CIATEQ, A. C. Centro de Tecnología Avanzada
Dirección de Posgrado

Incrementar la tasa de piezas procesadas el proceso de soldadura para transductor de presión automotriz (APT)

TESIS QUE PRESENTA

Ing. Fernando de Jesús Jiménez Solís
Asesor: Dr. Jorge Raúl Pérez Gallardo

Para obtener el grado de
Maestro en MANUFACTURA AVANZADA

Aguascalientes, Aguascalientes
2020

CARTA DE LIBERACIÓN DEL ASESOR

Sensata Technologies

Aguascalientes a 29 de Junio del 2020.

Dra. María Guadalupe Navarro Rojero
Directora General
CIATEQ, A.C.

P R E S E N T E

Por este conducto nos permitimos expresar nuestra conformidad con el trabajo realizado del C. Fernando de Jesus Jimenez Solis por la implementación del proyecto durante los estudios del programa de posgrado en Manufactura Avanzada, el cual se imparte en el centro que usted dirige.

El proyecto que se implementó el cual tiene como título: INCREMENTAR LA TASA DE PIEZAS PROCESADAS DEL PROCESO DE SOLDADURA PARA TRANSDUCTOR DE PRESIÓN AUTOMOTRIZ(APT) que cumplió en tiempo y forma en el periodo de 2018 -2019, del cual aún se siguen teniendo satisfacción de los resultados obtenidos, con una inversión para apoyo del proyecto de $10,350.00 USD y un retorno del proyecto actualmente de $97,427.00 USD.

A T E N T A M E N T E

Juan Jose Martinez Esparza

CARTA DE LIBERACIÓN DEL REVISOR

CONACYT | CIMAT

Aguascalientes, Ags., 17 de Agosto de 2020

Mtro. Geobany González Carlos
Coordinador Académico del Posgrado
CIATEQ, A.C.

Los abajo firmantes, miembros del Comité Tutorial del Ing. Fernando de Jesús Jiménez Solís, una vez revisado su Proyecto Terminal de tesis/tesina, titulado "**INCREMENTAR LA TASA DE PIEZAS PROCESADAS DEL PROCESO DE SOLDADURA PARA TRANSDUCTOR DE PRESIÓN**" **autorizamos** que el citado trabajo sea presentado por el alumno para su revisión con el fin de alcanzar el grado de **Maestro en Manufactura Avanzada**.

Sin otro particular por el momento, agradecemos la atención prestada.

Atentamente,

Dr. Jorge Raúl Pérez Gallardo
Asesor Académico

Juan José Mtz.
Asesor de Planta

F. Bartolomé de las Casas 314, Barrio La Estación, Zona Centro, CP 20259, Aguascalientes, Ags.
Tel.: 01 (449) 9185061 www.cimat.mx

2020
LEONA VICARIO

RESUMEN

Para Sensata Technologies, el cuello de botella para el transductor de presión automotriz (APT, debido a sus siglas de inglés) es el proceso de soldadura de celda 21M para el modelo 16MCP4-1. Las metas fijadas por el negocio establecen una meta de un incremento del 40% del promedio actual que es 9,500 piezas procedas, esto indica que el promedio esperado como objetivo es de 13,300 piezas procesadas diariamente. El trabajo es implementar una estrategia que identifique las causas para llegar al meta previo a su ejecución. Con el objetivo de incrementar la tasa promedio y reducir la variación de piezas que salen diariamente del proceso de soldadura para el negocio de APT aplicando de manera conjunto la filosofía Lean Six Sigma, Teoría de Restricciones (TOC) y simulación computacional de procesos. Basándose en la metodología DMAIC, DEFINICIÓN: después de una reunión con el equipo de piso, se espera lograr al menos un 40% de incremento en la tasa de producción diaria. MEDICIÓN: aplicar herramientas estadísticas de calidad y el diagrama de flujo de proceso para encontrar causas y determinar aquellas con mayor beneficio. ANÁLISIS: Se formulan alternativas sustentadas en los principios de Lean Six Sigma y TOC para atacar las causas del paso anterior. Se procede a realizar la simulación computacional (PROMODEL) para evaluar la pertinencia. MEJORA: Se analizan estadísticamente los resultados y se selecciona la opción que obtenga el mayor incremento de unidades soldadas. CONTROL: Se actualiza las instrucciones de trabajo para cada estación afectada por la alternativa de mejora. Las tres alternativas en el simulador para la tasa de producción diaria son comparadas con la tasa actual mediante una verificación de hipótesis para disimilitud de medias. Primer escenario el incremento es de 962 piezas; segundo escenario, el incremento es de 709 piezas; tercer escenario el incremento es 3,961 piezas. Por lo tanto, esta última representa la mejor alternativa a implementar. Por lo que se puede aprecia que la integración e implementación de las filosofías de Lean Six Sigma y TOC se beneficia de la simulación computacional para respaldar la inversión.

Palabras clave: DMAIC, Lean, TOC, PROMODEL.

ABSTRACT

In Sensible Technologies, the bottleneck for automotive pressure transducer (APT) is the soldering process in cell 21M for the model 21M 16MCP4-1. The plans and goals set by the business establish a goal of an increase of 40% of the current average, which is 9,500 pieces processed, this indicates that the expected average target is 13,300 pieces processed daily. The interest of this work is to implement a strategy to identifies the causes to reach the goal, propose, implement and validate the changes with the expected result of the proposed solution prior to its execution. With the aim of increasing the average rate and reducing the variation of parts that leave the soldering process daily for the APT business, jointly applying the Lean Six Sigma philosophy, Theory of Constraints (TOC) and computational simulation of processes. Based on the DMAIC methodology, DEFINITION: after a meeting with the work team, it is expected to achieve at least a 40 % increase in the daily production rate. MEASUREMENT: apply statistical quality tools and the process flow diagram to find causes and determine those with the greatest benefit. ANALYSIS: Alternatives based on the principles of Lean Six Sigma and TOC are formulated to attack the causes of the previous step. The computational simulation (PROMODEL) is carried out to evaluate the relevance. IMPROVEMENT: The results are statistically analyzed and the option with the highest increase in welded units is selected. CONTROL: The work instructions for each station affected by the improvement alternative are updated. With the main result of the three alternatives in the simulator for the daily production rate, they are compared with the current rate by means of a hypothesis check for dissimilarity of means. First scenario the increase is 962 pieces; second scenario, the increment is 709 pieces; third scenario the increase is 3,961 pieces. Therefore, the latter represents the best alternative to implement. Thus, the integration and implementation of the Lean Six Sigma and TOC philosophies benefits from computational simulation to support investment. Simulation reduces fear about the benefits of process modifications and whether they will be constant over time without the need to alter the current state, saving resources.

Keywords: DMAIC, Lean, TOC, PROMODEL.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN iii
ABSTRACT iv
ÍNDICE DE CONTENIDO v
ÍNDICE DE FIGURAS vii
ÍNDICE DE TABLAS ix
GLOSARIO x
1. INTRODUCCIÓN 1
1.1. ANTECEDENTES 2
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 4
1.3. JUSTIFICACIÓN 4
1.4. OBJETIVOS 5
1.4.1. Objetivo general 5
1.4.2. Objetivos específicos 5
1.5. HIPÓTESIS 6
2. MARCO TEÓRICO 7
2.1 INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO DE MANUFACTURA 7
2.2 LEAN MANUFACTURING (MANUFACTURA ESBELTA) 11
2.3 SIMULACIÓN 15
2.4 DISEÑO DE EXPERIMENTOS 16
2.5 APLICACIONES RECIENTES 16
3. PROCEDIMIENTO 19
3.1 DEFINICIÓN 19
3.1.1 Objetivo general del proyecto 19
3.1.2 Descripción del métrico del proyecto 19
3.2 MEDICIÓN 20
3.2.1 Mapeo del proceso 20
3.4 ANÁLISIS 28
3.4.1 Primera alternativa (segunda estación de soldadura) 30
3.4.2 Segunda alternativa (balanceo de tareas) 44
3.4.3 Tercera alternativa (balanceo de tareas) 57
4. RESULTADOS 65
4.1 MEJORA 65

4.2 CONTROL 71
CONCLUSIONES 72
RECOMENDACIONES 73
APORTACIÓN DE LA TESIS 74
APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS 75
REFERENCIAS 76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1, Línea de evolución de la manufactura....7
Figura 2, Ejemplo de operación de proceso....8
Figura 3, Ejemplo de operación de ensamble....9
Figura 4, Layout de celda 21M....21
Figura 5, Pareto de tiempo ciclo por estación....24
Figura 6, Flujo de proceso de soldadura celda 21M....25
Figura 7, Gráfica de barras tiempos ciclo y tiempo takt....26
Figura 8, Gráfica del % de utilización por estación....28
Figura 9, Diagrama detallado de estación de soldadura manual....29
Figura 10, Gráfica de probabilidades por estación....31
Figura 11, Gráfica de probabilidad Op3....33
Figura 12, Programación en Promodel proceso actual....33
Figura 13, Layout proceso actual....34
Figura 14, Resultados de proceso actual....35
Figura 15, Gráfica de series de tasa de producción proceso actual....36
Figura 16, Estadísticos del proceso Actual....37
Figura 17, Layout proceso segunda estación de soldadura....38
Figura 18, Resultados de segunda estación....38
Figura 19, Gráfica de series de tasa de producción proceso segunda estación....39
Figura 20, Estadísticos del proceso con segunda estación 09....40
Figura 21, Diagrama de validación métodos estadísticos....41
Figura 22, Gráfica de probabilidades para tasas de producción actual y segunda estación....41
Figura 23, Gráfica prueba de varianzas proceso actual y segunda estación....42
Figura 24, Gráfica de boxplot proceso actual vs segunda estación....43
Figura 25, Diagrama de flujo detallado estación 8....45
Figura 26, Diagrama de flujo detallado estación 7....45
Figura 27, Resumen descriptivo de tiempo ciclo final de estación 8....47
Figura 28, Gráfica de probabilidades operación 7 y 8....49
Figura 29, Programación en Promodel proceso balanceado....50

Figura 30, Layout proceso con estaciones balanceadas 50
Figura 31, Resultados estación balanceada) 51
Figura 32, Gráfica de series estación balanceada 52
Figura 33, Estadísticos del proceso con estaciones 7 y 8 balanceadas..... 53
Figura 34, Gráfica de probabilidades proceso actual y balanceado 54
Figura 35, Resultados prueba de varianzas proceso actual y balanceado..... 55
Figura 36, Gráfica boxplot para proceso actual y balanceado..... 56
Figura 37, Layout proceso con ambas mejoras 58
Figura 38, Resultados de ambas mejoras 59
Figura 39, Gráfica de series para producción diaria con ambas mejoras 59
Figura 40, Estadísticos del proceso con ambas mejoras..... 60
Figura 41, Gráfica de probabilidad para proceso actual y con ambas mejoras ... 61
Figura 42, Resultados de prueba de varianzas para proceso actual y ambas mejoras 62
Figura 43, Gráfica de boxplot para proceso actual y ambas mejoras 63
Figura 44, Gráfica de cubo para factores de DOE 70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1, Estructura de trabajo DMAIC & 8 Pasos para la resolución de un problema 15
Tabla 2, Estructura de trabajo DMAIC & 8 Pasos para la resolución de un problema 19
Tabla 3, Tabla de nombre de operaciones 20
Tabla 4, Estadísticos básicos por operación iniciales 22
Tabla 5, Tamaño de muestra estadístico 23
Tabla 6, Estadísticos básicos por operación finales 23
Tabla 7, % de Utilización y disponibilidad por estación 27
Tabla 8, Prueba de identificación de probabilidad 32
Tabla 9, Resultado prueba de medias proceso actual y segunda estación 44
Tabla 10, Estadísticos estación 7 y 8 46
Tabla 11, Estadísticos descriptivos de tiempo ciclo pilotos estaciones balanceadas 47
Tabla 12, Resultado prueba de medias proceso actual y estaciones balanceadas 57
Tabla 13, Resultado prueba de medias proceso actual y ambas mejoras implementadas 64
Tabla 14, Resumen de mejoras 66
Tabla 15, Diseño de experimentos 68
Tabla 16, Resumen de diseño de experimentos 68
Tabla 17, Análisis de varianza (ANOVA) de DOE 69
Tabla 18, Resultado de optimización de respuesta 70

GLOSARIO

7 wastes: Principales desprecios en un proceso.

APT: Acrónimo en ingles de "Transductor de presión automotriz".

Balanceo de líneas: Evaluar actividades y hacer una repartición armónica entre operaciones.

Cuello de botella: Paso en la que se ve limitado el ritmo de un proceso.

Desperdicios: Referente a los pasos de procesos que provocan perdidas económicas.

DMAIC: Acrónimo en inglés para \Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar".

Estabilidad: Referente a que una variable de salida o entrada se mantenga sin cambios en el tiempo.

Estandarizar: Definir un estándar de trabajo para una actividad.

Estudio de movimiento: Análisis de pasos en un proceso.

Hoshin kanri: Metodología para definir estrategia en una empresa o negocio.

Lean manufacturing: Conjunto de herramientas para hacer esbelto un proceso.

Manufactura: Fabricar algún objetivo a mano.

Metodología: Grupo de métodos para solucionar alguna situación.

Operación de ensamblado: Proceso de ensamble.

Operación de proceso: Proceso de transformación.

Salida teórica: Valor de salida resultante de un análisis estadístico.

Simulación: Acción de simular.

Tatk time: Ritmo de un proceso.

Teoría de restricciones: Teoría relacionada a los cuellos de botella.

Tiempo estándar: Tiempo establecido para una actividad.

TOC: Acrónimo en inglés para "Teoría de Restricciones"

Variación: Cambio que puede tener un proceso en el tiempo.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio actual se dirige al tema del incremento sobre producción en el proceso de soldadura, básicamente se refiere a la porción de piezas que se generan diariamente en las líneas de producción de Sensata Technologies para el producto "transductor de presión automotriz (Por sus siglas en ingles Automotive Pressure Transducer APT), la principal característica para realizar la investigación es que actualmente este proceso es uno de los cruciales cuellos de botella en la manufactura del APT, donde se entiende como cuello de botella aquella operación que marca el ritmo dentro del proceso y que limita la tasa máxima de producción dentro de este. Para analizar este problema, una de las posibles causas es debido a que este proceso es manual, refiriéndose que la mayoría de las tareas en el proceso es dependiente de los operadores, esto crea varios errores humanos al realizar una tarea repetidamente creando inestabilidad y una tasa baja de producción.

La investigación busca encontrar las soluciones que se deberán implementar en los principales pasos, con la finalidad de crear un sistema de producción lean que sea estable y predecible.

Debido a esto, el principal interés de la investigación es lograr entender por medio de la metodología de lean six sigma, definir cuál es el estado actual y encontrar cuál es el mejor estado futuro del proceso por medio de la teoría de restricciones, al igual de lograr la estandarización del proceso del análisis de trabajo y encontrar el tiempo ideal para los operadores, con la finalidad de reducir la variación entre operadores al ejecutar las tareas. Es la razón que esta investigación es explicativa, donde se busca analizar por medio de dos ramas cuáles serán las mejores soluciones para la producción y que ayuden en el incremento de la tasa promedio de la producción en el proceso de soldadura al igual de reducir la variación de esta. Una vez determinados estas soluciones es buscar simular ambos procesos (Proceso actual y procesos futuro) y entender si el estado futuro es capaz de aumentar la tasa de producción y finalmente implementarlos en la línea.

En el primer capítulo de la investigación en el marco teórico, se enfocará a cuáles han sido las principales técnicas de lean manufacturing que se han implementado al igual que la investigación de como el estudio de trabajo ha logrado un gran cambio en la mejora continua cuando un proceso es manual.

En el segundo capítulo, se busca realizar los análisis propuestos por ambas metodologías para entender los estados actuales del proceso, con la finalidad de encontrar las áreas de oportunidad y poder definir los controles y sistemas necesarios a implementar en el proceso.

En el tercer capítulo, se busca realizar una simulación con los controles definidos previamente y entender cuál será la salida teórica del proceso futuro con la implementación de los controles y sistemas definidos buscando determinar si en promedio la tasa de producción aumentara y se reducirá la variación de esta, también se determinarán los recursos necesarios para poder implementar los controles y sistemas propuestos.

En el cuarto capítulo, se determinarán las conclusiones generales de la investigación y se presentarán los resultados particulares para cada una de las propuestas definidas en los capítulos anteriores.

1.1. ANTECEDENTES

Durante la historia de Sensata Technologies, el producto "transductor de presión automotriz (Por sus siglas en ingles Automotive Pressure Transducer APT)" ha sido el mayor contribuyente del crecimiento como empresa manufacturera, ya que este sensor tiene diversas aplicaciones como lo son en automóviles, barcos, tractores, camiones, vehículos militares y aplicaciones industriales, por lo cual, la demanda de este sensor ha ido incrementando durante los últimos años, por lo que el proceso actual, debe adaptarse al incremente requerido por las órdenes de compra parte de los diversos clientes que existen, por ello, dentro de las estrategias que genera Sensata Technologies en el evento anual de Hoshin Kanri, para determinar los

objetivos de crecimiento y estrategias, se definió que Sensata Technologies busca obtener una mayor posición en el mercado para la venta de sensores automotrices, esto conlleva lograr más contratos con nuevos clientes y ganar proyectos de nuevos productos para los clientes actuales, ahora bien, para lograr este objetivo, Sensata Technologies a la par, debe lograr tener una mayor capacidad de producción en las líneas con la finalidad de poder cumplir la cantidad de piezas requeridas por los clientes actuales y poder tener capacidad disponible para nuevas oportunidades que se irán obteniendo, haciendo que la capacidad actual comienza a saturarse, por esta razón, se debe incrementar las tasas de piezas procesas dentro de sus líneas de producción, para ello se definieron nuevas objetivos basándose en los datos históricos que ha tenido de producción, determinando metas retadoras y alcanzables, donde en el proceso de soldadura del APT, se definió una meta de 14,000 unidades diarias, este valor no está muy lejos del valor promedio actual siendo de 9,500 unidades soldadas diarias, esta es una de las principales oportunidades dentro del negocio de APT, ya que dirección está determinando por medio de la estrategia general de crecimiento estos nuevos requerimientos para poder ser una empresa más rentable, por lo que cada generante dentro de los negocios existentes, debe buscar los proyectos necesarios para lograr este objetivo, dentro de estos proyectos, se determinó el trabajo que se está desarrollando en esta investigación el cual busca por medio de los principios de lean manufacturing lograr un proceso estable, con menos desperdicios, con mayor calidad y propenso a la mejora continua, para poder llegar a la meta definida como parte de la estrategia general dentro de Sensata Technologies. Ya que este problema afecta directamente al departamento de producción, y al no cumplir la demanda contratada por cliente, puede potencialmente provocar un paro de línea de producción con el cliente. Para buscar corregir este problema en el pasado se esperaba que automatizar la línea de producción pudiera ser la mejor solución, sin embargo, cuando se desarrolló el proceso de soldadura automático este no contaba con la capacidad en tiempo ciclo para poder cubrir la demanda de los clientes, por lo que se decidió no implementar esa acción para esta línea de producción, por esta razón, la intención de este proyecto es encontrar y optimizar la mejor forma de trabajo con el proceso manual, esperando encontrar con el

proceso de DMAIC y TOC encontrar soluciones factibles y con ayuda de softwares de simulación validar las opciones sin tener que realizar una inversión grande en algo que pudiera no funcionar. Por lo que se espera es encontrar el mejor escenario para optimizar y mejorar la tasa de producción diaria en la línea de producción celda 21.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Si bien durante el periodo de Septiembre 2017 a Enero 2018 el promedio diario de la tasa de producción en el proceso de soldadura entre la línea de producción celda 21M de Sensata Technologies para el "transductor de presión automotriz (APT)" fue de 9,500 piezas diariamente. Debió a que el proceso de soldadura no has sido mejorado ha provocado que no se logre la meta establecida de 13,300 unidades generando una perdida cercana a los $ 80,000.00 USD por línea mensualmente.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Dentro del Hoshin kanri que se lleva anualmente en Sensata Technologies para determinar las estrategias y objetivos para el crecimiento de la empresa, por lo que, se definieron las nuevas metas de producción para cada negocio interno de Sensata Technologies, donde al proceso de soldadura en APT se determinó una meta de 14,000 unidades soldadas diariamente en cada línea de producción esto con la finalidad de lograr tener la menor cantidad de impactos por entregas y aumentar la mano de obra, por lo que el enfoque de la investigación es debido a que la producción promedio en el proceso de soldadura durante los últimos seis meses es de 9,500 unidades diarias entre las líneas de producción, teniendo en cuenta este valor, es posible incrementar el valor promedio cerca al valor máximo que se ha podido registrar durante los últimos meses (13,300 unidades), por lo que este incremento y estabilidad del proceso generan un beneficio aproximado para la empresa cercano a los $80,000.00 USD mensualmente, además que al tener un proceso de producción lean, se busca no solo el incremento y la estabilidad de la producción, también se busca reducir los siete desperdicios principales dentro de

un proceso, la sobreproducción, tiempos, transportes, procesos, inventarios, movimientos y defectos, logrando la reducción de estos desperdicios trae consigo la mejora de calidad dentro del proceso de producción, por esta razón es importante encontrar los controles y/o sistemas que ayuden a mejorar en promedio y la variación de la tasa producción en el proceso de soldadura.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Establecer e implementar las acciones de mejora necesarias en el proceso de soldadura que permitan estandarizar las tareas de este proceso y permita aumentar la tasa de producción diario del "transductor de presión automotriz (APT)" siguiendo los principios de la metodología lean manufacturing para incrementar la tasa de producción del promedio diario de piezas que salen del proceso de soldadura, al igual que otro beneficio que genera la implementación de los principios dentro de la metodología de lean manufacturing, es reducir los desperdicios de un proceso de producción, logrando también que las tasas de piezas malas se reduzca y aumentar la excelencia del producto y del proceso, e impulsar la mejora continua con la participación de todos los niveles jerárquicos dentro de una empresa.

1.4.2. Objetivos específicos

a. Puntualizar las esenciales fuentes de alteraciones que actúan en la tasa promedio de piezas que salen del proceso de soldadura para el APT aplicando herramientas de ingeniería.
b. Seleccionar las acciones que ayuden a incrementar la tasa promedio de piezas que salen del proceso de soldadura reduciendo al mismo tiempo la variación de esta producción.
c. Implementar las acciones para mejorar la tasa de producción diaria.

1.5. HIPÓTESIS

La aplicación de herramientas de ingeniería como el estudio de trabajo en conjunto con la metodología de Lean Six Sigma permitirá establecer e implementar acciones y medidas encaminadas a estandarizar las tareas del proceso de soldadura del APT permitiendo un mejor control del proceso al reducir la variación de la producción e incrementar la tasa promedio diaria de piezas que son procesadas.

Se logrará incrementar la tasa promedio de piezas que salen del proceso de soldadura diariamente por medio de la metodología lean six sigma junto con la teoría de restricciones y la simulación por computadora. Formalmente este apartado puede expresarse:

$$H_0: \mu = \mu_0$$
$$H_1: \mu \neq \mu_0$$

Donde:

- $\mu: Es\ el\ promedio\ de\ la\ tasa\ de\ \ produccion\ diaria\ con\ el\ proceso\ actual$
- $\mu_0: Es\ el\ promedio\ futuro\ de\ la\ tasa\ de\ \ produccion\ diaria\ con\ el\ proceso\ mejorado$

2. MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO DE MANUFACTURA

El concepto de manufactura quizá sea tan antiguo que tal vez existe desde los primeros seres humanos en aparecer sobre el planeta, puesto que la manufactura prácticamente hace referencia a algo hecho a mano. La expresión se origina del latín manus (mano) y factus (hacer). (Groover, Fundamentos de manufactura moderna, 2007).

Para hacer más practico el entendimiento de la evolución de la manufactura se crea una línea de tiempo basándose en la información que maneja en el libro "Fundamentos de manufactura moderna", esto se representa de la siguiente manera (Figura 1):

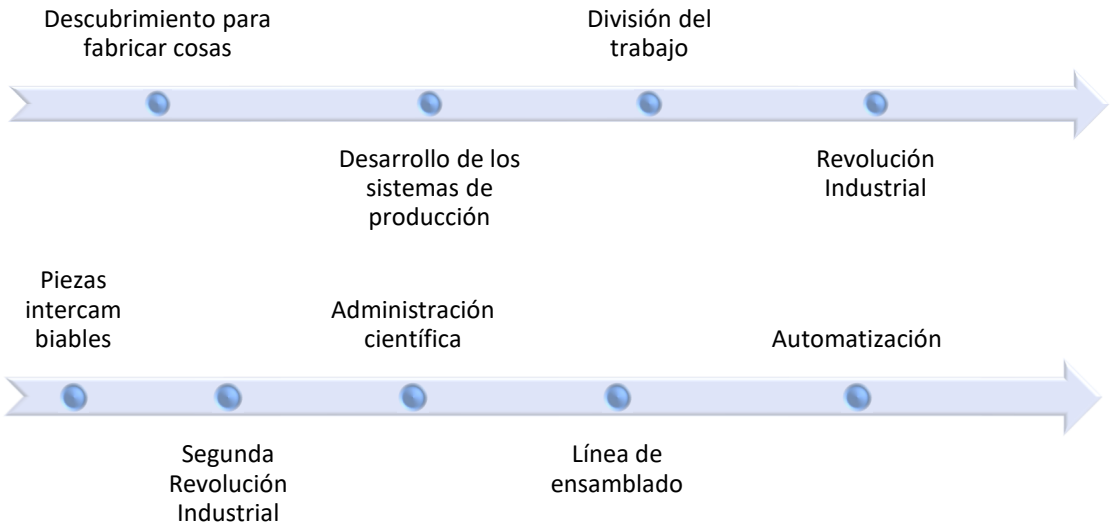


Figura 1, Línea de evolución de la manufactura

Fuente: elaboración propia

Definiciones de manufactura según su perspectiva:

De acuerdo con Groover (1) la manufactura puede entenderse como:

La manufactura tecnología, la cual consiste en alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio mediante procesos químicos o físicos con el fin de fabricar piezas o productos.

La manufactura economía, en la cual los materiales son transformados en artículos de valor mayor al efectuar uno o más operaciones de procesamiento o ensamblado. (Groover, Fundamentos de manufactura moderna, 2007).

Un proceso de manufactura se divide en dos tipos:
Operación de proceso: "Genera que un elemento de trabajo vaya de un estado inicia a otro más avanzado cerca del producto definitivo" (Groover, Fundamentos de manufactura moderna, 2007), es decir, que los procesos donde la materia prima que entre y pasa a través de este sufren un cambio físico sin agregarle un nuevo material al material o sub-ensamble original.

Un ejemplo es el proceso de desbaste de las orillas de una determinada pieza (Figura 2):

Figura 2, Ejemplo de operación de proceso
Fuente: elaboración propia

Operación de ensamblado: "Dos o más elementos se unifican, a fin de crear una forma nueva" (Groover, Fundamentos de manufactura moderna, 2007), es decir, que en este tipo de proceso entran por lo menos dos diferentes materias primas para formar un solo ensamble (Figura 3):

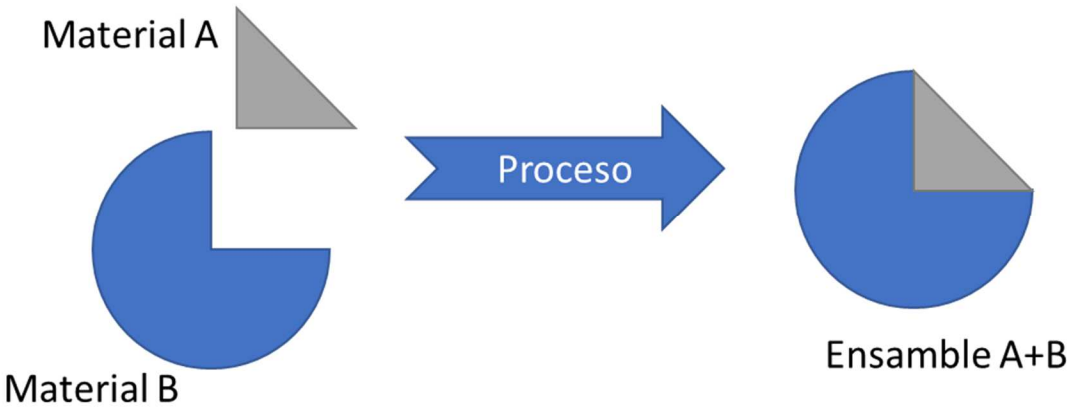


Figura 3, Ejemplo de operación de ensamble
Fuente: elaboración propia

Ahora bien, Niebel y Freivalds (2) mencionan que, cualquiera de estos dos tipos de procesos independientemente de las actividades que se desarrollen y de los materiales empleados, se requiere:

Una estación de trabajo: la cual se define como un espacio en el cual el operario efectúa los elementos de trabajo para una operación específica (Niebel & Freivalds, 2014).

Elementos de trabajo: fracción del trabajo que se mide utilizando un cronómetro y que lo definen puntos de quiebre o terminales fáciles de identificar (Niebel & Freivalds, 2014), prácticamente, las actividades que el operador realizara en la estación de trabajo.

Para entender estas actividades, los ingenieros utilizan diversas herramientas que les permite conocer los elementos de trabajo más a detalle, a esta categoría de análisis se le denomina como **análisis de la operación**, el cual es un protocolo de investigación sobre las operaciones de la manufactura o de la oficina. Un análisis para operación busca alcanzar la homogeneización de las tareas el cual incorpora el análisis de tiempo y movimiento (Niebel & Freivalds, 2014).

El **análisis para tiempos** se define como, el método el cual se apoya con un cronometro a fin de determinar un tiempo medio (Niebel & Freivalds, 2014). Esto se entiende como, la toma del tiempo de los elementos de trabajo que normalmente se realizan en una operación específica con la ayuda de un cronometro. A partir de estas mediciones, se busca definir un tiempo estándar para la operación. El **tiempo estándar** se define como la estimación de la velocidad para realizar una acción determinada con el uso idóneo de las técnicas de evaluación del trabajo por empleado apto (Niebel & Freivalds, 2014). Normalmente el tiempo estándar, es el **tiempo ciclo promedio**, que es el tiempo absoluto de todos los elementales fraccionado por el total de observaciones efectuadas durante el periodo (Niebel & Freivalds, 2014), agregando ajustes del tiempo por conducir charolas, acarrear pallets, llenado materiales, etc.

En el caso del **estudio de movimiento** se define como la separación y observación de actividades instituyentes de una operación para perfeccionar el orden de movimientos gracia a la supresión de los movimientos no eficientes (Niebel & Freivalds, 2014). Se puede entender que este estudio ayuda a encontrar aquellos movimientos que no generar valor durante el proceso.

Los conceptos de operación y estación de trabajo son parte fundamental de un **proceso**, el cual se concreta como el progreso definitivo en dimensiones del producto gracias a una secuencia de operaciones (Niebel & Freivalds, 2014). Operaciones que como se mencionó más arriba se desarrollan en una estación de trabajo.

Con la información que se recauda a través del análisis de la operación, se consensa y se crea un estándar de trabajo que deberá ser seguido por los operadores. Este estándar es el resultado de las mejores prácticas para desempeñar los elementos de trabajo en un tiempo estándar.

A un conjunto de operaciones con una secuencia de procesamiento, se le conoce como una **línea de producción o de ensamble** y normalmente la responsabilidad

de reestructurar el trabajo de forma equitativo en la línea de producción (entre operaciones), se le conoce como **balanceo de línea.** Niebel lo define como **el** problema que se incurre para determinar el número ideal de trabajadores de una línea de producción (Niebel & Freivalds, 2014).

Dos rasgos esenciales en los problemas de balanceo de líneas de acoplamiento, son la eficiencia y eficacia (Render & Heizer, 2014). Cuando se busca resolver este problema, la **tasa de producción** es el métrico (**variable respuesta**) para medir y comparar el estado presente respecto al estado futuro al momento de realizar la simular respectiva de cada estado. Ordinariamente minimizar disminuir la desproporción entre personal y maquinas se efectúa el balanceo de líneas y alcanzar la producción demandada por línea. Conocer procedimientos de trabajo, herramientas y equipos es necesario para los administradores en dirección de producir un índice objetivo (Render & Heizer, 2014).

2.2 LEAN MANUFACTURING (MANUFACTURA ESBELTA)

La manufactura esbelta normalmente es conocida por su nombre en inglés, **Lean manufacturing**, es una serie de técnicas que, si se aplican correctamente, mejorarán el rendimiento de una fábrica, un departamento o incluso una sola línea de producción o máquina. Las técnicas de manufactura esbelta son lógicas y, a medida que se, pueden considerarse como un avance hacia un futuro más eficiente (Estado futuro) (Dudbridge, 2011). Este concepto se relaciona bastante con el concepto de balanceo de líneas, la diferencia con lean manufacturing es que busca reducir los principales desperdicios, a los cuales se le conocen como 7 wastes (Hobbs, 2003) o bien en español, los 7 desperdicios o 7 mudas, los cuales son:

1. **Esperas**: Tiempo que el operador no realiza una actividad.
2. **Inventario**: Tener inventario de producto terminado y almacenado, indica que el producto no se está consumiendo, generando costos de almacenaje.
3. **Movimientos innecesarios:** Movimientos que no transformar el producto.
4. **No calidad(Defectos)**: Cuando el proceso genera defectos en el producto.
5. **Sobre-procesamiento**: Cualquier proceso que sea retrabajo o reproceso.

6. **Transporte**: mover material fuera del rango de trabajo.
7. **Sobreproducción**: Producir material más allá del demandado por cliente. También conocido como la madre de los desperdicios. (Contacto@Leansolutions.Co, n.d.)

El modelo de producción de Lean es la forma óptima de operar cualquier instalación de fabricación. Las empresas que siguen dependiendo de sus modelos de planificación existentes para mejorar el tiempo de respuesta, reducir los costos de capital de trabajo y mejorar el riesgo de calidad generando participación de mercado para los competidores que han hecho la transición a Lean (Hobbs, 2003), esto quiere decir que aquellas empresas las cuales aún no han implementado Lean Manufacturing crean una brecha de oportunidad en el mercado por no estar al nivel de competitividad de las empresas que ya han implementado Lean Manufacturing. Por esta razón, las herramientas que se utilizan para lean manufacturing buscan entender aquellas acciones que se encuentran en el proceso que no generar un beneficio para el negocio, es decir, los elementos que **no agregan valor.** Además, se enfoca en optimizar aquellas acciones que generan un verdadero beneficio al negocio, es decir, aportan **valor agregado** al producto.

Otro principio importante en el entorno de lean manufacturing es que busca llevar el balanceo de línea a un ritmo controlado, normalmente este ritmo controlado es llamado tatk time. El término es la unión de palabras Takt (palabra alemana para ritmo o pulso) y Time (palabra inglesa para tiempo), por lo que el takt time es el tiempo del ritmo, trasladando eso a los términos de manufactura, se entiende como el tiempo del ritmo de producción que debería operar una línea de producción. El tiempo takt de una operación es como la velocidad de frecuencia cardíaca que se requiere para permitir que el proceso cumpla con sus requisitos de salida (Dudbridge, 2011). Para determinar el tiempo takt se considera la demanda por parte del cliente. Como lo describe Render, el tiempo takt, es el ritmo(frecuencia) de producción para solventar la demanda (Render & Heizer, 2014). Esta relación se representa en la ecuación 1:

Ecuación 1

$$Tiempo\ takt\ = \frac{Tiempo\ de\ trabajo\ disponible\ total}{Unidades\ requeridas}$$

Una vez que se conoce el tiempo takt o takt time, al ser el tiempo al que cada proceso debe trabajar para lograr la demanda requerida, se puede considerar el takt time como un objetivo el cual seria "el tiempo ciclo máximo" que puede tener una operación dentro de una línea de producción, donde aquella operación que este por arriba de este tiempo, se considera una restricción. Se dividen en no físicas y físicas, las primeras están relacionadas con el personal y las segundas con la existencia de materia prima, suministros y personal o equipos. (Render & Heizer, 2014).

Fue aquí donde se da origen a la **Teoría de restricciones (TOC)**, que básicamente es una técnica de sistemas para el mejoramiento continuo, utilizada para administrar inventarios (Cárdenas y Nápoles, 2006). La TOC erudición sobre las limitantes en una organización para cumplir objetivos (Render & Heizer, 2014). Normalmente la principal restricción de una línea de producción es limitada por aquella operación que es considerada el **cuello de botella**, el cual es una restricción en velocidad y capacidad (Dudbridge, 2011), y es considerada la operación más lenta dentro de un proceso de fabricación. Por definición, un cuello de botella es imposible que se elimine en un proceso (Render & Heizer, 2014), ya que siempre existirá un nuevo cuello de botella al mejorar el anterior.

Ahora bien, una forma de atacar las restricciones es con los siguientes pasos:

1. Reconocimiento de limitaciones.
2. Fomentar un plan que exceda las limitaciones reconocidas.
3. Los recursos son centrados en lograr el paso 2.
4. Personal aquejado deben reconocer reducir el impacto de las limitaciones, acrecentando la capacidad o mitigando carga de trabajo
5. Al superar limitaciones, retomar el paso 1, para identificar nuevas limitaciones. (Render & Heizer, 2014)

Estos pasos, forman un ciclo constante, ya que, volviendo a la definición de cuello de botella que es considerada una restricción, siempre abra una operación más lenta que otra.

Para lograr una administración del proyecto adecuada, en especial para el paso 1 y 2 descritos en la TOC, se combinará con la técnica descrita como los ocho pasos en la solución de un problema, que consiste en:

1. problema se concreta y analiza su importancia.
2. Las causas potenciales son exploradas.
3. Se analiza cual es la principal causa.
4. Ordenar contramedidas.
5. Implementar contramedidas.
6. Equiparar el antes y después.
7. Preservar contramedidas para impedir reaparición.
8. Cierre (Gutiérrez Pulido, Calidad y productividad, 2014).

Esta forma de solución de problema mezclada con la metodología DMAIC (Gutierrez Pulido & De la Vara Salazar, 2013), se complementa creando la siguiente estructura de trabajo (Tabla 1):

Tabla 1, Estructura de trabajo DMAIC & 8 Pasos para la resolución de un problema

Etapa	Paso
Definir/Medir	El problema se concreta y analiza su importancia.
Medir	Las causas potenciales son exploradas
Analizar	Se analiza cual es la principal causa
	Ordenar contramedidas
Mejorar	Implementar contramedidas
	Diferenciar antes y después
Control	Preservar contramedidas para impedir reaparición
	Cierre de proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Otros enfoques que ayudan dentro de lean manufacturing son los que se los siguientes:

- Participación de los trabajadores y mejora continua.
- Tamaño de lotes pequeños y reducción en la reparación.
- Detección del proceso.
- Prevención de errores.
- Mantenimiento productivo total. (Groover, Introducción a los procesos de manufactura, 2014)

2.3 SIMULACIÓN

En balanceo de líneas lindante a la distribución de procesos, continuamente se dirime con el empleo de ordenadores (Render & Heizer, 2014).

Por esta razón, la simulación ayuda a entender el comportamiento de los procesos de forma computarizado permitiendo que se puedan realizar pruebas y experimentación sin realizar gastos de recursos, con la finalidad de optimizar y hacer más eficientes las mejoras. (Hurtado, Ruiz, & Torres, 2005)

2.4 DISEÑO DE EXPERIMENTOS

El diseño de experimentos se basa en producir datos que son analizados por métodos estadísticos que suministran certidumbre objetiva para una situación precisa a través de idear y ejecutar diversas demostraciones (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, Análisis y diseño de experimentos, 2012). Por esta razón, los diseños de experimentos son utilices durante las investigaciones, para poder hacer a un lado la parte subjetiva del investigador y tener un enfoque más empirista, por eso es por lo que se basa en los métodos estadísticos para lograr genera adiestramiento y erudición productiva.

2.5 APLICACIONES RECIENTES

Durante el proyecto de investigación sobre esquemas de producción sobresalientes mediante el uso de herramientas lean manufacturing presentado en la revista digital de ciencias administrativas (Vargas-Hernández, Muratalla-Bautista, & Jiménez Castillo, 2018) la hipótesis general que es presentada indica que la variable dependiente un esquema de producción es la mejora ininterrumpida de está relacionada con la variable independiente Lean Manufacturing, teniendo como indicadores disminución de desperdicios, calidad, competitividad y costos de producción. Esto con el propósito particular para acrecentar la competitividad de la empresa con la ayuda de la mejora ininterrumpida, potenciando la calidad con la puesta en marcha de Lean Manufacturing.

En el desarrollo del proyecto presentado, se habla sobre los beneficios que puede tener la implementación de lean manufacturing, los cuales son: reducción por costos debido a compras, producción y calidad, reducción del área utilizada para las instalaciones, reducción de inventarios, reducción de lead time (tiempo de procesamiento), también habla sobre los fundamentos esenciales por los que una compañía introduce Lean manufacturing donde los tres principales motivos son:

- Tiempo de resultados.
- Simplicidad de la teoría y métodos.

- Mejora obtenida.

Otra investigación sobre mejoramiento por implementación de lean manufacturing presentado en el International Research Journal of Engineering and Technology, el cual trata sobre los pasos que debe seguir una implementación de lean manufacturing (Shah & Patel, 2018), durante esta investigación, que el procedimiento para aplicar lean manufacturing es aplicable para cualquier tipo de organización, independientemente del tamaño, en el cual indican que las herramientas más usadas es el kanban, flujo continuo. Donde en resumen los pasos para la implementación se pueden resumir de la siguiente manera:

a) Generar literatura
b) Identificar el problema y definir el objetivo
c) Recolectar información y datos
d) Analizar y seleccionar la mejor herramienta de lean manufacturing aplicable
e) Trabajar con enfoque en los 7 desperdicios e implementar las herramientas
f) Estandarización de los procedimientos para reducir los desperdicios
g) Validar los resultados del antes y después

Siendo estos proyectos de investigación un fundamento para la implementación de lean manufacturing en las operaciones del proceso de soldadura manual, ya que lo que se busca es mejorar la tasa de producción, de una maneara sencilla a través de la reducción de los 7 desperdicios, una vez que se tengan definidos los principales desperdicios, la idea principal es construir diferentes escenarios con base en lo analizado con las herramientas de lean manufacturing, donde cada escenario se utilizara con un nivel dentro del factor de estado futuro, es decir, el escenario 1, puede estar compuesto de solo mejorar el kanban, el escenario 2, puede estar compuesto de mejorar el trabajo estandarizado, el escenario 3 pudiera estar compuesto de mejorar el rendimiento de una operación, estos niveles estarán en dentro de la variable de estado futuro (variable independiente) con la se buscara mejorar la variable salida, la cual es la tasa de producción diaria, ahora bien, para poder determinar estas tasas producción diaria en el estado futuro, se pretende utilizar la simulación por computadora para entender estos valores, una

vez teniendo esta información se procederá a la ejecución de un diseño de experimentos el cual puede estar formado de un solo factor o varios, desentendiendo de como este el estado presente y lo que indique que es necesario aplicar en el estado futuro.

Al finalizar esta investigación, lo que se pretende es poder para determinar cuál será el plan con todas las tareas necesarias para lograr tener un mejor estado futuro con el menor uso de recursos disponibles.

3. PROCEDIMIENTO

Con base a la metodología DMAIC, se ira trabajando conforme a cada etapa mostrado la siguiente informacion (Tabla 2):

Tabla 2, Estructura de trabajo DMAIC & 8 Pasos para la resolución de un problema

Etapa	Paso
Definir/Medir	El problema se concreta y analiza su importancia.
Medir	Las causas potenciales son exploradas
Analizar	Se analiza cual es la principal causa
	Ordenar contramedidas
Mejorar	Implementar contramedidas
	Diferenciar antes y después
Control	Preservar contramedidas para impedir reaparición
	Cierre de proyecto.

Fuente: Elaboración propia

3.1 DEFINICIÓN

3.1.1 Objetivo general del proyecto

Lograr aumentar la tasa de producción diaria en el proceso de soldadura manual de la celda 21M para el modelo 16MCP4-1 (8F FORD) en el negocio de APT el cual cuenta con un promedio actual de 9,500 unidades diarias, a lo cual se requiere llevar la tasa de producción diaria por lo menos a un 40% más del valor actual, que equivale a 13,300 piezas diarias.

3.1.2 Descripción del métrico del proyecto

Métrico: Tasa de producción diaria en proceso de soldadura manual de celda 21M

3.2 MEDICIÓN

3.2.1 Mapeo del proceso

El primer paso es definir el flujo general del proceso a mejorar, del cual, se enlistan sus operaciones agregando un código para cada operación y lograr una visualización más clara en el diagrama de flujo final, por lo que la tabla 3 muestra la informacion básica, nombre de operación y código.

Tabla 3, Tabla de nombre de operaciones

Nombre de operación	Estación
Doblado de modulo	Op 01
Carga de capacitor cerámico en pallet, dispensado de epóxido en capacitor cerámico y carga de circuito electrónico sobre capacitor cerámico con epóxido	Op 02
Inserción de clip con preforma de soldadura para unión entre capacitor cerámico y circuito electrónico	Op 03
Horno de reflujo para preforma del clip	Op 04
Dispensado de conformal sobre microprocesador	Op 05
Horno de curado para conformal	Op 06
Inspección de dispensado de conformal	Op 07
Remover Bandolier, cargar conector y carga de sub-ensamble en pallet de soldadura	Op 08
Soldadura manual de pines en conector	Op 09
Inspección visual de reflujo por operador	Op 10
Inspección automática de soldadura	Op 11
Cierre de sub-ensamble	Op 12

Fuente: Elaboración propia

También es importante considerar que todas las estaciones cuentan con un operador para realizar la operación, salvo la estación Op04 y Op06 que son procesos de horneados de banda donde el material viaja sobre esta banda curando el material y los operadores de las estaciones subsecuente y posterior a

estas estaciones son los encargados de cargar y descargar la estación Op 04 y Op 06 (Figura 4):

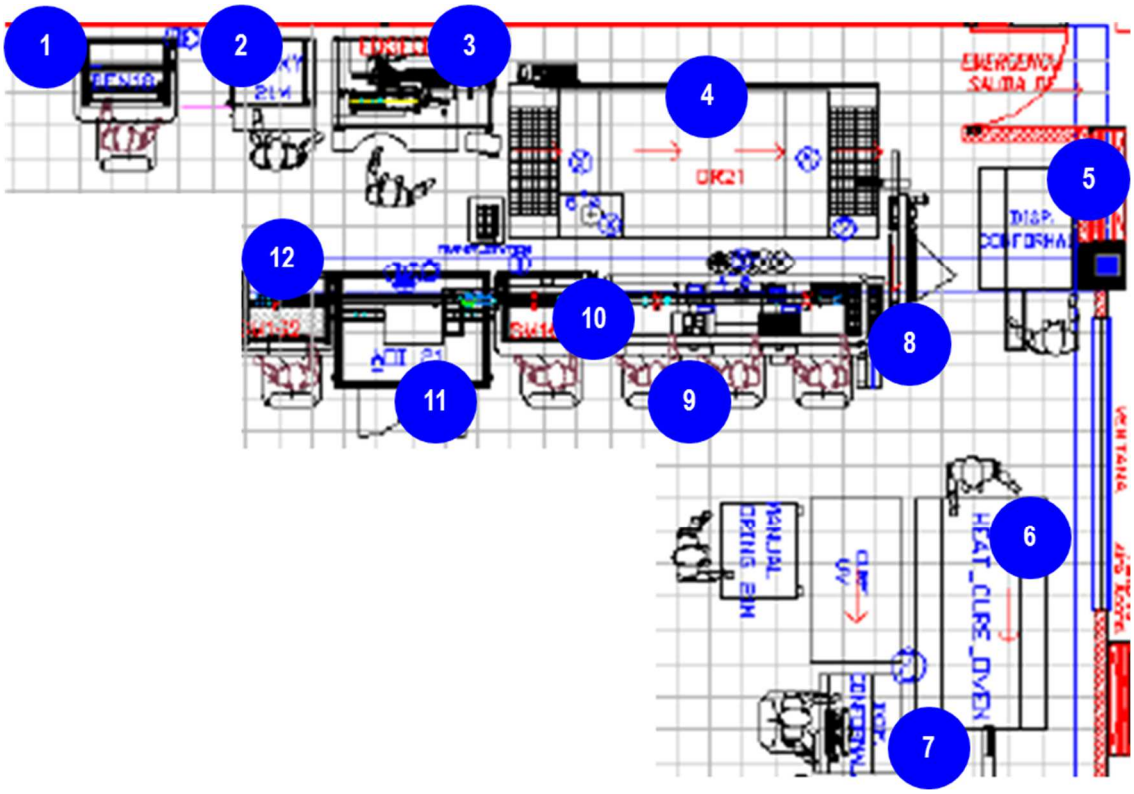


Figura 4, Layout de celda 21M

Fuente: elaboración propia

Como análisis exploratorio se genera una muestra piloto donde se tomaron 30 tiempos ciclos de cada operación se tomaron de forma continua, de los cuales se distribuyen 10 tiempos ciclos por cada turno de trabajo, diez en el vespertino, diez en el matutino y diez en el nocturno, con lo que se obtuvo su tiempo ciclo promedio (Tc) y la desviación estándar de estos tiempos ciclo pilotos para determinar el tamaño de muestra correcto (Tabla 4):

Tabla 4, Estadísticos básicos por operación iniciales

Variable	Mean	StDev
Op 01	3.60	0.050
Op 02	4.20	0.066
Op 03	2.72	0.096
Op 04	3.94	0.103
Op 05	4.11	0.066
Op 06	3.90	0.058
Op 07	3.89	0.051
Op 08	6.84	1.122
Op 09	6.97	1.183
Op 10	3.89	0.052
Op 11	2.69	0.074
Op 12	4.20	0.449

Fuente: Elaboración propia

Con estos valores pilotos se calcula el tamaño de muestra más adecuado para comparar dos muestras, a lo cual se usa una herramienta estadística llamada potencia y tamaño de la muestra para t de 2 muestras. Para esta prueba es necesario utilizar las desviaciones estándar para cada operación, un nivel valor de potencia de 0.95 y un valor de diferencia mínima de 0.5 segundos.

A lo que se obtiene para cada operación un tamaño de muestra estadístico para tener un valor de potencia de 0.95, teniendo lo resultados mostrados en la tabla 5, se puede apreciar cuantas observaciones hacen falta para cumplir el tamaño de muestra calculado estadísticamente.

Tabla 5, Tamaño de muestra estadístico

Estacio	TC	Desviación estándar	Tamaño de muestral calculado	Actual	Faltan
Op 01	3.60	0.050	2	30	0
Op 02	4.20	0.066	3	30	0
Op 03	2.72	0.096	3	30	0
Op 04	3.94	0.103	3	30	0
Op 05	4.11	0.066	3	30	0
Op 06	3.90	0.058	2	30	0
Op 07	3.89	0.051	2	30	0
Op 08	6.84	1.122	132	30	102
Op 09	6.97	1.183	147	30	117
Op 10	3.89	0.052	2	30	0
Op 11	2.69	0.074	3	30	0
Op 12	4.20	0.449	22	30	0

Fuente: Elaboración propia.

Con estos resultados, se puede observar que es necesario tomar 102 datos más para la operación 08 y 117 más para la operación 09, esto repartido entre los 3 turnos, quedaría 34 observaciones más para cada turno de la operación 08 y 39 observaciones más para cada turno de la operación 09, obteniendo los resultados en la tabla 6 que son tiempos ciclos finales de las muestras con una potencia de 0.95.

Tabla 6, Estadísticos básicos por operación finales

Fuente: Elaboración propia

Variable	Mean	StDev
Op 01	3.60	0.050
Op 02	4.20	0.066
Op 03	2.72	0.096
Op 04	3.94	0.103
Op 05	4.11	0.066
Op 06	3.90	0.058
Op 07	3.89	0.051
Op 08	6.73	1.106
Op 09	7.00	1.042
Op 10	3.89	0.052
Op 11	2.69	0.074
Op 12	4.20	0.449

Los datos mostrados en la tabla 6, contienen solo el tiempo ciclo del proceso, esto indica que no incluyen el tiempo por espera entre operaciones, ya que se debe buscar la operación con el tiempo ciclo de procesamiento más largo, el cual se puede observar en el siguiente Pareto (Figura 5):

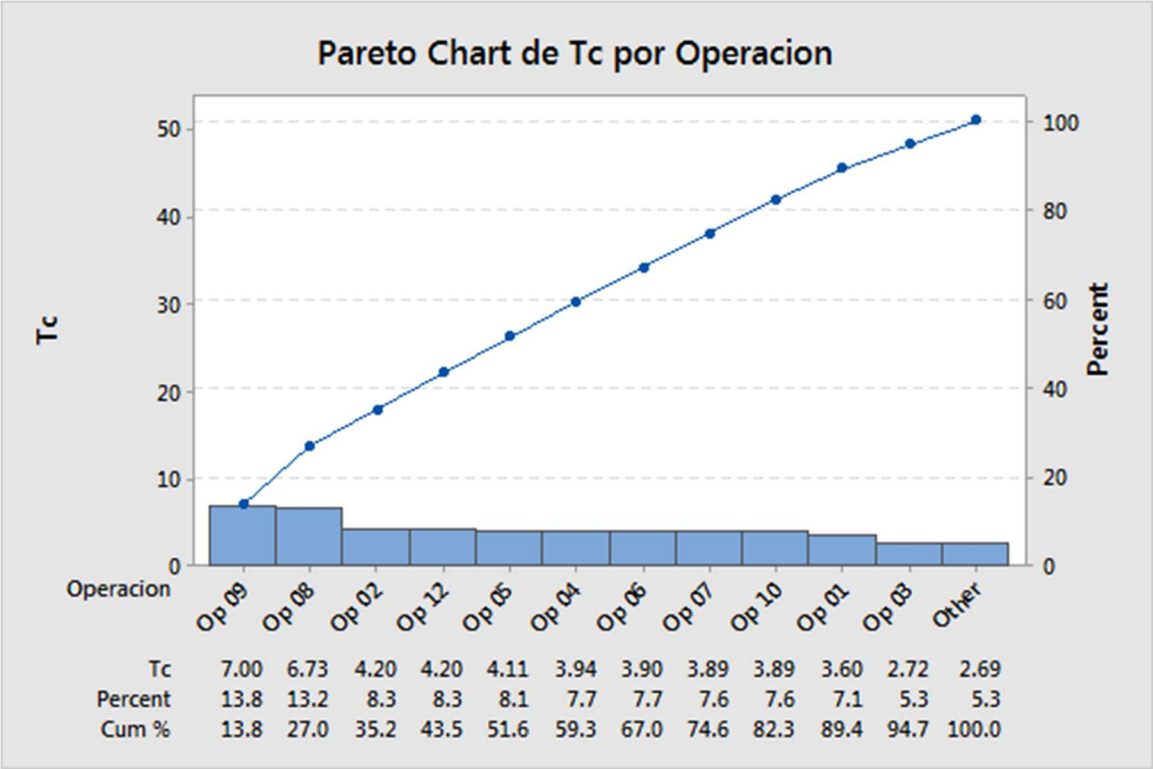


Figura 5, Pareto de tiempo ciclo por estación

Fuente: elaboración propia

En el diagrama de flujo codificado, se puede observar que prácticamente todo el proceso es lineal, como se ve en el Pareto se remarcan las operaciones con el Tc más largo (Figura 6):

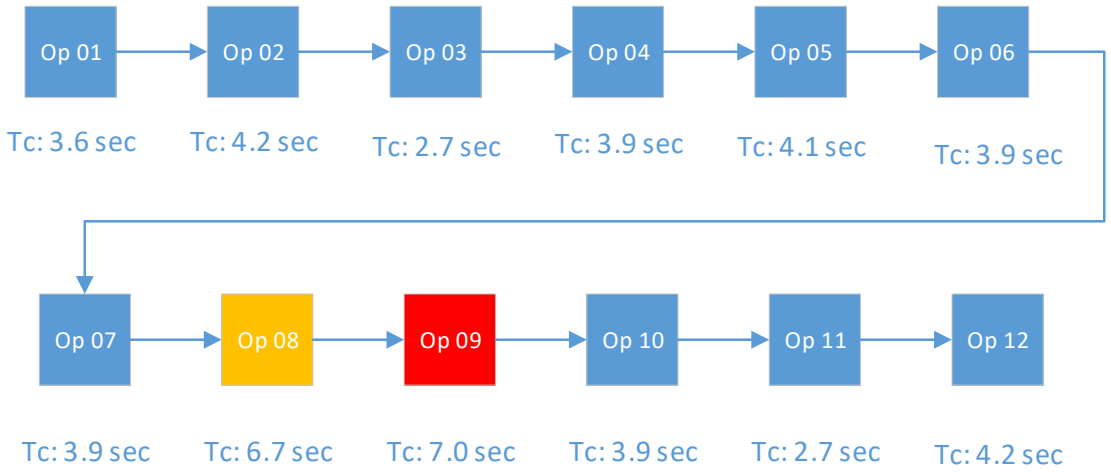


Figura 6, Flujo de proceso de soldadura celda 21M

Fuente: elaboración propia

Por lo que se analiza tiempo takt del proceso, tiempo takt del proceso, el cual se calcula dividiendo el tiempo de trabajo total disponible entre la cantidad de unidades diarias demandas. El tiempo de trabajo total disponible entre los tres turnos se obtiene de eliminar del tiempo de trabajo teórico la duración de los paros programados entre ellos el tiempo destinado para juntas, alimentación, cambios de turno, cambios de herramental y/ modelos. El proceso teóricamente puede realizarse las 24 horas del día, por lo que eliminando la duración de los paros programados el tiempo de trabajo total disponible del proceso es de 20 horas y con base en la ecuación 1, se obtiene que el valor del tiempo takt como se muestra en la ecuación 2, es la siguiente:

Ecuación 2

$$Tiempo\ takt\ = \frac{Tiempo\ de\ trabajo\ disponible\ total}{Unidades\ requeridas} = \frac{20\ hrs}{14{,}000} = \frac{72{,}000\ sec}{14{,}000}$$
$$= 5.14\ sec/pieza$$

El tiempo Takt de 5.14 es el valor de referencia para conocer el impacto que tiene cada operación en el proceso completo. La Gráfica de la Figura 7 muestra la comparación realizada para las 12 operaciones.

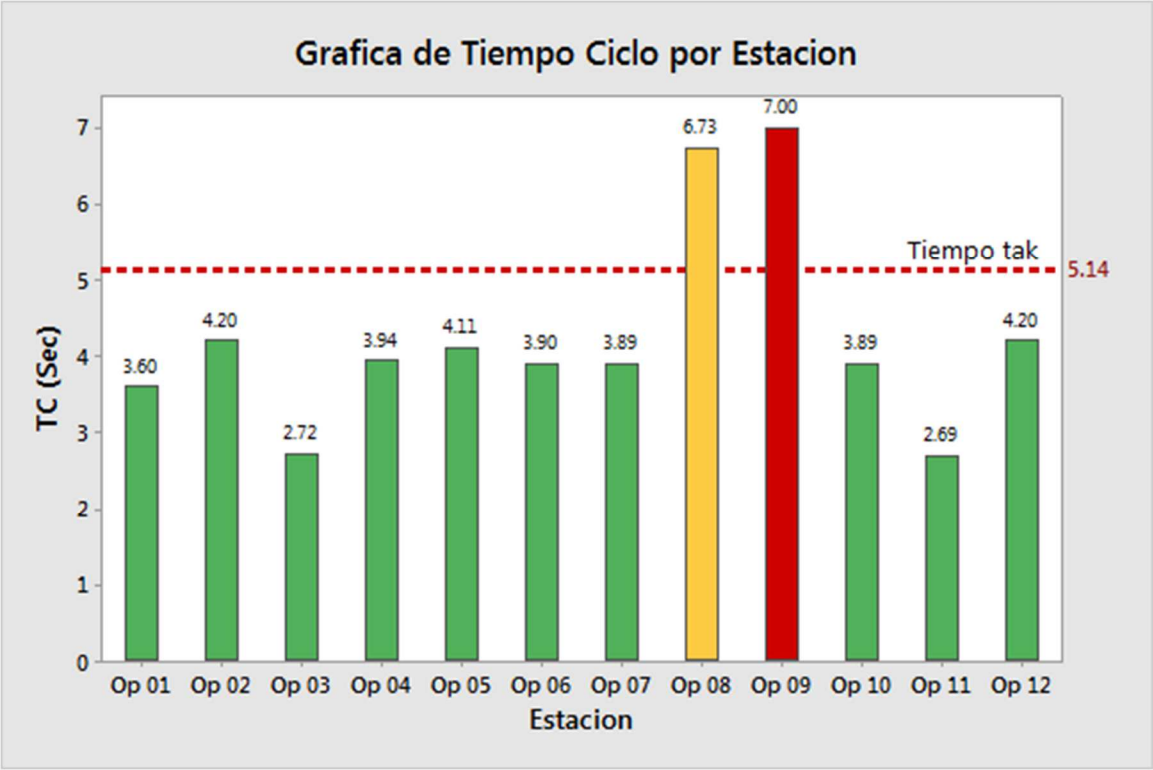


Figura 7, Gráfica de barras tiempos ciclo y tiempo takt

Fuente: elaboración propia

Ahora bien, observando el proceso se puede observar que la estación Op 08 tiene un tiempo similar a la estación Op 09, sin embargo, la estación Op 07 tiene un tiempo ciclo muy por debajo de ambas estaciones, esto puede indicar que hay operaciones con un porcentaje de utilización (% de Utilización) muy bajo respecto a las estaciones Op 08 y Op 09, por lo que se realiza un análisis de % de utilización de las estaciones y, en caso de ser posible, balancear las actividades que hace cada operador buscando soportar estas dos estaciones y reducir el porcentaje de tiempo de utilización ecuación 3 y aumentar el porcentaje de tiempo que está disponible ecuación 4 , para esto utiliza las siguientes ecuaciones:

Ecuación 3

$$\%\ de\ Utilizacion = \frac{Tiempo\ Ciclo\ de\ proceso}{Tiempo\ total\ disponible\ de\ operacion}$$

Ecuación 4

$$\% \, disponible = 1 - \% \, de \, Utilizacion$$

Para esto durante la toma de los Tiempos ciclos para cada estación, se considera también el tiempo de espera que tiene el operador entre ciclo y ciclo, por lo que al tomar las observaciones de cada operación para calcular su tiempo ciclo, también considero el cálculo del tiempo total entre ciclos, básicamente este tiempo es el tiempo de realizar las actividades en la operación y el tiempo de espera entre estaciones para procesar material, donde estos resultados muestran los siguientes resultados (Tabla 7):

Tabla 7, % de Utilización y disponibilidad por estación

Estación	TC	Tiempo Total	% de Utilización	% Disponible
Op 01	3.60	4.40	81.89%	18.11%
Op 02	4.20	4.70	89.38%	10.62%
Op 03	2.72	3.27	83.21%	16.79%
Op 04	3.94	4.94	79.74%	20.26%
Op 05	4.11	4.91	83.66%	16.34%
Op 06	3.90	6.00	65.04%	34.96%
Op 07	3.89	6.18	62.90%	37.10%
Op 08	6.73	7.34	91.65%	8.35%
Op 09	7.00	7.05	99.29%	0.71%
Op 10	3.89	4.79	81.24%	18.76%
Op 11	2.69	3.09	87.06%	12.94%
Op 12	4.20	4.85	86.60%	13.40%

Fuente: Elaboración propia

3.4 ANÁLISIS

Con estos datos se observa que las estaciones anteriores a la estación Op 08 cuentan con tiempo disponible entre 10.62% (mínimo) y 37.10% (máximo), esto puede indicar una buena oportunidad de mejora, ya que estas operaciones pueden ayudar al balanceo de las actividades (Figura 8):

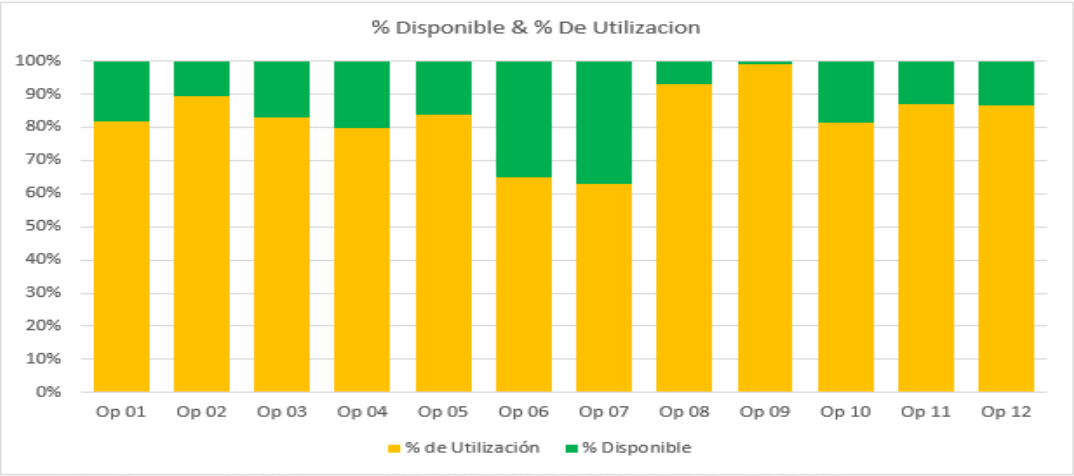


Figura 8, Gráfica del % de utilización por estación

Fuente: elaboración propia

Sin embargo, cabe considerar que la estación Op 06 es un proceso de horneado, en el cual no hay operador como tal y la maquina es totalmente automática salvo por la carga y descarga, por lo que la única estación disponible para realzar el análisis es la Op 07 que corresponde al proceso de Inspección de conformal.

Ahora bien, con base en los tiempos ciclos se decide comenzar con la estación más lenta, que es la Op 09, estación que corresponde a la estación de Soldadura manual de pines en conector, como primera fase se realizara el análisis de la operación para entender las actividades que agreguen valor o no durante su proceso, por lo que se genera el diagrama detallado de la operación (Figura 9):

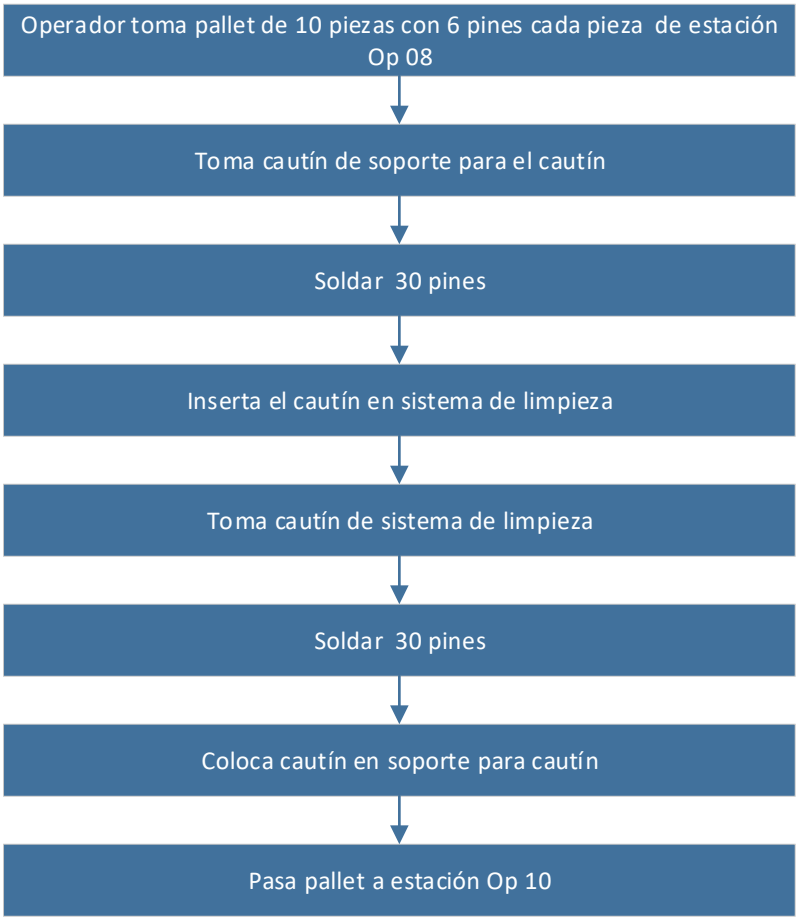


Figura 9, Diagrama detallado de estación de soldadura manual
Fuente: elaboración propia

Con base al diagrama detallado de la estación, se puede observar que prácticamente todas las actividades son necesarias para poder realizar el proceso con calidad y lo más rápido posible.

Para la operación con mayor tiempo ciclo la cual es Soldadura manual de pines en conector, retomando la teoría de restricciones, si se agrega una segunda estación el tiempo debido a que este proceso tiene una utilización prácticamente al 100%, esta se dividiría en dos y en teoría debería poder tener más % de tiempo disponible, por lo que una primera alternativa seria la siguiente.

3.4.1 Primera alternativa (segunda estación de soldadura)

La tasa promedio de piezas que salen del proceso diariamente de soldadura se incrementara al agregar una segunda estación de soldadura manual para pines en el conector, la cual es llamada Op09 B, respecto al proceso actual.

Formalmente esta alternativa puede expresarse como una prueba de hipótesis estadística de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Donde:

- $\mu_1: Es\ el\ promedio\ de\ la\ tasa\ de\ \ produccion\ diaria\ con\ el\ proceso\ actual$
- $\mu_2: Es\ el\ promedio\ futuro\ de\ la\ tasa\ de\ \ produccion\ diaria\ con\ dos\ estaciones$ Op09 B

Para determinar si la aseveración expuesta se cumple se realiza la simulación del proceso modificado por medio de Promodel, un simulador procesos industriales. En esta simulación se construyen tanto el modelo de operación actual como el propuesto con dos estaciones de soldadura manual. El factor o variable independiente que se desea probar es la tasa de producción diaria durante 30 días para cada nivel del factor, es decir, 30 días de producción diaria se simulan con la forma actual (**Caso A**) y 30 días de producción con la nueva forma de trabajar utilizando una segunda estación (**Caso B**), ambos casos con un tiempo disponible de 20 horas.

Un paso importante en la simulación por computadora cuando se trata de simulaciones discretas es determinar que tipo de distribución sigue cada estación de trabajo, para verificar que la distribución de los datos correspondientes al tiempo ciclo de cada operación se ajustan a una distribución normal, se realiza un aprueba de bondad de ajuste Anderson Darling, la gráfica de la figura 10 muestra

que tanto los datos de tiempo ciclo de cada operación se ajustan a una distribución normal teórica.

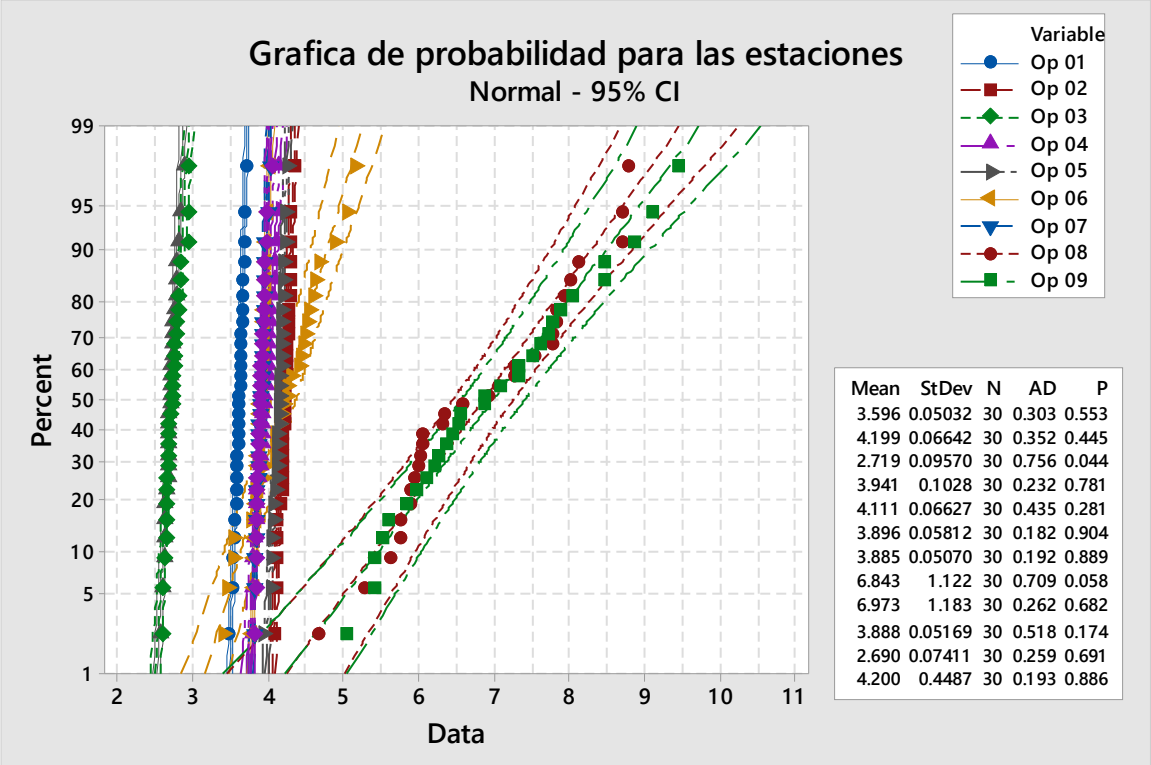


Figura 10, Gráfica de probabilidades por estación

Fuente: elaboración propia

Con base en el valor P y un nivel de confianza al 95%, aquellas estaciones que tengan un Valor P menor a 0.05 se considerará que no siguen una distribución normal, caso contrario, siguen una distribución normal. Para lo que solo la estación 3 con un valor P de 0.044 no cumple la condición, por lo tanto, esta estación, no sigue una distribución normal. Por lo que es necesario realizar una prueba para identificar su distribución utilizando la herramienta en MINITAB. Obteniendo los siguientes resultados (Tabla 8):

Tabla 8, Prueba de identificación de probabilidad

Goodness of Fit Test

Distribution	AD	P	LRT P
Normal	0.756	0.044	
Box-Cox Transformation	0.385	0.371	
Lognormal	0.678	0.069	
3-Parameter Lognormal	0.199	*	0.016
Exponential	12.879	<0.003	
2-Parameter Exponential	1.057	0.067	0.000
Weibull	1.514	<0.010	
3-Parameter Weibull	0.239	>0.500	0.000
Smallest Extreme Value	1.636	<0.010	
Largest Extreme Value	0.267	>0.250	
Gamma	0.715	0.065	
3-Parameter Gamma	0.235	*	0.015
Logistic	0.579	0.089	
Loglogistic	0.533	0.128	
3-Parameter Loglogistic	0.225	*	0.029
Johnson Transformation	0.186	0.897	

Fuente: Elaboración propia

Debido a que Promodel no cuenta con todas las distribuciones, se tomara la distribución Lognormal ya que esta distribución tiene el mayor valor P de 0.069 dentro de las probabilidades disponibles en Promodel.

También se obtiene la gráfica de probabilidad para una distribución Lognormal (Figura 11):

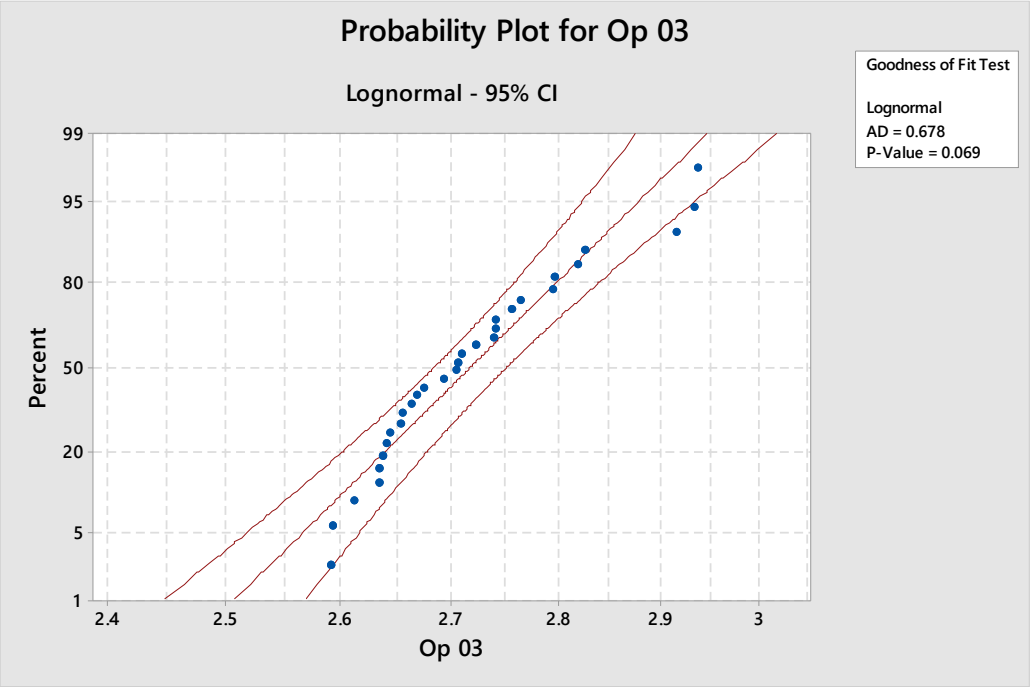
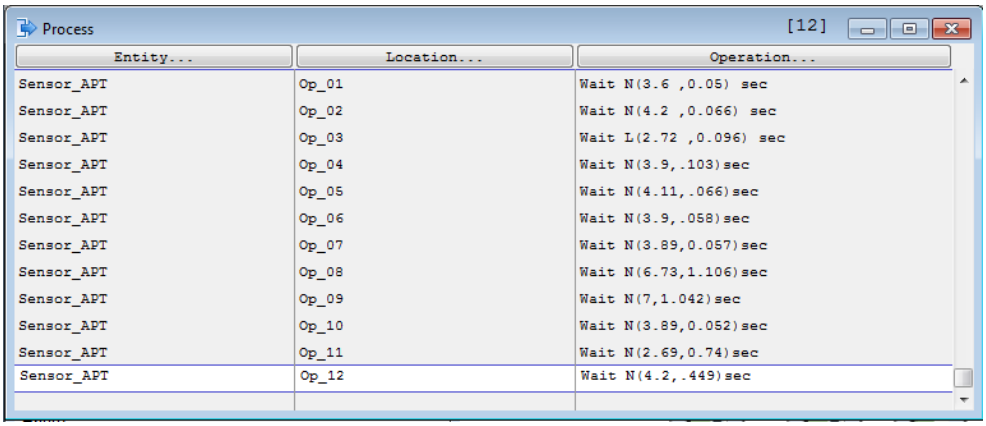


Figura 11, Gráfica de probabilidad Op3

Fuente: elaboración propia

Ahora bien, conociendo el tipo de distribución para cada estación y sus parámetros, que se definieron en la tabla 6, en Promodel se programa el código en el apartado de "operation" como se muestra en la figura 12 para poder realizar la corrida de la simulación.



Process [12]

Entity...	Location...	Operation...
Sensor_APT	Op_01	Wait N(3.6 ,0.05) sec
Sensor_APT	Op_02	Wait N(4.2 ,0.066) sec
Sensor_APT	Op_03	Wait L(2.72 ,0.096) sec
Sensor_APT	Op_04	Wait N(3.9,.103)sec
Sensor_APT	Op_05	Wait N(4.11,.066)sec
Sensor_APT	Op_06	Wait N(3.9,.058)sec
Sensor_APT	Op_07	Wait N(3.89,0.057)sec
Sensor_APT	Op_08	Wait N(6.73,1.106)sec
Sensor_APT	Op_09	Wait N(7,1.042)sec
Sensor_APT	Op_10	Wait N(3.89,0.052)sec
Sensor_APT	Op_11	Wait N(2.69,0.74)sec
Sensor_APT	Op_12	Wait N(4.2,.449)sec

Figura 12, Programación en Promodel proceso actual

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la simulación con la situación actual del proceso, siguiendo el proceso como se muestra en el layout de la figura 13.

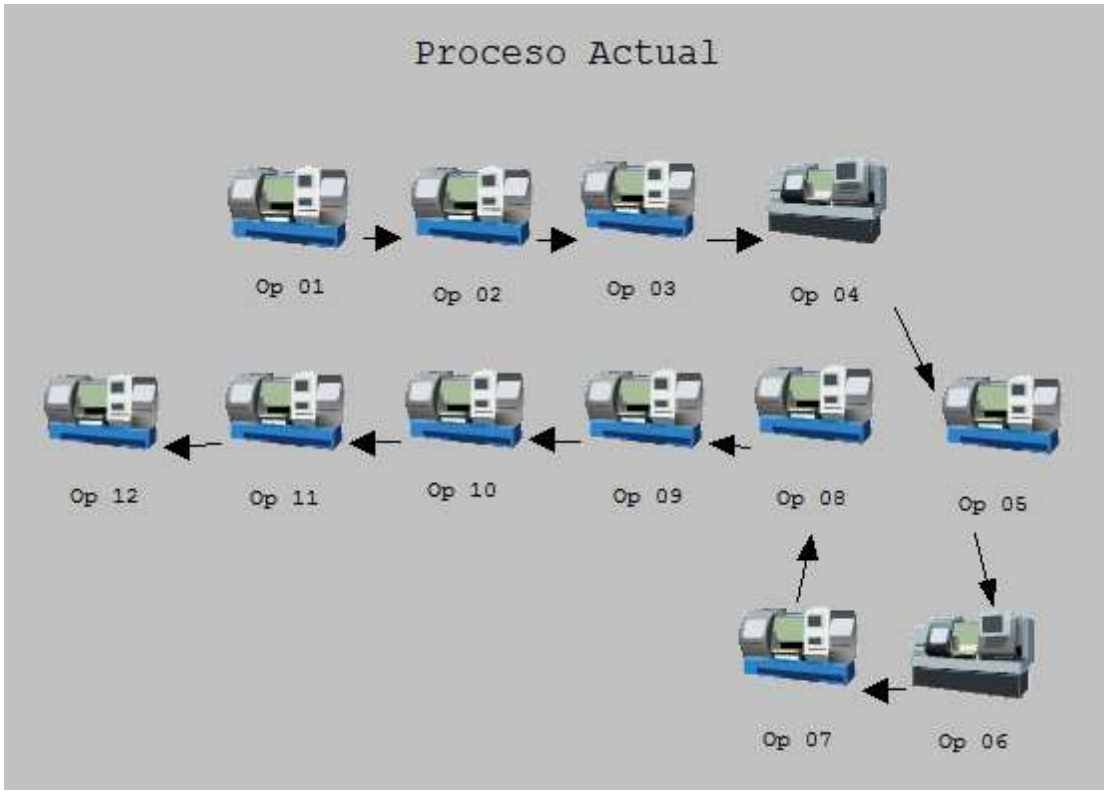


Figura 13, Layout proceso actual

Fuente: elaboración propia

Se corre la simulación de 30 días para determinar el valor mensual de piezas procesadas con un tiempo disponible por día de 20 horas por lo que cada corrida en la simulación equivale a un día, por lo tanto, se realizaron 30 corridas sin un tiempo de warm-up, donde se obtienen los resultados mostrados en la figura 14.

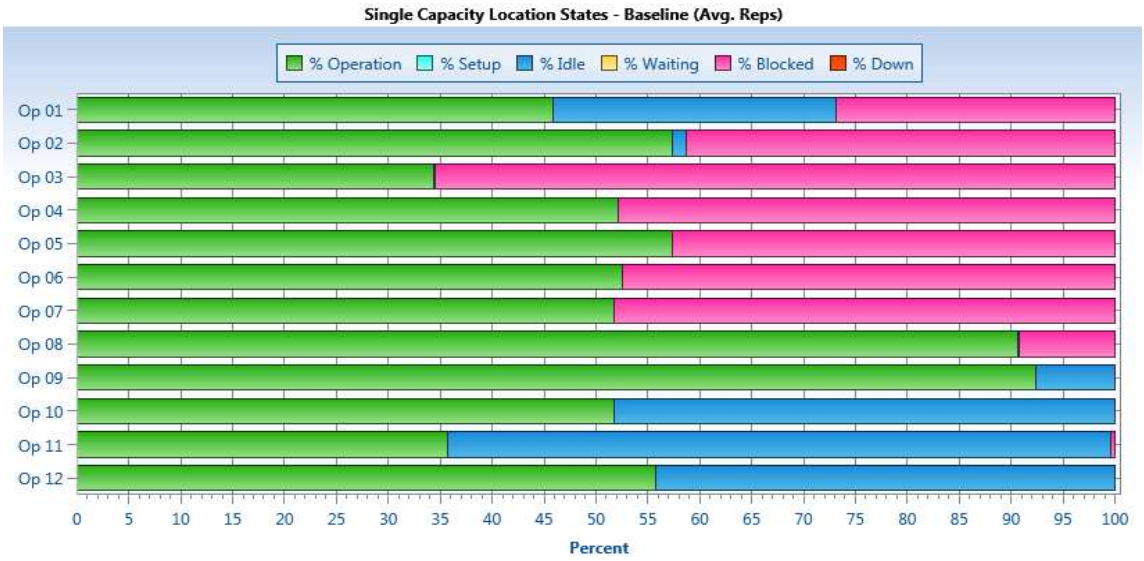


Figura 14, Resultados de proceso actual

Fuente: elaboración propia

En la gráfica de la Figura 14 es posible observar los mismos resultados que se habían presentado anteriormente, mostrado que la operación con un gran porcentaje de utilización son las estaciones 8 con 91% y 9 con 92.5%, con un comportamiento de la tasa de producción diaria como se muestra en la gráfica de la figura 15 durante esos 30 días de simulación.

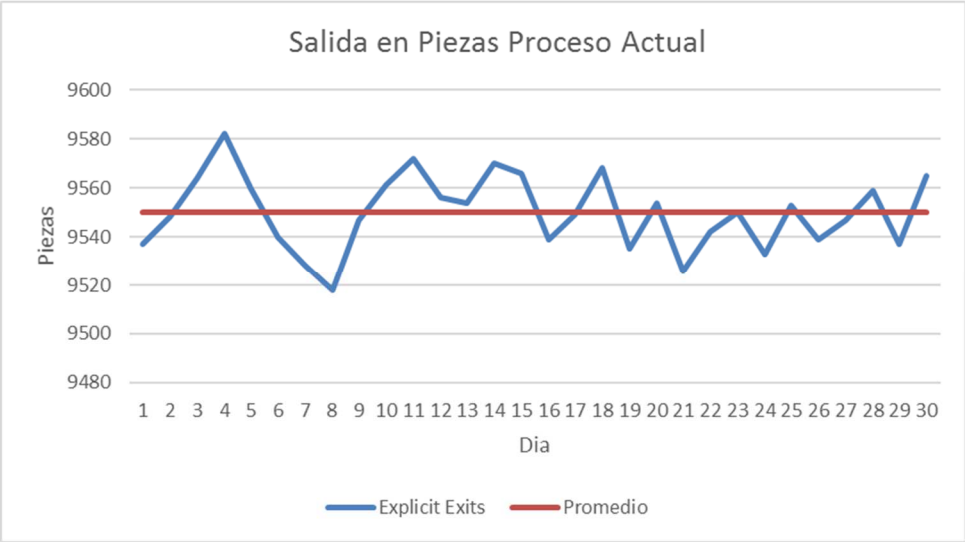


Figura 15, Gráfica de series de tasa de producción proceso actual

Fuente: elaboración propia

Como se muestra en el sumario grafico de la figura 16, esta producción diaria tiene como promedio un valor de 9,550 piezas diarias. Siguiente la teoría de la simulación, es necesaria la verificación y validación del modelo de simulación, al ser este un modelo terminal puesto que solo se busca saber el número de piezas procesadas en un determinado tiempo, en necesario calcular el intervalo de confianza y la determinación de la distribución de probabilidad para la tasa promedio de producción diaria el cual como se muestra en la figura 16, este intervalo de confianza es de 9544.3 a 9555.6 piezas y al ver que el valor P del estadístico Anderson Darling en la figura 16 es de 0.973 siendo este mayor a 0.05 se acepta que sigue una distribución normal.

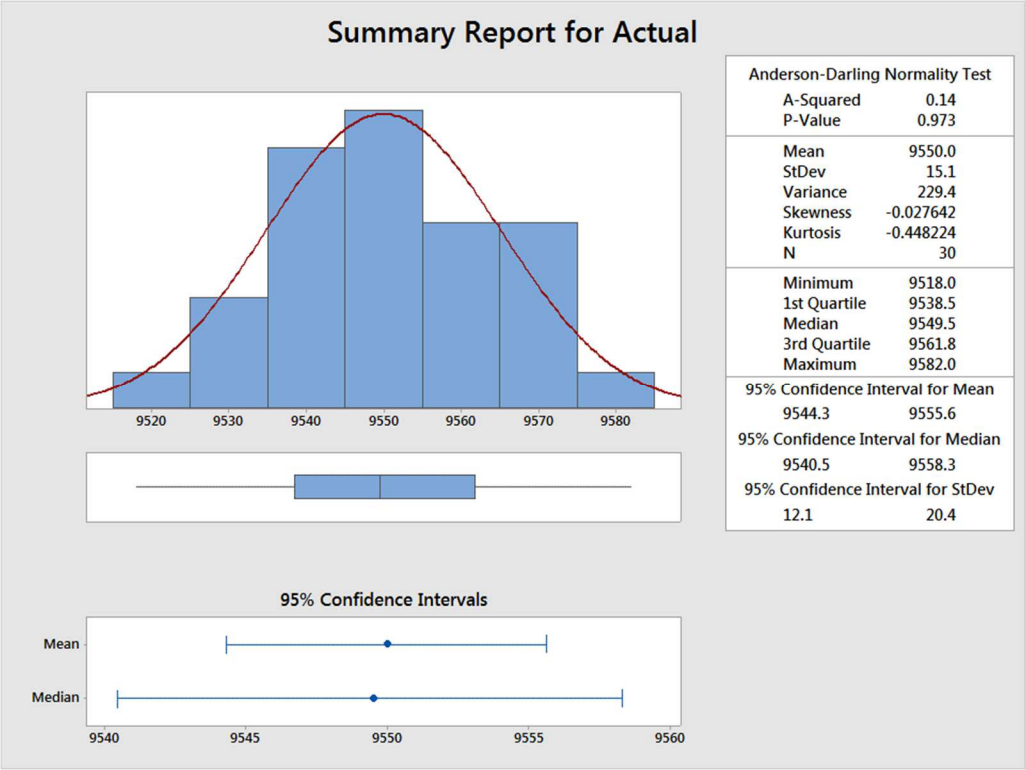


Figura 16, Estadísticos del proceso Actual

Fuente: Elaboración propia

Para el caso B se utilizará la segunda estación de soldadura la cual tendrá el mismo tiempo ciclo que la estación original, por lo que el código queda prácticamente igual como se mostró en la figura 12, ahora como se muestra en la figura 17 solo el layout en Promodel cambia, puesto que se agregó la segunda estación, llamada Op 09B.

Figura 17, Layout proceso segunda estación de soldadura

Fuente: elaboración propia

Se corre la simulación de 30 días para determinar el valor mensual de piezas procesadas con un tiempo disponible por día de 20 horas por lo que cada corrida en la simulación equivale a un día, por lo tanto, se realizaron 30 corridas sin un tiempo de warm-up, donde se obtienen los resultados mostrados en la figura 18.

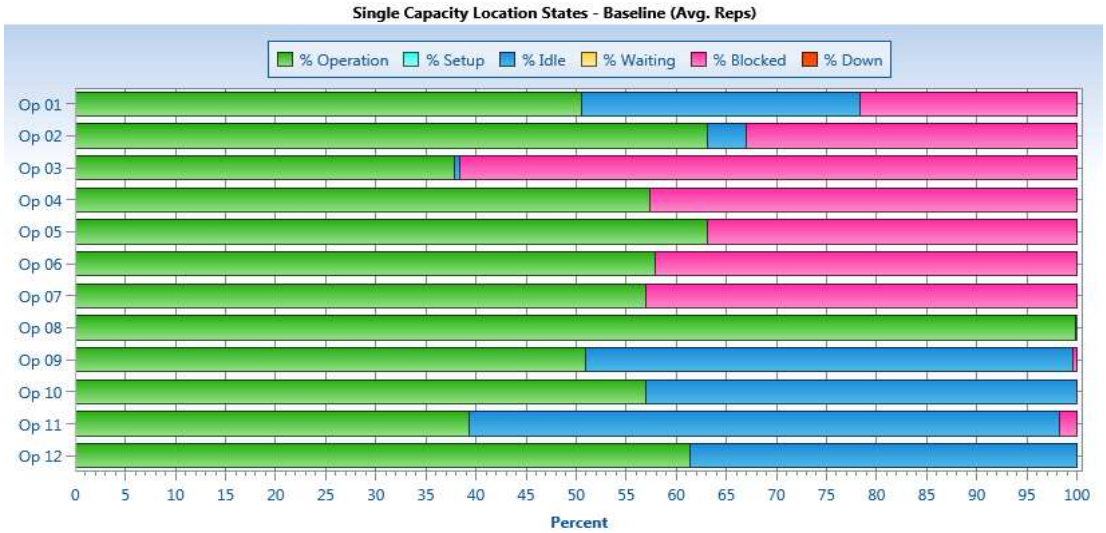


Figura 18, Resultados de segunda estación

Fuente: elaboración propia

En la gráfica de la Figura 17 es posible observar que la segunda estación 09 se logra reducir el porcentaje de utilización (% Operation en Promodel) que corresponde al proceso de soldadura manual de pines en conector, ahora se ve como la estación 08 es la estación con un porcentaje de Utilización casi al 100% quedando prácticamente al 99%. con un comportamiento durante esos 30 días de simulación mostrado lo siguiente Gráfica de la Figura 19.

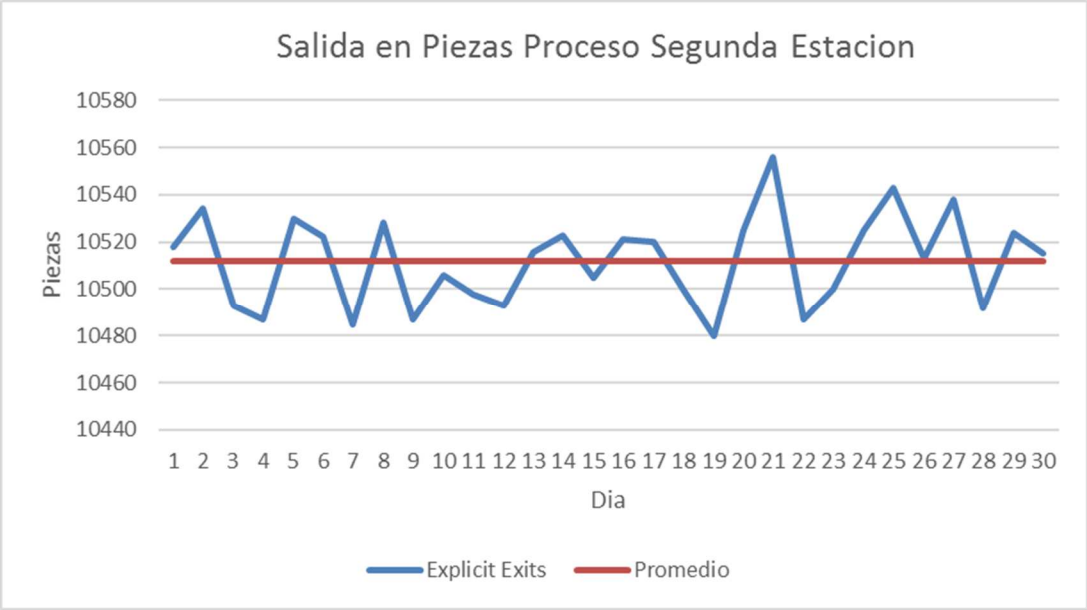


Figura 19, Gráfica de series de tasa de producción proceso segunda estación
Fuente: elaboración propia

Como se muestra en el sumario grafico de la figura 20, esta producción diaria tiene como promedio un valor de 10,512 piezas diarias. Siguiente la teoría de la simulación, es necesaria la verificación y validación del modelo de simulación, al ser este un modelo terminal puesto que solo se busca saber el número de piezas procesadas en un determinado tiempo, en necesario calcular el intervalo de confianza y la determinación de la distribución de probabilidad para la tasa promedio de producción diaria el cual como se muestra en la figura 20, este intervalo de confianza es de 10,505 a 10,519 piezas y al ver que el valor P del estadístico Anderson Darling en la figura 20 es de 0.317 siendo este mayor a 0.05 se acepta que sigue una distribución normal.

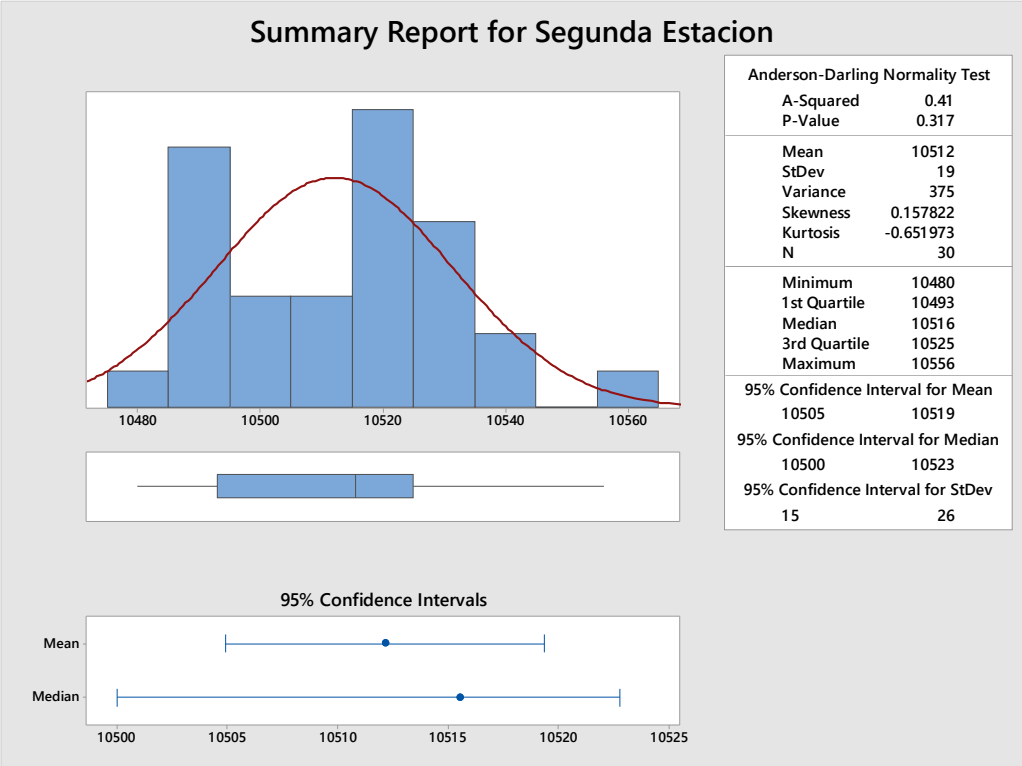


Figura 20, Estadísticos del proceso con segunda estación 09

Fuente: Elaboración propia

Ahora para realizar si estadísticamente se generó un incremento se realiza la prueba de hipótesis para comparar dos muestras y que en promedio la segunda estación mejora la tasa de producción diaria.

Para esto se sigue el siguiente esquema de la figura 21 para validar estadísticamente la hipótesis cubriendo los siguientes aspectos.

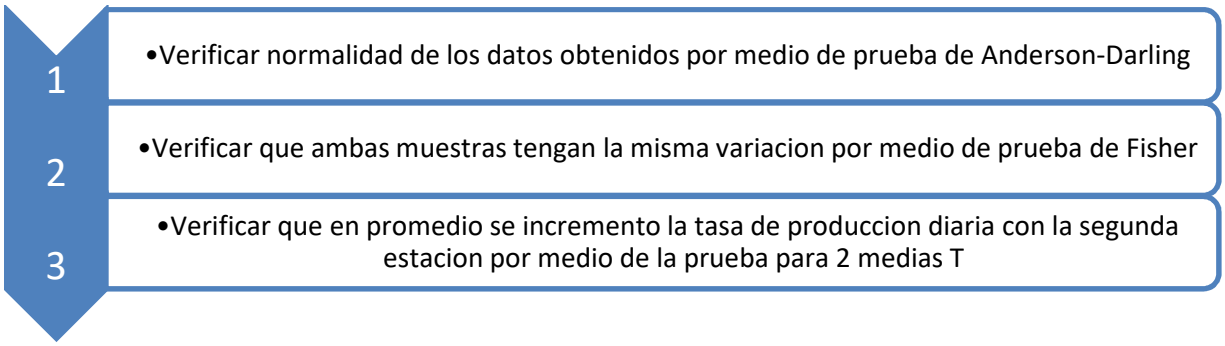


Figura 21, Diagrama de validación métodos estadísticos

Fuente: elaboración propia

Paso 1, verificar normalidad de ambas muestras Figura 22:

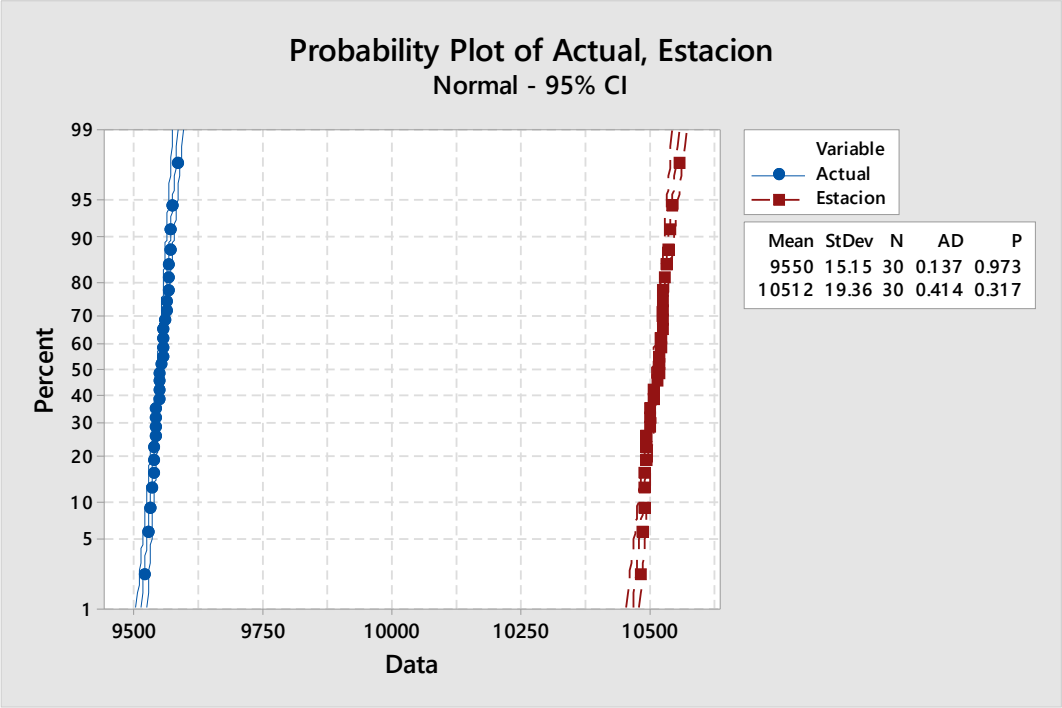


Figura 22, Gráfica de probabilidades para tasas de producción actual y segunda estación

Fuente: elaboración propia

Con base al valor P, en donde para ambas muestras se valida que tienen un valor mayor a 0.05 con una confianza al 95%, se valida que siguen una distribución normal.

Paso 2, Validar que tienen una varianza igual o diferente con base a una distribución normal figura 23:

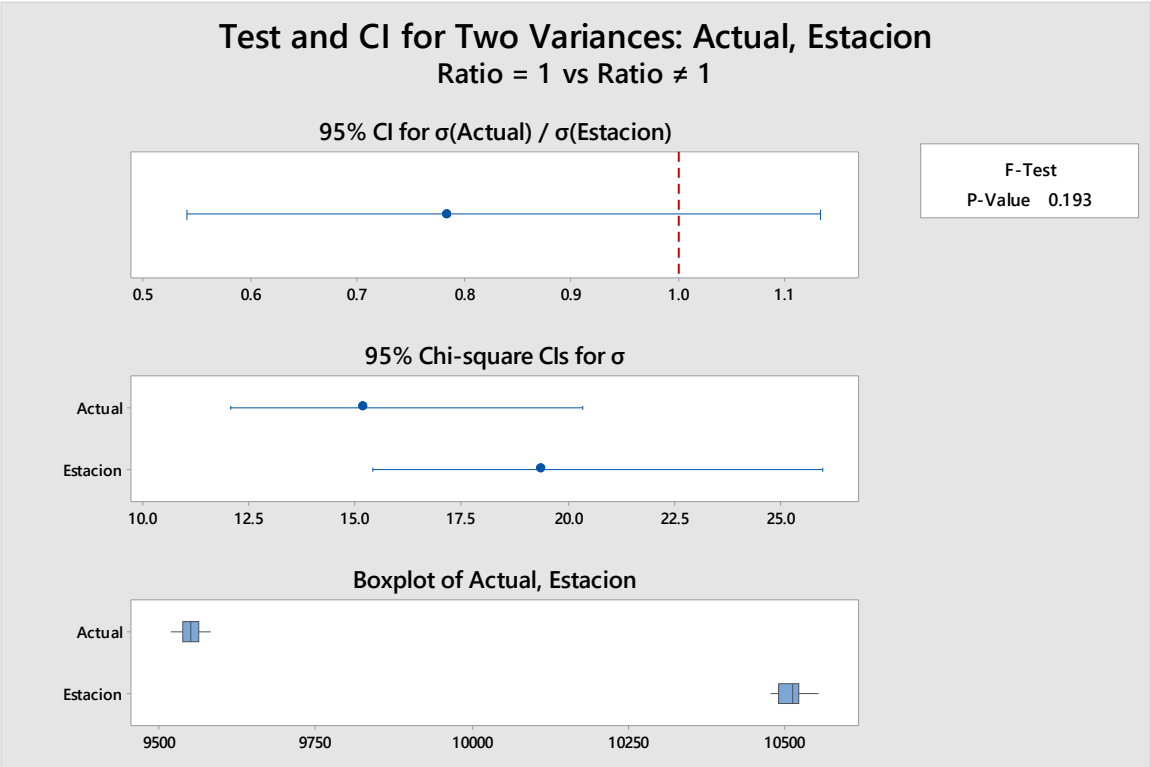


Figura 23, Gráfica prueba de varianzas proceso actual y segunda estación

Fuente: elaboración propia

Donde se puede observar que el estadístico F-Test por medio del valor P se acepta la hipótesis nula, ya que el valor P es mayor a 0.05 indicando que las varianzas entre las muestras son iguales en ambos procesos con un nivel de confianza al 95%.

Paseo 3, validar por medio de una prueba T para dos muestras con varianzas distintas, que el uso de la segunda estación aumenta la tasa de producción diaria figura 24.

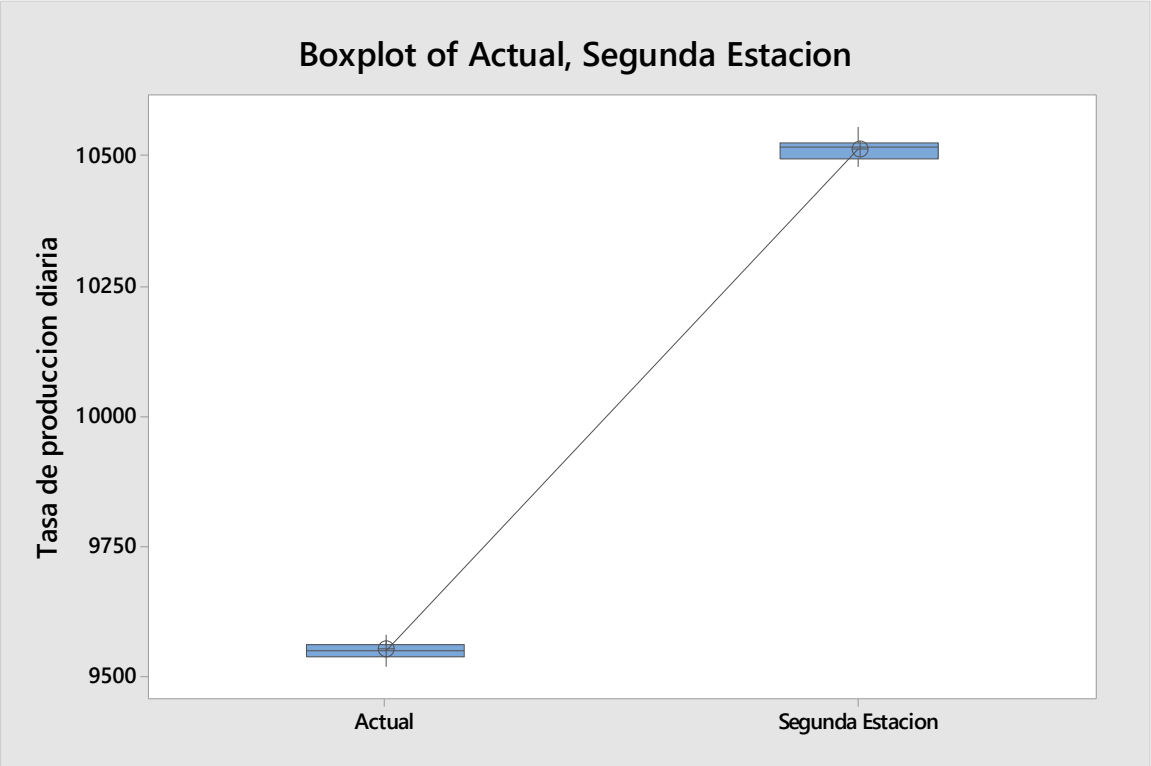


Figura 24, Gráfica de boxplot proceso actual vs segunda estación

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica de caja y bigotes, se muestra como la segunda estación 09, ayuda aumentar la tasa de producción diaria, ahora de forma estadística se puede validar con que el T-Value por medio del valor P, con la regla de que si el valor P es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, indicando que efectivamente la tasa de producción diaria con la segunda estación es mayor que la producción actual.

Por lo que se obtienen los siguientes resultados tabla 9:

Tabla 9, Resultado prueba de medias proceso actual y segunda estación

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

T-Value	DF	P-Value
-214.42	54	0.000

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver el valor P es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se valida estadísticamente que la segunda estación de soldadura aumenta el promedio de la tasa de producción diaria de 9,950 piezas a 10,512.

3.4.2 Segunda alternativa (balanceo de tareas)

Sin embargo, la primera alternativa no es suficiente para poder llegar al objetivo del proyecto de alcanzar un 40% de incremento en el promedio actual de 9,500 piezas diarias, por lo que observando la gráfica de la figura 18, se puede observar que la estación 8 tiene una utilización cerca del 100%, esto indica que dentro de las actividades mostradas en el diagrama de la figura 22, se puede detectar ciertas actividades que se pueden llevar acabo en operaciones anteriores a esta.

Flujo de proceso en estación 8, proceso de carga de conector, remover Bandolier y carga de subensamble del diagrama de flujo de la figura 25:

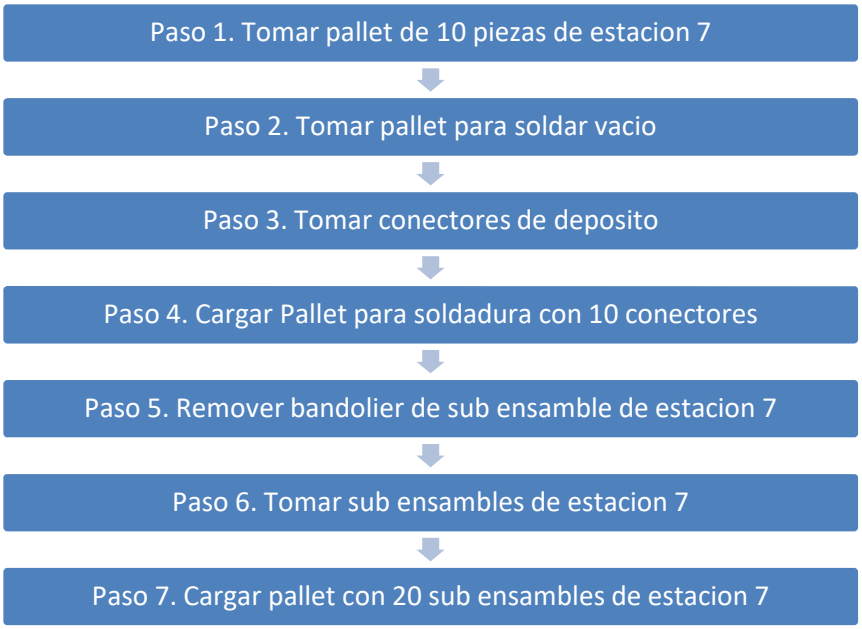


Figura 25, Diagrama de flujo detallado estación 8

Fuente: elaboración propia

Por lo que se ve el operador que desempeña las actividades en la estación 8 son bastantes a comparación de lo que muestra el diagrama de la figura 26 del operador en la estación 7, inspección de conformal coat, donde el conformal coat es un polímero (silicón) que se utiliza para recubrir los componentes electrónicos que están expuesto al medio ambiente, con la finalidad de reducir cortos por cuestiones externas como, polvo, oxidación, bolas de soldadura, etc.

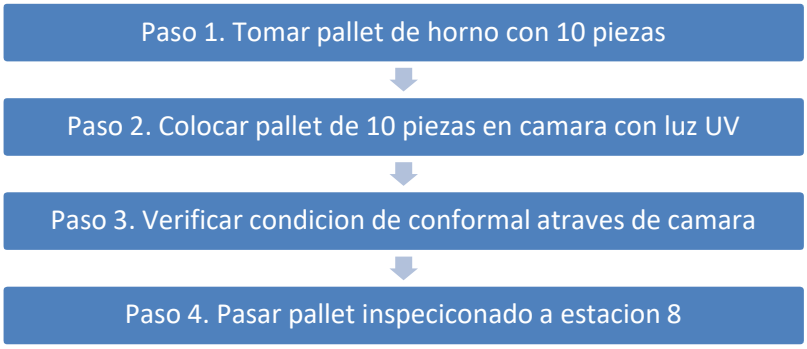


Figura 26, Diagrama de flujo detallado estación 7

Fuente: elaboración propia

Siguiendo el flujo de proceso de la estación 8 descrito en la figura 25, las tareas del paso 2 al 4, pueden realizarse en esa misma estación, debido a que los pallets llegan directamente a esa estación por medio de bandas, sin embargo, el paso 5 se puede realizar en la estación 7, al mover esta tarea de la estación 8 a la estación 7, el operador de la estación 8 solo tendrá la tarea de cargar componentes.

Se realiza una prueba piloto con la nueva distribución de actividades y se toman nuevamente 30 tiempos ciclos para realizar la simulación ahora con esta condición obteniendo lo siguientes datos para la estación 7 y 8 (Taba 10):

Tabla 10, Estadísticos estación 7 y 8

Statistics

Variable	Mean	StDev
Op 07	4.92	0.419
Op 08	5.13	0.584

Fuente: Elaboración propia

Ahora bien, se verificar si el tamaño de muestra es el correcto con base a la herramienta estadística de potencia y tamaño de la muestra para t de 2 muestras. Para esta prueba es necesario utilizar las desviaciones estándar para cada operación, un nivel valor de potencia de 0.95 y un valor de diferencia mínima de 0.5 segundos.

A lo que se obtiene para estos dos nuevos tiempos ciclo un tamaño de muestra estadístico para tener un valor de potencia de 0.95, teniendo lo resultados mostrados en la tabla 11, se puede apreciar cuantas observaciones hacen falta para cumplir el tamaño de muestra calculado estadísticamente.

Tabla 11, Estadísticos descriptivos de tiempo ciclo pilotos estaciones balanceadas

Estacio	TC	Desviación estándar	Tamaño de muestral calculado	Actual	Faltan
Op 07	4.92	0.419	20	30	0
Op 08	5.13	0.584	37	30	7

Fuente: Elaboración propia

A lo cual se puede ver que para la estación 8 se requieren 7 observaciones más, las cuales son tomadas en el turno matutino puesto que son pocas y se obtiene los nuevos estadísticos descriptivos mostrados en resumen estadístico de la gráfica 27 para esta estación.

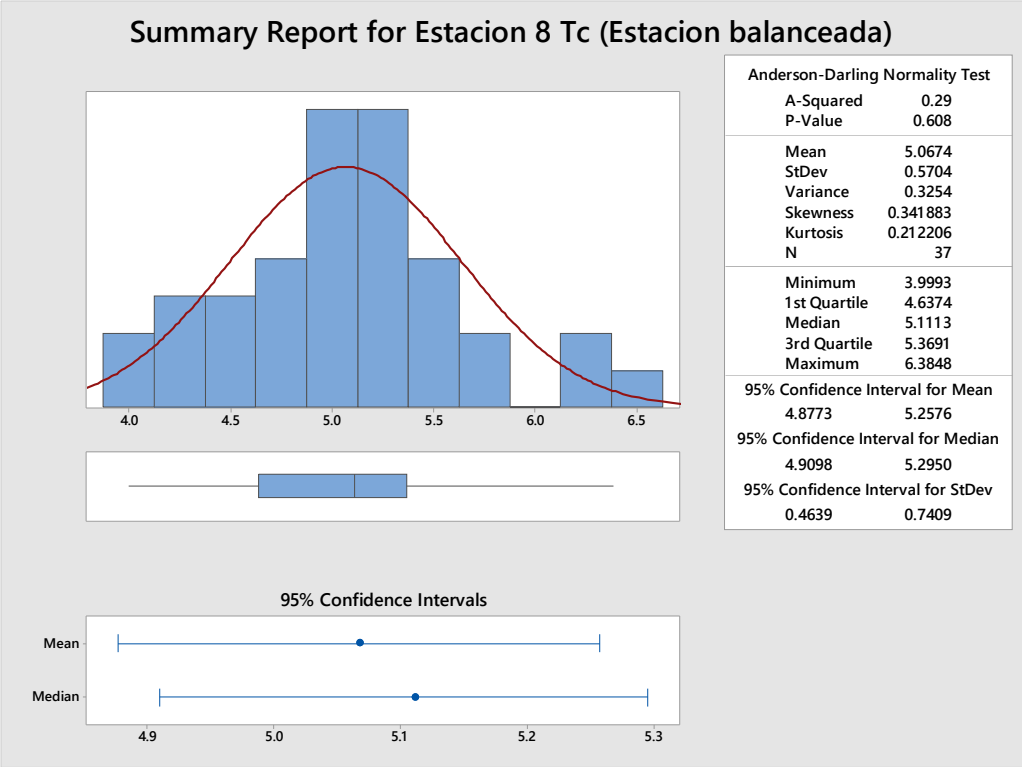


Figura 27, Resumen descriptivo de tiempo ciclo final de estación 8

Fuente: Elaboración propia

Si bien se ve que la estación 7 aumento su tiempo ciclo, sin embargo, la estación 8 redujo su tiempo ciclo en comparación del proceso actual, esto indica que puede existir una mejora que se deberá verificar a través de la simulación.

Con estos nuevos datos se realiza la simulación de la segunda alternativa, para determinar que esta mejora incrementa la tasa de producción diaria contra el escenario del proceso actual.

La tasa promedio de piezas que salen del proceso diariamente de soldadura se incrementara al balancear las actividades entre la estación 7 y 8 respecto al proceso actual.

Formalmente esta alternativa puede expresarse como una prueba de hipótesis estadística de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Donde:

- $\mu_1: Es\ el\ promedio\ de\ la\ tasa\ de\ \ produccion\ diaria\ con\ el\ proceso\ actual$
- $\mu_2: Es\ el\ promedio\ futuro\ de\ la\ tasa\ de\ \ produccion\ diaria\ conbalanceo\ de\ estaciones\ 7\ y\ 8$

Para determinar si la aseveración expuesta se cumple se realiza una segunda comparativa por medio de la simulación del proceso modificado por medio de Promodel, En esta simulación se construyen tanto el modelo de operación actual como el propuesto con las tareas balanceadas entre las estaciones 7 y 8. El factor o variable independiente que se desea probar es la tasa de producción diaria durante 30 días para cada nivel del factor, es decir, 30 días de producción diaria se simulan con la forma actual (**Caso A**) y 30 días de producción con la nueva forma de trabajar utilizando el balanceo entre estaciones 7 y 8 (**Caso B**), ambos casos con un tiempo disponible de 20 horas.

Para verificar que la distribución de los datos correspondientes a los nuevos tiempos ciclos de la operación 7 y 8 se ajustan a una distribución normal, se realiza un aprueba de bondad de ajuste Anderson Darling, la gráfica de la figura 28 muestra que tanto los datos de tiempo ciclo de cada operación se ajustan a una distribución normal teórica.

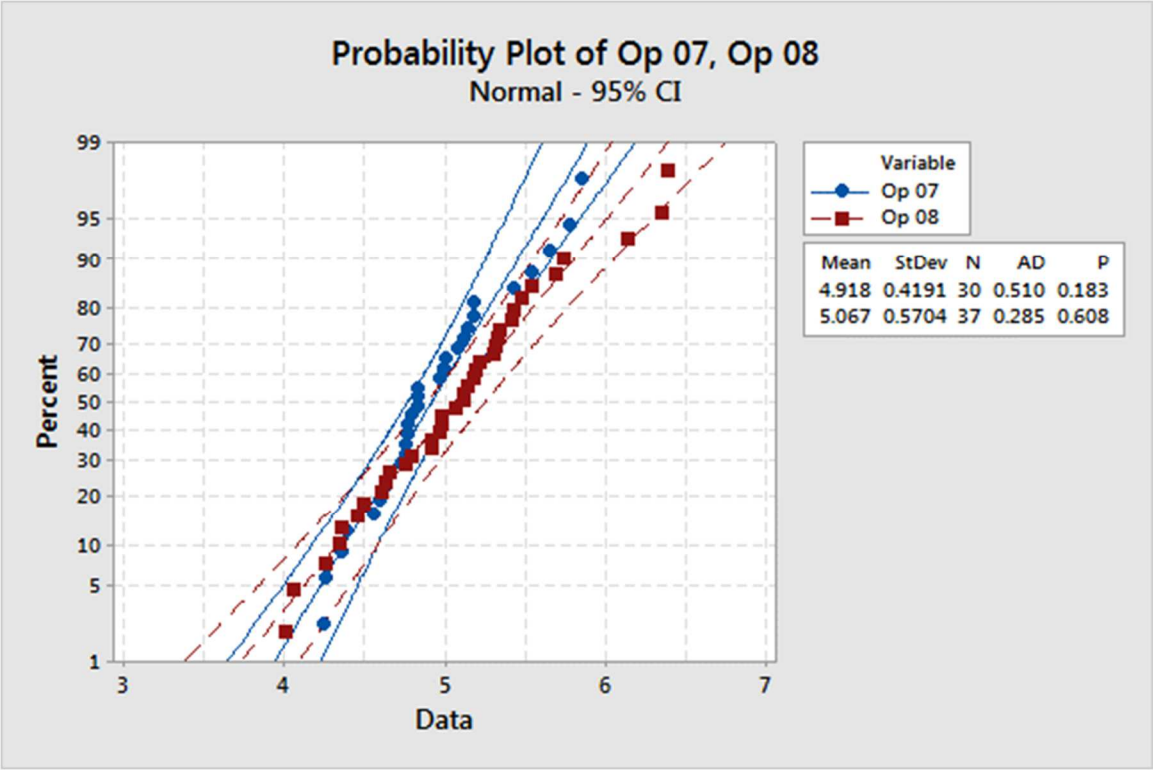


Figura 28, Gráfica de probabilidades operación 7 y 8

Fuente: elaboración propia

Como se observa ambas estaciones siguen una distribución normal por medio del criterio de aceptación del valor P siendo este mayor a 0.05 con un nivel de confianza al 95%.

Ahora bien, conociendo el tipo de distribución para cada nuevo tiempo ciclo de las estaciones balanceadas y sus parámetros (promedio y desviación estándar), que se definieron en la gráfica de probabilidad de la figura 28, en Promodel se programa el código en el apartado de "operation" como se muestra en la figura 29 para poder realizar la corrida de la simulación.

Process [12]

Entity...	Location...	Operation...
Sensor_APT	Op_01	Wait N(3.6 ,0.05) sec
Sensor_APT	Op_02	Wait N(4.2 ,0.066) sec
Sensor_APT	Op_03	Wait L(2.72 ,0.096) sec
Sensor_APT	Op_04	Wait N(3.9,.103)sec
Sensor_APT	Op_05	Wait N(4.11,.066)sec
Sensor_APT	Op_06	Wait N(3.9,.058)sec
Sensor_APT	Op_07	Wait N(4.918,0.4191)sec
Sensor_APT	Op_08	Wait N(5.067,0.5704)sec
Sensor_APT	Op_09	Wait N(6.97,1.118)sec
Sensor_APT	Op_10	Wait N(3.89,0.052)sec
Sensor_APT	Op_11	Wait N(2.69,0.74)sec
Sensor_APT	Op_12	Wait N(4.2,.449)sec

Figura 29, Programación en Promodel proceso balanceado

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la simulación con el proceso balanceado, siguiendo el proceso como se muestra en el layout de la figura 30.

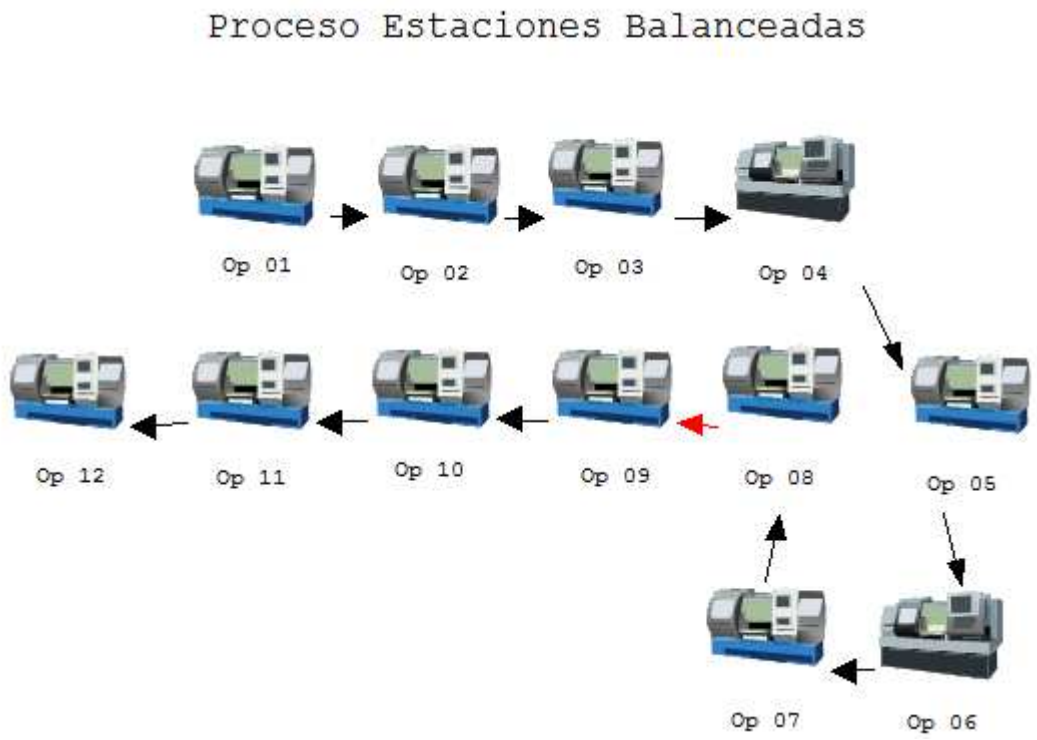


Figura 30, Layout proceso con estaciones balanceadas

Fuente: elaboración propia

Se corre la simulación de 30 días para determinar el valor mensual de piezas procesadas con un tiempo disponible por día de 20 horas por lo que cada corrida en la simulación equivale a un día, por lo tanto, se realizaron 30 corridas sin un tiempo de warm-up, donde se obtienen los resultados mostrados en la figura 31.

Figura 31, Resultados estación balanceada)

Fuente: elaboración propia

En la gráfica de la Figura 31 es posible observar que el balanceo de las tareas en las estaciones 7 y 8 se logra reducir el porcentaje de utilización (% Operation en Promodel) que corresponde a la carga de componentes, ahora se ve como la estación 09 es la estación con un porcentaje de Utilización casi al 100% quedando prácticamente al 99%. con un comportamiento durante esos 30 días de simulación mostrado en la siguiente gráfica de la figura 32.

Figura 32, Gráfica de series estación balanceada

Fuente: elaboración propia

Como se muestra en el sumario grafico de la figura 33, esta producción diaria tiene como promedio un valor de 10,260 piezas diarias. Siguiente la teoría de la simulación, es necesaria la verificación y validación del modelo de simulación, al ser este un modelo terminal puesto que solo se busca saber el número de piezas procesadas en un determinado tiempo, en necesario calcular el intervalo de confianza y la determinación de la distribución de probabilidad para la tasa promedio de producción diaria el cual como se muestra en la figura 33, este intervalo de confianza es de 10,253 a 10,266 piezas y al ver que el valor P del estadístico Anderson Darling en la figura 33 es de 0.582 siendo este mayor a 0.05 se acepta que sigue una distribución normal.

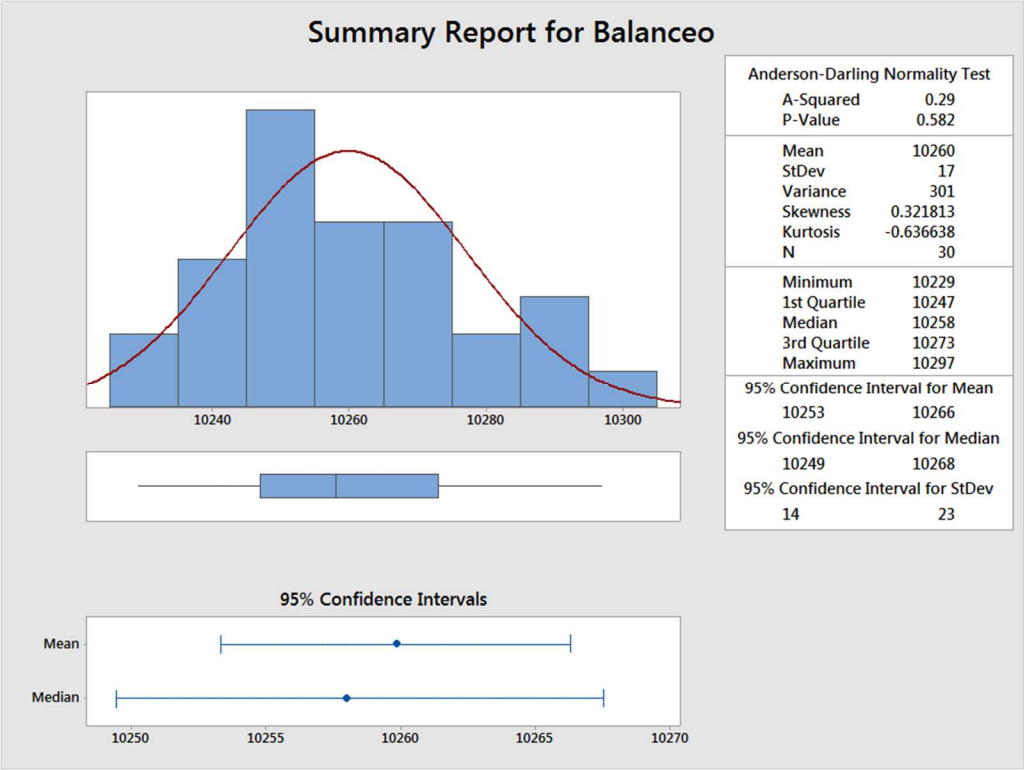


Figura 33, Estadísticos del proceso con estaciones 7 y 8 balanceadas

Fuente: Elaboración propia

Al igual que la primera alternativa también se puede observar que la segunda alternativa aparentemente tiene una mejora en promedio de la producción diaria. Ahora para realizar si estadísticamente se generó un incremento se realiza la prueba de hipótesis para comparar dos muestras y que en promedio el balanceo de las estaciones 7 y 8 mejora la tasa de producción diaria. Para esto se utiliza el mismo flujo descrito en la figura 21.

Paso 1, verificar normalidad de ambas muestras figura 34:

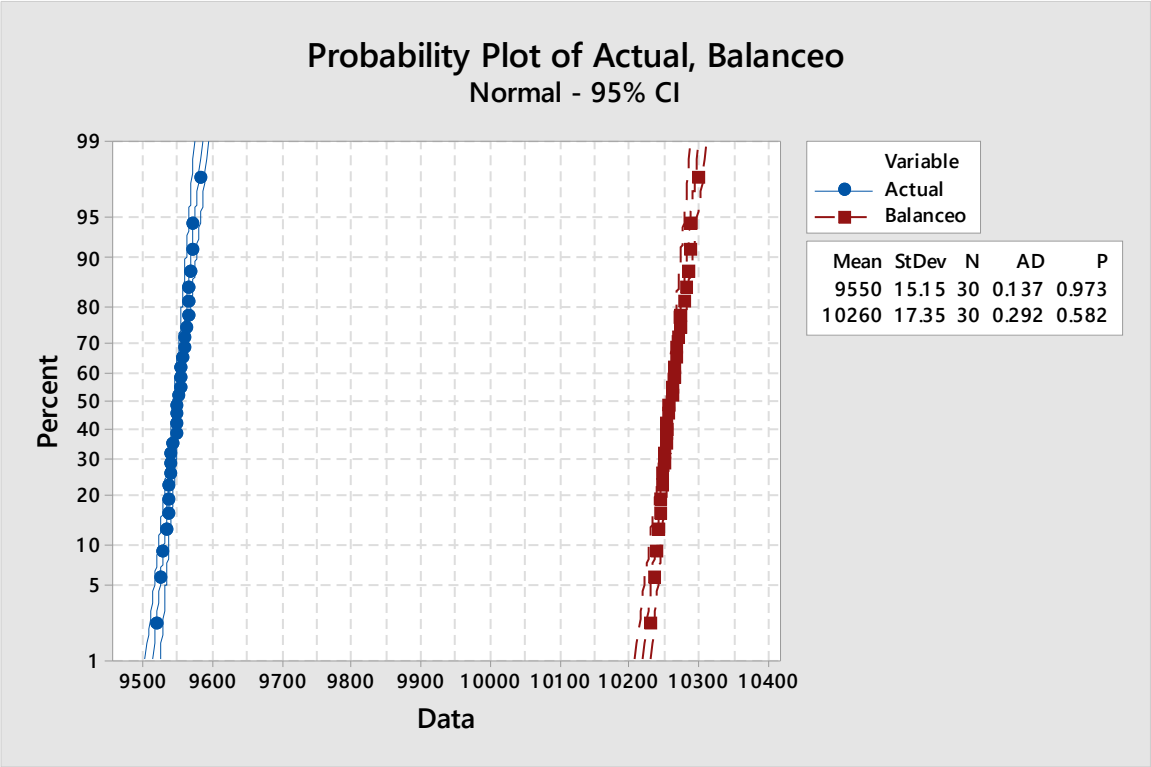


Figura 34, Gráfica de probabilidades proceso actual y balanceado

Fuente: elaboración propia

Con base al valor P, en donde para ambas muestras se valida que tienen un valor mayor a 0.05 con una confianza al 95%, se valida que siguen una distribución normal.

Paso 2, Validar que tienen una varianza igual o diferente con base a una distribución normal como se muestra en las gráficas de la figura 35.

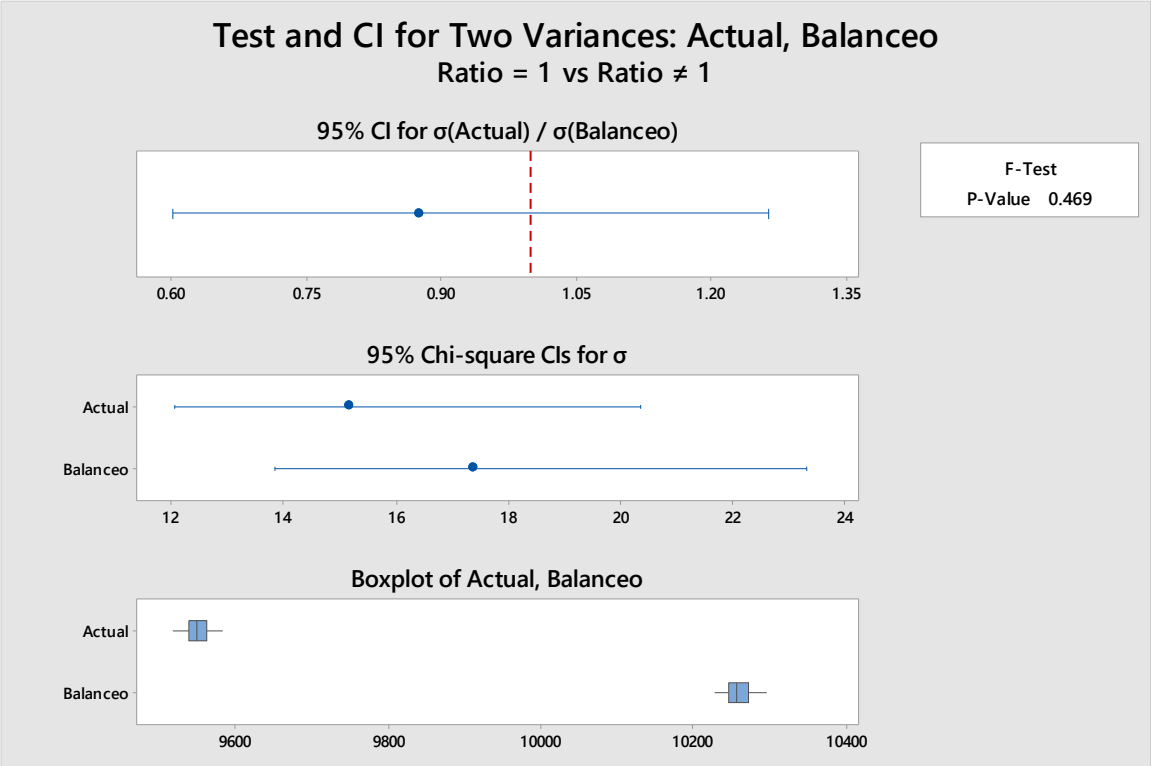


Figura 35, Resultados prueba de varianzas proceso actual y balanceado

Fuente: elaboración propia

Donde se puede observar que el estadístico F-Test por medio del valor P se acepta la hipótesis nula, ya que el valor P es mayor a 0.05 indicando que las varianzas entre las muestras son iguales en ambos procesos con un nivel de confianza al 95%.

Paseo 3, validar por medio de una prueba T para dos muestras con varianzas distintas, que el uso de las estaciones 7 y 8 balanceadas aumenta la tasa de producción diaria como se muestra en la gráfica comparativa de caja y bigotes (boxplot) de la Figura 36.

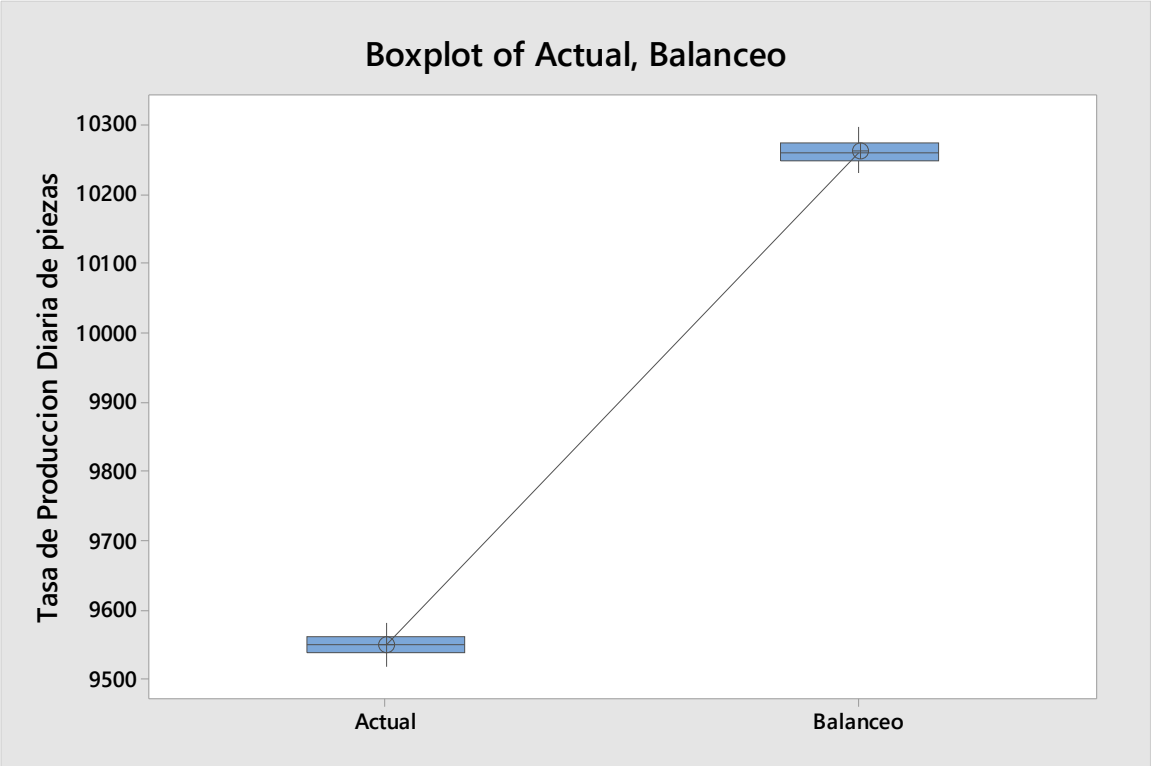


Figura 36, Gráfica boxplot para proceso actual y balanceado

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica de caja y bigotes, se muestra como la segunda estación 09, ayuda aumentar la tasa de producción diaria, ahora de forma estadística se puede validar con que el T-Value por medio del valor P, con la regla de que si el valor P es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, indicando que efectivamente la tasa de producción diaria con las estaciones 7 y 8 balanceadas es mayor que la producción actual.

Por lo que se obtienen los siguientes resultados (Tabla 13):

Tabla 12, Resultado prueba de medias proceso actual y estaciones balanceadas

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

T-Value	DF	P-Value
-168.82	58	0.000

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver el valor P es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se valida estadísticamente que la estación balanceada aumenta el promedio de la tasa de producción diaria.

3.4.3 Tercera alternativa (balanceo de tareas)

La tasa promedio de piezas que salen del proceso diariamente de soldadura se incrementara al implementar ambas mejoras respecto al proceso actual.

Formalmente esta alternativa puede expresarse como una prueba de hipótesis estadística de la siguiente manera:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$
$$H_1: \mu_1 < \mu_2$$

Donde:

- $\mu_1: Es\ el\ promedio\ de\ la\ tasa\ de\ \ produccion\ diaria\ con\ el\ proceso\ actual$
- $\mu_2: Es\ el\ promedio\ futuro\ de\ la\ tasa\ de\ \ produccion\ diaria\ con\ ambas\ mejoras$

Para determinar si la aseveración expuesta se cumple se realiza una segunda comparativa por medio de la simulación del proceso modificado por medio de Promodel, En esta simulación se construyen tanto el modelo de operación actual como el propuesto usando ambas mejoras. El factor o variable independiente que se desea probar es la tasa de producción diaria durante 30 días para cada nivel

del factor, es decir, 30 días de producción diaria se simulan con la forma actual (**Caso A**) y 30 días de producción con la nueva forma de trabajar utilizando ambas mejoras que son la segunda estación de soldadura y el balanceo de las tareas en las estaciones 7 y 8 (**Caso B**), ambos casos con un tiempo disponible de 20 horas.

Ahora bien, utilizando los estadísticos descriptivos que se conocen del proceso con el balanceo de líneas, prácticamente se utilizaran los mismos valores en Promodel que se programaron en el código en el apartado de "operation" como se muestra en la figura 29 para poder realizar la corrida de la simulación, puesto que lo único que cambia en esta tercera alternativa con respecto a la segunda alternativa es el layout tal como se muestra en la figura 37, en esta alternativa se utilizara la segunda estación 09B.

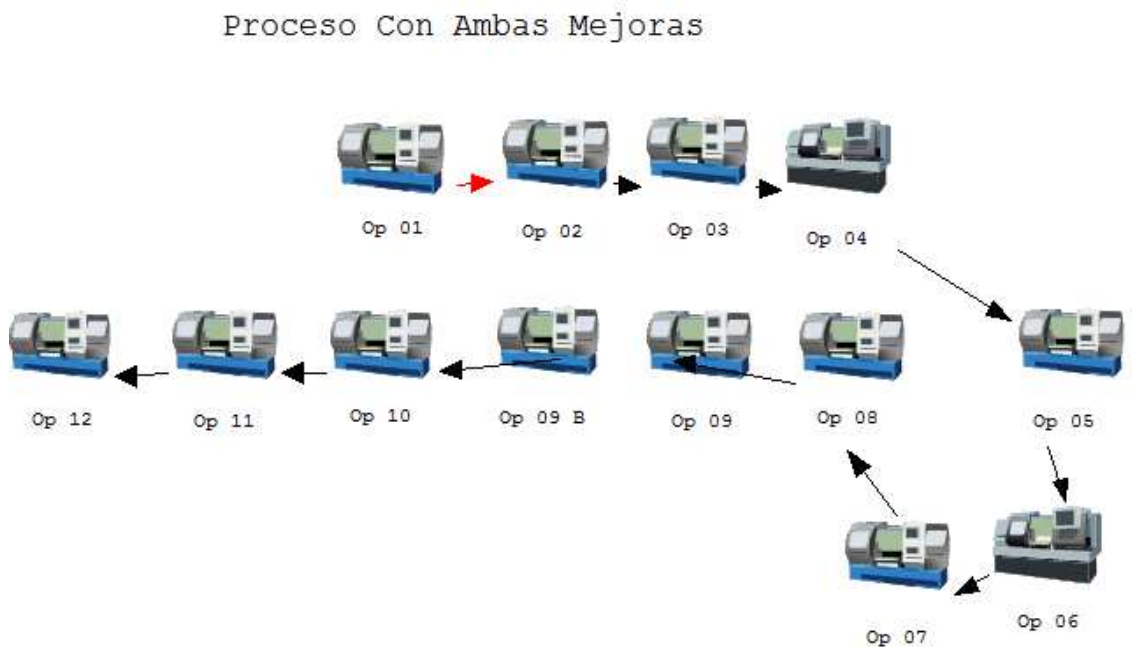


Figura 37, Layout proceso con ambas mejoras

Fuente: elaboración propia

Se corre la simulación de 30 días para determinar el valor mensual de piezas procesadas con un tiempo disponible por día de 20 horas por lo que cada corrida en la simulación equivale a un día, por lo tanto, se realizaron 30 corridas sin un tiempo de warm-up, donde se obtienen los resultados mostrados en la figura 38.

Figura 38, Resultados de ambas mejoras

Fuente: elaboración propia

En la gráfica de la Figura 38 es posible observar que la estación 08 queda como la estación con mayor % de utilización, sin embargo, la salida de la tasa de producción diaria si tiene un efecto positivo, con un comportamiento durante esos 30 días de simulación mostrado en la gráfica 39.

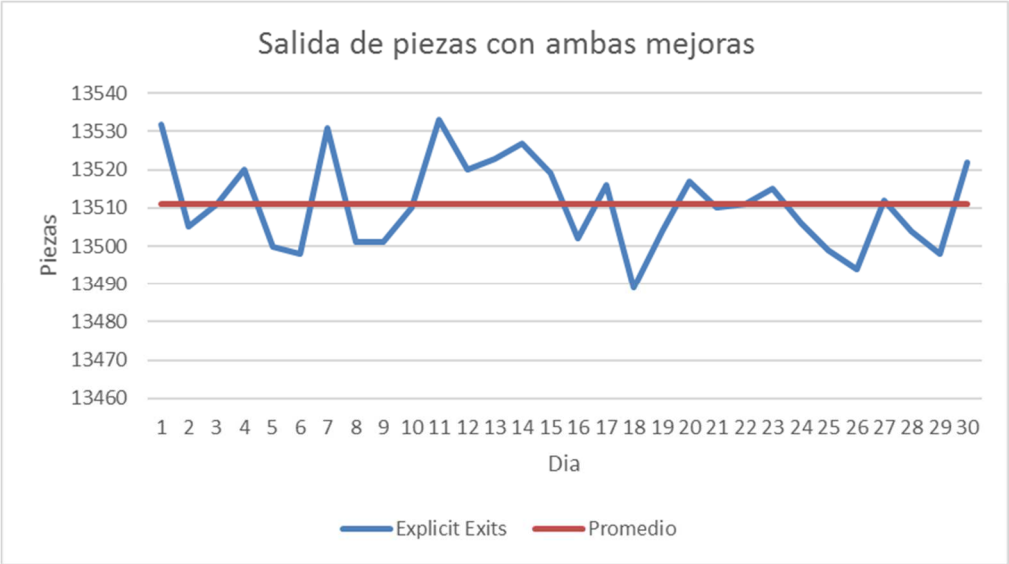


Figura 39, Gráfica de series para producción diaria con ambas mejoras

Fuente: elaboración propia

Como se muestra en el sumario grafico de la figura 40, esta producción diaria tiene como promedio un valor de 13,489 piezas diarias. Siguiente la teoría de la simulación, es necesaria la verificación y validación del modelo de simulación, al ser este un modelo terminal puesto que solo se busca saber el número de piezas procesadas en un determinado tiempo, en necesario calcular el intervalo de confianza y la determinación de la distribución de probabilidad para la tasa promedio de producción diaria el cual como se muestra en la figura 40, este intervalo de confianza es de 13,507 a 13,515 piezas y al ver que el valor P del estadístico Anderson Darling en la figura 40 es de 0.556 siendo este mayor a 0.05 se acepta que sigue una distribución normal.

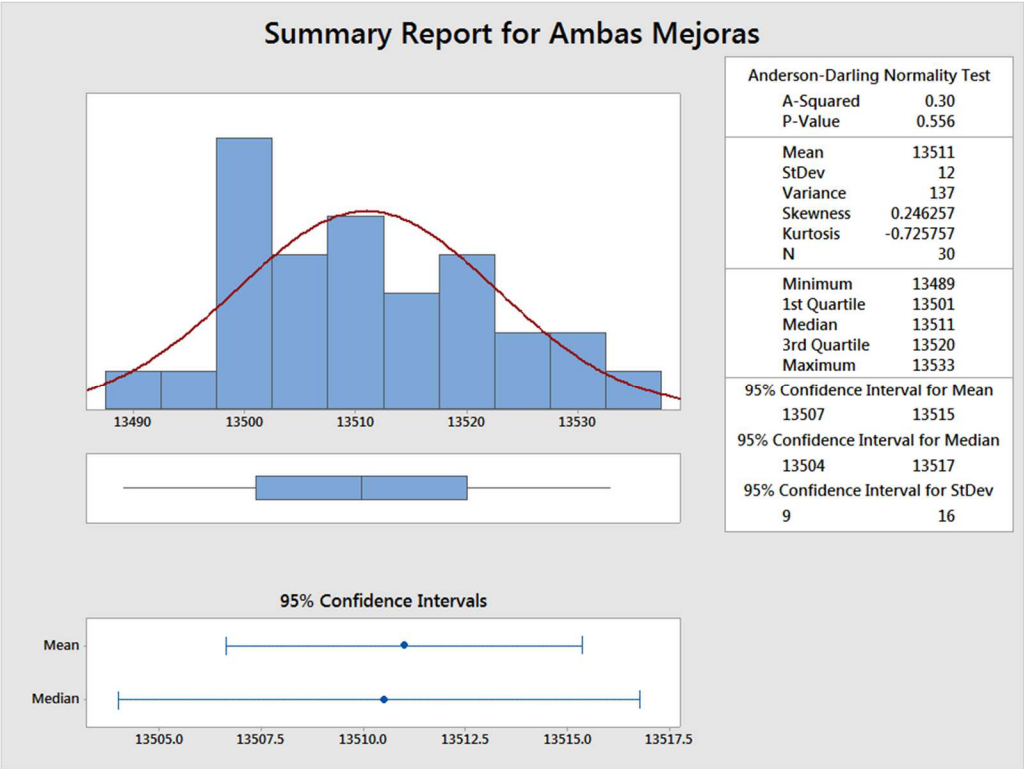


Figura 40, Estadísticos del proceso con ambas mejoras

Fuente: Elaboración propia

Al igual que la primera y segunda alternativa también se puede observar que la tercera alternativa aparentemente tiene una mejora mucho mayor en promedio de la producción diaria. Ahora para realizar si estadísticamente se generó un

incremento se realiza la prueba de hipótesis para comparar dos muestras y que en promedio el uso de ambas mejoras pueda mejora la tasa de producción diaria. Para esto se utiliza el mismo flujo descrito en la figura 21.

Paso 1, verificar normalidad de ambas muestras figura 41.

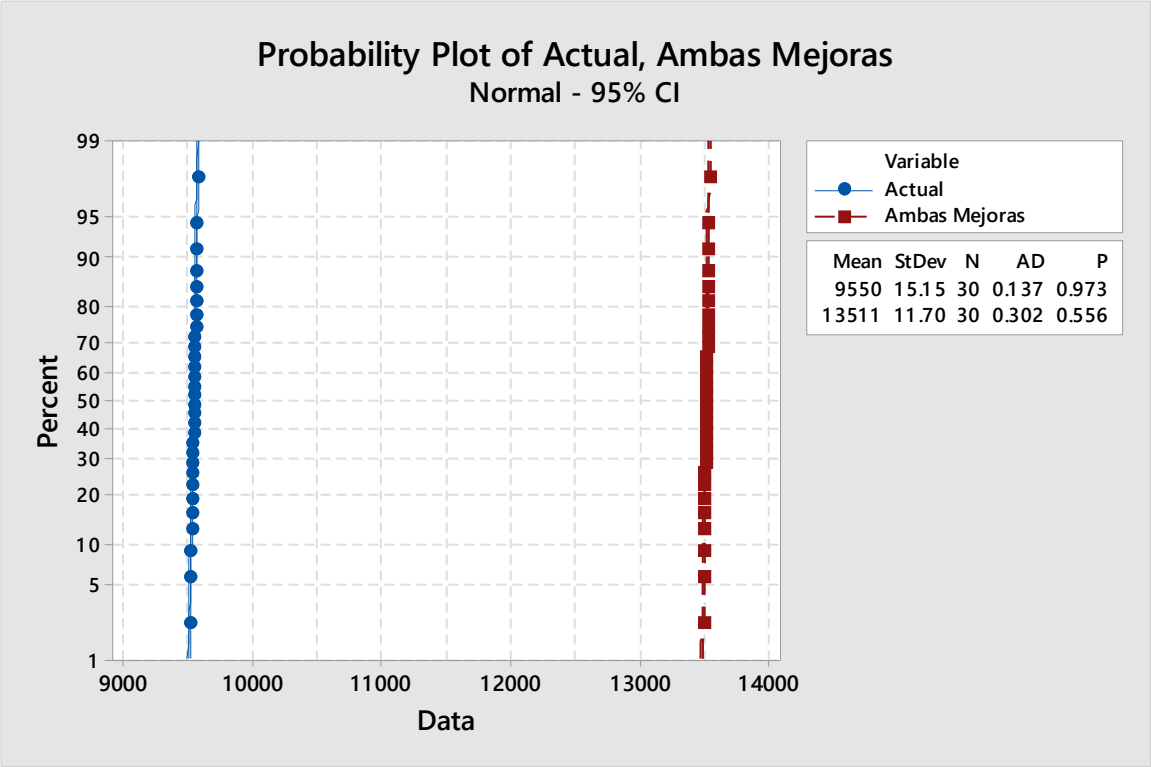


Figura 41, Gráfica de probabilidad para proceso actual y con ambas mejoras
Fuente: elaboración propia

Con base al valor P, en donde para ambas muestras se valida que tienen un valor mayor a 0.05 con una confianza al 95%, se valida que siguen una distribución normal.

Paso 2, Validar que tienen una varianza igual o diferente con base a una distribución normal figura 42.

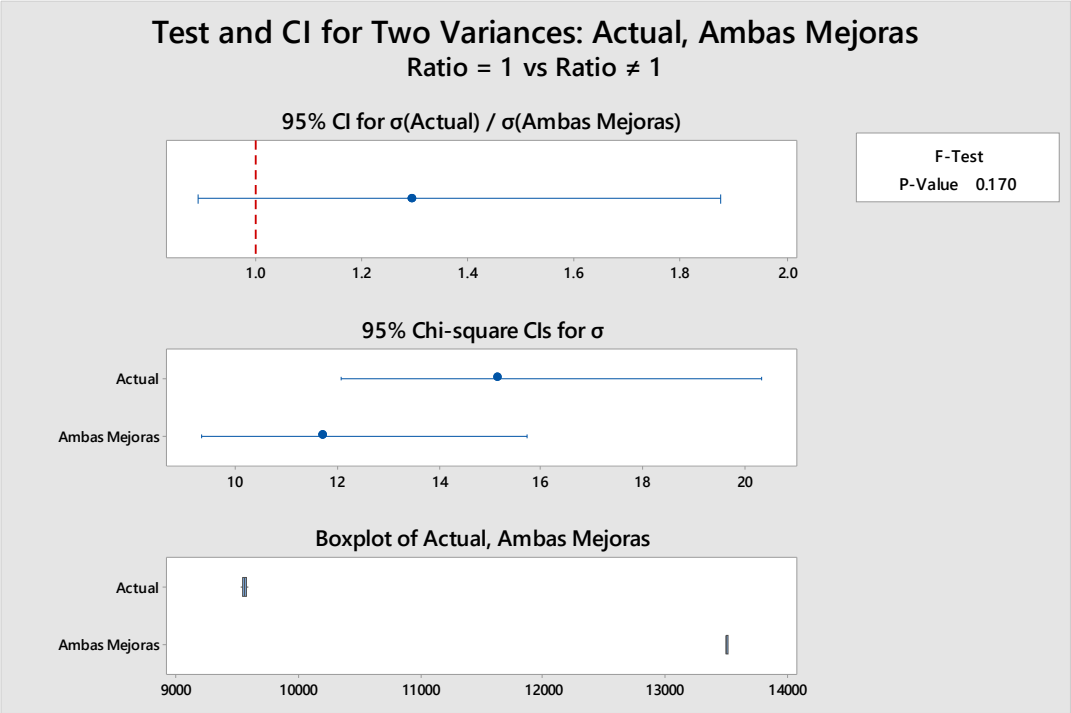


Figura 42, Resultados de prueba de varianzas para proceso actual y ambas mejoras

Fuente: elaboración propia

Donde se puede observar que el estadístico F-Test por medio del valor P se acepta la hipótesis nula, ya que el valor P es mayor a 0.05 indicando que las varianzas entre las muestras son iguales en ambos procesos con un nivel de confianza al 95%.

Paseo 3, validar por medio de una prueba T para dos muestras con varianzas distintas, que el uso ambas mejoras aumenta la tasa de producción diaria figura 43.

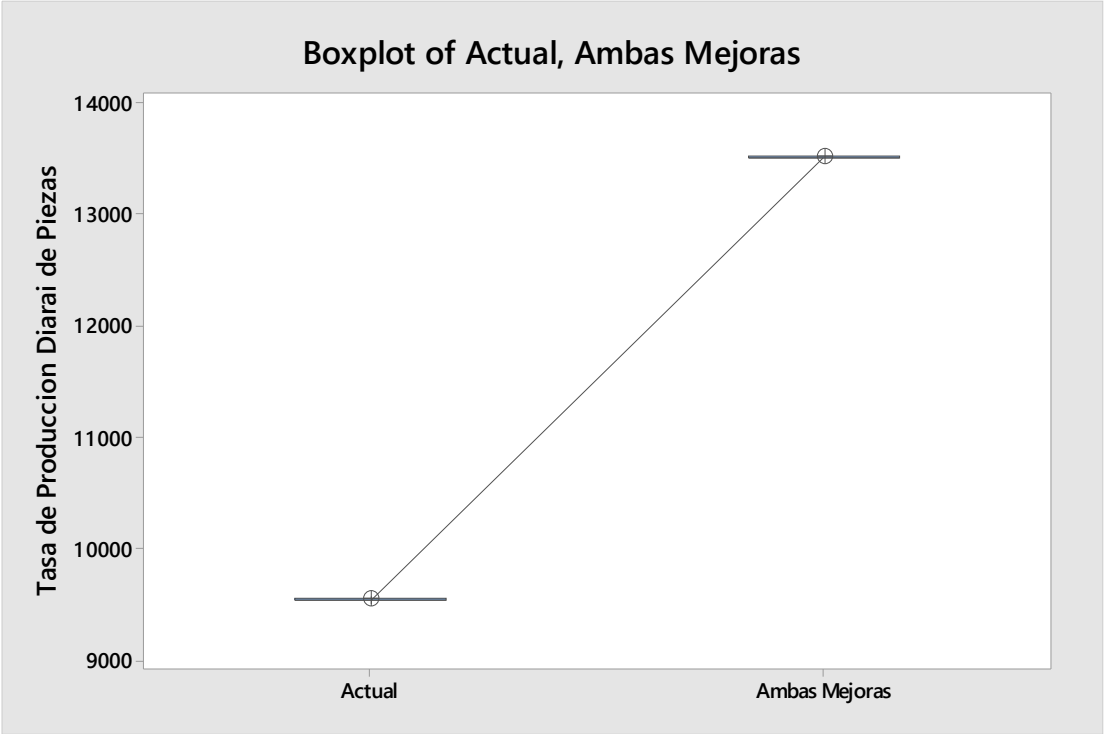


Figura 43, Gráfica de boxplot para proceso actual y ambas mejoras

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la gráfica de caja y bigotes, se muestra como la segunda estación 09, ayuda aumentar la tasa de producción diaria, ahora de forma estadística se puede validar con que el T-Value por medio del valor P, con la regla de que si el valor P es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, indicando que efectivamente la tasa de producción diaria con ambas mejoras es mayor que la producción actual.

Por lo que se obtienen los siguientes resultados Tabla 15.

Tabla 13, Resultado prueba de medias proceso actual y ambas mejoras implementadas

Test

Null hypothesis	$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$
Alternative hypothesis	$H_1: \mu_1 - \mu_2 < 0$

T-Value	DF	P-Value
-1133.67	58	0.000

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver el valor P es menor a 0.05 por lo que se rechaza la hipótesis nula y se valida estadísticamente que la ambas mejoras aumenta el promedio de la tasa de producción diaria.

4. RESULTADOS

4.1 MEJORA

Hasta este punto se demostró por medio de la simulación y métodos estadísticos que, si se implementaran las mejoras, se obtendría un incremento en la tasa de producción diaria.

Ahora toca realizar la implementación física de las dos actividades y validar los datos obtenidos por medio de la simulación, sin embargo, es importante crear una matriz de soluciones solo para validar el costo / beneficio que se tendrá por la implementación.

Considerando que el sensor tiene un costo de $7.3 USD, las mejoras se trasladas a beneficio económico diario que se obtendrían, esta informacion se muestra Tabla 16.

Tabla 14, Resumen de mejoras

Proceso	**Mejora**	**Tasa promedio diario**	**Incremento diario de piezas**	**Beneficio diario del incremento en USD**
Actual	0	9,550	0	$-
Segunda estación	A	10,512	962	$7,080.32
Balanceo	B	10,259	709	$5,218.24
Ambas mejoras	C	13,511	3,961	$29,152.96

Fuente: Elaboración propia

Ahora se opta por implementar ambas mejoras con base al beneficio que se obtuvo en la simulación, considerando un impacto de que la mejora solo se podría ver al 50% debido a que aún no se realiza la implementación física, por lo que se estima que realmente el beneficio diario sería solo del 50% de $29,152.96 USD, con lo que se obtiene un beneficio estimado de $14,576.48 USD/día.

Se generan las mejoras físicamente en la línea y se crea una prueba con cada mejora para validar que efectivamente se obtiene un beneficio al haberlas implementado. Por lo que se corren 3 días de producción con la mejora A, 3 días de producción con la mejora B y 3 días de producción con la mejora C.

Para optimizar la eficiencia del tiempo y eficacia al validar rápidamente los resultados, en lugar de implementar una mejora a la vez y esperar un largo periodo de tiempo que normalmente puede llevar de una a dos semanas por mejora, que en este caso hay tres, puede tomar cerca de 6 semanas para poder validar sus resultados, se opta por la técnica del diseño de experimentos, el cual beneficia la toma de decisiones reduciendo el tiempo invertido para verificar más de dos factores a la vez y sus interacciones a lo que este también busca validar la aleatoriedad entre corridas, puesto que al aplicar esta técnica solo tomara 12 días para conocer los resultados, ya que existen dos factores con dos niveles, teniendo un total de 4 corridas por replica considerando que cada corrida es un día y que se harán 3 réplicas para este diseño de experimentos, se tendrá un total de 12 días

invertidos con esta técnica contra las 6 semanas con el método clásico de prueba y error.

Para detallar más los factores que se utilizaran en este diseño de experimentos, se define lo siguiente:

Mejora A

- Nivel bajo: No Usar
- Nivel Alto: Usar

Mejora B

- Nivel bajo: No Usar
- Nivel Alto: Usar

Se maneja la estructura de un diseño de experimentos 2^k donde k es el número de factor y el 2 indica que solo existen dos niveles, en este caso no existen puntos centrales, puesto que los factores prácticamente son presencia y ausencia, como se ha visto tenemos solo dos factores, por lo que el diseño del experimento será 2^2, teniendo un total de 4 corridas por replica a lo cual se defino utilizar 3 réplicas para este diseño obteniendo así 12 corridas (días para este caso). La tabla 17 muestra el orden de las corridas.

Tabla 15, Diseño de experimentos

Orden estándar	Orden de corrida	Segunda estación	Balanceo
7	1	No usar	Usar
9	2	No usar	No usar
3	3	No usar	Usar
2	4	Usar	No usar
11	5	No usar	Usar
4	6	Usar	Usar
12	7	Usar	Usar
1	8	No usar	No usar
10	9	Usar	No usar
5	10	No usar	No usar
8	11	Usar	Usar
6	12	Usar	No usar

Fuente: Elaboración propia

Ahora se obtienen los resultados de la salida de producción diaria y se obtienen los siguientes valores en la tabla 18.

Tabla 16, Resumen de diseño de experimentos

Orden estándar	Orden de corrida	Segunda estación	Balanceo	Producción diaria
7	1	No usar	Usar	10,275
9	2	No usar	No usar	9,412
3	3	No usar	Usar	10,479
2	4	Usar	No usar	10,569
11	5	No usar	Usar	10,210
4	6	Usar	Usar	12,970
12	7	Usar	Usar	12,843
1	8	No usar	No usar	9,768
10	9	Usar	No usar	10,689
5	10	No usar	No usar	9,482
8	11	Usar	Usar	13,149
6	12	Usar	No usar	10,982

Fuente: Elaboración propia

Se analizan los resultados del diseño de experimentos y se obtiene los siguientes datos en la tabla 19.

Tabla 17, Análisis de varianza (ANOVA) de DOE

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Model	3	19581063	6527021	210.48	0.000
Linear	2	17953029	8976515	289.46	0.000
Segunda estacion	1	11166981	11166981	360.10	0.000
Balanceo	1	6786048	6786048	218.83	0.000
2-Way Interactions	1	1628033	1628033	52.50	0.000
Segunda estacion*Balanceo	1	1628033	1628033	52.50	0.000
Error	8	248086	31011		
Total	11	19829149			

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla ANOVA ambos factores junto a la interacción son significativos.

Al observar la gráfica de cubo, se puede ver que al usar ambas mejoras se logra una tasa promedio de 12,987 piezas (redondeado al valor inferior) diarias en la figura 44.

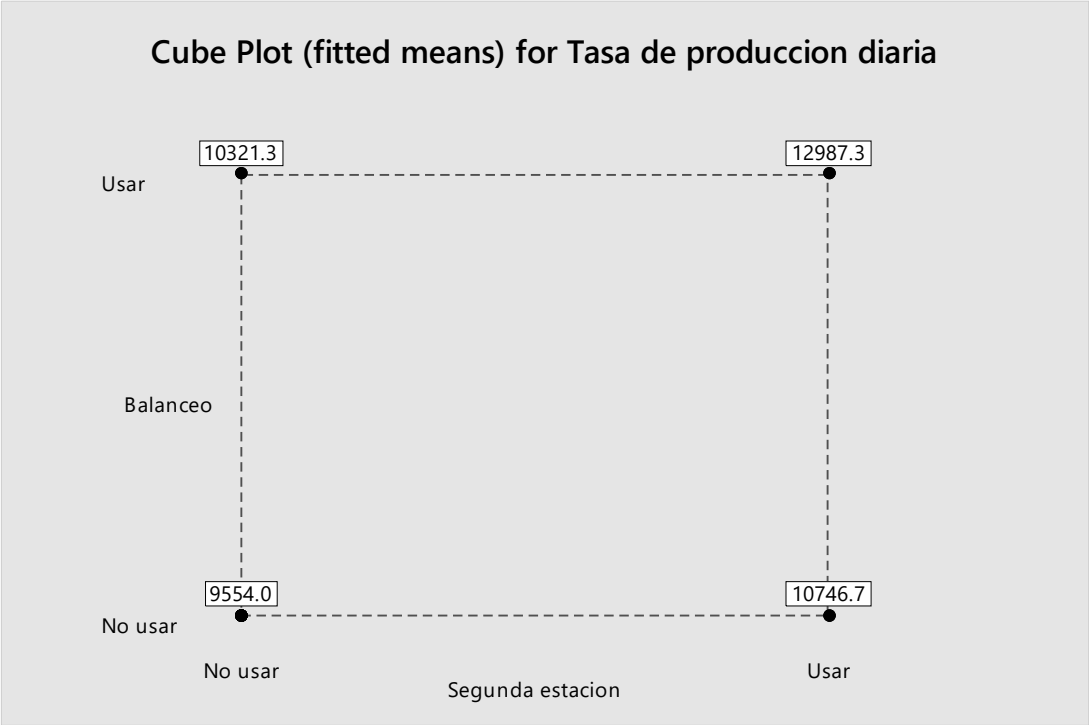


Figura 44, Gráfica de cubo para factores de DOE
Fuente: elaboración propia

Ahora se utiliza el optimizador de respuesta para encontrar cual será la salida promedio y cuál será el intervalo de confianza para el promedio diario de la tabla 20.

Tabla 18, Resultado de optimización de respuesta

Multiple Response Prediction

Variable	Setting
Segunda estacion	Usar
Balanceo	Usar

Response	Fit	SE Fit	95% CI	95% PI
Tasa de produccion diaria	12987	102	(12753, 13222)	(12518, 13456)

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar el promedio diario estará en las 12,987 piezas con un intervalo de confianza al 95% de 12,753 a 13,222 piezas, considerando esta

informacion, el beneficio promedio diario tomando el intervalo de confianza inferior de 12,753 piezas se calcula de nuevo el beneficio. Obteniendo la diferencia del intervalo de confianza inferior 12,753 piezas y del promedio actual de 9,550 piezas, se obtiene un incremento de 3,203 piezas en promedio, que equivale a un beneficio económico promedio mínimo de $23,381.9 USD diarios y la diferencia del intervalo de confianza superior 13,222 piezas y el promedio de 9,550 piezas, se obtiene un incremento de 3,672 piezas que equivale a un beneficio económico promedio máximo de $26,805.6 USD diarios, por lo tanto el promedio del beneficio diario se encontrara en un intervalo de $23,381.9 USD a $26,805.6 USD.

4.2 CONTROL

Para la última fase, que corresponde a control para estandarizar las mejoras y buscar que se continúen utilizando, tanto para la segunda estación de trabajo y el balanceo de las actividades, se quedara documentado en las instrucciones de trabajo para cada estación, agregando la descripción de cada nueva actividad.

Además de que esta informacion se registrara en el sistema de almacenamiento de informacion para mejoras continuas en el proceso, creando un numero de documentación en este sistema para futuras referencias.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados, se puede rechazar la hipótesis nula general de la investigación, por lo que se comprueba que los usos de la metodología lean six sigma en conjunto de teoría de restricciones y la simulación por computadora para mejorar la tasa de producción diaria del proceso de soldadura manual en APT, fue realmente efectivo, Logrando un cambio de 9,000 unidades producidas diariamente a 13,511 unidades diarias, esto representa un incremento del 50.12% de la producción diaria. También como objetivos específicos se logró encontrar la fuente de variación que generaba una tasa de producción diaria baja respecto a la meta, la cual fueron las estaciones de soldadura manual (Estación 09) y la estación para remover el bandolier (Estación 08).

Otro objetivo específico que se logró cumplir fue la selección de las acciones necesarias para mejora el problema de la baja tasa de producción de piezas diarias. Las cuales fueron implementar una segunda estación de soldadura manual y repartir las actividades entre las estaciones 07 y 08 generando un balanceo en la línea de producción y teniendo un ritmo (Tak time) más constante. Esto está ligado al tercer objetivo específico que fue la implementación de las acciones, estas acciones se implementaron y se pudo tener un resultado similar a lo que la simulación indicaba de una forma más enfocada ya que se trabajó con datos que indicaban específicamente las acciones que se debían atacar para problema de raíz, reduciendo gastos de inversión y obteniendo grandes resultados.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones generales, la primera sería el uso de la simulación de procesos por computadora es en realidad efectiva para poder experimentar sin necesidad de invertir bastantes recursos para verificar si la hipótesis que se esté trabajando va a ser realmente efectiva, por otro lado, es importante siempre validar los datos que se introduzcan a la simulación por medio de métodos estadísticos para determinar correctamente las distribuciones y sus parámetros estadísticos. La segunda recomendación es el uso de la metodología de lean six sigma, agiliza bastante el proceso de solución de problemas, ya que enfoca totalmente el análisis del problema en las principales causas buscando una solución eficiente, como una tercer recomendación es el apoyado de la TEO, aplicando su metodología para mejorar la restricción, ayuda a mejorar la toma de decisiones durante el análisis del problema, creando una solución más eficaz, ya que deja ver más evidente los problemas del proceso principalmente cuando es un proceso manual.

Con estas tres recomendaciones se puede lograr una optimización del proceso eficiente y eficazmente sin necesidad de invertir gran cantidad de recursos para elegir las soluciones relativas para mejoras el proceso.

APORTACIÓN DE LA TESIS

Un método para mejorar la toma de decisiones a la hora de mejorar un proceso, el cual implica el uso de la metodología de lean six sigma, combinada con los pasos para reducir los cuellos de botella definidas en la teoría de restricciones, combinando esto y realizando una simulación por computadora, se puede lograr tomar decisiones realmente eficiente y eficaces con la menor cantidad de recursos necesarios, esto es bastante útil, especialmente para empresas con capitales limitados para la mejora de sus procesos.

APORTACIÓN SOCIAL DE LA TESIS

Romper el paradigma sobre el uso de metodologías de mejora continua y el uso de herramientas como lo son los simuladores para poder optimizar los recursos en el desarrollo de una mejora para cualquier proceso de fabricación, además del involucramiento de herramientas estadísticas para validar los resultados y optimizar la toma de decisiones, ya que actualmente aunque el uso de las estadísticas está teniendo un gran auge en la actualidad, aun hace falta que más personas sean o no sean ingenieros, se apoyen de las estadísticas para la toma de decisiones y tener un pensamiento más crítico a la hora de tomar decisiones cruciales que involucren el uso de varios recursos.

REFERENCIAS

Cárdenas y Nápoles, R. (2006). *Administración de costos* (1ra ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Contacto@Leansolutions.Co. (s.f.). *Lean solutions*. Recuperado el 16 de 9 de 2018, de http://www.leansolutions.co/: http://www.leansolutions.co/conceptos/lean-manufacturing/

Dudbridge, M. (2011). *Handbook of Lean Manufacturing in the Food Industry* (1 ed.). Iowa: John Wiley & Sons, Incorporated.

Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna* (3ra ed.). México: Mc Graw Hill Interamericana.

Groover, M. (2014). *Introducción a los procesos de manufactura* (1ra ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Gutierrez Pulido , H., & De la Vara Salazar, R. (2013). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma* (3ra ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Gutiérrez Pulido, H. (2014). *Calidad y productividad* (4ta ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3ra ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Hobbs, D. (2003). *Lean manufacturing implementation: a aomplete execution manual for any size manufacturer* (1ra ed.). USA: J. Ross Publishing.

Hurtado, N., Ruiz, M., & Torres, J. (2005). Modelado y Simulación como herramienta para la mejora de la Usabilidad. *Interacción 2005: VI Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador* (pág. 4). Granada: AIPO: Asociación Interacción Persona-Ordenador.

Niebel, B., & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería industrial de Niebel, métodos, estándares y diseño del trabajo* (13ra ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.

Render, B., & Heizer, J. (2014). *Principios de administración de operaciones* (9na ed.). México: Pearson.

Shah, D., & Patel, P. (2018). Productivity Improvement by Implementing Lean Manufacturing Tools. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) , 05*(03), 5.

Vargas-Hernández, J. G., Muratalla-Bautista, G., & Jiménez Castillo, M. T. (enero-junio de 2018). Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta lean manufacturing. *Ciencias Administrativas, año* 6(11), 81-95. Obtenido de https://revistas.unlp.edu.ar/CADM/article/view/2883/4104