

Centro de Enseñanza Técnica y Superior
Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja
California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



**Rediseño de soldadora para producción flexible de modelos
de productos eléctricos**

Tesis

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

Presenta:

Carlos Daniel Villegas Meraz

Director:

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

Tijuana, Baja California, México
2020

Rediseño de soldadora para producción flexible de modelos de productos eléctricos

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

Presenta:

Carlos Daniel Villegas Meraz

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda
Director de tesis

Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>
Nombre completo (miembro del comité)
Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>
Nombre completo (miembro del comité)
Dr. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>
Nombre completo (miembro del comité)
Dra. Xxxxx Xxxxxx Xxxxxx <negritas>
Nombre completo (miembro del comité)

Dr. Ricardo Martinez Soto
Coordinador del Posgrado en Ingeniería

-

Resumen de la tesis que presenta **Carlos Daniel Villegas Meraz** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería

Rediseño de soldadora para producción flexible de modelos de productos eléctricos

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda
Director de tesis

Una automatización flexible de una máquina soldadora por resistencia con la modificación de los herramientas de los nidos de ensamble para localizar los subensambles terminales de alto y bajo amperaje permitió el incremento en un 19 % de los índices de capacidad de proceso (Cpk's) y en un 26 % la capacidad de producción de terminales de bajo amperaje para interruptores termomagnéticos logrando el aprovechamiento de equipo instalado.

Palabras clave: Rediseño, Flexibilización

Abstract of the thesis presented by Carlos Daniel Villegas Meraz as a partial requirement to obtaining a master's degree in Engineering Sciences.

Redesign of a welder for flexible production of electrical product models

Abstract approved by:

Dr. Alejandro Guzman Ocegueda
Thesis' Director

The flexible automation of a resistance welding machine with modification of assembly nest tooling to locate high and low amperage terminal subassemblies, increased by 19% the process capacity indices (Cpk's) and by 26% the production capacity of low amperage terminals for thermomagnetic switches achieving the use of installed equipment.

Keywords: Redesign, Flexibility.

Dedicatoria

Esta tesis está dedicada principalmente a mi esposa que a lo largo de la maestría siempre me apoyo para seguir adelante.

A mí padre, quien me enseñó que el trabajo arduo es la clave del éxito, También está dedicado a mi madre, quien me enseñó que incluso la tarea más grande se puede lograr si se trabaja duro.

Agradecimientos

A mi esposa por estar conmigo en todo momento, por el apoyo brindado para la realización de este sueño, a mis padres por hacer de mí una persona con valores.

A la empresa Schneider Electric por brindarme la oportunidad de desarrollar esta investigación y plasmar los conocimientos que adquirimos a lo largo de este tiempo.

Al Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda por la asesoría y el tiempo brindado, ya que su apoyo fue indispensable para llevar a cabo esta investigación.

Al CETYS Universidad plantel Tijuana por ser pilar de mi formación académica, por ser una gran institución y forjar personas de calidad.

Carlos Villegas Meraz.

Tabla de contenido

| | Página |
|--|-----------|
| Resumen español..... | ii |
| Resumen inglés..... | iii |
| Dedicatorias..... | iv |
| Agradecimientos..... | v |
| Tabla de contenido..... | vi |
| Lista de figuras..... | vii |
| Lista de Tablas..... | viii |
| Capítulo 1. Antecedentes | |
| 1.1 Mercado global | 1 |
| 1.2 Teoría de un Interruptor Termomagnético | 3 |
| 1.3 Área Soldadoras automáticas. | 4 |
| 1.4 OEE Overall Efficiency Equipment. | 7 |
| 1.5 SMED. | 8 |
| 1.6 Sistema de manufactura Flexible. | 9 |
| 1.7 Línea Base. | 10 |
| Capítulo 2. Planteamiento del problema de investigación | |
| 2.1 Justificación. | 14 |
| 2.2 Pregunta de investigación. | |
| 2.3 Hipótesis. | 15 |
| 2.4 Objetivos. | 15 |
| Capítulo 3. Metodología | |
| 3.1 Investigación | 16 |
| 3.1.1 Población. | 16 |
| 3.1.2 Muestras. | 17 |
| 3.1.3 Caracterización del proceso. | 18 |
| 3.1.4 Recolección de datos. | 20 |
| 3.1.5 Comprobación. | 20 |
| Capítulo 4. Resultados | 22 |
| 4.1 Proceso capacidad eléctrica de equipo. | |
| 4.1.1 Ajuste de parámetros. | 23 |
| 4.2. Análisis neumático diagrama de movimientos. | 24 |
| 4.3 Programa de PLC. | 26 |
| 4.4 Diseño de herramental. | 28 |
| 4.4.1 Componentes del herramental. | 29 |
| 4.4.1.1 Cargador de terminal. | 29 |
| 4.4.2 Herramental nido principal. | 34 |
| 4.5 Validaciones de proceso. | 37 |
| 4.5.1 Capacidad de proceso. | 38 |
| 4.5.2 Reporte de producción. | 40 |
| Capítulo 5. Discusión de resultados | 41 |
| Capítulo 6. Conclusiones | 44 |
| Lista de bibliografías. | 45 |

Lista de figuras

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Estadística de construcción residencial enero de 2020. | 1 |
| 2 | Interruptores termomagnéticos Square D de mayor venta. | 3 |
| 3 | Configuración y componentes estándar para soldadoras por resistencia tipo pedestal. | 5 |
| 4 | Configuración típica de un proceso de soldadura por resistencia fuerza y corriente. | 6 |
| 5 | Modelo competencias de fabricación flexible. | 9 |
| 6 | Terminales de bajo y alto amperaje. | 12 |
| 7 | Instrumento de medición Weld Scope. | 18 |
| 8 | Herramental actual alto amperaje creada en Creo Parametric. | 20 |
| 9 | Parámetros de soldadura establecidos para procesar bajos amperajes en la máquina CA-3786. | 23 |
| 10 | Diagrama de movimientos de las máquinas CA-1808 y CA-3786. | 24 |
| 11 | Pantalla principal del programa ProWORX NxT. | 26 |
| 12 | Secuencia de temporizador ProWORX NxT. | 27 |
| 13 | Temporizador de tiempo ciclo de la máquina CA-3786. | 28 |
| 14 | Cargador de terminal máquina CA-3786. | 30 |
| 15 | Sección del plano donde es especificado el cargador de terminal máquina CA-3786. | 31 |
| 16 | Cargador de terminal máquina CA-1808. | 32 |
| 17 | Nuevo diseño para cargador de terminal alto amperaje máquina CA-3786. | 33 |
| 18 | Nuevo diseño para cargador de terminal bajo amperaje máquina CA-3786. | 33 |
| 19 | Diseño original para cargador de terminal bajo amperaje máquina CA-3786. | 34 |
| 20 | Nuevo diseño para nido y localizadores de Yugo y terminal para bajo amperaje máquina CA-3786. | 35 |

| | | |
|----|--|----|
| 21 | Nuevo diseño para nido y localizadores de Yugo y terminal para bajo amperaje intercambiables máquina CA-3786. | 36 |
| 22 | Hoja de calificación Interna QA840AF bajo amperaje máquina CA-3786. | 37 |
| 23 | Reporte en Minitab Prueba T-test máquina CA-3786. | 41 |

Lista de tablas

| Tabla | | Página |
|-------|--|--------|
| 1 | Clasificaciones OEE adoptadas por la industria global. | 7 |
| 2 | Demanda pronosticada para los dos años siguientes 2020, 2021. | 10 |
| 3 | Capacidades de las máquinas instaladas para producción de Sub-Ensamblés terminales de bajos amperajes. | 11 |
| 4 | Capacidades de las máquinas instaladas para producción de Sub-Ensamblés terminales de alto amperaje. | 11 |
| 5 | Capacidades de procesos de las máquinas instaladas para producción de Sub-Ensamblés terminales de alto y bajo amperaje. | 13 |
| 6 | Capacidades de las máquinas instaladas contra la capacidad instalada para terminales de alto y bajo amperaje. | 14 |
| 7 | Gama de modelos para bajo y alto amperaje. | 16 |
| 8 | Datos técnicos máquinas proceso bajo y alto amperaje. | 22 |
| 9 | Cpk's correspondientes a alto y bajo amperaje después de la flexibilización. | 38 |
| 10 | Cpk's correspondientes a alto amperaje después de la flexibilización. | 42 |
| 11 | Cpk's correspondientes a bajo amperaje después de la flexibilización. | 43 |

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 Mercado global

El mercado global de interruptores termomagnéticos fue estimado en 6.85 mil millones de dólares en 2017 y está proyectado alcanzar 8.68 mil millones de dólares para 2022. Debido a la necesidad de electricidad de los países en desarrollo y el avance de la tecnología de energía renovable, demuestra la demanda del dispositivo seguirá aumentando. Las principales marcas competidoras líderes en ventas globales son Schneider Electric, ABB y General Electric, pero durante 2015 Schneider Electric dominó con una participación de ingresos del 10,60 por ciento, seguido por ABB 9,45 por ciento y General Electric con 8,37 por ciento (DUBLIN. 2018).

El mercado principal de Schneider electric Tijuana es el mercado Estadunidense y su creciente mercado de construcción de casas, el último censo realizado por 'United States Census Bureau' (Figura 1), Muestra una tendencia al alta en el primer mes del 2020, dando un pronóstico positivo durante todo el año 2020, desarrollando estas nuevas construcciones ocasionan una cascada de demanda de suministros de construcción entre ellos productos eléctricos como Interruptores termomagnéticos.

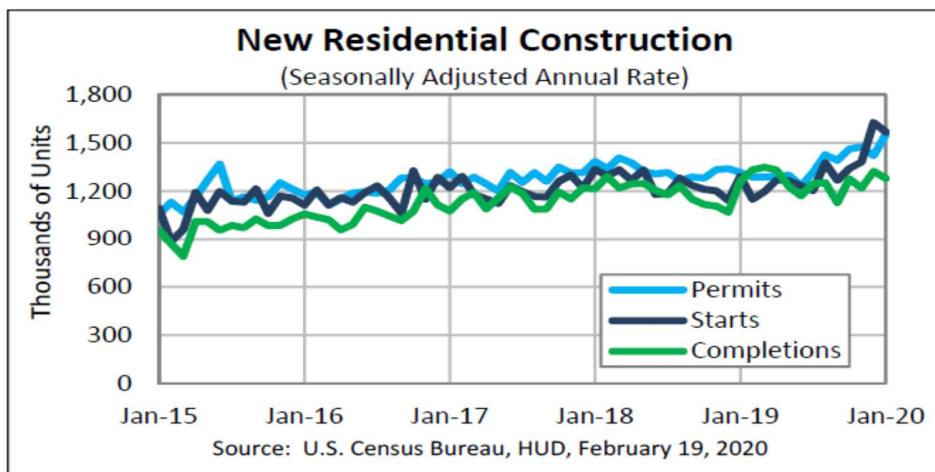


Figura 1. Gráfica estadística de construcción residencial enero de 2020 (United States Census Bureau, 2020).

El corporativo Schneider electric cuenta alrededor del mundo con diferentes plantas encargadas de manufacturar toda su gama de productos eléctricos por mencionar algunas son:

Merlín Garín: provee productos de distribución eléctrica en baja, media y alta tensión.

Telemecanique: provee productos de control y automatización de equipo y suministros de energía.

Harmony: Fabricante de productos de control como botones, interruptores y luces piloto soluciones para cubrir aplicaciones industriales para todos los entornos.

Foxboro: Ofrece una gran variedad de productos de medición y telemetría de uso en procesos industriales como son: sensores de presión, fluidos y temperatura entre otros.

Square D: Sección de Schneider-Electric especializada en la fabricación de interruptores termomagnéticos también conocidos por disyuntores (figura 2), los interruptores termomagnéticos son catalogados de acuerdo con su capacidad en bajo y alto amperaje, los interruptores termomagnéticos son considerados alto amperaje a partir de los 40 amperajes hacia arriba y 35 hacia abajo son considerados bajos amperajes.

La planta Square D Tijuana reportó en su último año una ganancia en ventas de 456 millones de dólares con un volumen de producción anual de 128 millones de interruptores termomagnéticos de todo su catálogo.



Figura 2. Interruptores termomagnéticos Square D de mayor venta. Fuente (Square D, 2020).

Los interruptores termomagnéticos son usados en instalaciones eléctricas Industriales y residenciales, en nuestra casa puede ser posible encontrar instalado alguno de ellos su funcionamiento es sencillo como a continuación se expone.

1.2 Teoría de un Interruptor Termomagnético

Un interruptor termomagnético es un dispositivo eléctrico de funcionamiento automático diseñado para proteger un circuito eléctrico, maquinaria y componentes eléctricos del daño causado por sobrecarga o cortocircuito. Su función básica es detectar una condición de falla e interrumpir el flujo de corriente. A diferencia de un fusible, funciona una vez y luego debe reemplazarse, los interruptores termomagnéticos pueden reiniciarse manualmente y reanudar el funcionamiento normal.

Los interruptores termomagnéticos son fabricados en diferentes tamaños, desde dispositivos pequeños enfocados para la protección de un electrodoméstico individual hasta equipos grandes diseñados para proteger los circuitos de alto voltaje encargados de alimentar toda una ciudad, ambos comparten el mismo principio de funcionamiento un bimetalico diseñado para soportar un corriente atravez de él y cuando esta corriente sobrepasa su capacidad comienza a calentarse y a deflexionar liberando un seguro y abriendo el circuito interrumpiendo el flujo de la corriente eléctrica.

Los interruptores termomagnéticos Square D están compuestos en su interior de pequeñas piezas conductivas de cobre y otras aleaciones especiales propias de la marca, estos sub-ensambles son procesados en el área de soldadoras automáticas.

1.3 Área Soldadoras automáticas

Los Sub-Ensamblés internos encargados de hacer circular la corriente a través del interruptor termomagnético son manufacturados en una sola área de la planta de Schneider Tijuana, esta área es Soldadoras Automáticas, esta área cuenta con 78 máquinas soldadoras por resistencia también conocidas por "spot welders" (Figura 3). Las 78 máquinas son totalmente automáticas gobernadas por un controlador lógico programable también llamado PLC.

El proceso de soldadura por resistencia fue "inventado en 1877 por el Sr. Elihu Thomson (1853-1937), fundador y presidente del Laboratorio Thomson, La soldadura por resistencia es un método de unión popular en la fabricación en masa de láminas metálicas delgadas, uniones de ensambles metálicos. Algunos otros métodos de soldadura por fusión, como la soldadura por rayo láser y la soldadura por arco metálico con gas, son utilizados actualmente en la fabricación de automóviles, así como en otros procesos industriales, la soldadura por puntos sigue siendo utilizada por importante método de unión debido a su bajo costo y alta robustez (Hongyan & Senkara, 2006).

Hay dos leyes básicas de física involucradas en la soldadura por resistencia la Ley de OHM, la relación entre el voltaje, la corriente y la resistencia en un circuito eléctrico y la ley de JOULE'S mide una unidad de energía de trabajo, esta es la energía térmica gastada por una corriente eléctrica de 1 amperio el cual fluye a través de una resistencia de 1 ohmio durante 1 segundo.

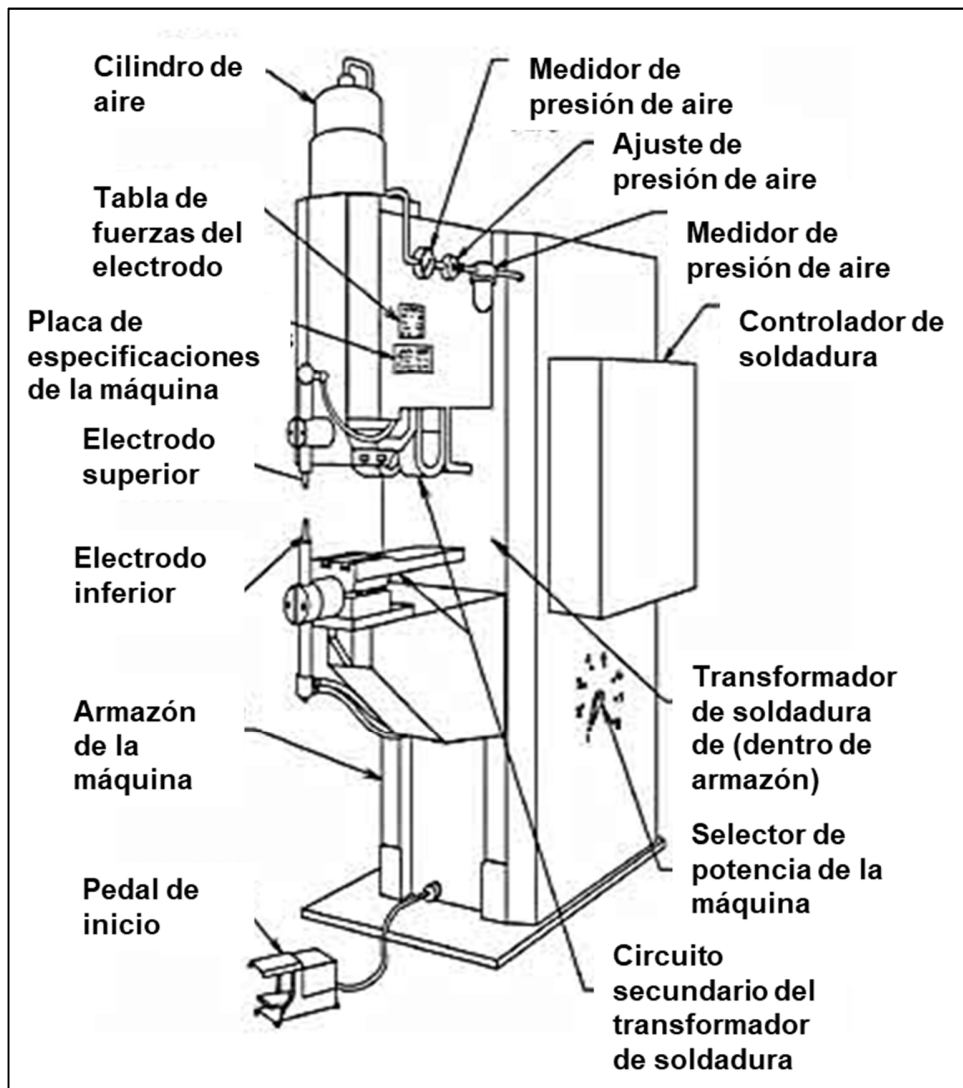


Figura 3. Configuración y componentes estándar para soldadoras por resistencia tipo pedestal, Fuente (Entron, 2014).

Las funciones básicas de la soldadura por resistencia son presión, corriente y tiempo. La aplicación de la fuerza de compresión adecuada da como resultado la formación de una interfaz de contacto entre las dos piezas u hojas de trabajo, una corriente eléctrica alta, cuando son aplicados estos dos componentes es genera una fusión localizada de las láminas de metal entre los electrodos. (Figura 4). Cuando se apaga la corriente eléctrica, el metal fundido tiende a enfriarse y solidificarse bajo la presión de los electrodos, junto con el enfriamiento por agua, Provocando la formación de una pepita también conocida por su nombre en inglés “Nugget”, Los electrodos son retraídos dejando una unió fuerte entre los metales (Entron, 2014)

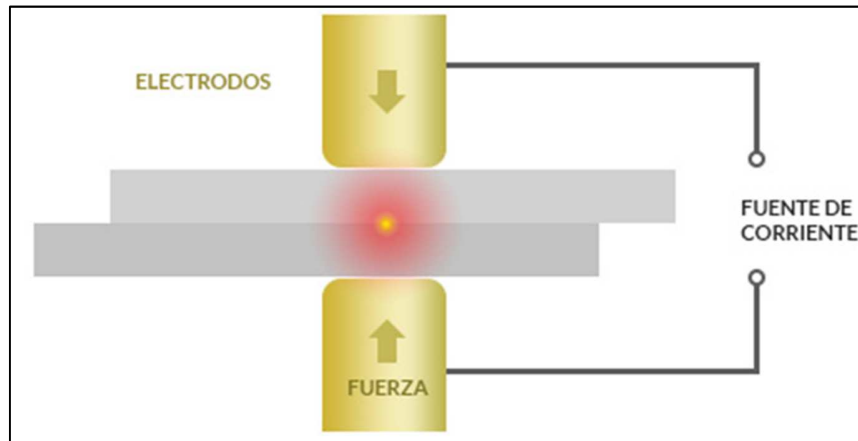


Figura 4. Configuración típica de un proceso de soldadura por resistencia fuerza y corriente, Fuente (Entron, 2014).

La cantidad de corriente eléctrica utilizadas en estos tipos de soldaduras pueden llegar he incluso sobrepasar los 10,000 amperios en cada soldadura realizada por la máquina, una corriente de 10,000 amperios no está fácilmente disponible desde cualquier toma de corriente estándar. 15 amperios es la corriente máxima disponible en los hogares y oficinas comunes. Incluso en las fábricas donde utilizan grandes cantidades de energía eléctrica, 200 amperios es típico de la corriente disponible de los circuitos de distribución eléctrica. Para obtener los 10,000 amperios es necesario el uso de transformadores para el aumento o disminución de la corriente (Entron, 2014).

La configuración de una máquina soldadora puede ser la misma hablando del armazón y transformador como lo miramos en la figura 4. Pero la personalización de la soldadora la cual permitirá al equipo automático soldar los diferentes subensambles bajo especificaciones predeterminadas es el herramental el cual está diseñada para cada modelo o número de parte a procesar. Los componentes principales de las soldadoras automáticas instaladas en Schneider electric Tijuana son: máquina Soldadora, controlador de soldadura, herramientas y tazones alimentadores automáticos y sensores, Estos dispositivos a su vez son gobernados por un controlador lógico programable.

El área de Soldadoras automáticas es monitoreada por diversas métricas para el seguimiento de su desempeño una de ellas es el OEE por sus siglas en ingles significa Overall Efficiency Equipment y traducida al español eficiencia general de los equipos.

1.4 OEE Overall Efficiency Equipment

El OEE (Overall Equipment Effectiveness) es un métrico para medir el aprovechamiento de la maquinaria industrial, el OEE fue creado por el ingeniero y consultor Seiichi Nakajima a finales de los 60's, pero tomo más influencia a nivel mundial en los 80's. el métrico OEE plantea como las seis grandes pérdidas en equipos o máquinas los siguientes:

1. Tiempo Muerto
2. Set up / ajustes
3. Inactivo / paros
4. Velocidad reducida
5. Scrap
6. Rechazos por arranque inicial

El OEE divide el rendimiento de una unidad de fabricación en tres partes separadas, pero componentes medibles: disponibilidad, rendimiento y calidad (fórmula 1). Cada componente apunta a un aspecto del proceso puede ser objetivo de mejora. OEE puede aplicarse a cualquier área de trabajo individual, o acumularse a niveles de departamento o planta. Esta herramienta también permite profundizar por muy análisis específico, como un número de pieza particular, turno o cualquiera de varios otros parámetros. (Stamatis, 2010).

$$\text{OEE} = \text{Availability} \times \text{Performance} \times \text{Quality}$$

Fórmula 1. Para calcular OEE (Stamatis, 2010).

El valor de la OEE permite clasificar el equipo analizado, con respecto a las mejores de su clase y el nivel alcanzado de excelencia, las clasificaciones adoptadas por la industria global (Tabla 1) (Stamatis, 2010).

Tabla 1. Clasificaciones OEE adoptadas por la industria global.

| Clasificación de OEE | | |
|----------------------|---------------|--|
| Rango OEE | Clasificación | Estatus |
| 0 a 64 % | Inaceptable | producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad. |
| 65 % a 74 % | Regular | Aceptable sólo si está en proceso de mejora. Pérdidas económicas. Baja competitividad. |
| 75% a 84 % | Aceptable | Continuar la mejora para superar el 85 % y avanzar hacia la Clase mundial. Ligeras pérdidas económicas. Competitividad ligeramente baja. |
| 85 % a 94 % | Buena | Entra en valores Clase mundial. Buena competitividad. |
| 95% a 100% | Excelencia | Valores de Clase mundial. Excelente competitividad. |

Fuente: Salazar, B. (2019).

El monitoreo del OEE es un métrico de ayuda para los ingenieros al demostrar el rubro culpable de una eficiencia baja en la maquinaria, y poder atacar la barrera, ya sea calidad, disponibilidad o eficiencia. Una herramienta utilizada en la industria para lograr una mejor eficiencia y reducción de tiempos muertos es el SMED el cual está enfocado a la reducción en los cambios de modelo realizados en los procesos industriales,

1.5 SMED

El SMED por sus siglas en inglés (Single - Minute Exchange of Dies), es una metodología o grupo de técnicas enfocadas a la reducción de los tiempos de preparación de máquina. Desarrollada mediante el estudio detallado del proceso e incorporando cambios radicales en la máquina, Herramientales, así como herramientas e incluso el propio producto, para disminuir tiempos de preparación. Estos cambios implican la eliminación de ajustes y estandarización de operaciones a través de la instalación de nuevos mecanismos de alimentación/retirada/ajuste/centrado rápido como plantillas y anclajes funcionales. Para llevar a cabo una acción SMED, las empresas deben acometer estudios de tiempos y movimientos relacionados específicamente con las actividades de preparación. Estos estudios suelen encuadrarse en cuatro fases:

- 1.- Diferenciación de la preparación externa y la interna.
- 2.- Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora de las operaciones.
- 3.- Reducir el tiempo de preparación interna mediante la mejora del equipo.
- 4.- Preparación Cero.

Cambios rápidos de modelo y preparación puede aumentar la capacidad de la máquina. Si las máquinas ya están en plena capacidad, una opción para aumentarla, sin comprar máquinas nuevas, es reducir su tiempo de cambio y preparación. La implantación exitosa de esta herramienta lleva a las empresas a mejorar su nivel de producción sacando el mayor provecho del equipo instalado en piso (Juan & Antonio, 2013). Otra manera de aprovechar la capacidad instalada en una empresa es la flexibilización de sus procesos incluyendo su maquinaria.

1.6 Sistema de manufactura Flexible

La flexibilidad de fabricación generalmente es considerada como la respuesta principal para sobrevivir en los mercados actuales, caracterizada por plazos de entrega cortos, tolerancias estrictas del producto, presión sobre los costos, cambios frecuentes en la demanda y evolución continua de los requisitos tecnológicos de los productos. Incluso si la flexibilidad puede verse, por un lado, como una opción estratégica importante, por otro lado, debemos considerar que la competitividad de una empresa puede verse fuertemente afectada por la carga de inversiones intensivas en capital en la flexibilidad del sistema. Como modelo es planteado siempre como objetivo final al cliente (Figura 5) el modelo está enfocado a la satisfacción del cliente (Tulio, 2009).

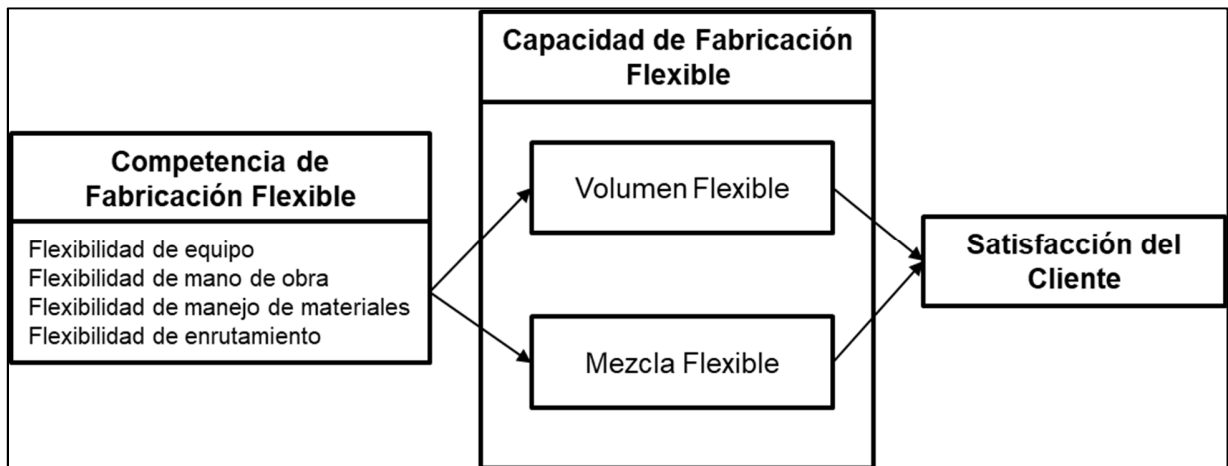


Figura 5. Modelo competencias de fabricación flexible, Fuente (Zhang, 2003).

Algunas formas para realizar la implementación de producción flexible establecen la caracterización de los procesos actuales para formar una comparativa y definir si es posible la flexibilización de este.

Las máquinas con sistemas computarizados o gobernados por controladores lógicos pueden ser configuradas para fabricar una variedad de piezas y manejar niveles cambiantes de producción por medio de cambio de herramientas y secuencias predeterminadas en el sistema de control logrando utilización de los equipos instalados hasta de un 100 por ciento de su tiempo disponible, obteniendo beneficios como mejor respuesta a las demandas variantes de producción, disminución de inventarios en

números de parte innecesarios y reducción de espacios de almacenaje, aunque ofrece ahorros monetarios para las empresas estos sistemas de producción flexible podrían convertirse en grandes desventajas si estos cambios no son realizados de la manera correcta y planeada, cuando un equipo con la flexibilidad de producir diferentes modelos involucra ensambles de materia prima con diferentes dimensiones son empleados herramientas mecánicas para lograr la flexibilización de los procesos, así como la contratación de personal más capacitado para operar estos equipos, otro punto importante en la flexibilización de los procesos son los tiempos de cambio de modelo al no ser lo suficientemente rápidos podrían acabar con el aumento de producción buscado al flexibilizar un proceso. (CJ Naranjo,1986).

1.7 Línea Base

El departamento de mercadotecnia cada año libera el pronóstico de ventas para los siguientes dos años en este caso para el año y 2020 y 2021 esta pronosticado un incremento promedio de cinco por ciento para los modelos de bajo amperaje y un uno por ciento en promedio para altos amperajes con respecto a la demanda del año 2019 (Tabla 2).

Tabla 2. Demanda pronosticada para los dos años siguientes 2020, 2021.

| Proceso | Demanda de Sub-ensambles en piezas | |
|-------------------------------|---|-----------------|
| | Año 2020 | Año 2021 |
| Bim-Term Bajo amperaje | 24,750,304 | 25,011,319 |
| Bim-Term Alto Amperaje | 8,510,707 | 8,455,814 |

Fuente: Adaptado de (Schneider Electric 2020).

La Capacidad instalada para solventar la demanda de bajos amperajes, son de siete máquinas automáticas diseñadas exclusivamente para los modelos de bajo amperaje, las máquinas fueron transferidas a la planta Tijuana en el año 2005 desde su planta hermana en Lincoln Nebraska, Estados Unidos, el año de fabricación de estas máquinas van desde 1983 hasta el 2003, los diseños de los herramientas datan de los mismos años de fabricación desde su transferencia hace 15 años no han sido modificadas o rediseñadas. Los equipos de bajo amperaje son capaces de producir toda la gama de modelos de bajos amperajes con un tiempo ciclo promedio de 3.30

segundos con un OEE (Overall Equipment Effectiveness) promedio de 69 por ciento, la capacidad anual de los siete equipos es de 23,972,547 millones de partes (Tabla 3).

Tabla 3. Capacidades de las máquinas instaladas para producción de Sub-Ensamblajes terminales de bajos amperajes.

| Bim-Term Bajo Amperaje | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|------------|----------------------------------|
| Asset's | Tiempo ciclo en segundos | OEE | Capacidad Anual en Piezas |
| CA-0586 | 3.31 | 67% | 3,290,314 |
| CA-0577 | 3.20 | 75% | 3,825,496 |
| CA-0035 | 2.80 | 64% | 3,696,095 |
| CA-1808 | 3.57 | 76% | 3,446,447 |
| CA-0251 | 3.74 | 65% | 2,838,594 |
| CA-0065 | 3.42 | 64% | 3,027,093 |
| CA-0611 | 3.05 | 72% | 3,848,508 |
| Capacidad Instalada | | | 23,972,547 |

Fuente: Adaptado de (Schneider Electric 2020).

Por otro lado, para solventar la demanda de altos amperajes la planta cuenta con una capacidad instalada de tres máquinas automáticas diseñadas exclusivamente para estos modelos de igual manera estas máquinas fueron transferidas de Lincoln Nebraska, Estados Unidos como las máquinas de alto amperaje (Tabla 4); estas máquinas son capaces de producir toda la gama de modelos de alto amperaje con un tiempo ciclo promedio de 3.21 segundos con un OEE (Overall Equipment Effectiveness) promedio de 63 por ciento, la capacidad anual de los tres equipos es de 9,578,183 millones de partes.

Tabla 4. Capacidades de las máquinas instaladas para producción de Sub-Ensamblajes terminales de alto amperaje.

| Bim-Term Alto Amperaje | | | |
|-------------------------------|---------------------------------|------------|----------------------------------|
| Asset's | Tiempo ciclo en segundos | OEE | Capacidad Anual en Piezas |
| CA-3767 | 2.94 | 66% | 4,151,586 |
| CA-0036 | 3.19 | 61% | 3,893,973 |
| CA-3786 | 3.50 | 61% | 3,556,533 |
| Capacidad Instalada | | | 11,602,092 |

Fuente: Adaptado de (Schneider Electric 2020).

Los componentes claves en las soldadoras automáticas mecánicamente hablando son los herramentales y el alimentador automático; el herramental general es el aditamento encargado de dar las dimensiones predeterminadas a los Sub-ensambles por medio del posicionamiento de los componentes durante el proceso de soldadura esto proporciona las dimensiones finales en los subensambles; los componentes mecánicos del herramental fueron diseñadas específicamente para la forma y dimensiones de cada terminal alto y bajo amperaje (Figura 6), esto exhibe la limitación de los diseños para procesar los dos tipos.

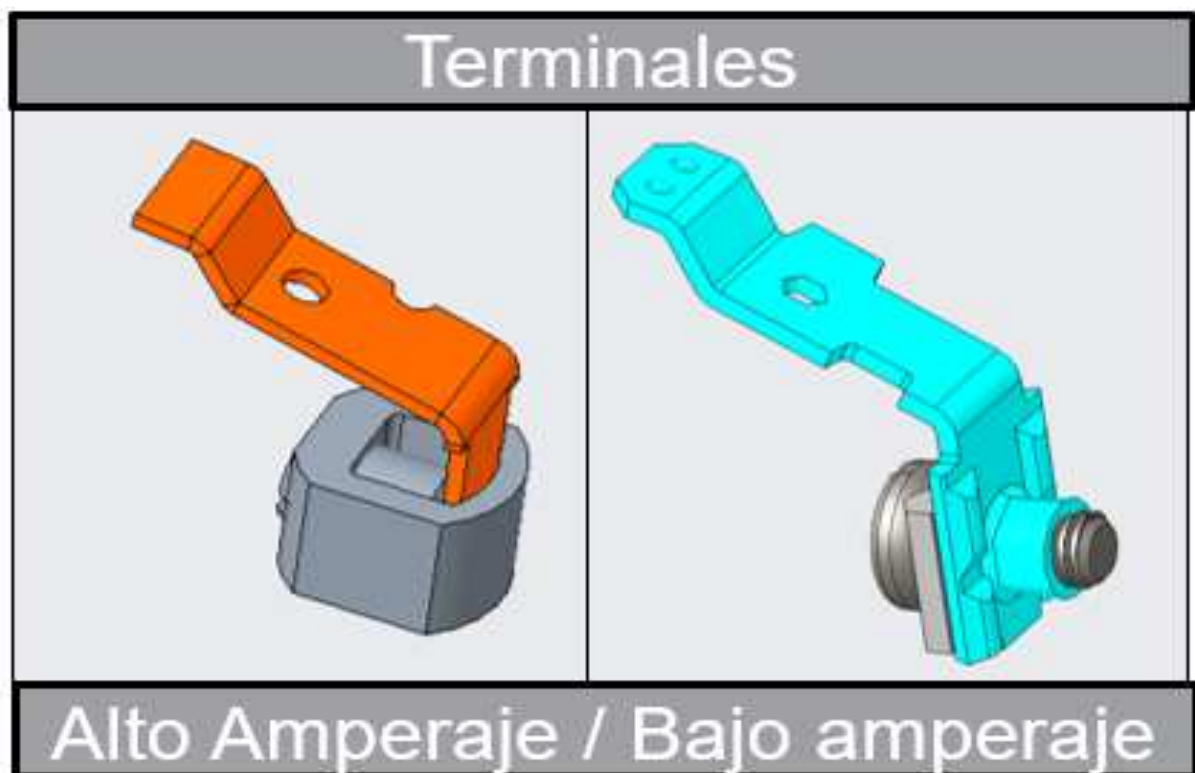


Figura 6. Terminales de bajo y alto amperaje. Fuente (Schneider Electric 2020).

Los alimentadores automáticos son equipos encargados de suministrar terminales con una orientación predeterminada hacia el herramental general donde posteriormente es soldada a otro ensamble (Figura 6); al momento de encargar al proveedor un alimentador es especificado el diseño limitando esto la posibilidad de suministrar ambas terminales alto y bajo amperaje, exhibiendo otra limitante de los diseños para procesar los dos tipos.

Para poner en perspectiva los Cpk's de los procesos de esta investigación son tomados de las máquinas CA-3786 alto amperaje y la máquina CA-1808 de bajo amperaje.

Tabla 5. Capacidades de procesos de las máquinas instaladas para producción de Sub-Ensamblajes terminales de alto y bajo amperaje.

| Tabla de Cpk's | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Dimensión | Cpk CA-3786 Alto amp | Cpk CA-1808 Bajo amp |
| Altura | 0.92 | 0.98 |
| Paralelo del Yugo | 1.12 | 0.86 |
| Abertura T (WA) | 0.95 | 1.13 |
| Grosor | 3.20 | 1.71 |
| Paralelo Largo del Yugo | 1.29 | 1.60 |
| Dim. Terminal a Yugo | 1.07 | 0.96 |
| Dim. 0.485 Max. | 1.36 | 1.35 |

Fuente: Adaptado de (Schneider Electric 2020).

La máquina CA-1808 es la base para los procesos de bajo amperaje por tener el OEE más alto mostrado en la tabla 3. Estableciendo la base para el capítulo siguiente la justificación.

Capítulo 2 Planteamiento del problema de investigación

2.1 Justificación

Lo mostrado en las tablas 1, 2 y 3 generamos la siguiente (tabla 5) como resumen de Capacidad contra demanda

Tabla 6. Capacidades de las máquinas instaladas contra la capacidad instalada para terminales de alto y bajo amperaje.

| Proceso | Demanda de Sub-ensambles piezas | | Capacidad instalada en piezas | Capacidad vs Demanda | |
|------------------------|---------------------------------|------------|-------------------------------|----------------------|----------------|
| | Año 2020 | Año 2021 | | Año 2020 | Año 2021 |
| Bim-Term Bajo amperaje | 24,750,304 | 25,011,319 | 23,972,547 | (777,757) | (1,038,772.20) |
| Bim-Term Alto Amperaje | 8,510,707 | 8,455,814 | 9,578,183 | 1,067,476 | 1,122,368.50 |

Fuente: Adaptado de (Schneider Electric 2020).

La tabla cuatro expone un déficit de capacidad para cubrir la demanda para los siguientes dos años de los procesos de bajo amperaje, para el año corriente 2020 muestra un faltante de 777,757 Sub-Ensamblés para el primer año y más de un millón de partes para el 2021 para poder cubrir la demanda pronosticada, para lo altos amperajes es lo contrario, tenemos un excedente de capacidad de más de un millón de Sub-ensambles tanto para el año 2020 y 21, el análisis de la tabla cuatro demuestra restricciones para suministrar los ensambles requeridos a las líneas de producción, es necesario proponer un plan para cubrir la demanda pronosticada del 2020 y 2021, de no ejecutarse un plan de acción no logrará el suministro de subensambles a las líneas de producción colocando a Schneider electric Tijuana en desventaja contra nuestros competidores de mercado, estos hallazgos llevaron a plantear la siguiente pregunta de investigación.

2.2 Pregunta de investigación

La pregunta de investigación fue: ¿Qué rediseño de estación de soldadura incrementa la capacidad para la producción de dos familias de interruptores termomagnéticos de alto y bajo amperaje?

2.3 Hipótesis

Las hipótesis fueron:

H_i: La automatización para la flexibilidad de modelos incrementa la capacidad de producción de terminales de bajo amperaje para interruptores termomagnéticos.

H₀: La automatización para la flexibilidad de modelos no incrementa la capacidad de producción de terminales de bajo amperaje para interruptores termomagnéticos.

2.4 Objetivos

Los Objetivos fueron:

Objetivo general:

Cubrir la demanda al 100 % para el proceso de soldadura de bajos amperajes, por medio de la flexibilización de la máquina CA-3786 de alto amperaje.

Como objetivos específicos son los siguientes:

- 1.- Incrementar C_{PK} del equipo CA-3786 a 1.33.
- 2.- Producir modelos de bajo amperaje y alto amperaje en la máquina CA-3786.
- 3.- Reducir tiempo ciclo de 3.50 segundos a 3.00 segundos por pieza en la máquina CA-3786.

Capítulo 3 Metodología

3.1 Investigación

La metodología partió de una investigación documental para identificar dos métodos de flexibilización de procesos, estas investigaciones plantean la creación de tablas donde son desplegadas las características de los procesos y máquinas, en donde es realizado una comparativa de las diferencias existentes entre los números parte, tanto mecánicamente como la dispersión de modelos; seguido de una investigación de campo para construir un prototipo funcional y demostrar la flexibilidad de los modelos, después de identificar y conocer el funcionamiento y restricciones del proceso de ensamble de terminales.

3.1.1 Población

La investigación está centrada en el área de soldadoras automáticas y en especial el área de terminales de bajo y alto amperaje. El área está conformada por tres máquinas de alto amperaje y siete máquinas de bajo amperaje y los números de parte involucrados en esta investigación son siete (tabla 7), tres números de bajo y cuatro números de alto amperaje.

Tabla 7. Gama de modelos para bajo y alto amperaje.

| Números de parte correspondiente a los modelos de bajo y alto amperaje | | | |
|---|------------------------|-----------------|------------------------------|
| Número | Número de parte | Amperaje | Categoría de amperaje |
| 1.- | 48118-321-50 | 15 | Bajo |
| 2.- | 48118-321-52 | 20 | Bajo |
| 3.- | 48118-321-53 | 30 | Bajo |
| 4.- | 48118-321-54 | 35 | Alto |
| 5.- | 48118-321-55 | 40 | Alto |
| 6.- | 48118-321-56 | 50 | Alto |
| 7.- | 48118-321-57 | 60 | Alto |

Fuente: propia (Schneider Electric 2020).

3.1.2 Muestras

Las muestras son calculadas de acuerdo con la fórmula de población finita (fórmula 2), la población es determinada con la producción de un día del turno 5“A” de acuerdo con la capacidad diaria real equivale a 5961 piezas, con un nivel de confianza del 95% y con un error del 2 % lo estándar para Schneider; la capacidad diaria de la máquina es tomada del archivo de capacidades del departamento de manufactura de Schneider.

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2 * (N-1) + Z^2 * p * q}$$

Donde:

Z = Nivel de confianza.

p = Porcentaje de la población que tiene el atributo deseado.

q = Porcentaje de la población que no tiene el atributo deseado.

N = Tamaño del universo.

e = Error de estimación máximo aceptado.

n = Tamaño de muestra.

Fórmula 2. Calculo tamaño de muestra con población finita, Fuente (Levin R. Rubin, D. Balderas, M. Del Valle, J. Gomez, R. (2004).

Sustituyendo en la fórmula los datos de la población obtenemos lo siguiente (Figura 10):

Donde:

Z = 95 %

p = 0.5

q = 0.5

N = 5961 piezas

e = 2%.

n = Tamaño de muestra.

$$n = \frac{(1.95)^2 * (5,961) * (0.5) * (0.5)}{(0.02)^2 * (5961-1) + (1.95)^2 * (0.5) * (0.5)} = 2128 \text{ piezas por turno}$$

Una vez aplicada la fórmula obtenemos una muestra de 2128 piezas en el turno 5 “A” divididas en 9 horas debido a los procesos internos de muestreo de calidad fueron tomadas 236 piezas por hora hasta completar la muestra total de 2128 piezas, los datos son registrados en el software Minitab para su posterior análisis.

3.1.3 Caracterización del proceso

Los componentes del equipo a analizar como parte de la caracterización fueron los siguientes: capacidades eléctricas, neumáticas, mecánicas y su sistema de alimentación de terminales y localización.

Capacidades eléctricas, para analizar sus capacidades eléctricas es utilizado el instrumento de Weld Scope modelo WS100 (figura 7), el instrumento tiene la capacidad de adquirir lecturas de las capacidades eléctricas del equipo, adicional a esto, este dispositivo tiene la capacidad de tomar lecturas de fuerza por medio de una celda de carga, como vimos en la figura 4, la fuerza es un dato importante para los procesos de soldadura por resistencia.



Figura 7. Instrumento de medición Weld Scope. Fuente; (Dengsha 2020).

Análisis neumático: para realizar la comparación de la secuencia de una máquina de bajo y una de alto amperaje fueron realizados los diagramas de fase desplazamiento para caracterizar su secuencia neumática y corroborar compatibilidad entre las secuencias de una máquina de bajo y una de alto amperaje.

El dispositivo de control lógico PLC: para el análisis de los programas del PLC utilizaremos el software ProWORK NxT y con los conocimientos adquiridos en la materia de Controles digitales analizaremos la secuencia de la máquina para dos cosas; uno para la comparación de los programas entre una máquina de bajo y una de alto amperaje para verificar la posibilidad de utilizar el mismo programa para ambos modelos o no, si el resultado es una diferencia considerable es necesario la creación de un segundo programa para cada modelo, y dos; realizar un análisis del programa en la máquina bajo investigación para la reducción del tiempo ciclo en medio segundo y así cumplir con el objetivo específico tres.

El desarrollo del prototipado para este proyecto fue generado en el software Creo Parametric 100M versión 2.3.2, este software es una herramienta para modelado 3D con gran capacidad de diseño mecánico, este software permitió crear un modelo en 3D para verificar la compatibilidad de los mecanismos del herramental general actual (Figura 8), como así la funcionalidad del nuevo diseño, al mismo momento el software permite la generación de planos para su posterior fabricación.

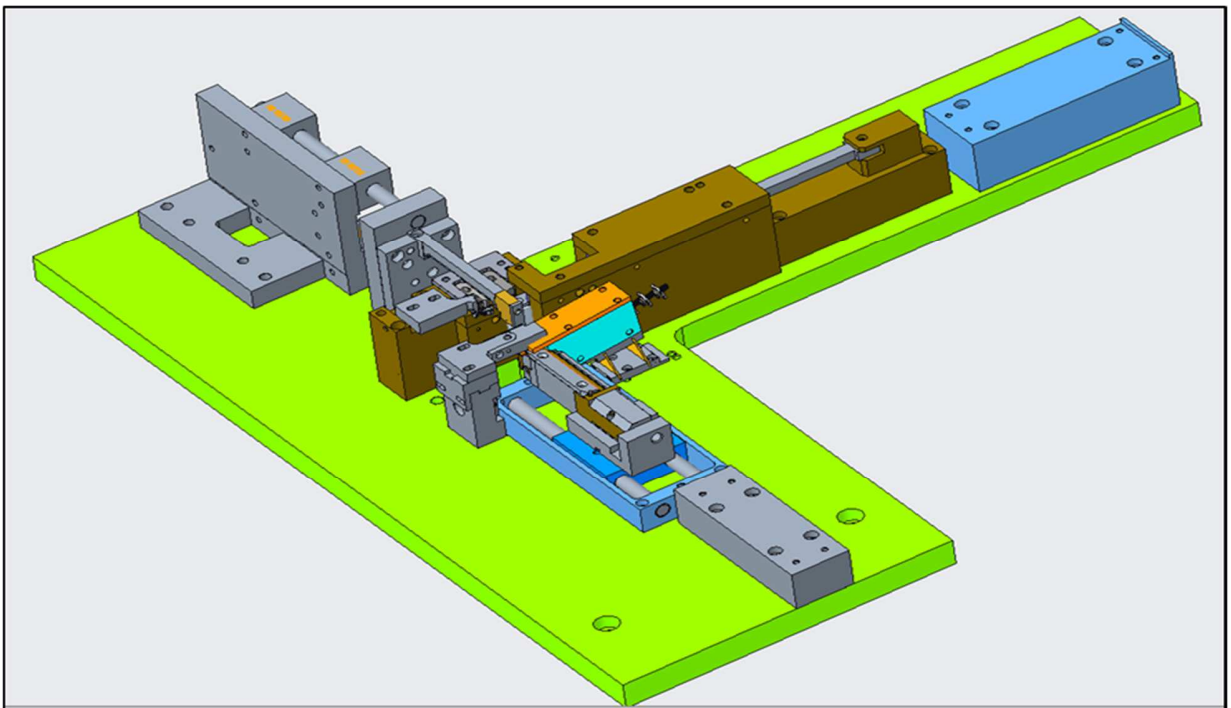


Figura 8. Herramental general actual alto amperaje creada en Creo Parametric, Fuente (Schneider Electric 2020).

Los sistemas de alimentación son una parte importante de los equipos automáticos debido a su trabajo mantener siempre el equipo con subensambles para soldar, una evaluación fue hecha en los sistemas de alimentación para verificar su compatibilidad tanto en las máquinas de bajo como en las de alto amperaje.

3.1.4 Recolección de datos

Los datos obtenidos del proceso fueron registrados en el programa SPC versión 3.2.1 el software es un programa estadístico de proceso para su posterior análisis el cual deberá cumplir con un CPK de 1.33 propuesto en la sección de objetivos.

3.1.5 Comprobación

La comprobación del objetivo general del proyecto fue realizado por medio de la prueba estadística T-test (fórmula 3), fue utilizado para demostrar las diferencias entre dos promedios grupales, las muestras están basadas en 21 datos correspondientes a 21 días hábiles comprendidos dentro de un mes antes del rediseño y 21 días hábiles después del rediseño, las 21 muestras antes y después fueron tomadas del historial de los registros internos de la producción en el archivo de manufactura de Schneider-electric. la prueba fue procesada en el software Minitab.

| | |
|---|---|
| $t_{(\bar{A}-\bar{B})} = \frac{(\bar{X}_A - \bar{X}_B) - 0}{S_{(\bar{A}-\bar{B})}}$ | <p>X= Promedio parcial (de la muestra)</p> <p>S= Desviación de la muestra</p> <p>T= Intervalo de confianza</p> |
|---|---|

Fórmula 3. T-Test para para demostrar diferencia entre dos promedios grupales, Fuente (William Sealy Gosse 2020).

Adiciona a la prueba de T-test el nuevo diseño fue validado contemplando dos facetas como son calidad y manufactura, para cubrir el aspecto de calidad la máquina fue validada de acuerdo con los procedimientos internos de Schneider-Electric en especial al procedimiento 48118-321 para ensamble de bimetalo terminal a la par cumplió con el C_{PK} propuesto como objetivo basado con el tamaño de muestra calculada en la fórmula 2.

La comprobación de manufactura cumple con:

La habilidad de procesar los dos números de parte por medio de un cambio de modelo ejecutado por el personal de soporte ajustadores del proceso al momento en donde la máquina procese una pieza de cada modelo el objetivo fue considerado como cumplido.

La reducción de tiempo ciclo propuesto en la sección de objetivos fue corroborado mediante la toma de tiempos ciclo estándar de Schneider compuesta por diez tomas de tiempo en modo automático y promediado, al momento de tener como resultado la reducción de medio segundo o más fue tomado como objetivo cumplido.

Capítulo 4 Resultados

4.1 Proceso capacidades eléctricas de equipos

Las capacidades eléctricas de los procesos de alto y bajo amperaje fue uno de los puntos a investigar, en el capítulo anterior con la finalidad de corroborar la viabilidad de la flexibilización, en la tabla 8 esta desglosada la capacidad eléctrica del proceso de bajo amperaje de la máquina CA-1808 este equipo fue seleccionado como base de comparación debido a la cualidad de ser la de mayor OEE (tabla 3) de todo el grupo del área de bajo amperaje, en la tabla 8 es mostrado datos como modelo ,serie, capacidad del transformador y el controlador de soldadura los dos últimos componente podría catalogarse como los más importantes, debió a su capacidad de limitar el funcionamiento del equipo.

Tabla 8. Datos técnicos máquinas proceso bajo y alto amperaje.

| Capacidades Eléctricas de soldadoras | | |
|---|------------------------------|------------------------------|
| | CA-1808 bajo amperaje | CA-3786 alto amperaje |
| Marca: | TELEDYNE | Banner Welder Inc. |
| Modelo: | AVA-1 | IAP35A12 |
| Serie: | 770090-1 | 5459 |
| HZ: | 60 | 60 |
| KVA | 35 | 45 |
| Voltaje Primario: | 480 | 480 |
| Voltaje Secundario | 2.3 A 6.1 | 2.7 / 5.3 |
| Garganta: | 12 In | 12 In |
| Modelo de Controlador de soldadura | Entron 6001 | Entron EN1001 |
| KA de trabajo | 4.64 | 5.78 |
| Ciclos de soldadura | 6 | 4 |
| Angulo de conducción | 141 | 138 |

Fuente: propia (Schneider Electric 2020).

La tabla 8 muestra los datos de los equipos propuesto para esta flexibilización, podemos observar una capacidad mayor en el transformador de la máquina de alto amperaje con respecto al de bajo amperaje con este dato cubrimos la capacidad eléctrica de potencia necesaria para procesar modelos de bajos amperajes en la

máquina de alto amperaje. Corroborando la viabilidad de la capacidad eléctrica para procesar ambos modelos.

Los kiloamperios necesarios para procesar los modelos de terminales o KA de trabajo correspondientes a cada modelo fueron obtenidos con el instrumento de medición WeldeScope (Figura 7), los datos resultantes están plasmados en la tabla 6, para soldar una pieza en el proceso de bajo amperaje el proceso utiliza 4.64 kiloamperios a diferencia del proceso de alto amperaje utiliza 5.78 kiloamperios una diferencia de 1 kiloamperio, la diferencia mostrada en los datos no representan una dificultad para el equipo por la capacidad excedente del transformador.

4.1.1 Ajuste de parámetros

Las diferencias en los Kiloamperios de trabajo y lo ciclos de soldadura mostrados en las tablas anteriores fueron ajustados con los parámetros de soldadura directamente en la pantalla del control de soldadura, los ajustes fueron realizados con la ayuda del equipo WeldeScope (Figura 7), con la finalidad de ajustar la corriente y los ciclos de soldadura al valor necesario para procesar los modelos de bajo amperaje establecidos en la tabla 6 dando como resultado los siguientes para parámetros de soldadura (Figura 9).

| Parametros del Proceso de Soldadura | | |
|--|----------------------|-------------------------|
| DESCRIPCION | VALOR NOMINAL | UNIDAD DE MEDIDA |
| Programa | 1.00 | Memoria de controlador |
| Tiempo de aplastamiento | 25 | Ciclos |
| Tiempo de soldadura | 6 | Ciclos |
| Porcentaje de corriente | 73 +/- 15 | % |
| Tiempo de espera | 6 | Ciclos |
| Transformador tap | 1 | Derivacion de voltajes |

Figura 9. Parámetros de soldadura establecidos para procesar bajos amperajes en la máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric, 2020).

Los datos mostrados en la figura 9 son los parámetros establecidos para soldar bajo amperaje en la máquina CA-3786, estos valores son desplegados en la pantalla del controlador de soldadura necesarios para lograr el valor de corriente de trabajo de 4.67 KA. Una vez demostrado lo anterior continuaremos con el análisis Noemático.

4.2 Análisis neumático diagrama de movimientos.

Para el desarrollo de la investigación fue planteado el análisis de los movimientos secuenciales de las máquinas con el objetivo de validar la compatibilidad de los desplazamientos de los cilindros necesarios para procesar los componentes del ensamble, para lograr esto fue necesario realizar el diagrama de cada máquina de terminal, una de alto amperaje y una de bajo amperaje a continuación son mostrados los siguientes diagramas.

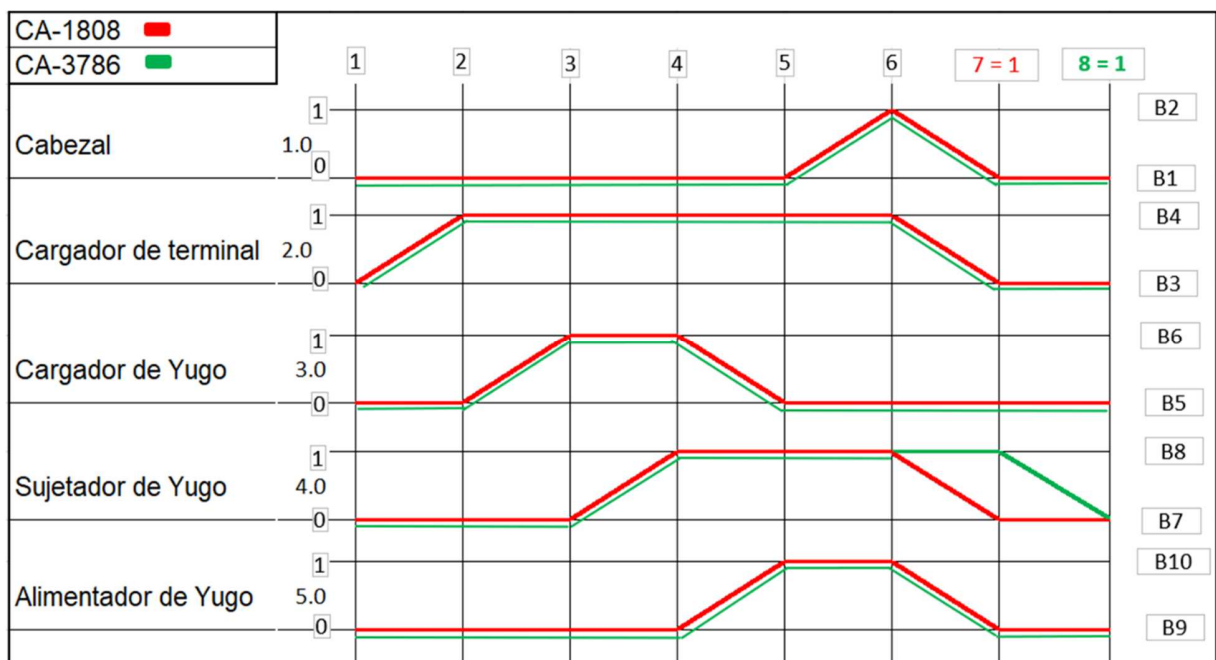


Figura 10. Diagrama de movimientos de las máquinas CA-1808 y CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

En la figura 10 podemos observar los desplazamientos de cada modelo de máquina de alto amperaje marcado en verde y el diagrama de bajo amperaje marcado en rojo, comenzaremos primero con de la máquina CA-3786 ambos diagramas muestra una secuencia para producir una pieza o los desplazamientos necesarios para completar un ciclo, las secuencia están comprendidas de 5 cilindros, el ciclo comienza con el cilindro 2.0 cargando la terminal al nido una vez en posición se mantendrá allí hasta soldar la pieza, después el cilindro 3.0 carga el Yugo y esperara al cilindro 4.0 el cual sujetara el Yugo permitiendo regresar al cilindro 3.0 al momento es activado el alimentador de Yugo para colocar una pieza en el cargador de Yugo lista para el siguiente ciclo, al

mismo momento es activado el cilindro 1.0 el cabezal de la máquina soldando las dos piezas el Yugo y la terminal formando la unión entre bimetal-terminal, el cilindro 4.0 regresara a su posición cuando el cilindro 2.0 este en su posición inicial después de este paso todos los cilindros estarán en su posición inicial y esperan el siguiente ciclo.

La explicación anterior es la misma para bajo amperaje solo con la diferencia en el paso 7 como lo muestra el diagrama de la figura 10, el cilindro 1.0 al 3.0 y el cilindro 5.0 son iguales solo en donde se presenta una diferencia es en el cilindro 4.0 encargado de sujetar el Yugo esta diferencia no representa una requerimiento de modificación al equipo neumático físicamente esta secuencia solo retrasa el tiempo ciclo del equipo, debido a esto podemos concluir la compatibilidad de las secuencias y la viabilidad de procesar bajo amperaje en la máquina de alto amperaje sin necesidad de una modificación a la secuencia.

4.3 Programa de PLC

El caso de la presente investigación fue necesario el análisis del programa de PLC con el objetivo de reducir en medio segundo el ciclo del equipo CA-3786, el equipo mencionado cuenta con un PLC marca propia de la compañía Schneider-Electric modelo "ProWORX NxT" (Figura 12), el programa ofrece diferentes formas de conexión como son; Modbus protocolo maestro/ esclavo, Modbus Plus protocolo peer-to-peer y protocolo TCP/IP. Para nuestra investigación utilizaremos el protocolo TCP/IP utilizado internamente por la planta.

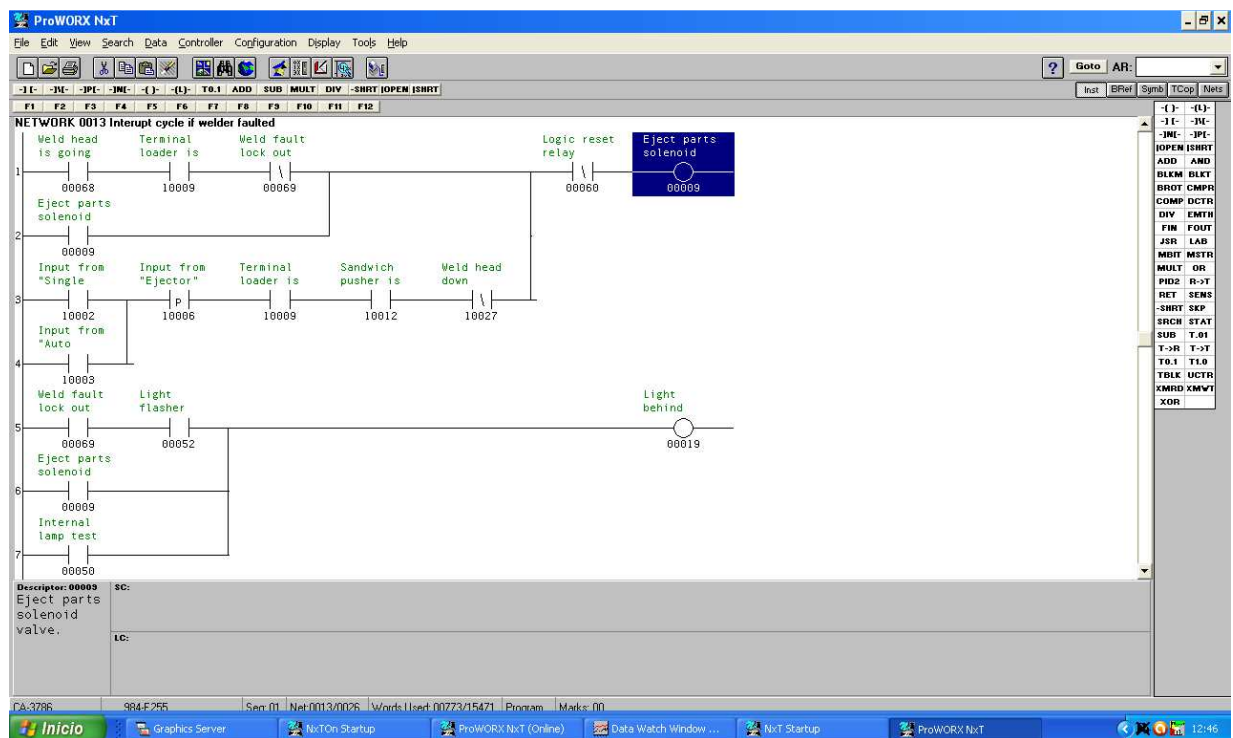


Figura 11. Pantalla principal del programa ProWORX NxT, Fuente (Schneider Electric 2020).

El programa de la máquina CA-3786 fue programado en lenguaje tipo escalera con un total de 26 líneas de programación (Figura 11), para conocer el tiempo ciclo de la máquina fue agregado un registro temporizador para contabilizar el tiempo de la secuencia, esto para eliminar cualquier posible falla al realizarlo de manera manualmente.

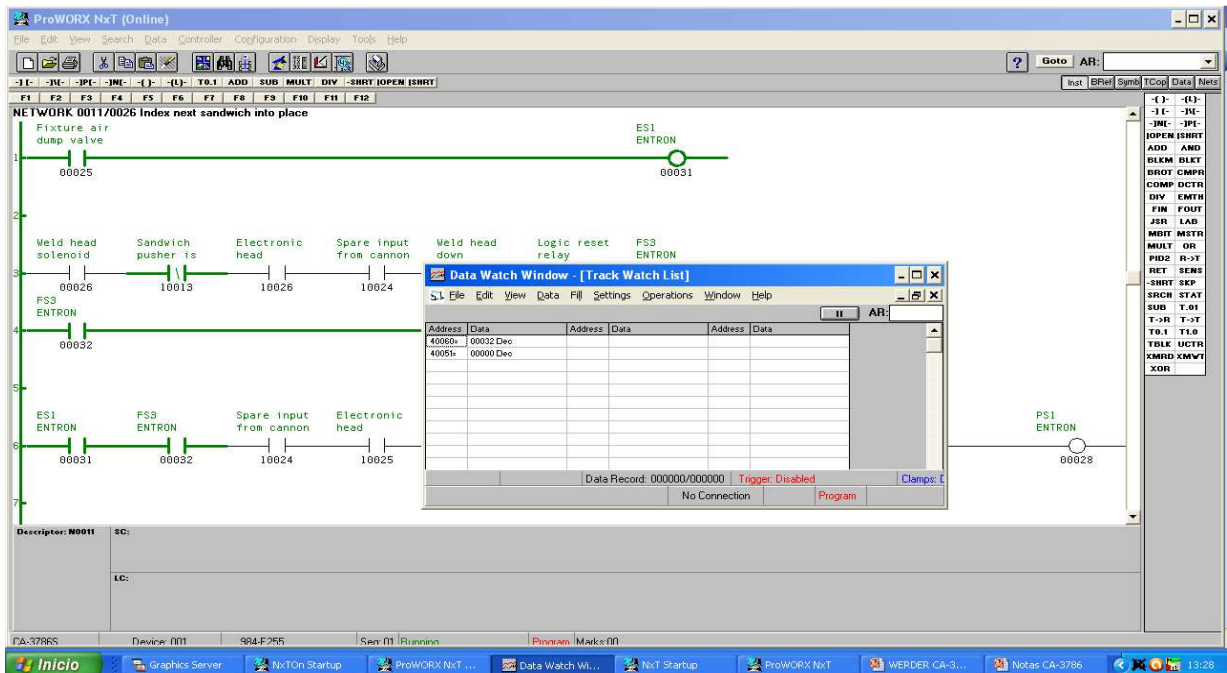


Figura 12. Secuencia de temporizador ProWORX NxT, Fuente (Schneider Electric 2020).

Después de agregar el temporizador a la secuencia de la máquina fue obtenido un tiempo ciclo de 3,450 milisegundos equivalentes a 3.45 segundos. Después del arreglo en el programa fueron analizadas las líneas de programación y fueron encontrados 2 temporizadores el primero es el 1003 en la línea de programación 20 y el registro 1024 encontrado en la línea 15, con un tiempo de 250 milisegundos correspondientes al primer temporizador y 100 milisegundos correspondientes al segundo temporizador de acuerdo a la lógica su función es solamente un retardo a la secuencia, las temporizadores fueron colocarlos en 0 milisegundos dando como resultado una reducción de 350 milisegundos todavía por abajo del objetivo de reducción de 450 milisegundos para lograr los 3.0 segundos, si volvemos al diagrama de movimientos de la máquina CA-3786 expresado en la figura 10 podemos ver en el cilindro 4.0 espera al cilindro 2.0 para regresar si cambiamos la secuencia y regresen juntos reduciríamos tiempo.

En la figura 10 fue evidente la diferencia entre las secuencias de bajo y alto, para igualarlas con la finalidad de reducir el tiempo con la modificación en el cilindro 4.0 haciendo si regreso a su posición inicial igual al cilindro 2.0 reduciendo de 8 pasos a 7

pesos para a completar un ciclo. Después de las modificaciones volvemos a tomar tiempo y obteniendo un nuevo tiempo ciclo de 2950 milisegundos equivalentes a 2.95 segundos con esto cumpliendo el objetivo específico número 3 la reducción a 3.0 segundos del tiempo ciclo.

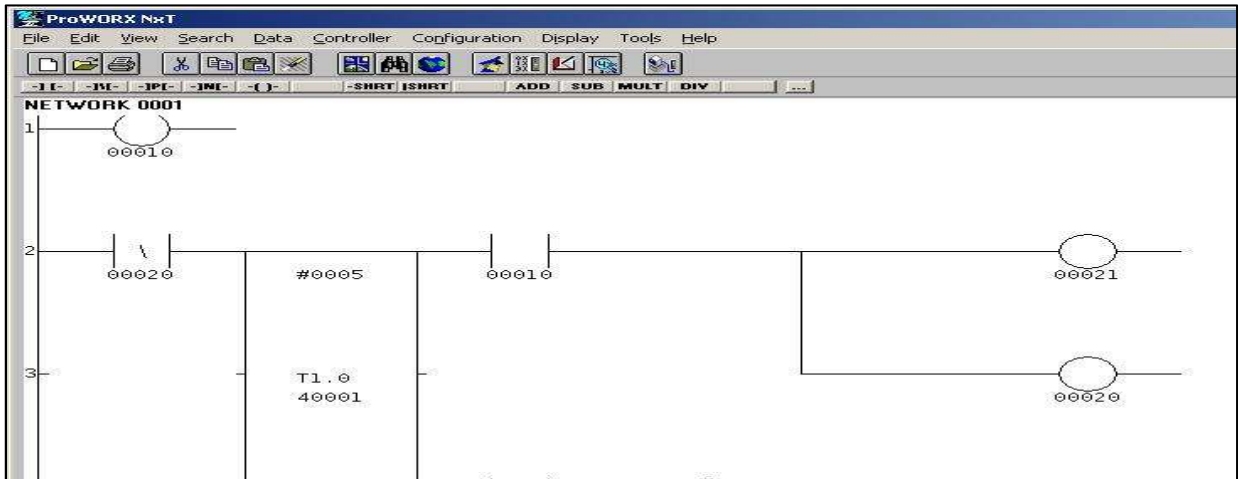


Figura 13. Temporizador de tiempo ciclo de la máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

4.4 Diseño del herramental

El diseño inicial del herramental general del equipo CA-3786 fue creado en el año de 1983 donde para el momento de su diseño fue desarrollado solo para los procesos de altos amperajes y fue funcional para los requerimientos en ese momento, los cambios en la demanda interna de la empresa han cambiado con una tendencia más variante entre los modelos alto y bajo amperaje, esto llevó a crear un diseño con la flexibilidad de procesar ambos modelos bajo y alto amperaje, las características establecidas para el modelo fueron las siguientes;

- 1.- Cambio de modelo rápido.
- 2.- Cambio de modelo fácil para el operador.
- 3.- Utilizar una sola herramienta para el cambio de modelo.
- 4.- Mejorar el diseño inicial.

4.4.1 Componentes del herramental

El herramental general de la máquina CA-3786 con número de identificación interno B2006-2 es la encargada de procesar modelos de terminales de alto amperaje, a continuación, son mencionadas y descritas los componentes de los herramientas comprendidos dentro de las modificaciones para esta investigación son;

1.- Cargador de Terminal: Es el componente del herramental general encargada de obtener la pieza del riel alimentador de terminales y llevarla al nido de la máquina y sostenerla durante el proceso de soldadura ayudando a dar la medida final al ensamble, el movimiento del cargador es realizado por medio del accionamiento de un cilindro neumático.

2.- Localizador de terminal: es el componente del herramental general encargada de alinear las terminales en el nido para para su posterior unión, este componente es fijo.

3.- Localizador de Bimetal Yugo: La función de esta pieza en el herramental general es el alineamiento del ensamble bimetálico Yugo por medio de dos topes físicos con ajuste dependiendo de las mediciones es posible una corrección en la alineación.

4.4.1.1 Cargador de terminal

El cargador de terminal es una de las partes más importantes en las soldadoras automáticas de terminal debido a las grandes diferencias entre los dos modelos en discusión en esta investigación alto y bajo amperaje debido a la forma de la terminal, El cargador de terminal debe de tomar la terminal de la salida del riel y ser capaz de auto posicionarla en su cavidad, para posteriormente ser lleva al nido y asistir durante el proceso de soldadura (Figura 15).

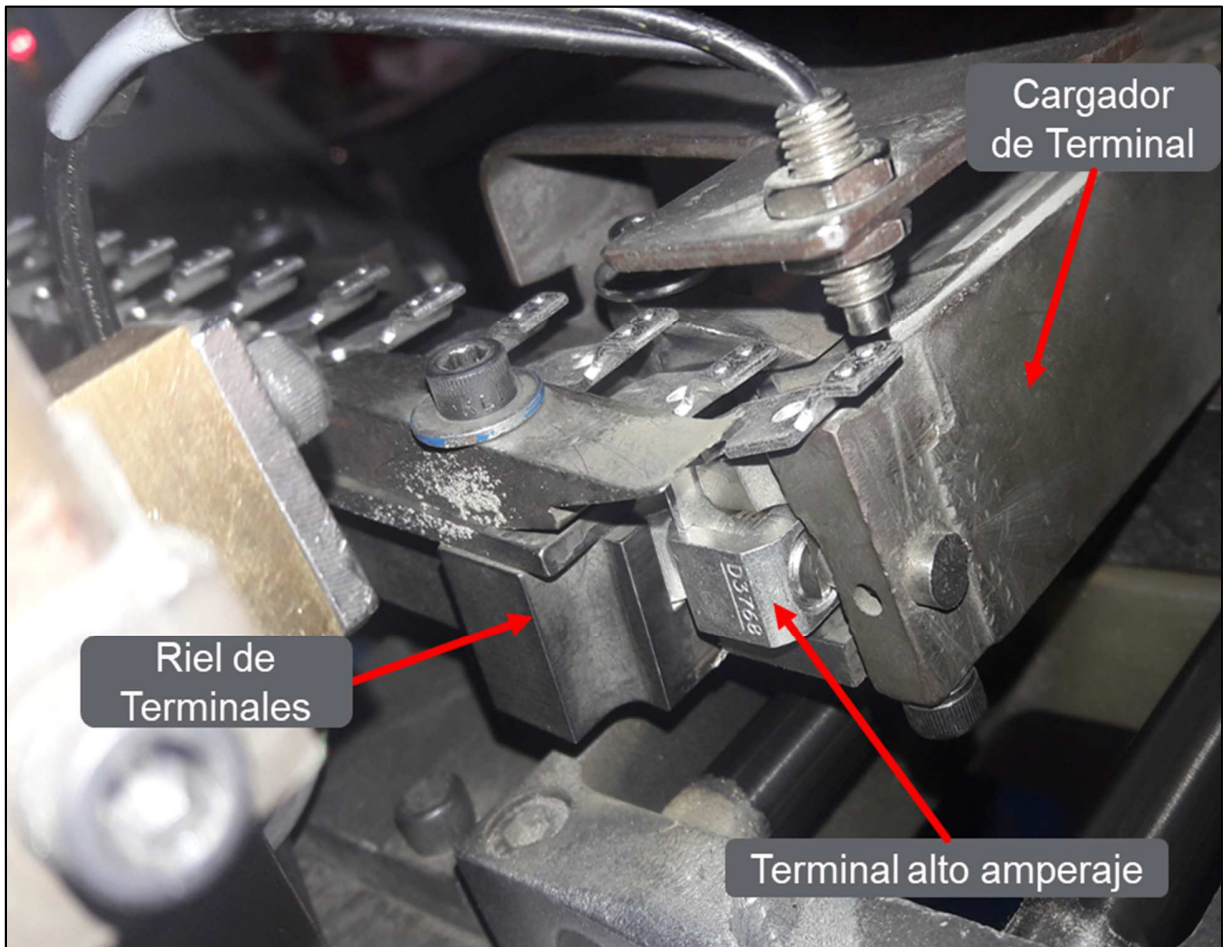


Figura 14. Cargador de terminal máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

El plano original del cargador de terminal está diseñado en una sola pieza y está fabricada en bronce (Figura 16), en procesos de soldadura es común utilizar bronce en lugar de aceros en la fabricación de herramientas, el bronce es un metal diamagnético es utilizado normalmente en procesos donde son generados campos magnéticos para evitar la magnetización de los herramientas de acero pudiendo ocasionar algún un problema al quedar las piezas sujetas a las piezas metálicas por el magnetismo.

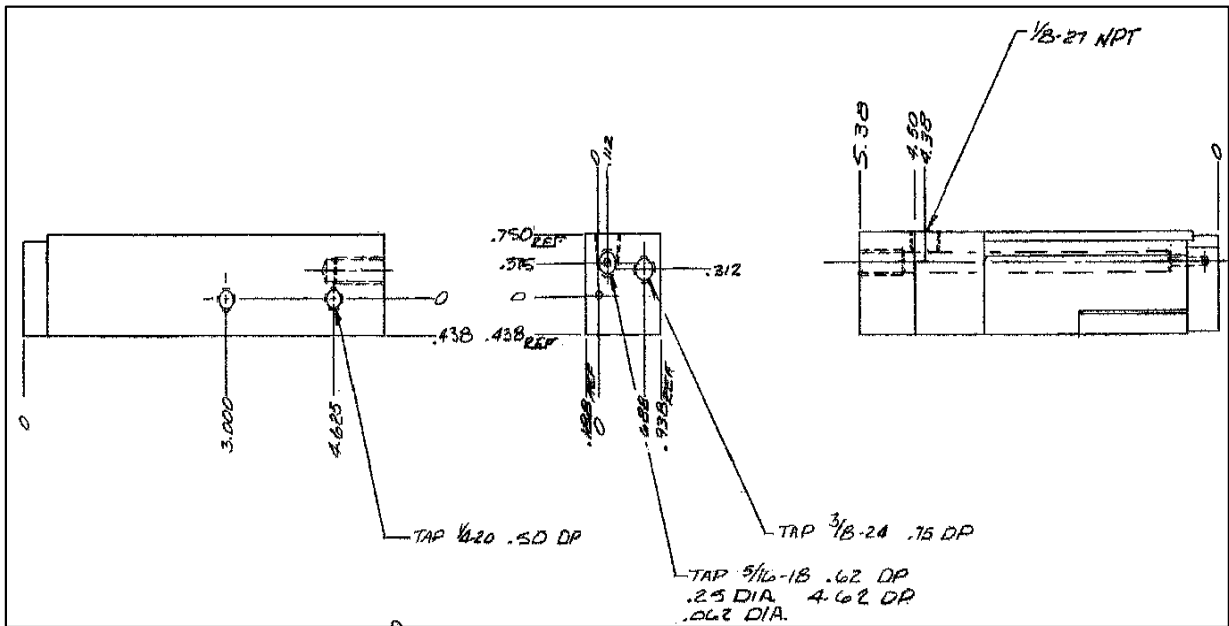


Figura 15. Sección del plano donde es especificado el cargador de terminal máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

Recordemos el caso de la investigación el cual está enfocado a la flexibilización y como parte de ello es conseguir la cualidad de poder alimentar las dos terminales en la figura 16 es mostrado el cargador de bajo amperaje.

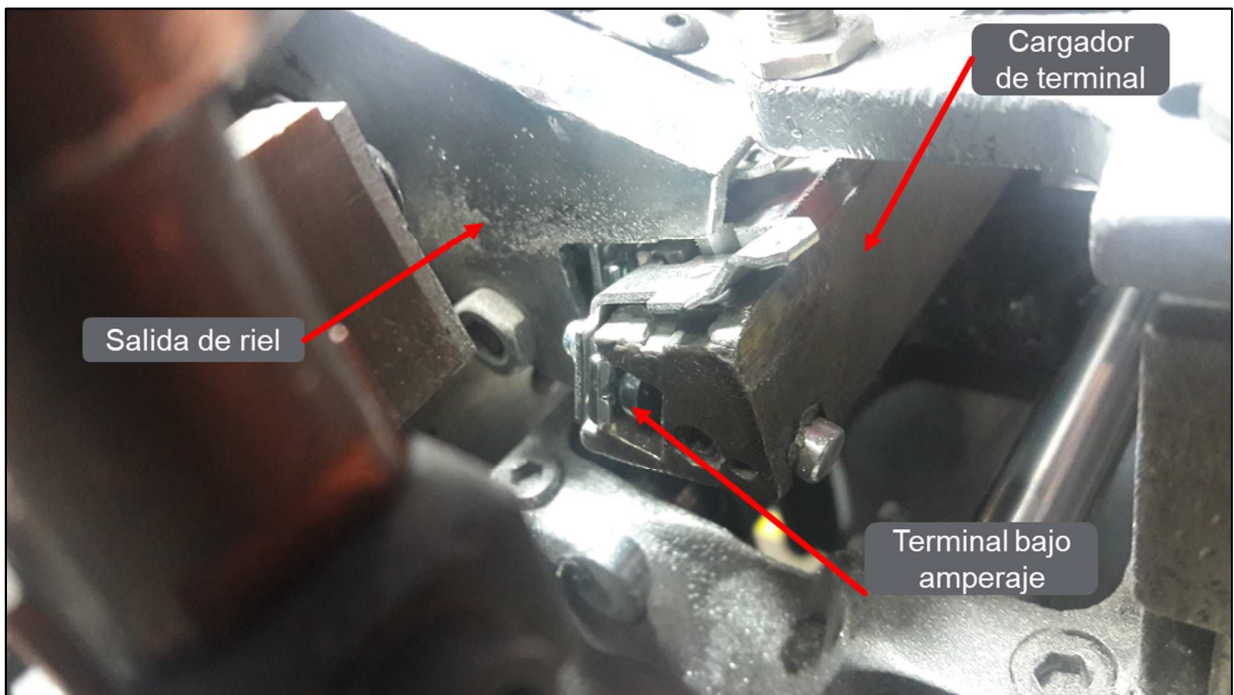


Figura 16. Cargador de terminal máquina CA-1808, Fuente (Schneider Electric 2020).

Una vez establecidos los dos herramentales encarados de cargar las terminales de alto y bajo amperaje procedemos a generar el nuevo diseño el cual solo estar enfocado a la forma y seguirá conservando los materiales en los cuales fueron fabricados originalmente.

A continuación, enlistan restricciones encontradas en los herramentales originales:

1.- El cargador de terminal es fabricado en una sola pieza, esto puede provocar la pérdida de mucho material al momento de ser remplazada como podemos ver en las imágenes 15 y 16 las puntas de los herramentales cargadores de terminal sufren el mayor desgaste por lo cual fue seccionada para solo remplazar la sección desgastada como parte del rediseño.

2.- El cargador de terminal es sujetado por la parte inferior de la mesa del herramental general complicando su cambio entre los componentes de alto y bajo, como parte del nuevo diseño cambió la forma de sujeción y mediante un solo tornillo para su remplazo.

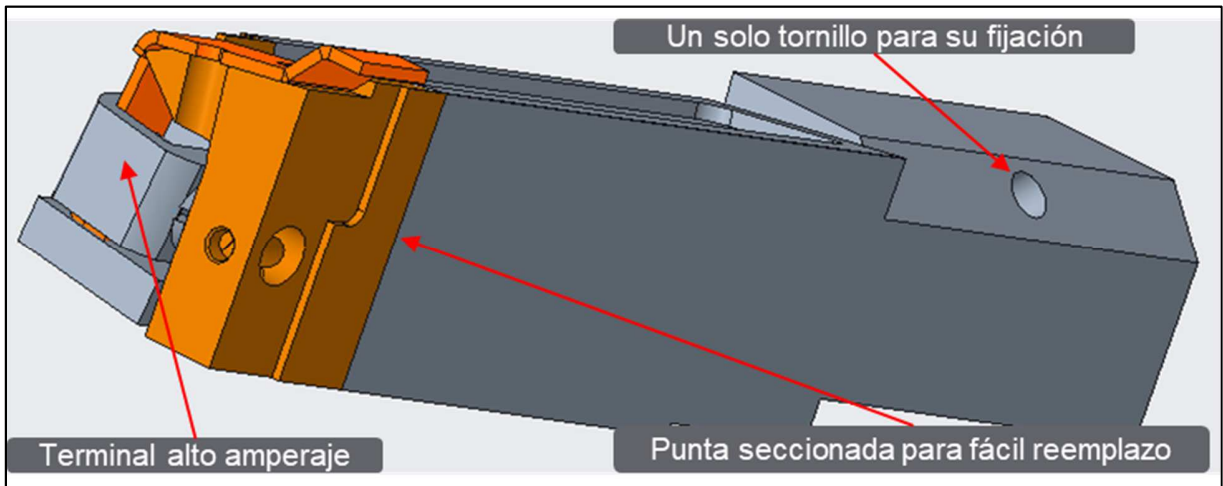


Figura 17. Nuevo diseño para cargador de terminal alto amperaje máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

En la figura 17 es mostrado el nuevo herramental cargador de terminal para alto amperaje con la punta seccionada para en caso de desgaste solo cambiar la punta y no toda la pieza, también fue agregado la nueva manera de sujeción para el cargador con un solo tornillo para reducir tiempo en el cambio de modelo.

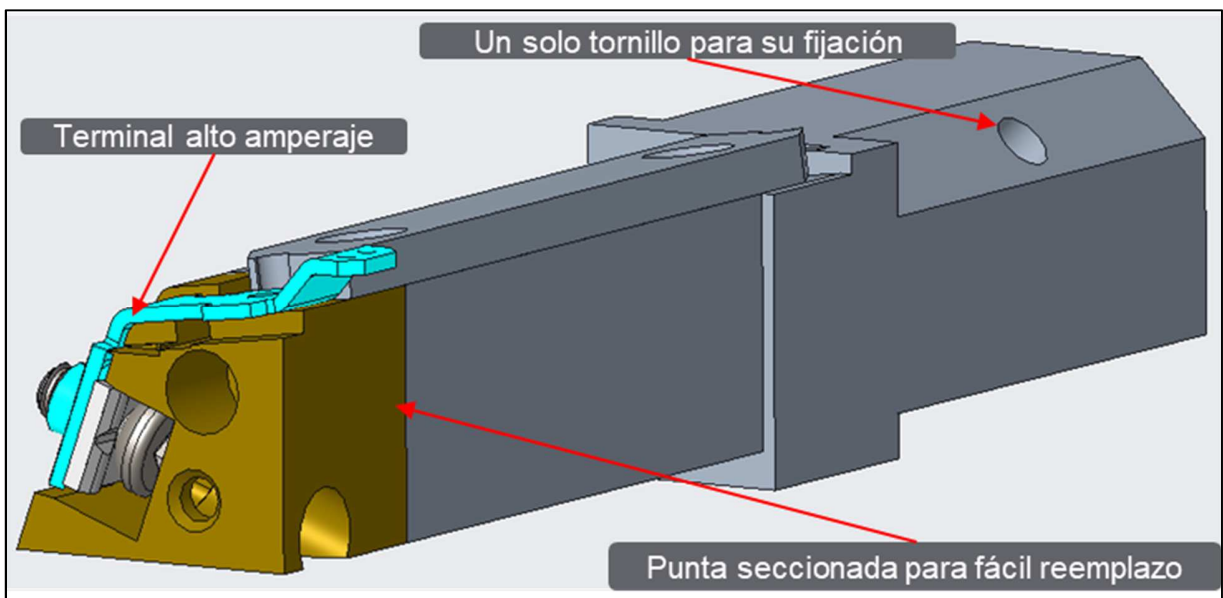


Figura 18. Nuevo diseño para cargador de terminal bajo amperaje máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

El nuevo diseño de los cargadores bajo y alto amperaje son removibles y compatibles en su base de fijación y ambos utilizan el mismo tipo de tornillo para su sujeción 1/4/20 UNF. adicional a esto todos los componentes reemplazables para realizar el cambio de modelo usan el mismo tipo de tornillo con la finalidad de utilizar una sola herramienta para realizar todo el cambio de modelo.

4.4.2 Herramental nido principal

El siguiente Herramental es el nido principal de la máquina de terminales donde es dada las dimensiones finales a los ensambles, es la pieza donde van montados dos de los componentes a modificar el localizador de bimetetal Yugo y el localizador de terminal, como el herramental del cargador de terminal antes mencionado el nido también está fabricado en un solo bloque.

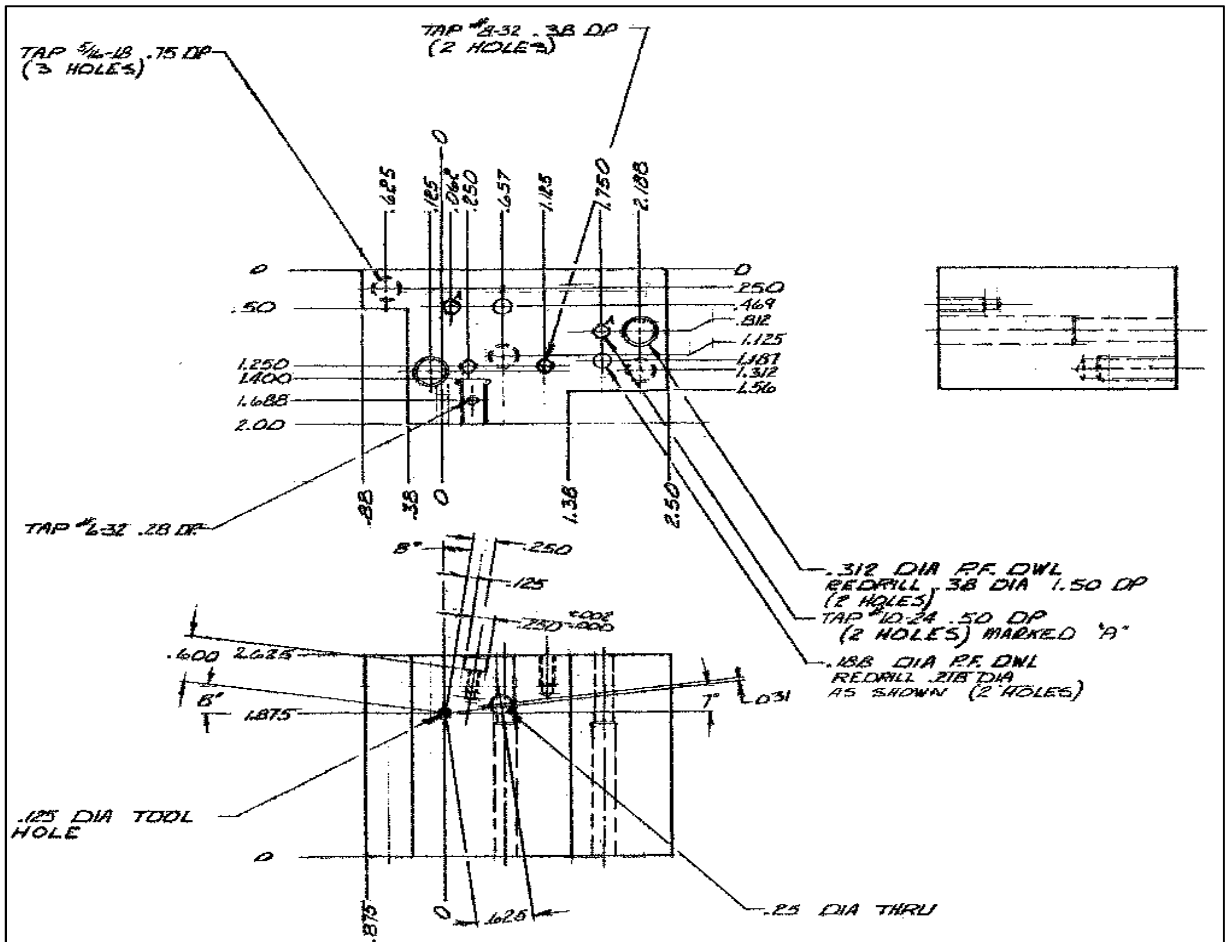


Figura 19. Diseño original para cargador de terminal bajo amperaje máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

Al tener los nidos fabricados en un solo bloque complica la flexibilización debido a los localizadores de terminal estos son exclusivos para cada modelo de terminal alto o bajo, la fijación del nido es complicada, es atornillada por debajo de la mesa de la máquina complicando el cambio al tratar de reemplazarla.

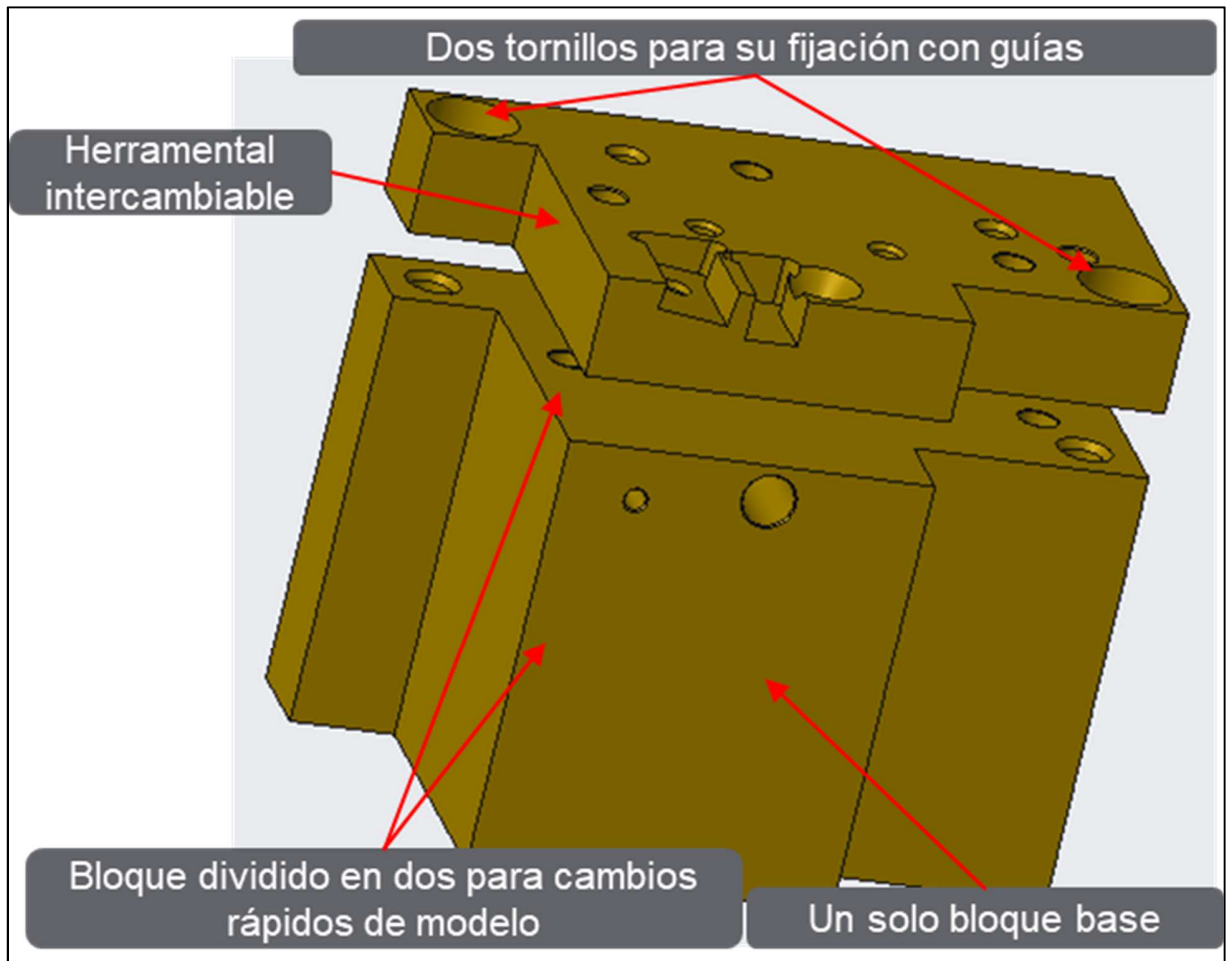


Figura 20. Nuevo diseño para nido y localizadores de Yugo y terminal para bajo amperaje máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

En la figura 20 es mostrado el diseño nuevo del nido principal, donde una vez fijado el bloque base no ocupó una manipulación adicional durante los cambios de modelo, para eso fueron diseñados los herramentales intercambiables para cada modelo fijadas con dos tornillos 1/4/20 UNF y guías para su fácil localización.

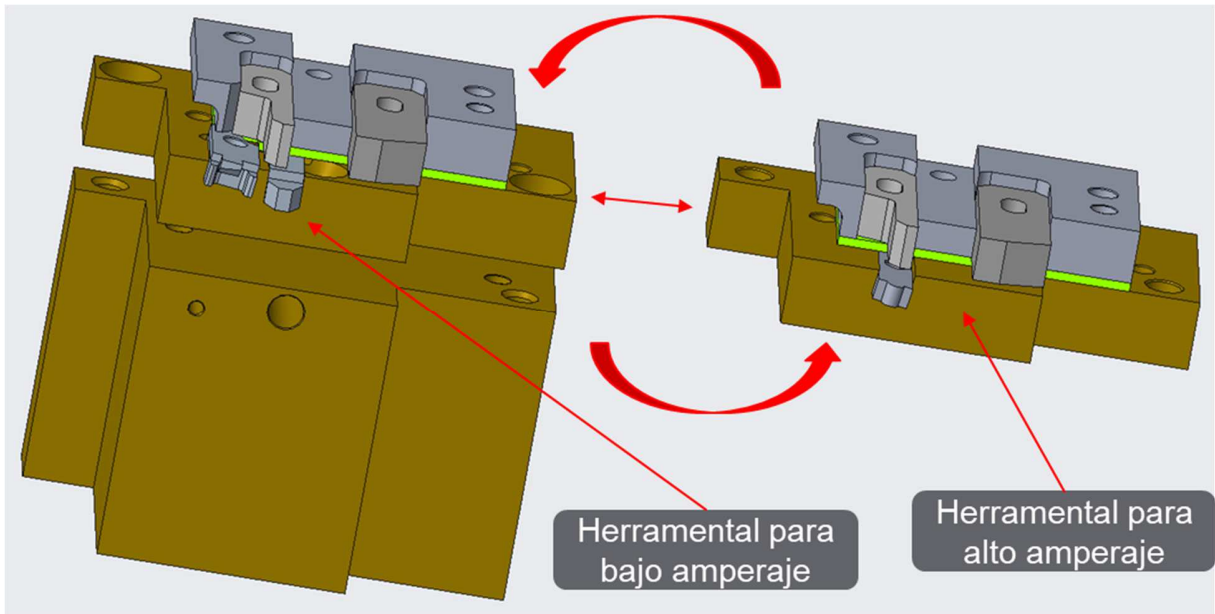


Figura 21. Nuevo diseño para nido y localizadores de Yugo y terminal para bajo amperaje intercambiables máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

La figura 21 muestra los dos herramentales intercambiables para los modelos de alto y bajo amperaje permitiendo la flexibilización de los modelos y tomando provecho de la capacidad instalada en la máquina CA-3786 maquinaria.

La comprobación es la demostración de los trabajos y esfuerzos realizados en esta investigación son mostrado en las siguientes hojas.

4.5 Validaciones de proceso

La comprobación de la modificación realizada en la máquina CA-3786 comenzamos con la validación interna dio la pauta para continuar con las corridas largas esto con la finalidad de asegurar la calidad de las partes procesadas y evitar la generación de partes fuera de dimensiones, para la validación interna es requerido una muestra de 30 partes procesas en un solo lote, los resultados de estas muestras son vaciados en una archivo en Excel con fórmulas preestablecidas para las diferentes medidas (Figura 24).

| Medición de muestras | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------|-------------------|-------|--------|----------|---------------------|---------------------|-------------|--------------|-------------|---------|
| Medicion | Altura | Paralelo del yoke | T-gap | Grosor | Templado | Paralelo Largo Yoke | Dim terminal a yoke | Dim 485 max | Abertura V's | Resistencia | |
| Lim. Sup. | 0.073 | 0.008 | 0.414 | | 0.030 | 0.01 | 0.026 | 0.485 | 0.349 | | |
| Lim. Inf. | 0.053 | -0.008 | 0.384 | 0.078 | | -0.01 | -0.036 | | 0.339 | 5 | |
| 1 | 0.062 | 0.002 | 0.400 | 0.094 | 0.015 | -0.002 | -0.032 | 0.441 | 0.344 | 14 | |
| 2 | 0.066 | 0.000 | 0.402 | 0.099 | 0.018 | -0.002 | -0.033 | 0.438 | 0.343 | 15 | |
| 3 | 0.065 | 0.002 | 0.400 | 0.093 | 0.015 | -0.002 | -0.033 | 0.439 | 0.343 | 14 | |
| 4 | 0.066 | -0.002 | 0.403 | 0.095 | 0.018 | -0.001 | -0.033 | 0.436 | 0.345 | 14 | |
| 5 | 0.065 | -0.001 | 0.402 | 0.094 | 0.015 | 0.000 | -0.033 | 0.441 | 0.343 | 14 | |
| 6 | 0.066 | 0.002 | 0.392 | 0.097 | 0.012 | -0.001 | -0.032 | 0.436 | 0.344 | 14 | |
| 7 | 0.065 | -0.003 | 0.398 | 0.095 | 0.016 | -0.001 | -0.033 | 0.439 | 0.343 | 14 | |
| 8 | 0.065 | 0.001 | 0.397 | 0.093 | 0.012 | 0.000 | -0.032 | 0.438 | 0.344 | 14 | |
| 9 | 0.064 | 0.002 | 0.398 | 0.092 | 0.015 | -0.002 | -0.031 | 0.439 | 0.341 | 14 | |
| 10 | 0.065 | 0.003 | 0.400 | 0.094 | 0.015 | 0.000 | -0.034 | 0.440 | 0.343 | 16 | |
| 11 | 0.064 | 0.003 | 0.405 | 0.092 | | -0.001 | -0.034 | 0.441 | 0.343 | | |
| 12 | 0.065 | 0.003 | 0.403 | 0.094 | | -0.003 | -0.032 | 0.439 | 0.344 | | |
| 13 | 0.062 | 0.002 | 0.397 | 0.090 | | -0.001 | -0.033 | 0.437 | 0.342 | | |
| 14 | 0.066 | -0.001 | 0.405 | 0.088 | | -0.003 | -0.032 | 0.439 | 0.343 | | |
| 15 | 0.064 | 0.002 | 0.403 | 0.089 | | -0.004 | -0.032 | 0.439 | 0.343 | | |
| 16 | 0.064 | 0.001 | 0.395 | 0.094 | | -0.003 | -0.032 | 0.438 | 0.345 | | |
| 17 | 0.063 | 0.002 | 0.402 | 0.09 | | -0.007 | -0.031 | 0.439 | 0.343 | | |
| 18 | 0.064 | -0.001 | 0.398 | 0.092 | | -0.001 | -0.032 | 0.435 | 0.342 | | |
| 19 | 0.063 | 0.001 | 0.403 | 0.091 | | 0 | -0.034 | 0.437 | 0.345 | | |
| 20 | 0.066 | 0.002 | 0.401 | 0.094 | | -0.001 | -0.032 | 0.437 | 0.342 | | |
| 21 | 0.064 | 0.001 | 0.4 | 0.101 | | 0 | -0.033 | 0.44 | 0.343 | | |
| 22 | 0.065 | 0.002 | 0.403 | 0.091 | | 0.001 | -0.033 | 0.438 | 0.344 | | |
| 23 | 0.065 | 0.002 | 0.402 | 0.09 | | -0.001 | -0.033 | 0.438 | 0.345 | | |
| 24 | 0.065 | 0.000 | 0.401 | 0.097 | | -0.002 | -0.033 | 0.437 | 0.343 | | |
| 25 | 0.064 | 0.003 | 0.405 | 0.088 | | -0.004 | -0.031 | 0.437 | 0.344 | | |
| 26 | 0.064 | 0.002 | 0.403 | 0.093 | | -0.002 | -0.032 | 0.441 | 0.344 | | |
| 27 | 0.067 | -0.002 | 0.398 | 0.089 | | -0.001 | -0.031 | 0.438 | 0.343 | | |
| 28 | 0.064 | 0.003 | 0.402 | 0.095 | | -0.002 | -0.032 | 0.436 | 0.345 | | |
| 29 | 0.066 | 0.003 | 0.399 | 0.091 | | -0.002 | -0.033 | 0.439 | 0.343 | | |
| 30 | 0.063 | 0.002 | 0.4 | 0.097 | | -0.002 | -0.033 | 0.439 | 0.344 | | |
| Promedio | 0.065 | 0.001 | 0.401 | 0.093 | 0.015 | -0.002 | -0.032 | 0.438 | 0.343 | 14.300 | #DIV/0! |
| Mediana | 0.065 | 0.002 | 0.401 | 0.093 | 0.015 | -0.002 | -0.033 | 0.439 | 0.343 | 14.000 | #NUM! |
| Desv. Std | 0.001 | 0.002 | 0.003 | 0.003 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.002 | 0.001 | 0.675 | #DIV/0! |
| Max | 0.067 | 0.003 | 0.405 | 0.101 | 0.018 | 0.001 | -0.031 | 0.441 | 0.345 | 16.000 | 0.000 |
| Min | 0.062 | -0.003 | 0.392 | 0.088 | 0.012 | -0.007 | -0.034 | 0.435 | 0.341 | 14.000 | 0.000 |
| Rango | 0.005 | 0.006 | 0.013 | 0.013 | 0.006 | 0.008 | 0.003 | 0.006 | 0.004 | 2.000 | 0.000 |
| Cp | 2.726 | 1.578 | 1.653 | -4.112 | 2.469 | 2.135 | 12.010 | 50.275 | 1.566 | -1.235 | #DIV/0! |
| Cpk | 2.299 | 1.341 | 1.480 | 1.589 | 2.453 | 1.779 | 1.369 | 9.668 | 1.321 | 4.593 | #DIV/0! |
| LSP | 0.068 | 0.006 | 0.410 | 0.103 | 0.021 | 0.003 | -0.030 | 0.443 | 0.346 | 16.325 | #DIV/0! |
| LIP | 0.061 | -0.004 | 0.391 | 0.084 | 0.009 | -0.006 | -0.035 | 0.434 | 0.340 | 12.275 | #DIV/0! |
| Calificación | | | | | | | | | | | |
| Estatus | PASO | PASO | PASO | PASO | PASO | PASO | PASO | PASO | PASO | PASO | |

Figura 22. Hoja de calificación Interna QA840AF bajo amperaje máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

4.5.1 Capacidad de proceso

La información obtenida de la calificación interna muestra un Cpk superior a 1.33 en todas sus medidas, con esta información la máquina fue autorizada por el departamento de calidad a trabajar en modo automático para poder obtener la cantidad muestral calculada en la fórmula 2 de 2,128 piezas, a continuación, son mostrados los resultados de los Cpk's realizados en el software Minitab.

Tabla 9. Cpk's correspondientes a alto y bajo amperaje después de la flexibilización.

| Tabla de Cpk's | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Dimensión | Cpk CA-3786 Bajo amp | Cpk CA-3786 Alto amp |
| Altura | 1.51 | 1.61 |
| Paralelo del Yugo | 1.39 | 1.45 |
| Abertura T (WA) | 1.44 | 1.54 |
| Grosor | 3.30 | 3.33 |
| Paralelo Largo del Yugo | 1.75 | 1.91 |
| Dim. Terminal a Yugo | 1.44 | 1.67 |
| Dim. 0.485 Max. | 1.48 | 1.75 |

Fuente: propia (Schneider Electric 2020).

En la tabla 9 son mostrados los Cpk's obtenidos de análisis de proceso realizado en el software Minitab a continuación son descritos cada una de las dimensiones mostradas en la tabla anterior:

La primera dimensión es la altura del bimetálico con respecto a la terminal mide el desface entre las orillas del bimetálico y la terminal, para esta dimensión están establecidos los límites de 0.053 a 0.073 milésimas de pulgada para ambos modelos alto y bajo amperaje con un Cpk de 1.51 para bajo amperaje y de 1.61 para alto amperaje cumpliendo con el objetivo ambos modelos.

La dimensión del paralelo del Yugo, esta dimensión es tomada de las paredes laterales del Yugo con el objetivo de validar la inexistencia de deformaciones en las paredes del Yugo los límites para esta dimensión son de -0.008 a 0.008 milésimas de pulgada para

ambos modelos, como resultado fue obtenido un Cpk de 1.39 para bajo y 1.45 para alto amperaje cumpliendo con el objetivo.

El Abertura T es la abertura entre el bimetal Yugo y la terminal es medida complicada para los procesos actuales del área y crítico para la calibración en el producto final el interruptor termomagnético, las dimensiones para la esta medida son diferentes para alto amperaje es de 0.424 a 0.394 milésimas de pulgada y 0.414 a 0.384 para bajo amperaje, después de procesar los datos arrojó un Cpk de 1.44 y 1.54 respectivamente dentro del objetivo

La dimensión del grosor es referente al área soldada para verificar lo aplastado de la unión entre el bimetal y la terminal esta medida solo cuenta con un límite inferior de 0.078 milésimas de pulgada y aplica para ambos amperajes alto y bajo, regularmente esta medida no representa un problema constante en los procesos actuales de la planta, después de correr el reporte en Minitab obtuvimos un Cpk de 3.30 para alto y 3.33 para bajo amperaje cumpliendo con el objetivo establecido de 1.33 de Cpk.

La siguiente dimensión es el paralelo largo correspondiente al centrado del soldado entre el bimetal Yugo y la terminal con límites de -0.010 a 0.010 milésimas de pulgada también para ambos modelos alto y bajo amperaje con un Cpk de 1.75 para bajo amperaje y con un 1.91 para alto amperaje cumpliendo con 1.33 establecido como objetivo.

La siguiente medida corresponde a la dimensión de terminal a Yugo, esta dimensión es tomada de un costado de la terminal al otro costado del bimetal Yugo, está enfocada a verificar posibles deformaciones causadas durante el proceso de sujeción de los componentes cuenta con los límites de 0.026 a 0.036 para bajo y 0.031 a 0.021 milésimas de pulgada para alto amperaje, como resultado de reporte realizado en Minitab obtuvimos un Cpk de 1.44 para bajo y 1.67 para alto cumpliendo con el objetivo.

El reporte de capacidad correspondiente a la última medición es la dimensión 0.485 Max, esta dimensión es tomada de la punta del bimetal a la base en la cual es fijada la terminal, esta dimensión es la validación de la inexistencia de daños en el ensamble

final solo cuenta con limite máximo de 0.485 milésimas de pulgada para los dos modelos de amperajes, como resultado fueron obtenidos los siguientes Cpk's 1.48 para bajo y 1.75 para alto amperaje.

De acuerdo con los datos mostrados en la tabla 7 con los resultados de los reportes de capacidad demuestras el cumplimiento del objetivo número 1 de la lista de objetivos específicos el cumplimiento de un Cpk de 1.33 demostrando la mejora en el proceso de la máquina CA-3786 para ambos modelos alto y bajos amperajes.

4.5.2 Reporte de producción

Las modificaciones realizadas en la máquina CA-3786 permitió procesar números de parte de alto y bajo amperaje, este último quedando en la máquina produciéndolo durante 20 días continuos, durante los días donde la máquina estuvo procesando el número de parte 48118-321-53 correspondiente a la familia de bajo amperaje (Tabla 5) fue producida la cantidad de 178,026 partes, todas ellas cumpliendo con las especificaciones de calidad internas.

Los datos mencionados fueron producidos en el mes de marzo 2020, no fue posible obtener mayor cantidad de datos debido a un paro generalizado de la industria debido a la contingencia de la pandemia del covid-19, aun así, los datos obtenidos son suficientes para aplicar la fórmula 3 correspondiente prueba estadística T-Test, mostrando los resultados en el siguiente capítulo.

Capítulo 5 Discusión de resultados

La comprobación del objetivo general de esta investigación como fue planteado en los capítulos anteriores es realizada por medio de la prueba estadística T-test (fórmula 3), fueron tomadas 20 muestras correspondientes a 20 días de producción antes y después de la modificación.

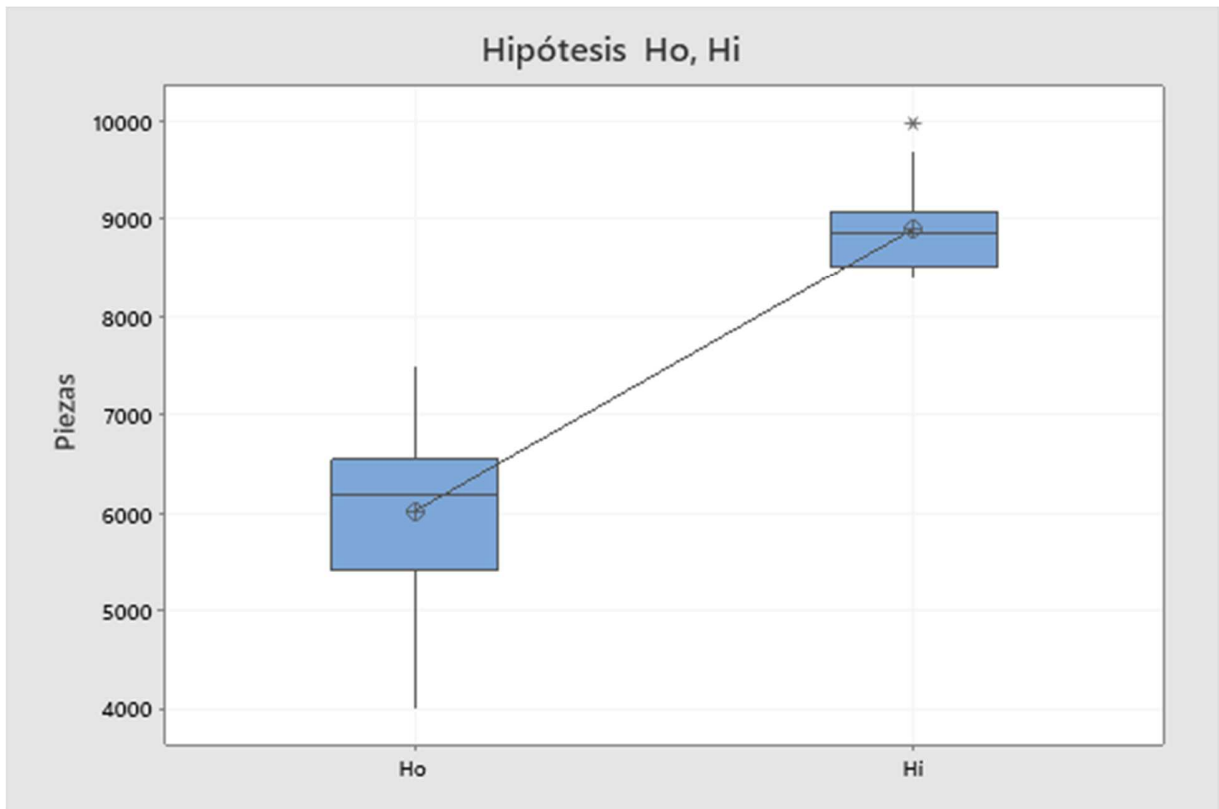


Figura 23. Reporte en Minitab Prueba T-test máquina CA-3786, Fuente (Schneider Electric 2020).

La figura 23 muestra el resultado de la prueba t-test con un nivel de confianza del 95% con un Valor P de 0 menor de 0.05 con lo cual no pudo ser demostrada la hipótesis nula y asumida la hipótesis alternativa demostrado la viabilidad de un nuevo diseño para incrementar la producción de terminales de bajo y alto amperaje con una producción de 178,026 partes producidas durante 20 días respecto a la hipótesis nula donde es plasmada la idea contraria de no incrementar la capacidad de producción de terminales

donde posterior al rediseño tenía una producción de 130,989 partes la muestra también esta basada en 20 días hábiles.

La limitación, pero no un obstáculo durante el desarrollo de esta investigación fue la pandemia de covid-19 del 2020, debido al obligar a la planta de Schneider electric a detener operaciones por mandato gubernamental limitando la adquisición de datos, pero no evitado la comprobación de las hipótesis de esta investigación con los datos recabados antes del paro general.

El desarrollo de esta investigación no afecto la calidad de los subensambles procesados en la máquina, los Cpk's de los procesos son mostrados en una tabla comparativa antes y después.

Tabla 10. Cpk's correspondientes a alto amperaje después de la flexibilización.

| Tabla de Cpk's | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Dimensión | Antes | Después |
| | Cpk CA-3786 Alto amp | Cpk CA-3786 Alto amp |
| Altura | 0.92 | 1.40 |
| Paralelo del Yugo | 0.86 | 1.39 |
| Abertura T (WA) | 0.75 | 1.44 |
| Grosor | 3.10 | 3.30 |
| Paralelo Largo del Yugo | 1.01 | 1.75 |
| Dim. Terminal a Yugo | 1.07 | 1.44 |
| Dim. 0.485 Max. | 1.36 | 1.48 |

Fuente: propia (Schneider Electric 2020).

La tabla 10 demuestra una mejora de 26 % en el Cpk's correspondiente a las 7 dimensiones inspeccionadas en el subensamble de terminal alto amperaje después de la flexibilización.

Tabla 11. Cpk's correspondientes a bajo amperaje después de la flexibilización.

| Tabla de Cpk's | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Dimensión | Máquina Base | Nuevo Modelo |
| | Cpk CA-1808 Bajo amp | Cpk CA-3786 Bajo amp |
| Altura | 0.98 | 1.51 |
| Paralelo del Yugo | 0.86 | 1.39 |
| Abertura T (WA) | 1.13 | 1.44 |
| Grosor | 1.71 | 3.30 |
| Paralelo Largo del Yugo | 1.60 | 1.75 |
| Dim. Terminal a Yugo | 0.96 | 1.44 |
| Dim. 0.485 Max. | 1.35 | 1.48 |

Fuente: propia (Schneider Electric 2020).

La tabla 11 muestra una comparativa de Cpk's donde es mostrada una mejora de 30% procedente de la flexibilización hecha en la máquina CA-3786 con respecto al proceso normal, teniendo como base la máquina CA-1808 de bajo amperaje.

La investigación ofrece a la planta una ganancia en partes producidas con equipo existente y con una pequeña inversión, con la implementación de la investigación fue evitado un costo adicional para la adquisición de un equipo nuevo donde basado en cotizaciones de proveedores para proyectos anteriores de compra de equipo automático están estimados en 380,000 dólares.

Los resultados mostrados en este capítulo llevaron a aseverar las siguientes conclusiones.

Capítulo 6 Conclusiones

La automatización de la máquina CA-3786 para la flexibilidad de los modelos 48118-321-53, 48118-321-52 y 48118-321-50 de bajo amperaje y los modelos 48118-321-54 48118-321-55, 48118-321-56 y 48118-321-57 de alto amperaje por medio de un rediseño de herramental en el nido principal permito un incrementó en un 19 % los índices de capacidad de proceso (Cpk's) y en un 26 % la capacidad de producción de 130,989 a 178,026 terminales de bajo amperaje de interruptores termomagnéticos.

La investigación futura podría orientarse a intercambiar los aditamentos del equipo para cambios rápidos de modelo con desplazamientos simples de los componentes del herramental general encargados de localizar los subensambles correspondientes a cada modelo evitando el uso de herramientas y tiempos prolongados de cambios de modelos.

Lista de referencias bibliográficas

- Hongyan, Z. Jacek S. (2006) RESISTANCE WELDING. Fundamentals and Applications. Print Edition. Boca Raton, Florida, Taylor & Francis Group.
- Stamatis, D. (2010). The OEE Primer. Understanding Overall Equipment. Effectiveness, Reliability, and Maintainability. New York, NY. Taylor & Francis Group.
- Tulio, T. (2009). Design of Flexible Production Systems. Methodologies and Tools. Milan, Italia. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Phogat, A. (2013) INTRODUCTION TO JIT: A REVIEW. Research gate. Haryana, India
Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/323847797_INTRODUCTION_TO_JIT_A_REVIEW.
- Michalos, G. Makris, S. Papakostas, N. Mourtzis, D. Chryssolouris, G. (2010). Automotive assembly technologies review: Challenges and outlook for a flexible and adaptive approach. Patras, Grecia. <https://www.researchgate.net/publication/247367444>. ELSEVIER.
- ENTRON. (2014) RESISTANCE WELDING BASICS. Welding Sequence Definitions, Machine Set-Up, Rules for Making Good Welds. Entron library; Greer, South Carolina Recuperado de <https://www.entroncontrols.com/images/downloads/700081C.pdf>.
- Jaramillo, C. (1986) SISTEMAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE UN ENFOQUE ESTRUCTURAL. Manizales, Colombia. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4897973.pdf>
- Laura Wood. (2018) Global Circuit Breaker Market 2017-2022: \$8.68 Bn Opportunities in Upcoming Smart Cities, Aging Power Infrastructure & HVDC Transmission. PRNewswire, Dublín. Recuperado de <https://www.prnewswire.com/news-releases/global-circuit-breaker-market-2017-2022-868-bn-opportunities-in-upcoming-smart-cities-aging-power-infrastructure--hvdc-transmission-300584507.html>.
- Hernández, J. Vizán, A. (2013). Lean Manufacturing Conceptos, técnicas e implantación. Madrid, España. Fundación eoi.
- Kamel, K. Kamel, A. (2014). Programmable Logic Controllers Industrial Control. Estados Unidos. Mc Graw Hill.
- Salazar, B. (2019). Eficiencia Global de los Equipos (OEE). Recuperado el 26 de febrero 2020 de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/eficiencia-global-de-los-equipos-oee>.
- Schneider-Electric. (2020) Archivo de análisis de capacidad del departamento de manufactura Schneider electric. Tijuana.

Levin R. Rubin, D. Balderas, M. Del Valle, J. Gomez, R. (2004). ESTADÍSTICA PARA ADMINISTRACIÓN Y ECONOMÍA, Séptima edición. México. Pearson Education, Inc.