disponible al no ser surtido a tiempo.

El volumen de producción antes de la implementación tenía un apego del 92% delimitado en la línea base del proyecto con un volumen de 236.1 piezas diarias por operador. El incremento de volumen posterior a la implementación es equivalente a 268 piezas diarias por operador, el equivalente al 96% del plan de producción con una variación de un 2% para completar el objetivo del proyecto. Este impacto equivale a un valor de \$32,000 dolares anualmente

Capítulo 7. Conclusiones

La presente tesis fue dedicada a la implementación del método de balanceo de Pesos posicionales ponderados en comparación con métodos alternos de balanceo. El método de balanceo seleccionado demostró tener una mayor productividad al confirmar de forma estadística un promedio superior al método actual de Heurística de tiempo mas largos por un 9.54% rechazando la hipótesis nula “ El método de Pesos posicionales ponderados tiene una menor salida de proceso que el método heurístico de tiempos más largos” y aceptando a su vez la hipótesis alternativa “ El método de Pesos posicionales ponderados tiene la misma o mayor salida de proceso que el método heurístico de tiempos más largos”. La implementación del software representa un ahorro económico de \$34,000 dólares al incrementar la productividad de los operadores y prevenir la contratación de nuevo personal.

Así mismo el software demostró otorgar al usuario un modelo de producción con la finalidad de minimizar los desperdicios en la localización del personal en las estaciones de trabajo. En futuras investigaciones un interesante tema a tratar es el análisis en la reducción de desperdicios en la ubicación del personal obtenido por el software implicando el uso de dispositivos electrónicos para confirmar la hora de inicio en el proceso productivo.

Capítulo 8. Lista de referencias bibliográficas

B. Niebel y A. Freivalds, 2009 "Ingeniería Industrial, métodos, tiempos y movimientos," México: Alfaomega, 12a Ed.,

Madan G. Singh and Nathalie. "IT suport dor the generic tactical decisión making process of pricing in competitive consumer markets."

Vishnu Raj A S, Jeeno Mathew, Peter Jose, Gishnu Sivan. 2016 " Optimizatation of cycle time in an assembly line balancing problema" Global Colloquium in Recent Advancement and effectual Researches in Engeneering, Science and technology.

Jorn Kohlhammer, Daniel Keim et all. 2011 " Solving Problems with visual analytics" The european Future Technologies Conference and Exhibition.

Vivek A Deshpande.(2007) " M.O.S.T. The most Advanced Work Measurement Technique". Journal of Engineering & Techenology, S.P.

Ilkyeong Moon, Gyu M Lee et all.(2018) " Advances in production management systems" Interational conference.

Jan Claes, Irene vanderfeesten, (2014) "A visual analysis of the process of process modeling" Springer-Verlag.

Muñoz Negron D. (2009) "Administración de operaciones: Enfoque de administración de procesos de negocios". Editorial Cengage Learning.

Meyers F (2000). Estudios de tiempos y movimientos. Editorial Pearson.

Meyers F & Stephens M (2006) "Diseño de instalaciones de Manufactura y manejo de materiales" . Editorial Pearson.

Recuperado de: <http://www.businessdictionary.com/definition/software.html>

