



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Aplicación de herramientas
Lean Manufacturing y de la
calidad en la industria metal
mecánica automotriz**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero en Mecatrónica

P R E S E N T A

Josué Misael Jarquín Esteban

ASESORA DE INFORME

M.I. Silvina Hernández García



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2023

ÍNDICE

Introducción	5
Justificación y relevancia.....	5
Objetivo.....	5
Objetivos particulares	5
Capítulo 1 Antecedentes	7
1.1 Antecedentes de la empresa	7
1.1.1 Misión y visión.....	7
1.1.2 Federal-Mogul Motorparts – Planta Los reyes	7
1.1.3 Historia	8
1.1.4 Tamaño	9
1.1.5 Organigrama, puesto y actividades de Trainee de Ingeniería de procesos	9
1.2 Antecedentes del producto	10
1.2.1 Universal Joint (Junta universal)	10
1.3 Antecedentes teóricos	12
1.3.1 Lean Manufacturing y Sistema de producción Toyota	12
1.3.2 Técnicas Lean Manufacturing y de la calidad.	17
Capítulo 2. Situación actual y problemática	34
2.1 Proceso de maquinado CNC (cruquetas).....	34
2.1.2 Barrenado y Machueleado. Maquina CNC <i>Robodrill</i>	35
2.2 Reporte de herramientas no funcionales	36
2.3 Problema de Baja producción.....	37
2.3.1 Acciones de contención	37
2.3.2 Investigación de causas potenciales y causa raíz.....	37
2.3.3 Acciones correctivas.....	40
2.4 Conexión con otros problemas. Proceso no hábil para cumplir con las tolerancias geométricas de Concentricidad y Perpendicularidad.....	41
Capítulo 3. Mejora del proceso a través de metodologías Lean y aplicación de mejoras mecánicas. ...	43
3.1 Establecer un objetivo (Paso 1 de SMED)	43
3.2 Observar y medir el proceso de set-up (Paso 2 de SMED)	43
3.2.1 Limpieza y revisión de documentación.....	44
3.2.2 Solicitud de herramientas	45
3.2.3 Cambio de herramientas en máquina <i>Mazak</i>	46

3.2.4 Ajuste de parámetros y corrida de programa.....	48
3.2.5 Cambio de herramientas en máquina <i>Robodrill</i> y corrida de programa	50
3.2.6 Obtención de pieza maquinada y verificación de dimensiones.....	51
3.2.7 Reajustes	54
3.2.8 Liberación de primer pieza y llenado de registros.....	56
3.2.9 Paro de máquina y reajuste	60
3.3 Analizar actividades y tiempos observados	63
3.3.1 Tiempo promedio.....	63
3.3.2 Diagrama de flujo.....	63
3.3.3 Analizar mejoras para externalizar, eliminar o reducir actividades observadas.....	65
Capítulo 4. Resultados.....	69
4.1 Externalizar proceso de llenado y revisión de documentación.....	70
4.2 Externalizar y eliminar solicitud y búsqueda de herramientas	70
4.3 Eliminar preparación de herramientas	72
4.3.1 Cabezales con brocas	72
4.3.2 Platos con postes de máquina <i>Robodrill</i>	73
4.4 Reducir el transporte de herramientas y herramientas	74
4.5 Seleccionar e inventariar herramientas de torno CNC Mazak y <i>Robodrill</i>	78
4.6 Rediseño de herramientas	82
4.6.1 Modelado y dimensionamiento.....	82
4.6.2 Material.....	87
4.6.3 Generación de especificaciones y Tolerancias geométricas.....	88
4.6.4 Fabricación y validación	92
4.6.5 Tratamiento térmico	93
4.7 Reubicar y ordenar herramientas y herramientas.....	95
4.8 Estandarizar y mantener	98
4.8.1 Administración visual	98
4.8.2 Hojas de instrucción de proceso de set-up.	100
4.8.3 Estandarización de vida útil de brocas.....	100
4.8.4 Estandarización de códigos para maquinado CNC.....	101
4.8.5 Identificación de herramientas	102
4.8.6 Procedimientos para administrar herramientas.....	103
4.9 Tiempos y diagrama de flujo después de las mejoras	105

Conclusiones.....	107
Bibliografía y referencias.....	109

Introducción

En la empresa que se toma como base para realizar este reporte, en los últimos meses, se reportaron herramientas de máquinas CNC con fracturas, medidas incorrectas, deficiencias en su geometría, y en algunos casos, una mala identificación y escases de estos. Los herramientas pueden ser bases, mordazas, elementos de sujeción y herramientas de corte.

Las piezas fabricadas en el proceso de manufactura que se estudia en este trabajo son las crucetas automotrices, y las dimensiones que se obtengan en estas, están directamente relacionadas con las condiciones de los herramientas mencionados, ya que su función de dichos herramientas es sujetar y mantener alineadas a las crucetas de una forma estable mientras se les aplica el proceso de desbaste y barrenado a través de máquinas CNC.

Para fabricar estas crucetas es necesario hacer cambio y ajuste de herramientas en la máquina cada que se inicie con la producción de un nuevo lote de cruceta diferente al que se estaba maquinando.

Debido a las deficiencias ya mencionadas en los herramientas, se ha visto que este cambio y ajuste puede ser complejo, largo y con errores, esto a su vez ha resultado en tener una baja disponibilidad de maquinaria y por lo tanto a tener problemas para cumplir con tiempos de producción establecidos, además de generar piezas fabricadas con dimensiones fuera de especificaciones, el cual es un desperdicio para la empresa y una causa de que los clientes puedan recibir productos de mala calidad.

Justificación y relevancia

Esta empresa está certificada bajo estándares internacionales y ante una demanda cada vez más exigente y cambiante en la industria metal-mecánica del sector automotriz es de suma importancia cumplir estos estándares y entregar piezas de calidad con tiempos cortos de entrega, buscando siempre ser competitivos en el mercado y, sobre todo garantizar la seguridad de los usuarios finales.

Por otra parte, se ha podido observar que el utilizar algunas herramientas y principios de la metodología *Lean Manufacturing* (Manufactura esbelta), herramientas de calidad y un pensamiento *Kaizen*, ha contribuido a tener procesos más flexibles, eficientes, medibles y estandarizados, además de una cultura de mejora continua para disminuir alguno de los 7 desperdicios identificados en la manufactura.

Objetivo

Aplicar diferentes metodologías de la manufactura para hacer más flexible y eficiente el proceso de set-up (ajuste de máquina y herramientas) en centros de maquinado CNC, los cuales llevan a cabo el proceso de desbaste, acabado y barrenado de cruceta, mejorando así la disponibilidad de la maquinaria y la capacidad de estas para obtener piezas de calidad generando menos desperdicios.

Objetivos particulares

1. Reducir el tiempo de set-up un 30% en el proceso de maquinado CNC.
2. Incrementar la cantidad de piezas producidas en un año.

3. Reducir los costos por mano de obra.
4. Reducir los desperdicios de tiempo de espera, transportes innecesarios, defectos, movimientos y sobre procesamiento en el proceso de maquinado de cruceta.

Para lograr estos objetivos se seguirá el pensamiento *Kaizen* y se usarán las herramientas Lean Manufacturing y de calidad que mejor se adapten a cada etapa del problema, así como conocimientos técnicos como lo son procesos de manufactura, máquinas y herramientas, diseño mecánico e ingeniería de materiales, todo esto de una forma ordenada, metódica e involucrando a las personas pertenecientes al proceso de manufactura estudiado.

Capítulo 1 Antecedentes

1.1 Antecedentes de la empresa

Federal-Mogul Motorparts es una empresa estadounidense dentro del mercado de posventa en la cual se desarrollan, fabrican y distribuyen productos para vehículos automotrices, ofreciendo en estas mejoras de rendimiento a los fabricantes de equipos originales de autos, camiones, vehículos para tareas pesadas, vehículos comerciales, para la agricultura, la actividad aeroespacial y otras aplicaciones industriales.

1.1.1 Misión y visión

La visión de esta empresa consiste en "elevar la vara" constantemente en la industria de los repuestos de motor. La misión es descubrir, diseñar y brindar los productos más seguros y las soluciones más ingeniosas para ayudar a sus clientes hoy y siempre.

1.1.2 Federal-Mogul Motorparts – Planta Los reyes

De una gran cantidad de plantas en todo el punto de Federal Mogul, las actividades de este informe se han desarrollado en la planta "*Federal-Mogul, Los reyes*", esta planta se ha caracterizado por ser especialista en la producción de Suspensiones y Chasis marca "Moog". En México, a través de la implementación y mejora de los procesos basados en calidad y tecnología, se ha logrado alcanzar un alto nivel en operaciones de maquinado CNC de forja, rectificado, soldadura, tratamiento térmico, recubrimientos, inyección de plástico, diseño de chasis y todas aquellas actividades de laboratorio metalúrgico que sirven como soporte para garantizar la calidad de los procesos.

Ya que esta es una organización de carácter internacional, los procesos desarrollados en esta planta están basados en normas y certificaciones como:

- ISO 9001 en el entrenamiento de piso (Plan de control, configuración, instrucciones de proceso e inspección, empaque y montaje), metrología, equipos de medición, CNC, herramientas básicas, calidad, resolución de problemas.
- ISO 14001 & EHS en instrucciones de seguridad en el trabajo y EPP, conciencia de seguridad, gestión de residuos y productos químicos, programas saludables y programa de mejora de la seguridad.

Entre los productos fabricados en la planta de los Reyes, se encuentran principalmente los siguientes:

- Universal Joint (Junta universal o cruceta)
- Inner Tie Rod End-ITRE (Terminal de dirección interior)
- Tie Rod End-TRE (Terminal de dirección exterior)
- Ball Joint (Rótula)
- Sway bar link-sbl (barra estabilizadora),
- Hanger Bearing (Soporte de flecha Cardan-balero colgante),

1.1.3 Historia

Federal-Mogul Corporation se fundó en 1899 en Detroit, Michigan como Muzzy-Lyon Company. En aquel entonces, los fundadores J. Howard Muzzy y Edward F. Lyon vendieron suministros de molinería y artículos de caucho. El mismo año, los socios establecieron una compañía subsidiaria temprana, la Mogul Metal Company, para fabricar nuevas aleaciones para rodamientos.

Federal-Mogul ha visto su nombre cambiar a lo largo de su historia. Mogul Metal Company se convirtió en Federal-Mogul Corporation el 1 de mayo de 1924, cuando la empresa se fusionó con Federal Bearing and Bushing, un fabricante de cojinetes y bujes de motores. Luego, el 29 de julio de 1955, Federal-Mogul se fusionó con Bower Roller Bearing Company, un fabricante de rodamientos de rodillos cónicos y cónicos, para formar Federal-Mogul-Bower Bearings, Inc.

El nombre de la compañía cambió a Federal-Mogul Corporation el 27 de abril de 1965. Justo un año después, el 28 de julio de 1966, la sede central de Federal-Mogul se trasladó oficialmente desde su ubicación en el centro de Detroit a Southfield, Michigan. Entre 1979 y 1983, Federal-Mogul lanzó su programa FOCUS, o Servicio al cliente de operaciones de campo, para fortalecer su servicio a los clientes de piezas de repuesto, también conocidos como clientes de posventa. El sistema administró los inventarios de piezas de repuesto, envío y facturación de Federal-Mogul. En 1982, Federal-Mogul tomó un paso líder en la industria mediante el establecimiento de una línea directa de servicio al cliente para los trabajadores, mecánicos y reconstructores de motores para recibir información actualizada sobre los productos de posventa de la compañía.

En México, Federal-Mogul inició operaciones en 1934 con la instalación de su primera planta en Naucalpan, Estado de México. Hoy en día, tiene 16 instalaciones en los estados de Chihuahua, Aguascalientes, Querétaro, Estado de México y Puebla.

En 2016, Federal-Mogul hizo su más reciente adquisición: La marca mexicana Interfil, que enriqueció el portafolio de la compañía con la oferta de diversos filtros.

La historia de la planta Los Reyes, en la cual se hizo el proyecto redactado a continuación comenzó en 1957, bajo la denominación Refacciones Automotrices Industriales Mexicanas S.A. de C.V. (RAIMSA), en la colonia Morelos del Distrito Federal; posteriormente, en 1969, se cambia de domicilio a Los Reyes La Paz, Estado de México, lugar donde se ubica actualmente la planta Los Reyes, para que posteriormente RAIMSA formara parte del grupo Federal Mogul en 1986.

Desde sus inicios Federal Mogul, los Reyes ha introducido nuevos productos y dejado de producir otros más, algunos de estos son: pernos de dirección, balero plano, unipistons pins, roldanas Ford, pistones de flujo alto y bajo, Sway bar link, ball joint, itre, control arm, U joint, entre otros.

1.1.4 Tamaño

Hoy en día Federal-Mogul tiene más de 53,000 empleados a nivel mundial, 120 plantas de manufactura y 45 centros de distribución en 24 países. Además, registró ventas en 2016 por 7.4 billones de dólares.

1.1.5 Organigrama, puesto y actividades de Trainee de Ingeniería de procesos

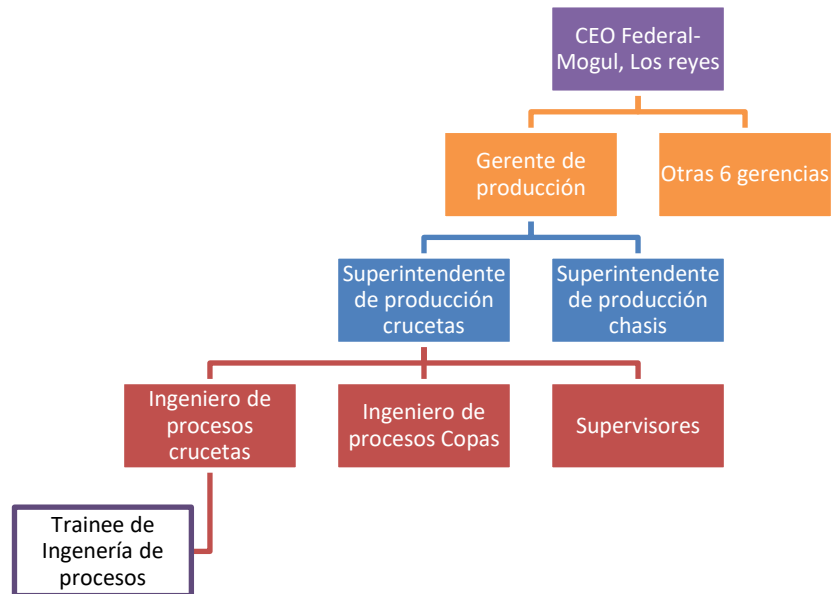


Figura 1: Organigrama de la empresa. Fuente: Elaboración propia

Dentro de la planta Federal-Mogul, Los reyes el becario o trainee de procesos de manufactura da soporte a las líneas de producción a través de las siguientes funciones.

- Estandarización, optimización e implementación de procesos enfocados en disminuir desperdicios, costos y tiempos producción, aumentando la capacidad productiva de piezas automotrices, haciendo uso de herramientas Lean Manufacturing.
- Apoyo en la resolución de problemas a través de la técnica de 5 Why's y DMAIC.
- Diseño de lay-out's, refacciones y dispositivos, asistido por software de diseño CAD (NX, y AutoCad), así como su implementación.
- Cotización y adquisición de herramientas, servicios y materiales indirectos requeridos para mejorarlas en operaciones y procesos de las estaciones de trabajo.
- Análisis y redacción de hojas de operación de procesos, ergonomía, instrucciones de set-up, y manuales en general, así como su correcta implementación.
- Participación en auditorías internas LPA.
- Coordinación con área mantenimiento para dar seguimiento al mantenimiento correctivo y preventivo de las maquinas o dispositivos que lo requieren.

1.2 Antecedentes del producto

1.2.1 Universal Joint (Junta universal)

Uno de los componentes que más se producen en esta planta, son las juntas universales o más comúnmente llamadas, crucetas, y ya que sus problemas de producción son objeto de tema en este informe se describirá su funcionamiento y su proceso de producción de manera general.

Las crucetas son componentes ensamblados al final de la barra de transmisión o flecha cardán. Son necesarias para transmitir el movimiento de rotación del motor a las ruedas, y proporciona una suave transmisión de la potencia hacia el diferencial conforme cambia los ángulos, los cuales suceden con los cambios de altura del vehículo y por la ligera desalineación causada por el desgaste de los componentes.

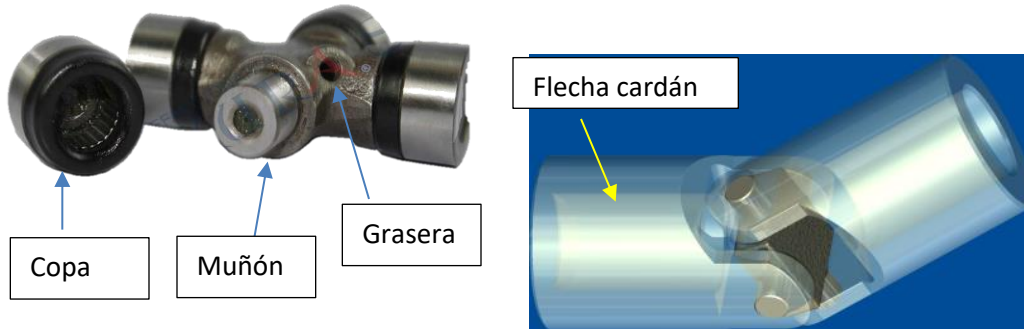


Figura 2: Elementos de una cruceta. Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver en la figura 2, la cruceta es un componente en forma de cruz, a cada punta se le conoce como muñón, y en cada muñón lleva con una copa acoplada. En esta copa se utilizan rodillos de aguja para permitir a la cruceta articularse conforme gira la barra de transmisión.

Esta cruceta usualmente contiene un barreno para enroscar una grasería por la cual se le suministra grasa a la cruceta para lubricar todo su interior por medio de venas internas.

En Federal-Mogul, Los Reyes se producen crucetas y copas para barras de transmisión pequeñas y barras de transmisión usadas en camiones y vehículos industriales.

Las características de la cruceta que son fabricadas en esta planta son:

- Material de acero fortalecido
- Cojines de ajuga endurecidos
- Sellos de diseño triple
- Graserías o conector de engrase en cojinetes de aguja
- Diseño radial en los cardanes de lubricación

El almacén de esta planta recibe forjas de crucetas y se envían al área de maquinado CNC donde se realizan los procesos de manufactura para maquinar muñón, así como el barrenado de venas y quinto barrenado para grasera.

Posteriormente las piezas ya maquinadas, son sometidas a un proceso de tratamiento térmico en donde se mejoran sus características mecánicas; dicho proceso comprende hacer un temple a las crucetas a 1700[F], el cual da como resultado el aumento de la dureza de las piezas, en un rango de 58-62 HRC.

Para que las crucetas cumplan con un ciclo de vida largo, es preciso reducir la fricción que existe en el contacto que hace el muñón de la cruceta con su respectiva copa. Es aquí en donde cobra importancia el proceso de rectificado, ya que este hará que el acabado superficial del acero obtenga una rugosidad muy baja para que este no presente mucha fricción en contacto con otra pieza. Esta rugosidad está controlada en el proceso de manufactura y no debe ser mayor a 30 Ra.

Una vez rectificadas las crucetas pasan al proceso de ensamble de copa (figura 3), en donde se recibe tanto la cruceta ya rectificada como la copa procesada con sellos y agujas ya lista para ser ensamblada.



Figura 3. Ensamble de muñón de cruceta ya rectificada con copa. Fuente: Elaboración propia

Hecho este ensamble se procede a realizar el empaque, en el que se introduce la cruceta con sus accesorios en una caja individual, se etiqueta y se vuelve a empacar en cajas más grandes, para ponerse a disposición del cliente y así terminar el proceso de producción

1.3 Antecedentes teóricos

1.3.1 Lean Manufacturing y Sistema de producción Toyota

Valor agregado y desperdicios

Antes de empezar a hablar de Lean Manufacturing es indispensable definir el concepto de “valor agregado” y de “desperdicio”.

El valor es agregado cuando todas las actividades tienen el único objetivo de transformar las materias primas del estado en que se han recibido a otro de superior acabado que algún cliente esté dispuesto a comprar. Cuando se aplica alguna herramienta Lean Manufacturing en este proyecto, siempre tendremos que ponernos en la perspectiva del cliente y preguntarnos qué es lo que él espera del proceso, y por lo que está dispuesto a pagar, eso es el valor agregado.

Por otra parte, un desperdicio para una empresa es todo aquello que no agrega valor. El sistema de producción Toyota ha identificado 7 desperdicios en la manufactura. Para algunos autores y en esta empresa se considera un desperdicio adicional. A continuación, se verán los 7+1 desperdicios.

Sobreproducción: Procesar el material de forma más rápida, anticipada o en cantidades mayores a las requeridas por el cliente. Esto provoca un aumento de inventario y un costo por mantenerlo.

Sobre inventario: Es todo el material, partes, insumos, productos procesados o terminados que ese encuentran en espera de ser procesados o vendidos y pueden estar en la línea de producción o en los almacenes.

Tiempo de espera: Cuando los operadores o máquinas permaneces sin desarrollar labor alguna dada una labor previa que les impide iniciar sus actividades. Es aceptable que la máquina espere al operador, pero es inaceptable que el operador espere a la máquina o materia prima.

Transporte innecesario: Movimientos innecesarios de material. Los transportes dependen primordialmente de la distribución en la planta, por lo que la mala o inadecuada distribución es la causa fundamental de este desperdicio.

Sobre procesamiento: Son actividades que hacen más procesos sobre el producto del que es requerido para obtener el producto final, o son actividades que pueden ser eliminadas al mejorar el proceso y no es realmente visible al valor atribuido de dichas actividades.

Movimiento innecesario: Son todas las actividades que realizan los trabajadores de manera innecesaria en su puesto de trabajo o en su desplazamiento, como tomar partes, mover partes, etc.

Defectos: Son todas aquellas partes que han sido rechazadas, que tienen defectos o que están fuera de especificaciones, las cuales no pueden ser enviadas al cliente en estas condiciones.

Talento humano: Se refiere a no utilizar la creatividad o inteligencia de la fuerza de trabajo para eliminar desperdicios, o no se distribuyen las operaciones de los procesos de acuerdo a las habilidades y aptitudes de cada persona.

Valor agregado	5%	
	10%	Sobreproducción
	15%	Sobre inventario
	20%	Tiempo de espera
	10%	Transporte innecesario
	20%	Sobre procesamiento
	10%	Movimiento innecesario
	5%	Defectos
	5%	Talento humano

Figura 4. 7+1 desperdicios de la manufactura. Fuente: Manual Lean – Federal Mogul

Origen de Lean Manufacturing

Lean Manufacturing (Manufactura esbelta, traducido al español) también es conocida como Sistema de producción Toyota, ya que su historia comenzó en la compañía Toyota Motor Company.

En 1902, Sakichi inventó un telar que podía detectar un hilo roto y detener el proceso de fabricación. De esta innovación surgió la idea pionera de un sistema de “eliminación completa de todos los residuos” y la búsqueda de métodos más eficientes en la producción.

En 1937, Kiichiro, hijo de Sakichi Toyoda, fundó Toyota Motor Corporation y desarrolló su propia filosofía basada en el concepto de *justo a tiempo*.

Poco después, otro visionario (Eiji Toyoda, primo de Kiichiro) se convirtió en el presidente de Toyota Motor Manufacturing. Eiji hizo un viaje por los Estados Unidos, en donde pudo observar los sistemas de producción de ese país, e impresionado por lo que vio le encargó al ingeniero Taiichi Ohno mejorar el proceso de manufactura de Toyota hasta igualarlo con la productividad de Ford.

Toyota no tenía la capacidad de establecer un flujo continuo como el de Ford, ya que no tenía los recursos para ensamblar la misma cantidad de autos y no tenía un mercado igual al de Estados Unidos. Las plantas de Ford se podían dar el lujo de tener grandes cantidades de inventario y por otro lado Toyota carecía de espacio para adoptar este tipo de prácticas. Pero Eiji Toyoda dejó claro que su objetivo y la misión para Taiichi Ohno no era competir con Ford, si no mejorar los procesos de Toyota solo dentro del mercado Japonés y con sus recursos de ese momento.

Sistema de producción Toyota

Ohno investigó y desarrolló el método de control de calidad del pionero W. Edwards Deming, basado en la mejora tecnológica de cada etapa de un negocio, desde el diseño hasta la post-venta. Así fue como dio

forma definitiva al concepto de *justo a tiempo* y el principio de *Kaizen*, lo que convierte a Ohno en el verdadero artífice del TPS (Toyota Production System).

Taiicho Ohno también hizo un *benchmarking* y tomo prestadas ideas de los estados unidos como el “sistema jalar”, el cual fue retomado de los supermercados de Norteamérica, mejoró el método de Ford de flujo continuo de los materiales entre los procesos y desarrolló un sistema que hiciera el flujo de una pieza por estación (one-piece-flow), de esta forma pudieron ser lo suficientemente flexibles para cambiar de acuerdo a la demanda del cliente y además se logró más eficiencia.

Este sistema ha sido adoptado por las grandes plantas automotrices hasta nuestros días, y su esencia consiste en que un proceso no debe hacer nada hasta que el próximo proceso se lo demande, cuando sucede esto, se manda una señal llamada Kanban para resurtir piezas. Esto crea un “jalón” el cual continua en cascada hasta el inicio del proceso de manufactura. Como se verá más adelante este concepto es parte del pilar Justo a tiempo (JIT) del sistema de producción Toyota.

Toyota simplemente supo coordinar, unir y trabajar ciertas metodologías de una forma disciplinada. Cabe mencionar que fundamental que existiera el pensamiento Japonés “*Kaizen*” del mejoramiento continuo en las personas para obtener resultados positivos de este conjunto de técnicas.

Posteriormente se publicaron dos libros que popularizaron el termino Lean Manufacturing.

1. The Machine that Changed the World, de James Womack, Daniel Jones y Daniel Roos, publicado en 1991 por Simon & Schuster.
2. Lean Thinking, de James Womack y Daniel Jones, publicado en 1996 por Simon & Schuster,

En estas publicaciones se bautizó el sistema Toyota con el nombre Lean Manufacturing y sus técnicas que ya se venían trabajando por años

Hacer más flexible el proceso, ha llevado al descubrimiento de que mantener líneas de producción flexibles, conduce a obtener alta calidad, consumidores más sensibles, mejor productividad y una mejor utilización del equipo y espacio.

Casa del Sistema de producción Toyota

La “Casa del Sistema de producción Toyota” (Figura 5) es un diagrama que se ha convertido en una muy buena representación de las herramientas Lean Manufacturing y como interactúan entre ellas.



Figura 5. Representación de Casa del sistema de producción Toyota. Fuente: Alberto V, Lean, Guía básica, 2007

Como toda casa, necesitamos pilares y cimientos fuertes acompañado de un techo seguro.

La casa inicia con el **techo**, el cual son los objetivos y metas de mejor calidad, el más bajo costo, en el menor tiempo de entrega, garantizando la seguridad de las partes interesadas y trabajando con la más alta moral.

Posteriormente tenemos **dos pilares** que sostienen los objetivos mencionados, el pilar del **Justo a tiempo** que significa surtir el producto indicado, en el momento preciso y en la cantidad correcta. En este pilar son fundamentales las metodologías de SMED, Kanban y 5's, las cuales se verán a detalle más adelante.

El otro pilar es **Jidoka** que significa que nunca deben pasar defectos a la siguiente estación, además implica separar a la gente de las máquinas (automatización con toque humano).

El **centro de la casa** es la gente y los equipos de trabajo, los cuales deben seguir la filosofía de la empresa, con una cultura fuerte y estable. Esto permite que exista una organización comprometida para detenerse y arreglar los problemas.

La filosofía de mejora continua (kaizen) del mejoramiento continuo es el interior de la casa y este debe ser la forma de vivir de las personas que habitan en ella, de esta manera se desarrolla personal competitivo y estable luchando siempre por la perfección en la organización.

Por último, tenemos los **cimientos o la base** del sistema, los cuales nos proporcionarían la estabilidad del sistema y por lo tanto es fundamental que este sea de las primeras herramientas en implementar en una organización. Esta base incluye una estandarización y estabilidad en los procesos, una programación de producción nivelada de acuerdo a las necesidades del cliente, una administración visual, indicadores y, además, una metodología llamada Mantenimiento productivo total (TPM, por sus siglas en inglés), en donde todos aprenden como limpiar, inspeccionar y mantener disponible el equipo que tengamos.

La clave para que funcionen estos elementos, es que se refuercen unos con otros como se verá en el presente trabajo. Sin duda, el punto más importante de este sistema para mí es el significado que se le da a la gente, ya que, aunque se implemente una herramienta de la forma correcta, esta no funcionaría sin el soporte de todos los colaboradores.

En la figura 6 se muestra la casa del sistema de producción Toyota, pero adaptada a este trabajo. Se detalla el proceso, producto o lugar con el que interactúa cada herramienta Lean Manufacturing utilizada para resolver un problema que involucró aspectos tanto de eficiencia como de calidad.

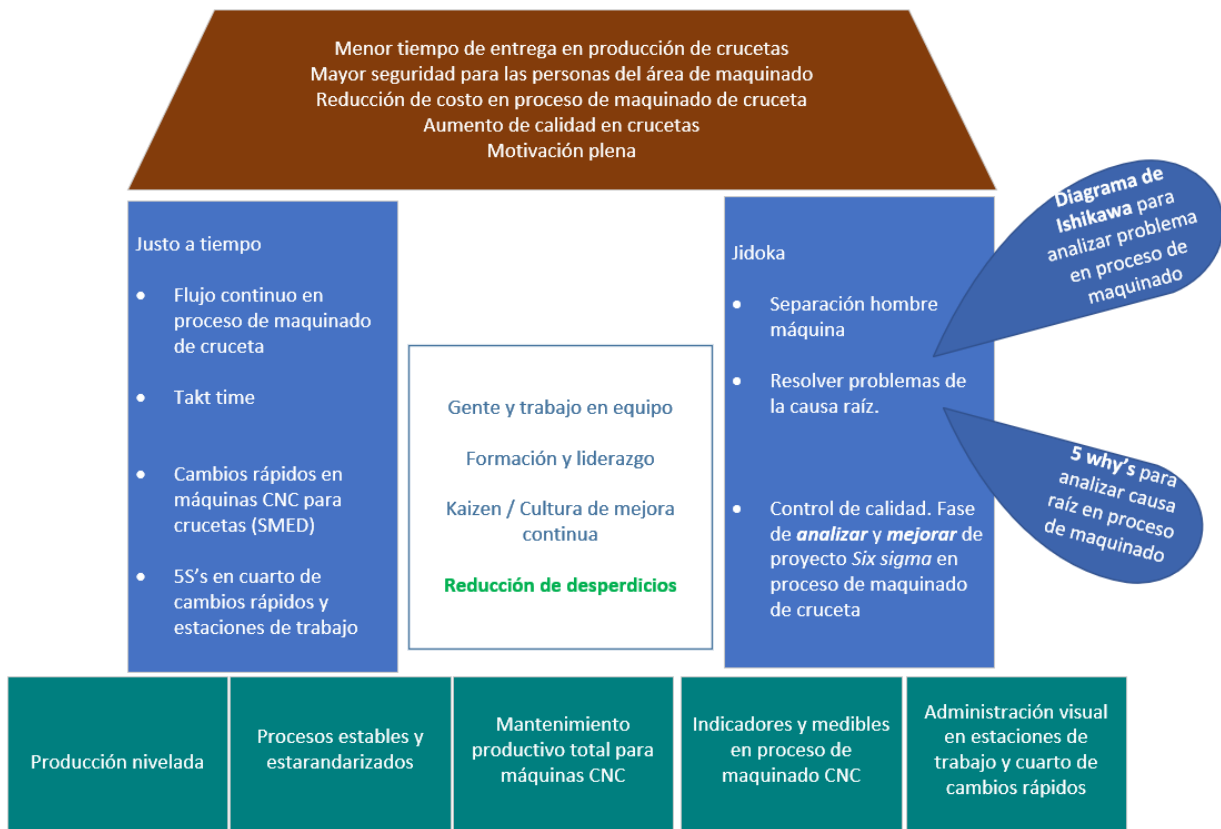


Figura 6. Representación de Casa del sistema Toyota en este proyecto. Fuente: Elaboración propia

1.3.2 Técnicas Lean Manufacturing y de la calidad.

El número de técnicas, fundamentos, principios y métodos dentro de lo que es Lean Manufacturing es muy elevado y no ha existido un acuerdo entre los expertos a la hora de identificarlos y clasificarlos, además, según los procedimientos de cada empresa estos pueden ser aplicados con algunas variaciones.

Lo que realmente importa es tener muy claros los conceptos y saber cómo aplicar cada herramienta según sea el desperdicio a eliminar, ya que si no tenemos claro primeramente si estamos ante un problema de eficiencia o de calidad no sabremos que metodología es la más adecuada.

A continuación, se presenta solo una aproximación de dichas técnicas o principios y se abordarán los puntos que fueron más útiles para este trabajo, ya que entrar en estas a profundidad sería objeto de una extensa explicación.

Cabe mencionar que para algunos autores solo existen 7 herramientas Lean Manufacturing principales (Kaizen, 5S's, SMED, Jidoka, Keijunka y Kanban) y los demás son métodos o principios que complementan estas técnicas. Lo importante es también saber cómo relacionarlas ya que pueden trabajar de manera independiente o ayudarse unas con las otras.

Primeramente, se presentarán las herramientas o principios que en mi experiencia y para algunos autores deben ser de "obligado cumplimiento" para cualquier empresa que pretenda competir en el mercado actual, no importa su tamaño, sus recursos o su giro. Son técnicas tan simples pero efectivas, que se pueden eliminar muchos desperdicios con ellas sin la necesidad de una gran inversión.

- Kaizen (Herramienta Lean)
- 5 S's (Herramienta Lean)
- Administración visual (Principio Lean)
- SMED (Herramienta Lean)
- TPM (Herramienta Lean)
- Procesos estables y estandarizados (Principio Lean)
- Indicadores y Medibles (Principio Lean)

Posteriormente, se presentarán herramientas que igualmente son fundamentales, pero exigen un mayor grado de compromiso y cambio cultural de todas personas, tener una planificación y control de los medios de producción y un poco más de recursos.

- Jidoka (Herramienta Lean)
- Heijunka (Herramienta Lean)
- Kanban (Herramienta Lean)

Por último, se mencionarán algunas técnicas de calidad, que si bien algunos autores las incluyen dentro de las técnicas Lean Manufacturing y otros las ven de manera separada, para el desarrollo de este trabajo fueron fundamentales en la recolección y análisis de datos.

- Six sigma (Técnica de calidad)
- Diagrama de Pareto (Técnica de calidad)
- Hoja de verificación (Técnica de calidad)
- 5 why's (Técnica de calidad)
- Diagrama de Ishikawa (Técnica de calidad)
- Diagrama de flujo (Técnica de calidad)

Kaizen

La filosofía Kaizen es una metodología que nace en Japón, como necesidad de buscar el mejoramiento continuo después de la segunda guerra mundial con una industria que debía enfrentar grandes dificultades para recuperarse.

KAIZEN significa mejoramiento. Más aún, KAIZEN significa mejoramiento progresivo que involucra a todos, incluyendo tanto a gerentes como a trabajadores. La filosofía de KAIZEN supone que nuestra forma de vida sea nuestra vida de trabajo, vida social o vida familiar que merece ser mejorada de manera constante.

Kaizen es una de las palabras más usadas en Japón, en la política, en los medios de comunicación, en las relaciones comerciales, etc. Y está tan arraigado en las personas que tanto gerentes como trabajadores trabajan sin pensarlo y sin esfuerzo siguiendo el Kaizen.

En la empresa donde se desarrolla este trabajo es de suma importancia que la gente adopte este pensamiento, ya que al hacer mejoras día a día (por muy mínimas que sean) a largo plazo ayuda a tener una mayor seguridad, más ahorros, mejor ambiente de trabajo, reducción de desperdicios, etc. Debemos siempre pensar que, aunque parezca que todo ya está bien, siempre se puede mejorar.

Ya que las demás técnicas de Lean Manufacturing están pensadas y centradas en las personas, el Kaizen es un excelente complemento para que el personal involucrado en los procesos y mejoras contribuyan de mejor manera al mejoramiento continuo

Algunos criterios que son importantes para el Kaizen en las personas son la disciplina, administración del tiempo, desarrollo de habilidad, participación, principios morales y comunicación.

5S's

Esta técnica es una de las que se debe aplicar primero, ya que es sencilla, produce resultados a corto plazo y hace que sea más fácil trabajar las demás herramientas.

El acrónimo corresponde a las iniciales en japonés de las cinco palabras que definen las herramienta y cuya fonética empieza por "S": Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu y Shitsuke, que significan, respectivamente: eliminar lo innecesario, ordenar, limpiar e inspeccionar, estandarizar y crear hábito.

Es una aplicación sistemática para ordenar y limpiar el puesto de trabajo, y asegurar que se mantenga así. Como se verá en este trabajo esta técnica tiene muchos beneficios como, por ejemplo: hacer más evidentes los errores, reducir costos de almacenamiento, eliminar movimientos innecesarios, hacer más seguro el lugar de trabajo y sobre todo su bajo costo de implementación. Mas que una técnica, para mí es un modo de vida ya que su aplicación en la vida personal puede mejorar nuestra productividad y calidad de vida.

Eliminar o seleccionar (Seiri)

La primera S significa seleccionar solo que realmente se ocupa y desechar los elementos que no son necesarios para las operaciones, es importante que no se hagan especulaciones ya que puede salir más costoso seguir almacenando cosas que no tiene valor para el proceso. Esta técnica se puede aplicar tanto a talleres de manufactura como áreas administrativas.

Ordenar e identificar (Seiton)

Una vez seleccionado los objetos que son realmente útiles para nuestros procesos es importante ordenar e identificar. En este paso se debe bautizar el lugar para cada objeto, etiquetarlos para que cualquier persona pueda saber dónde encontrarlos y donde debe volverlo a colocar. Es preferente que se aplique un sistema de organización como, por ejemplo: las cosas de más uso que sean más accesibles, o que las cosas más pesadas vayan en lugares bajos y las livianas en lugares altos.

Limpieza (Seiso)

Una vez ordenado los objetos verdaderamente útiles es importante hacer una limpieza al área de trabajo, y no solo eso, establecer el método adecuado para que esta limpieza se mantenga. No tener un lugar limpio es una causa potencial de errores o accidentes, ya que es difícil percatarse de olores o fluidos que puedan provenir de alguna falla, además genera un ambiente limpio de trabajo. En la empresa de donde se desprende este reporte, por años se les ha proporcionado a los trabajadores instrumentos adecuados para limpiar maquinas o lugares de trabajo.

Estandarizar (Seiketsu)

Este paso se refiere a mantener el orden y la limpieza que ya se ha logrado, esto puede ser con instrucciones documentadas y validadas, layout's de distribución de espacio o ayudas visuales donde el operador pueda consultar y entender el sistema de organización y lo que él debe hacer para mantenerlo.

Disciplina (Shitsuke)

Es muy frecuente que las empresas rompan con los procedimientos establecidos si no se les dan a los trabajadores las herramientas para que se mantengan, o si solo unas cuantas personas están involucradas y comprometidas. Para lograr una disciplina es necesario involucrar a todo el equipo, hacer capacitaciones de concientización, dar retroalimentación a las personas con auditorias sorpresas y hasta dar incentivos a las áreas más disciplinadas para tener un estímulo adicional de mantener todo lo que se ha logrado. En esta parte es muy importante el pensamiento Kaizen ya mencionado.

Administración visual

La administración visual puede ser apreciada por todos, y como se vio en la metodología 5S's, esta es una de las maneras más claras de comunicar los métodos, simplemente porque “una imagen dice más que mil palabras”. Para esto es importante que las ayudas visuales sean colocadas cuando se necesita y en donde se necesite, tienen que ser fáciles de entender y se debe transmitir a las personas la manera correcta de leerlas.

Las ayudas visuales pueden contribuir enormemente a estandarizar cualquier herramienta Lean Manufacturing, ya que estas pueden tener información acerca de la distribución de la maquinaria en la planta, el método para hacer cambios rápidos, la manera de seguir alguna mejora implementada, el proceso para dar mantenimiento al equipo, entre otros.



Figura 7. Ayuda visual de como colocar cruceta en un perno y caja después de una mejora en la planta Federal-Mogul, Los Reyes. Fuente: Elaboración propia

SMED

SMED significa “Singles Minute Exchange Die”, que en español se puede interpretar a “Cambio de herramientas en menos de 10 minutos (en un dígito)”.

Antes de hablar de esta metodología es importante definir lo que significa “set-up” o “preparación”. Un set-up es la cantidad de tiempo necesario para cambiar una herramienta que va desde la **última** pieza de un lote de producción hasta la **primera pieza buena** obtenida en el ritmo planificado del lote siguiente.

El SMED es un conjunto de técnicas que buscan reducir estos tiempos de set-up o de preparación de máquina, lo que generalmente involucra la búsqueda de herramientas y herramientas, la colocación y ensamble de dispositivos, el ajuste de parámetros, etc.

Con cambios rápidos se puede aumentar la capacidad de la máquina y aumentar la capacidad de producción sin necesidad de comprar máquinas nuevas.

En la figura 8 se puede ver como mejoras progresivas en actividades que se pueden eliminar o realizar de otra manera puede tener un gran impacto en tiempos de set-up.

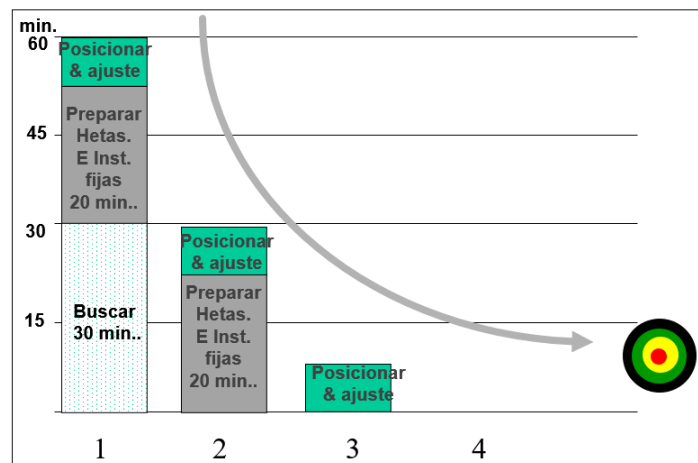


Figura 8. Gráfico de ahorro de tiempo en actividades de set-up. Fuente: Manual SMED, Federal Mogul

Para lograr esto es preciso seguir una serie de pasos establecidos en esta herramienta, los cuales se deben adaptar al proceso que se quiere mejorar al igual que todas las demás herramientas de Lean Manufacturing.

1. Establecer un objetivo a mejorar.

Un objetivo agresivo y factible de mejora debe ser establecido por el equipo de trabajo responsable para reducir el set-up. Este será dirigido por el equipo como un reto utilizando sus actuales prácticas y tiene que estar relacionado con alguna oportunidad de mejora en la eficiencia del algún proceso.

Equipo/Maquinaria	Tiempo de cambio inicial Set up	Tiempo de cambio mejorado Set up	Mejora del Set up
Maquina A	74min	28min	62% reducción
Maquina B	90min	30min	66% reducción
Maquina C	80min	13min	83% reducción

Figura 9. Objetivo de mejora. Fuente: Manual SMED, Federal Mogul

2. Observar el proceso del set up.

Primero que nada, es importante entender el proceso, para esto se tiene que invertir tiempo en el lugar donde se lleva a cabo el proceso de set-up, involucrar a las personas que lo llevan a cabo y hacer anotaciones de lo que se ve o comenta el personal, de las herramientas que se utilizan, como hacen el proceso y porque lo hacen así.

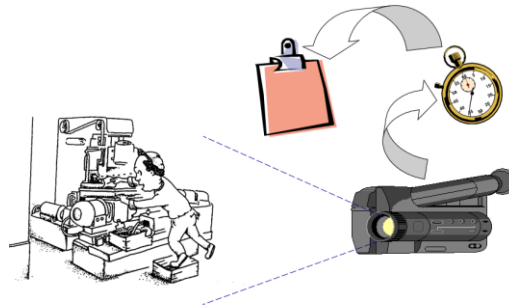


Figura 10. Observación del proceso. Fuente: Manual SMED, Federal Mogul

3. Medir el tiempo actual por pasos.

Ya que se entendió el proceso, es importante tener una referencia de como esta nuestra situación actual, esto se hace tomando tiempos paso por paso del proceso de set-up y completar con estos datos las observaciones que ya habíamos realizado. En esta parte es bueno tomar videos, fotos y usar un cronometro. Para esto vuelve a ser importante involucrar a la gente y fomentar en ellos una cultura de cambio, ya que si no se hace esto es probable que cause incomodidad estas mediciones.

Description	Start	Finish	Time
Last Good Part (Tool #2451) Production Machine #33	00:00:00	00:00:05	0 min 5 sec
Machine is Shut Off	00:00:05	00:00:10	0 min 10 sec
No Activity	00:00:10	00:04:10	4 min 0 sec
Move Garbage Can	00:04:10	00:04:20	0 min 10 sec
No Activity - Team on Break	00:04:20	00:34:45	30 min 25 sec
Start of Set Up - Move Air Tools into Place	00:34:45	00:36:00	1 min 15 sec
Disconnect Water Lines (No air outlet initially to blow out lines)	00:36:00	00:48:00	12 min 0 sec
Spray Tool with Rust Inhibitor and Move Crane Near Machine	00:48:00	00:48:50	0 min 50 sec
Close Tool	00:48:50	00:50:00	1 min 10 sec
Submit Work Order and Wait for Electrical and Hydraulic	00:50:00	00:54:34	4 min 34 sec
Start Unclamping of Side of Tool	00:54:34	00:55:40	1 min 6 sec
Unhook Electrical and Hydraulic	00:55:40	00:57:20	1 min 40 sec
Continue Unclamping Top of Tool and Knockout Bolts	00:57:20	01:00:07	2 min 47 sec
Place Eyebolts in Tool	01:00:07	01:00:45	0 min 38 sec
Lower Crane into Place and Secure	01:00:45	01:01:32	0 min 47 sec
Unclamp Bottom of Tool from Underneath Machine	01:01:32	01:03:59	2 min 27 sec
Open Platens of the Press and Adjust Crane to Get at Knockouts	01:03:59	01:06:57	2 min 58 sec
Get Pipe Wrench to Unhook Knockouts	01:06:57	01:07:20	0 min 23 sec
Unhook Pullbacks with Pipe Wrench	01:07:20	01:09:30	2 min 10 sec
Open Press Further to Remove Tool	01:09:30	01:10:47	1 min 17 sec
Remove Tool from Press	01:10:47	01:13:20	2 min 33 sec
Move Tool to Storage and Stack Brackets Outside of Press	01:13:20	01:18:30	5 min 10 sec
Place Tool on Mobil Platform at Storage	01:18:30	01:20:30	2 min 0 sec
Hook up to New Crane and Move to Final Storage	01:20:30	01:23:20	2 min 50 sec
Find New Tool in Maintenance	01:23:20	01:25:30	2 min 10 sec
Hook Up New Tool to Crane	01:25:30	01:28:31	3 min 1 sec

Figura 11. Hoja de medición de tiempos. Fuente: Manual SMED, Federal Mogul

4. Distinguir lo Interno/Externo (actual).

Este paso consiste en identificar todas aquellas operaciones internas y externas.

Interno: Una operación que necesita ser hecha con la máquina parada.

Externo: Una operación que puede ser hecha con la máquina corriendo.

5. Convertir lo interno a externo / registrar las ideas en un rota folio.

Una vez identificado lo interno y externo tenemos que buscar alternativas para convertir lo interno en externo, es decir buscar la manera de hacer el mayor número de pasos mientras la maquina sigue trabajando. Algunas de estas actividades pueden ser la preparación previa de herramientas o dispositivos, el llenado de registros, hacer 5S's en el espacio de trabajo, la búsqueda de herramientas necesarios para el siguiente cambio, etc.

En el diagrama de la figura 12 se puede observar el impacto que puede generar este paso.

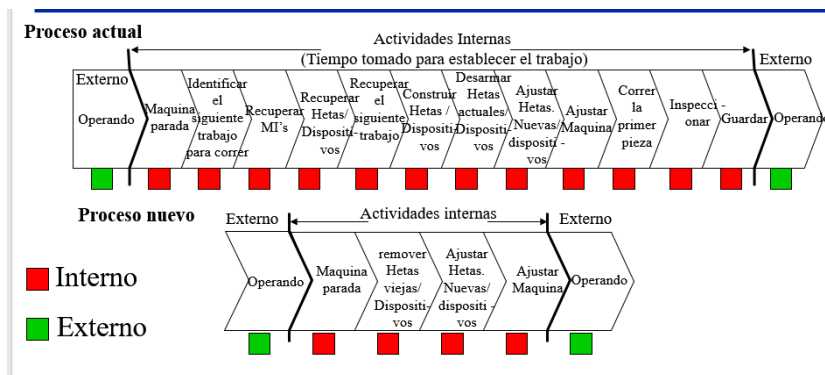


Figura 12. Ejemplo de proceso después de externalizar actividades. Fuente: Manual SMED, Federal Mogul

6. Reducir el tiempo restante de las actividades internas con:

Ya que tengamos solo actividades internas hay que buscar mejorar el tiempo de estas:

Esto puede ser con mejoras mecánicas, con estandarización y aplicación de las ya mencionadas 5S's o buscar la manera de hacer las cosas de diferente manera.

- Implementando jigs kits
- Eliminar ajustes
- Estandarización
- Operaciones en paralelo
- Implementación de sistemas de sujeción de un solo paso

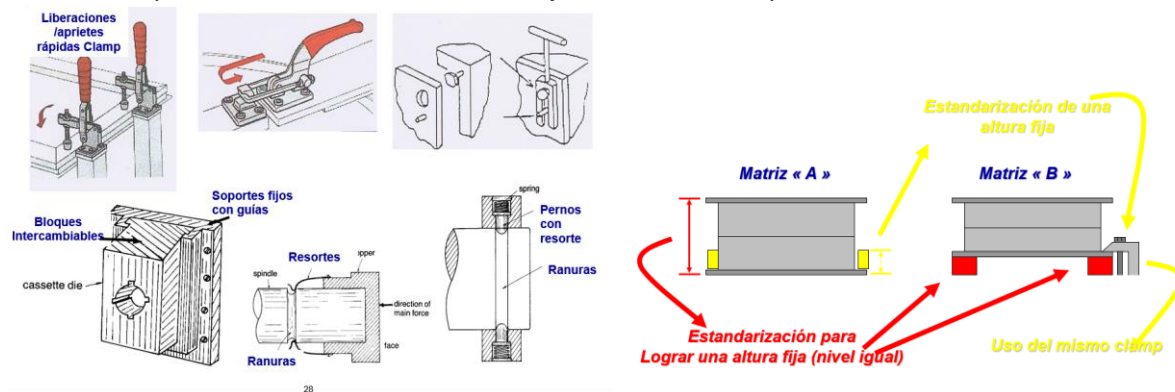


Figura 13. Ejemplo de mejoras mecánicas. Fuente: Manual SMED, Federal Mogul

7. Ejecución y tiempo del nuevo set-up.

Ya que se han implementado todas estas acciones debemos volver a tomar tiempos y comparar con nuestra primera referencia, en esta fase podemos validar si las ideas implementadas tuvieron los resultados esperados y se redujo el tiempo a lo que se tenía como objetivo.

8. Redefinir el método, documentar el método, incluir cualquier lista de verificación

Como muchas otras herramientas Lean, es importante mantener lo que se ha logrado, para esto se deben documentar los métodos nuevos, con responsables de cada operación, herramientas a usar, instrucciones técnicas, ayudas visuales y todo lo necesario para que este nuevo método ya sea un estándar.

TPM

De poco sirve tener máquinas sofisticadas o automatizadas si la productividad general de estas es baja. Una de las herramientas Lean que dan soporte para tener una disponibilidad alta de las máquinas y que estas produzcan piezas de calidad es el TPM (Mantenimiento productivo total).

El TPM es un conjunto de técnicas enfocadas en eliminar las fallas de la maquinaria a través de la participación de todas las personas que operan las máquinas. Para lograr esto se empodera a la gente para hacer acciones encaminadas al mantenimiento preventivo de su máquina, de esta manera se disminuyen los mantenimientos correctivos, los cuales regularmente son más costosos.

Como se ha visto uno de los grandes desperdicios es el tiempo de espera, y el tener una máquina averiada contribuye a generar este gran desperdicio.

En general el TPM consiste en seis grandes actividades, las cuales deben ser adoptadas por todas las personas que están involucrados en la operación y son las siguientes:

- 1. Eliminación de las seis grandes pérdidas:** Para el TPM existen 6 grandes pérdidas que se relacionan con la maquinaria y las cuales hay que eliminarlas:

Tipo	Perdida
Perdida por disponibilidad de máquina	1. Paros no planeados por fallos de equipos 2. Preparación y ajustes. (Cambios de herramientas, ajustes de parámetros y actividades relacionadas al set-up)
Perdidas por velocidad o rendimiento.	3. Paradas cortas por eventos como averías de sensores o interruptores. 4. Reducción de velocidad en el ciclo de la máquina
Perdidas por calidad	5. Defectos de calidad que requieren retrabajos en el producto. 6. Reducción de la eficiencia causado por materia prima que no se usa o desperdicia

Figura 14. Clasificación de las seis grandes pérdidas. Fuente: Alberto V, Lean, Guía básica, 2007

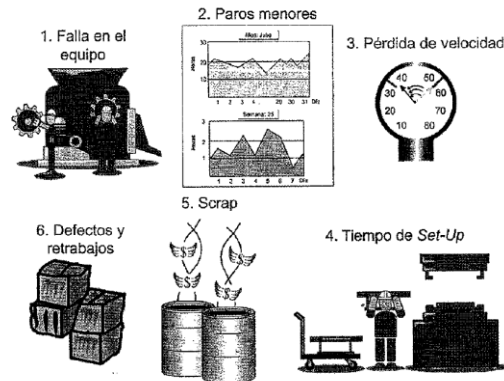


Figura 15. Seis grandes pérdidas. Fuente: Fuente: Alberto V, Lean, Guía básica, 2007

Como se puede ver en la figura 14, estas 6 grandes pérdidas se agrupan en 3 tipos. Disponibilidad, rendimiento y calidad, y la relación de estas nos puede dar un indicador muy importante que es muy útil en industrias controladas, este es el OEE.

No se profundizará tanto en este, pero simplemente el OEE (eficacia global del equipo) es una métrica que identifica el porcentaje del tiempo de producción planificado que es verdaderamente productivo. Fue desarrollado para respaldar las iniciativas de TPM mediante el seguimiento preciso del progreso hacia el logro de una "producción perfecta".

En términos más simples, OEE es la relación entre el tiempo totalmente productivo y el tiempo de producción planificado. En la práctica, la OEE se calcula como:

- $OEE = (\text{Piezas buenas} \times \text{tiempo de ciclo ideal}) / \text{tiempo de producción planificado}$

Términos utilizados en la fórmula OEE:

- Piezas buenas: piezas que se fabrican sin defectos.
- Tiempo de ciclo ideal: el tiempo teórico más rápido posible para fabricar una pieza
- Tiempo de producción planificado: el tiempo total que el activo de producción está programado para la producción.

Al final este dato es obtenido en porcentaje, y en plantas automotrices es ideal tener un OEE arriba del 85% para alcanzar una clase mundial.

- 100% OEE es una producción perfecta: fabricar solo piezas buenas, lo más rápido posible, sin tiempo de parada.
- El 85% de OEE se considera de clase mundial para los fabricantes discretos. Para muchas empresas, es un objetivo adecuado a largo plazo.
- El 60% de OEE es bastante típico para los fabricantes discretos, pero indica que hay mucho margen de mejora.
- El 40% de OEE no es nada infrecuente para las empresas de fabricación que recién están comenzando a realizar un seguimiento y mejorar su rendimiento de fabricación. Es una puntuación baja y, en la mayoría de los casos, se puede mejorar fácilmente a través de medidas sencillas (por ejemplo, rastreando los motivos del tiempo de parada y abordando las mayores fuentes de tiempo de inactividad, una a la vez).

2. **Planeación del mantenimiento:** Consiste en programar tareas de mantenimiento basadas en tasas de falla pronosticadas y / o medidas.

Se requiere implementar actividades como:

- Reducir variabilidad de las refacciones o partes de la maquina
- Extender la vida útil de las partes
- Predecir la vida de las partes
- Restaurar las partes deterioradas periódicamente

Algunos de sus beneficios son los siguientes:

- Permite planificar la mayor parte del mantenimiento para momentos en los que el equipo no está programado para la producción.
- Reduce significativamente los casos de tiempo de parada no planificado.
- Reduce el inventario a través de un mejor control de las piezas propensas al desgaste y a las fallas.

3. **Mantenimiento autónomo:** Mantenimiento hecho por el departamento de producción. Se asigna la responsabilidad del mantenimiento de rutina, como limpieza, lubricación e inspección, en manos de los operadores. Se otorga a los operadores una mayor "propiedad" de sus equipos.

Algunos de los más importantes beneficios de esta practican son:

- Asegura que el equipo esté bien limpio y lubricado.
- Identifica problemas emergentes antes de que se conviertan en fallas.
- Libera al personal de mantenimiento para tareas de nivel superior.

4. **Ingeniería preventiva:** Son acciones que normalmente lleva a cabo el departamento de Ingeniería y pretende eliminar los problemas de los equipos desde el periodo de lanzamiento, por ejemplo, se analizan factores como rentabilidad, mantenimiento, operación, economía, etc.

5. **Diseño temprano de productos.** Se enfoca en diseñar productos viables de fabricar tomando en cuenta la maquinaria y la capacidad de los procesos de manufactura que se tienen.

6. **Educación y practica:** Para que todos los puntos anteriores se puedan llevar a cabo es importante que se hagan programas de entrenamiento para aumentar el conocimiento de los operadores sobre sus equipos. También es importante que conceptos que puedan ser complejos o muy técnicos para algunas personas se puedan transmitir de una forma clara.

Procesos estables y estandarizados

Según ISO (organización que desarrolla estándares internacionales de procesos), un proceso es un conjunto de actividades mutuamente relacionadas que utilizan las entradas para proporcionar un resultado previsto. Dicho proceso es establecido por la alta dirección la cual debe también proveer los recursos necesarios para que se lleve a cabo de forma efectiva.



Figura 15. Esquema de proceso en una organización. Fuente: Universidad ISO (2019)

Como se puede ver en la Figura 15 dentro de los procesos existen procedimientos o métodos, los cuales deben estar hechos para asegurar que a la salida tendremos el producto o servicio requerido por el cliente con la calidad y tiempo de entrega establecidos

Como ya se mencionó los procesos deben ser pensados primeramente en el personal operativo, por lo tanto, además de aplicar mis conocimientos técnicos también fue necesario tener una visión integral del hombre máquina para proponer e implementar todas las herramientas necesarias para desarrollar o mejorar dichos procesos.

Un sistema de gestión de calidad tiene como requisito documentar todos los procesos y procedimientos que sean relevantes para garantizar la calidad de los productos.

Para garantizar esto es necesario emitir documentación técnica en donde el operario puede consultar que pasos deben seguir en cada operación y las acciones a llevar en caso de que exista una desviación en el proceso. Esta documentación es una guía fundamental para estandarizar los procesos y actividades.

Con esto también se logra una trazabilidad correcta, lo cual exige un sistema de gestión de calidad, además de que esta información esté al alcance de todos los colaboradores del proceso.

Algunos ejemplos de documentación o instrucciones que se hacen en esta planta y en muchas otras son las siguientes:

- **Hojas de procesos estándar:** en donde se detalla paso por paso como ejecutar algún proceso determinado, incluyendo las operaciones de la maquinaria de ese proceso

- **Hoja de parámetros:** Hoja con los parámetros a los que debe operar la máquina para ejecutar el proceso de forma correcta, normalmente se incluyen las unidades en las que los instrumentos de medición expresan algún valor. (temperatura, presión, velocidad, etc.)
- **Hoja Set-Up:** En esta hoja se redacta como hacer el ajuste o cambio de herramienta para producir un número de parte nuevo.
- **Layout:** Es un esquema en donde se representa como están distribuidos los elementos, ayudando al operador de forma visual a identificar objetos importantes en su operación.
- **Registros:** Normalmente en estos se registran todos aquellos datos de producción que demuestran de forma objetiva el cumplimiento de los requisitos del sistema de gestión, además de que puede servir como evidencia ante el análisis de algún problema
- **Manuales:** Documentos adicionales a los mencionados anteriormente, que redactan de forma general algún procedimiento dentro de los procesos.

Indicadores y Medibles

Una vez estandarizados los procesos, es fundamental saber cómo medirnos día a día para saber siempre que se puede mejorar, ya que no se puede controlar lo que no se puede medir. Para esto se establecen indicadores claves, también llamados KPI's (Key Performance Indicators, por sus siglas en inglés). El número de indicadores y qué indicadores se deben seguir depende del tipo de empresa (sector, actividad, tamaño, etc.) ya que normalmente los indicadores más relevantes son los que se relacionan con los objetivos y necesidades de la empresa, o bien, indicadores que han estado relacionados con alguno problema en el proceso. Es muy importante que estos sean alcanzables, medibles, y escalables.

Algunos ejemplos de ellos son:

- Porcentaje de scrap (piezas que no cumplen con especificaciones)
- Días sin accidentes
- 5's y limpieza de áreas
- Porcentaje de productividad
- Ausentismo de personal
- Quejas de clientes
- Resultados de auditorías internas

Es recomendable que estos indicadores estén al alcance de todos en tableros de producción (Figura 16) de manera que puedan ser vistos la mayor parte del tiempo por las personas pertenecientes al área, de esta manera se crea también un mayor involucramiento de las personas.



Figura 16. Tablero de producción con KPI's. Fuente: Hernandez J. Lean Manufacturing

Jidoka

Jidoka es un término Japonés que significa automatización con un toque humano o “autonomatización”. Bajo la metodología Lean, esto significa darle al proceso su propio control de calidad, de forma que este detecte si existe alguna anomalía y detenga o corrija el proceso para evitar que se fabriquen piezas defectuosas, esto puede ser automáticamente o manualmente por el operario. Con esto las máquinas y los operarios se convierten en inspectores de calidad.

Normalmente se identifican las técnicas Jidoka con sistemas de autonomatización de las máquinas o con la capacidad (y autoridad) del operario de parar la línea.

Una máquina automatizada es aquella que está conectada a un mecanismo de detención automático para prevenir la fabricación de productos defectuosos, de esta manera solo es necesaria la presencia del operario cuando la máquina para y necesita atención a la anomalía.

También cada operario puede pulsar un botón para detener la producción cuando detecta defectos o irregularidades. Cuando el operario pulsa el botón, una señal (andon) indica el problema y alerta a todos los compañeros de la sección de las dificultades de la operación asignada al operario. Este sistema de luces, permite la comunicación entre los operarios.

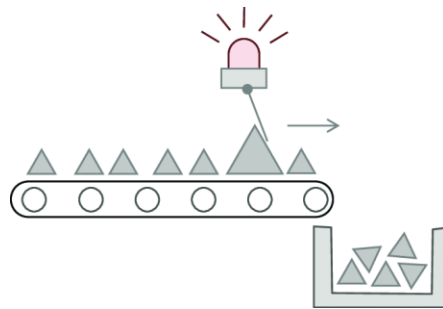


Figura 17. Sistema de detección de defectos. Fuente: Hernandez J. Lean Manufacturing.

Heijunka

Heijunka es una herramienta de suma importancia en el pilar de JIT y sirve para planificar y nivelar la demanda de los clientes. La gestión práctica del Heijunka requiere un buen conocimiento de la demanda de clientes y los efectos de esta demanda en los procesos y, a su vez, exige una estricta atención a los principios de estandarización y estabilización.

Por ejemplo, si se manejan lotes pequeños o flujo continuo de una pieza la demanda de partes está sujeta a repentinos picos de producción. Las ordenes de producción grandes tal vez ocasionen inmediatamente inventarios, haciendo más difícil la administración.

Heijunka puede ser la clave para establecer un verdadero sistema de jalar en la planta y requiere una estricta atención en los principios de estabilización y estandarización.

Para la aplicación de Heijunka las técnicas más usadas para obtener un sistema de flujo constante a un ritmo estandarizado son las siguientes:

- Usar células de trabajo.
- Flujo continuo pieza a pieza.
- Producir respecto al Takt time (tiempo de ritmo).
- Nivelar el volumen de producción y la diferencia de cantidades de piezas en lotes.

Kanban

Se le llama Kanban a un sistema sincronizado para programar la producción y regular el transporte de materiales. Kanban en japonés significa “tarjeta”, ya que en los contenedores donde se transporte material o piezas semi procesadas se adhieren tarjetas que indica la cantidad que se requiere de material. Como se mencionó en los antecedentes del sistema de Toyota, esto ha sido fundamental para lograr el flujo continuo, ya que de esta manera los procesos solo exigirán las piezas exactas que se necesiten y se reducirán inventarios no deseados en las líneas de producción.

Se distinguen dos tipos de Kanban:

- El kanban de producción, que indica qué y cuánto hay que fabricar para el proceso posterior.
- El kanban de transporte, que indica qué y cuánto material se retirará del proceso anterior.

Six sigma

Seis Sigma (6σ) es una estrategia de mejora continua del negocio que busca mejorar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello, es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio. En todo momento se toma como punto de referencia a los clientes y sus necesidades. La estrategia 6σ se apoya en una metodología fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadístico.

(σ) es la letra griega que se usa para denotar la desviación estándar poblacional (proceso), la cual proporciona una forma de cuantificar la variación que tiene una variable de dicha población o proceso. Según el nivel de sigmas que tiene un proceso es una forma de describir qué tan bien la variación del proceso cumple las especificaciones o requerimientos del cliente. La meta de 6σ , que le da el nombre, es lograr procesos con una calidad Seis Sigma, es decir, que como máximo generen 3.4 defectos por millón de oportunidades.

Al igual que en otras técnicas es necesario que la alta dirección impulse estos proyectos a lo largo del año pensando en largo plazo para reducir defectos.

En 6σ los proyectos se desarrollan en forma rigurosa con la metodología de cinco fases: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (en inglés DMAIC: Define, Measure, Analyze, Improve and Control). (Figura 18).

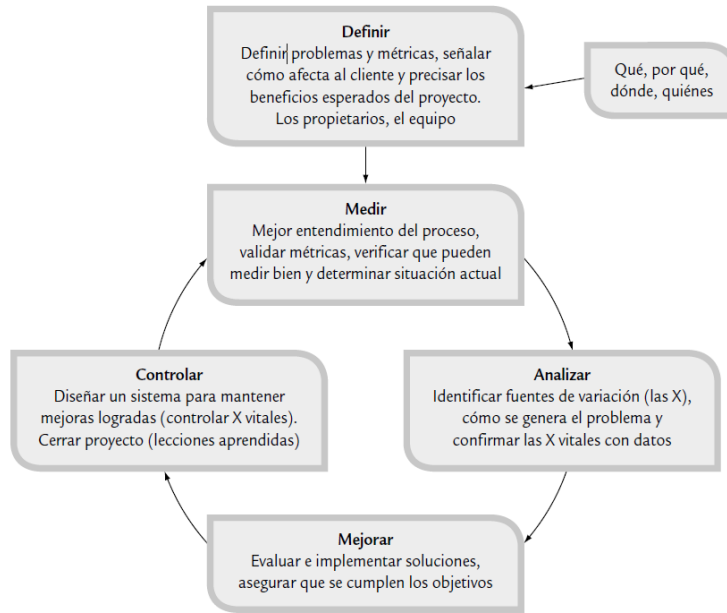


Figura 18. Las cinco etapas en la realización de un proyecto 6σ. Fuente: Gutierrez Pulido, Huberto. Control estadístico de calidad y seis sigma (2009).

Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto es comúnmente usado en la metodología anterior (Six sigma), o también de forma independiente. Esta toma como hipótesis que el 80% de algún problema en un proceso es por causas comunes o que actúan de manera constante. En pocas palabras es una "ley 80-20", en la cual se reconoce que el 20% de variables generan la mayor parte del efecto (80%), es decir son muy pocas las causas fundamentales del problema

Este principio se representa en un gráfico de barras y su objetivo es analizar los datos que más impactan al problema (Figura 19). Esto ayuda mucho a priorizar los recursos de la empresa sobre lo que realmente puede traer beneficios y no sobre lo que no contribuye tanto al problema.

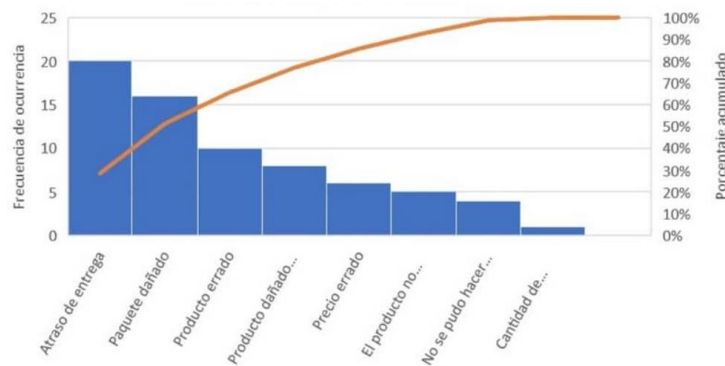


Figura 19. Ejemplo de diagrama de Pareto. Fuente: Gutierrez Pulido, Huberto. Control estadístico de calidad y seis sigma (2009).

Hoja de verificación (obtención de datos)

Una hoja de verificación es un formato donde se recopilan datos o características buscadas. Ya que este normalmente se llena por alguna persona de producción, debe ser sencillo de llenar y tener como objetivo hacer un análisis visual rápido. Algunos usos son:

- Describir el desempeño o los resultados de un proceso.
- Clasificar las fallas, quejas o defectos detectados, con el propósito de identificar sus magnitudes, razones, tipos de fallas, áreas de donde proceden, etcétera.
- Confirmar posibles causas de problemas de calidad.
- Analizar o verificar operaciones y evaluar el efecto de los planes de mejora

Con esto podemos contar con información para tomar mejores decisiones. Algunas empresas no se dan la tarea de recolectar datos o bien, los tienen, pero no son capaces de juntarlos y analizarlos.

HOJA DE VERIFICACIÓN PARA DEFECTOS EN VÁLVULAS			
	Periodo: _____		Departamento: _____
MODELO DE PRODUCTO	ZONA DEL MOLDE		
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
A	ooo xxx ++	oooo xx ++ //	ooooooooo xxxxxx /
B	oooo xx +++ /	oooo xxxxx /	ooooooooo xxxxxxx +*
C	oooo x +	oooo xxx	ooooooooo xxxxx /
D	oooo xx ++ //	oooo xxx /	ooooooooooooo xxxxx ++++

Códigos para defectos: o porosidad, + maquinado, x llenado, / ensamble

Figura 20. Ejemplo de una Hoja de verificación. Fuente: Gutierrez Pulido, Huberto. Control estadístico de calidad y seis sigma (2009).

Diagrama de flujo de proceso

Como se ha visto, prácticamente todas las metodologías de manufactura, así como normas están basadas en procesos, por la tanto hacer un mapeo de proceso puede ser una herramienta muy útil para entender nuestros procesos. Esta es una representación gráfica de la secuencia de los pasos o actividades de un proceso como, por ejemplo: esperas, inspecciones, almacenamientos, retrabajos o transportes.

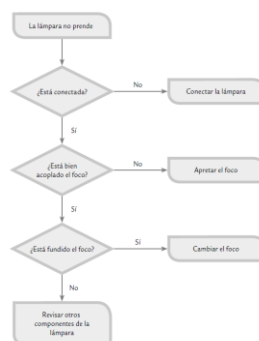


Figura 21. Ejemplo de diagrama de flujo de proceso. Fuente: Gutierrez Pulido, Huberto. Control estadístico de calidad y seis sigma (2009).

En la figura 21 se muestra el diagrama de proceso para analizar por qué no funciona una lámpara, en este se muestran dos símbolos muy usados en estos diagramas, un rectángulo para señalar una tarea o actividad del proceso, y un rombo para distinguir un punto de decisión y dependiendo de la respuesta se decide el camino que se toma.

Diagrama de Ishikawa (o de causa-efecto)

Este Diagrama es muy utilizado para analizar las causas potenciales que pudieron generar un problema, lo interesante e importante de este diagrama es que evita el error de buscar directamente en las soluciones sin cuestionarnos causas previas u otras perspectivas que pudieran ser las verdaderas causas.

Gráficamente se representa con una flecha central que apunta hacia la derecha, la cual significa el objetivo o problema a analizar, y de esta flecha emergen ramas que representan las principales variables de influencia que conducen a un efecto determinado, esta a su vez ramificará las causas-efectos que el equipo analice.

En la manufactura, dichas variables normalmente son las “6m”, ya que se ha visto que son variables globales en los procesos de manufactura. Estas son métodos de trabajo, mano o mente de obra, materiales, maquinaria, medición y medio ambiente.

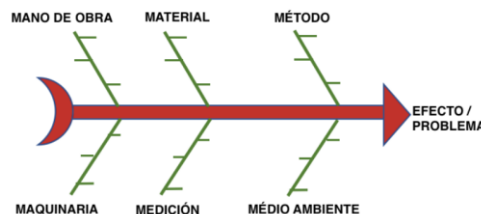


Figura 22. Diagrama de Ishikawa con las variables de manufactura Fuente: Gutierrez Pulido, Huberto. Control estadístico de calidad y seis sigma (2009).

5 whys

Esta es una técnica heredada de igual manera por el sistema de producción Toyota y es muy importante para investigar la causa raíz de un problema.

Una vez definido el problema (por ejemplo, en el diagrama de Ishikawa que se vio anteriormente) y reunido al equipo, el método es simple: se profundiza en su causa raíz preguntando "¿Por qué?" las veces que sea necesario hasta que el equipo identifique la causa inicial del problema, se ha visto que con 5 "por qué" es suficiente para llegar a esta causa, pero pueden ser menos siempre y cuando sea evidente esta causa.

Para aplicarla de una forma efectiva es importante buscar respuestas basadas en hechos: deben ser relatos de cosas que realmente sucedieron, no conjeturas sobre lo que podría haber sucedido o quejas. También es importante registrar las respuestas con frases concisas y de aquí generar el siguiente "por qué". A veces puede haber más de una causa raíz. En estos casos, el análisis de los 5 porqués se verá más como una matriz con diferentes ramas.

Capítulo 2. Situación actual y problemática

2.1 Proceso de maquinado CNC (crucetas)

Este trabajo se centra en los procesos para maquinar crucetas por medio de centros de maquinado CNC. Primeramente, se recibe la forja de la cruceta en el área de maquinado CNC y se le aplica a esta esencialmente el proceso de desbaste y acabado de muñón en el torno CNC *Mazak*, y posteriormente el proceso de barrenado y machueleado en el centro de maquinado CNC *Robodrill*.

Estas 2 máquinas conforman una estación de trabajo, la cual es operada por una misma persona. Como se puede ver en la figura 23. Estas máquinas se encuentran una de frente a la otra y mientras se está haciendo el maquinado en el torno Mazak, el operador de esta máquina puede alimentar de piezas y ajustar la máquina Robodrill.

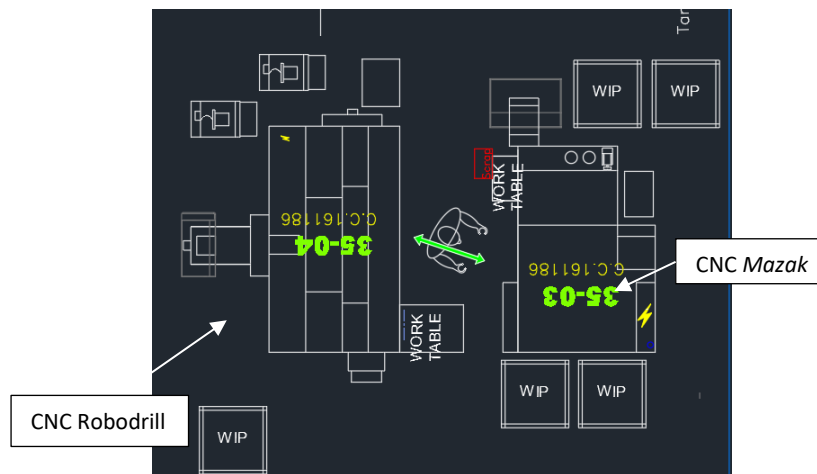


Figura 23. Layout de estación de Trabajo de maquinado CNC. Fuente: Elaboración propia

Esta estación de trabajo esta replicada 3 veces para cubrir la demanda, es decir existen 3 estaciones de trabajo con las respectivas máquinas *Mazak* y *Robodrill*.

2.1.1 Desbaste y acabado. Torno CNC Mazak



Figura 24. Proceso de desbaste de muñón en torno CNC "MAZAK". Fuente: Elaboración propia

El primer maquinado en el torno CNC *Mazak* consiste en hacer un desbaste, semi acabado y acabado final en los 4 muñones de la cruceta, removiendo material con insertos como se puede ver en la figura 24 con el fin de obtener el diámetro y acabado superficial según las especificaciones, y entre cada muñón se debe de obtener una cierta distancia, coaxialidad, simetría, y perpendicularidad especificada en el plano que se muestra en la figura 25.

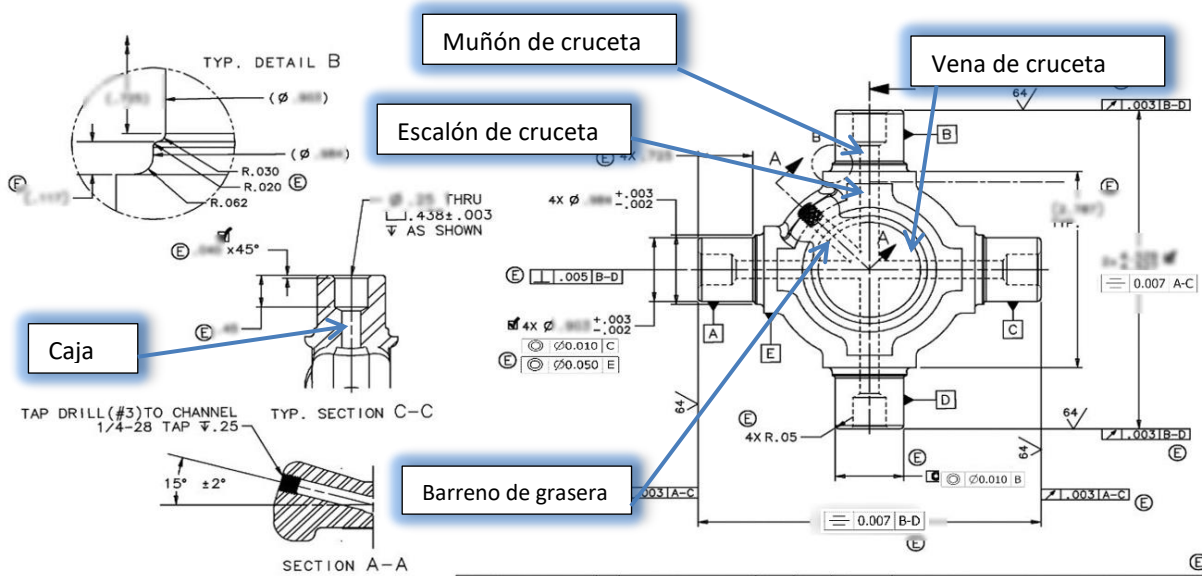


Figura 25: Plano de número de parte para maquinado de cruceta. Fuente: Plano de producto "Obsoleto" (Federal Mogul)

2.1.2 Barrenado y Machueado. Maquina CNC *Robodrigill*

Posteriormente, el mismo operador realiza la operación de barrenado de venas y caja de la cruceta, estas especificaciones se muestran igualmente en el plano de la figura 25. En algunos números de parte también se realiza el barrenado y machueado de grasera. Estas venas sirven como flujo de grasa al interior de la cruceta y se realizan en un centro de maquinado vertical CNC de la marca *Robodrigill* mostrado en la figura 26.



Figura 26. Proceso de barrenado en centro de maquinado CNC "Robodrigill". Fuente: Elaboración propia

2.2 Reporte de herramientas no funcionales

A través del reporte de las personas que llevan a cabo el proceso de set-up se detectó una primera problemática en esta área de maquinado de cruceta.

Las personas encargadas de llevar este ajuste en su máquina comentaron que diversos herramientas de las máquinas CNC no son funcionales para hacer una sujeción adecuada de la cruceta y que queden alineadas correctamente.

En esta área existe un encargado de resguardar herramientas, tornillería, herramientas y accesorios para este proceso, y también se encarga de limpiar y hacer preajustes a herramientas que lo requieran y el lugar donde se resguardan estos accesorios se le llama cuarto de cambios rápidos.

Después de recibir los comentarios de los operadores que se encargan de hacer el set-up en su máquina y del encargado del cuarto de cambios rápidos, hice una primera investigación en este cuarto de cambios rápidos e identifiqué que no todos los herramientas están en buenas condiciones como se puede ver en la figura 27, además de que se carece de algunos, ya que para números de alta demanda es importante tener al menos 2 o 3 juegos de herramientas para poder habilitar las 3 estaciones de trabajo que se tienen.

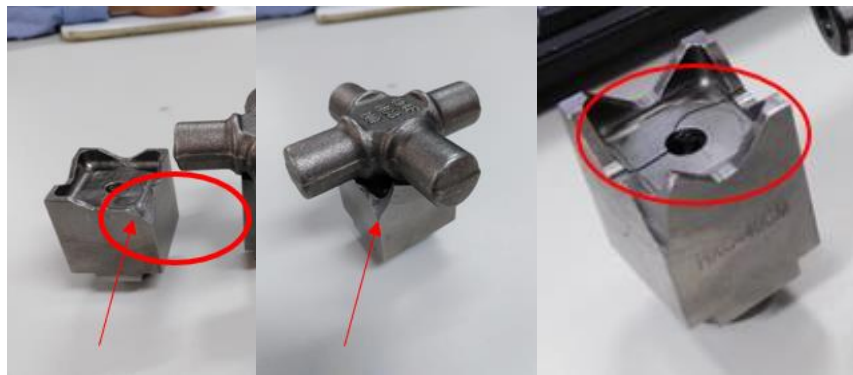


Figura 27. Herramientales en malas condiciones. Fuente: Elaboración propia

2.3 Problema de Baja producción

Posteriormente se suscitó un problema de eficiencia en donde no se cumplió con las cantidades requeridas de producción.

El problema comenzó cuando se detectó que había un atraso por parte del área de maquinado CNC para entregar un lote de crucetas al siguiente proceso (rectificado). Este problema se atendió de inmediato ya que el no cumplir con las entregas de producción en tiempo y calidad puede ocasionar muchos desperdicios y costos extras, además de perder la confianza de los clientes.

Para esto se hizo una investigación de causa raíz a través de técnicas de calidad como la técnica del 5why's y el diagrama de Ishikawa. Posteriormente se establecieron las acciones contención para resolver el problema en el momento y con un estudio más profundizado se hicieron las acciones correctivas permanentes las cuales se irán desarrollando en los siguientes capítulos de este trabajo.

2.3.1 Acciones de contención

Gracias a que se tiene una producción nivelada e indicadores de producción (cimientos de la casa Lean) se pudieron aplicar acciones contención, es decir acciones que resolvieron el problema de momento pero que no serían una solución definitiva al problema, o bien, una garantía de que no volviera a ocurrir. Estas acciones temporales fueron las siguientes:

1. Doblar turnos y producir piezas atrasadas.
2. Mandar a fabricar urgentemente herramientas para número de parte de piezas a fabricar en la semana.

2.3.2 Investigación de causas potenciales y causa raíz

Para la investigación de causas raíz de este problema fue importante reunir a todo el equipo de producción, ya que es importante analizar el problema desde la perspectiva de todas las personas que viven día a día el proceso, por ejemplo, técnicos, operadores, supervisores, ingenieros de calidad, ingenieros de manufactura, e Ingenieros de procesos, esta última área es donde yo tuve participación directa y es la encargada de recopilar datos y dar seguimiento al problema desde su análisis hasta su solución, mejorando así el **proceso**.

Una vez reunido el equipo se discutieron las posibles causas y se colocaron en un diagrama de Ishikawa o causa y efecto (figura 28), el cual ayudó a clasificar las posibles causas en las principales variables que intervienen en los procesos. Esta herramienta nos pudo guiar a darnos cuenta que se tuvieron problemas de baja disponibilidad (uno de los 3 componentes del OEE), así como una medición a destiempo del cumplimiento de producción.

El área de maquinado cuenta con tres centros de maquinado para realizar esta operación y solo se pudo aprovechar una, esto debido a que solo se contaba con un solo juego de herramientas para realizar la sujeción de las piezas para ese número de parte específico en una sola máquina.

Diagrama de Ishikawa

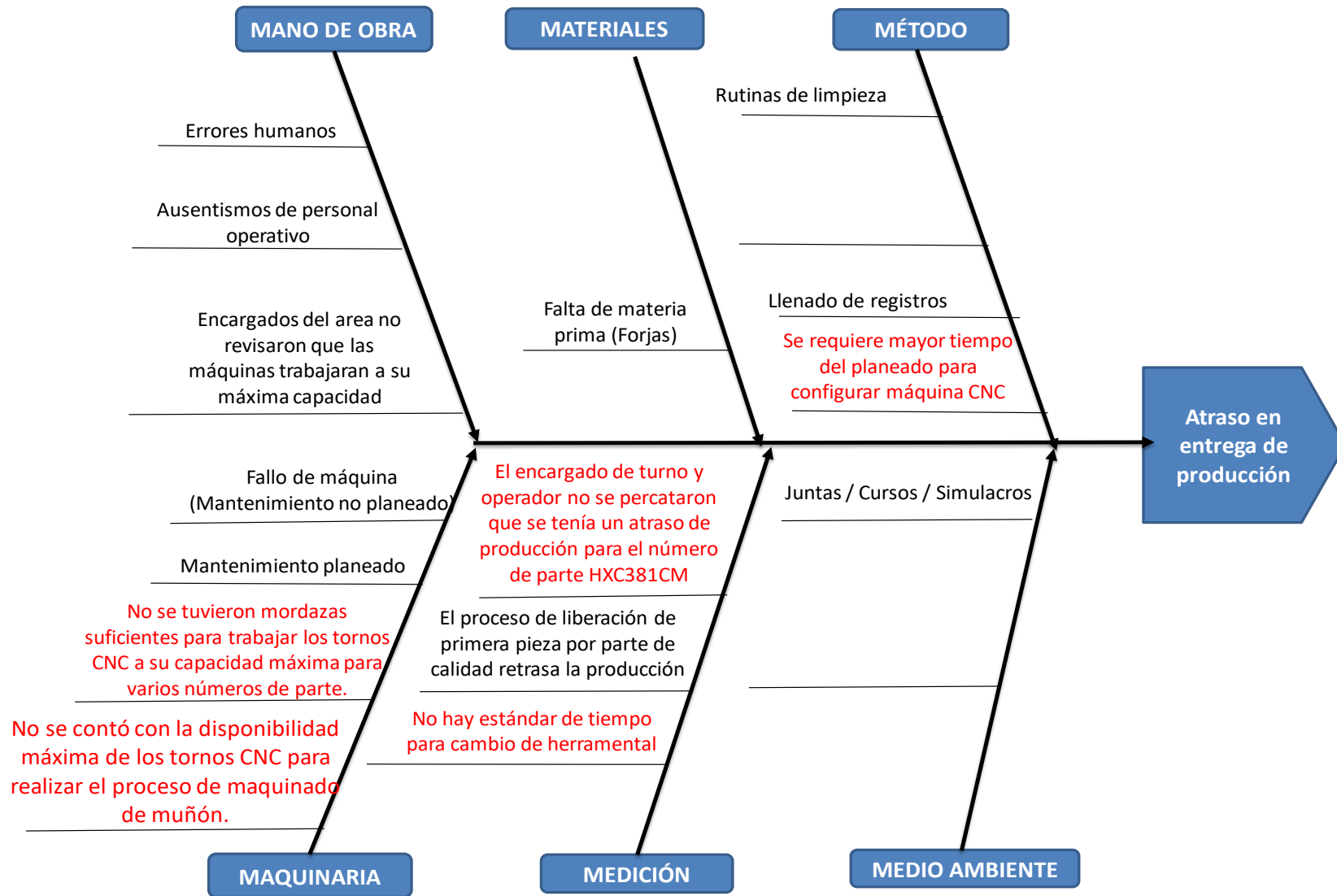


Figura 28. Diagrama de causa-efecto (Ishikawa). Fuente: Elaboración propia

Técnica de 5why's

Posteriormente, se descartaron algunas causas que no contribuían directamente al problema, se hizo un análisis de 5 why's que se muestra en la tabla 1, se determinaron las causas raíces y se le comenzó a dar seguimiento a la solución de estas.

Posible Causa	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	¿Por qué?	Acción correctiva
No se contó con la disponibilidad máxima de los tornos CNC para realizar el proceso de maquinado de muñón.	No se tuvieron bases suficientes para trabajar los tornos CNC a su capacidad máxima para ese número de parte.	No se han mandado a fabricar bases faltantes o que ya no son funcionales para algunos números de parte	El encargado de cambios rápidos no tenía conocimiento del faltante de bases y que no todas para ese número de parte eran funcionales	No se tiene un inventario eficiente que marque la existencia real de las bases y su estado	No se tiene claro el procedimiento para la administración y fabricación de herramientas.	Realizar inventario de herramientas y fabricar bases faltantes por orden de números de parte con mayor movimiento (A, B, C, D) Definir procedimiento de gestión de herramientas para maquinado CNC
Se requiere mayor tiempo del planeado para configurar máquina CNC para producir un número de parte nuevo	Se tienen que hacer varios ajustes para obtener piezas de calidad y grandes desplazamientos	Hay falta de estandarización, flexibilidad y control de tiempos en el proceso de set-up	No se han estudiado y establecido procedimientos que hagan más flexible y rápido el proceso			Caracterizar operaciones internas y externas y estandarizar proceso aplicando metodología SMED
El encargado de turno y operador se percataron un día antes del atraso de producción para el número de parte HXC381CM	No recibieron la observación del supervisor y no se revisó el programa de producción	El indicador de producción puesto en el pizarrón de indicadores marcaba entregas al 100%	Este indicador este hecho tomando en cuenta cantidad de piezas sin importar el número de parte prioritario de acuerdo al programa de producción			Crear tabla de indicador de producción con base a número de parte en área de maquinado CNC y colocarla en pizarrón de producción.

Tabla 1. Análisis de causa raíz con técnica de 5 why's para problema de baja producción. Fuente: Elaboración propia

También se concluyó que el proceso para configurar las máquinas CNC es deficiente y el operador ocupa mayor tiempo al planeado en realizar las actividades relacionadas a este proceso.

2.3.3 Acciones correctivas

Como acciones correctivas para las causas raíces ya confirmadas se propusieron las siguientes:

1. Caracterizar operaciones internas y externas y estandarizar proceso aplicando metodología SMED para reducir el tiempo de set-up un 30%.
2. Realizar 5S's en área de cuarto de cambios rápidos, así como inventario de herramientas.
3. Fabricar bases faltantes por orden de números de parte con mayor movimiento (A, B, C, D)
4. Definir procedimiento de gestión de herramientas para maquinado CNC
5. Crear tabla de indicador de producción con base a número de parte en área de maquinado CNC y colocarla en pizarrón de producción.

La **acción correctiva 5** fue una solución simple, rápida y eficaz que contribuyó significativamente a la gestión visual de indicadores claves de producción y a prevenir atrasos en la producción.

Se tuvo que analizar una manera en la que se pudiera dar seguimiento a este indicador de producción incluyendo el número de parte y que fuera visible para todos.

Esta tabla se incluyó en el pizarrón de producción como se muestra en la figura 29 y serviría para ir monitoreando la producción por número de parte y se pudiera visualizar de forma general por cualquier persona y no solo por el supervisor en su computadora a través del sistema empresarial para la planeación de recursos, sin embargo, esto no corregiría los problemas de eficiencia que se vieron en la configuración de las máquinas CNC y la disponibilidad de herramientas.

ITEM	UNID	CANT	MATERIA	HERRAM	OPERA	MATERIA	OPERA	MATERIA	OPERA
1.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
2.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
3.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
4.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
5.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
6.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
7.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
8.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
9.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100
10.000	UNID	100	100	100	100	100	100	100	100

Figura 29. Indicador de producción mejorado. Fuente: Elaboración propia

En el presente trabajo explicaré el desarrollo de las soluciones restantes (**1, 2, 3 y 4**) derivado de este problema, ya que con la aplicación de la metodología SMED, 5S', estandarización y mejoras mecánicas en los herramientas se espera que se solucione de raíz este problema y no vuelva a suceder.

2.4 Conexión con otros problemas. Proceso no hábil para cumplir con las tolerancias geométricas de Concentricidad y Perpendicularidad

En el problema mencionado anteriormente se determinó que se tienen que hacer muchos movimientos y ajustes en el proceso de set-up hasta obtener piezas dentro de especificaciones, por lo tanto, se relacionó con un problema de eficiencia en los procesos productivos. A continuación, se verá que la falta de control de estos herramientas también influye en la calidad de las piezas obtenidas.

Durante el último año existieron algunas observaciones del personal de la línea de rectificado de crucetas (proceso posterior al proceso de maquinado) como cliente interno. Este proceso se encarga de rectificar los muñones de la cruceta por medio de unas piedras de desbaste como se puede ver en la figura 30 ya que han pasado por el proceso de maquinado CNC con el fin de obtener un acabado con menos rugosidad y obtener las especificaciones finales.

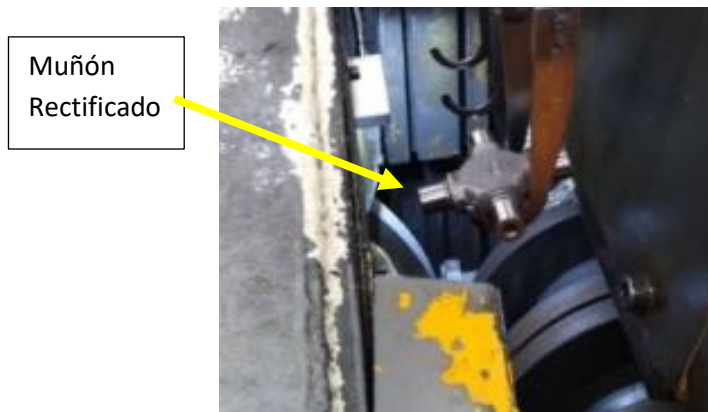


Figura 30. Cruceta rectificada. Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el área de rectificado de cruceta espera recibir las crucetas de acuerdo con el plano para no verse afectado por las condiciones del proceso anterior. Las quejas eran que existía una variación en las piezas recibidas que generaba problemas en su proceso dejando un mal rectificado de diámetro de muñón, línea de centros y longitud total fuera de especificación.

Por lo que se hizo la propuesta de cambio en los planos de maquinado CNC de crucetas como medida de control y dicho cambio incluyó el requerimiento de Tolerancias Geométricas de concentricidad y perpendicularidad para el proceso de maquinado.

Después de aplicar este cambio se observó que el proceso de maquinado CNC tenía problemas para obtener de manera constante estas tolerancias geométricas, por lo que el encargado Ingeniería de procesos de la línea de crucetas y también mi jefe, comenzó un proyecto de *Six sigma* con el fin de reducir esta variación y el desperdicio por piezas defectuosas.

Después de realizar las primeras 3 fases de esta metodología *Definir, Medir y Analizar*, determinó que el proceso de maquinado actualmente no es hábil para obtener las tolerancias geométricas de

concentricidad y perpendicularidad especificadas en el plano del producto. Esto provoca problemas a nuestro cliente interno que es Rectificado de Muñón, reflejando entre un 5 y 10% de piezas defectuosas.

Después de la investigación de las causas que influyen directamente en esta variación se determinó que una de las principales causas de variación en las especificaciones de salida, son los herramientas o mordazas del torno CNC como se muestra en la figura 31, específicamente bases y mordazas superiores.

Para el análisis de este problema se ocuparon herramientas propias de la metodología Six sigma, como el diagrama de Pareto, el cálculo de índices de capacidad del proceso (Cpk), análisis de sistemas de medición, matriz causa-efecto, entre otras, las cuales no se verán con detalle ya que no es el objetivo de este trabajo, pero fue un antecedente importante a tomar en cuenta.

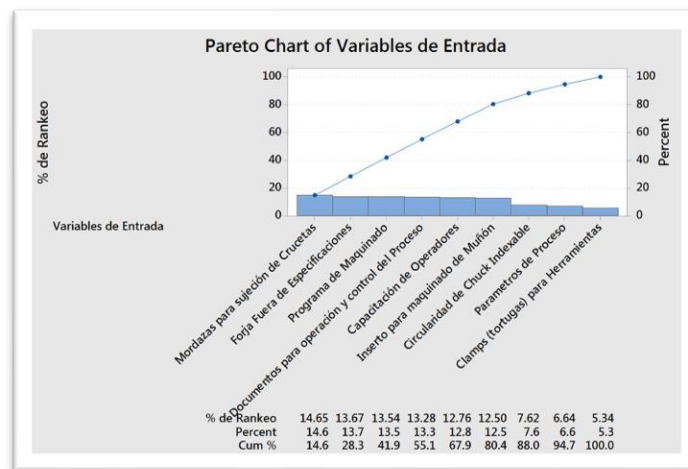


Figura 31. Análisis de causas potenciales de baja capacidad del proceso. Fuente: Proyecto Six sigma (Federal Mogul)

Como podemos ver, todos estos problemas y antecedentes se relacionan, la deficiencia de estos herramientas además de afectar en el aumento del tiempo planeado para ajustar la maquinaria como se determinó en la investigación de la causa raíz del problema mencionado de baja producción, también afectan en la calidad de piezas fabricadas en este proceso.

Capítulo 3. Mejora del proceso a través de metodologías Lean y aplicación de mejoras mecánicas.

A continuación, se explicará la implementación de la metodología SMED para corregir los problemas de la situación actual siguiendo los pasos propios de esta metodología los cuales se mencionaron en los antecedentes.

3.1 Establecer un objetivo (Paso 1 de SMED)

Se ha visto que los tiempos para configurar las máquinas CNC Mazak y Robodrill pueden variar desde media hora hasta una hora aproximadamente. El objetivo es que este proceso no demore más 35 minutos, ya que es el tiempo que tiene contemplado el equipo de logística para este proceso, pero en un futuro se espera llegar a menos de diez minutos como lo marca la metodología SMED.

Después de la fase observar se verá si es viable llegar al objetivo de 35 minutos, por otra parte, a pesar de que se tiene tres células de trabajo para la operación de maquinado CNC, se tomará solo una como modelo para aplicar la metodología, sin embargo, se espera que las mejoras puedan tener impacto en las tres estaciones a largo plazo.

3.2 Observar y medir el proceso de set-up (Paso 2 de SMED)

Ya que en esta planta se fabrican diversos números de parte con especificaciones diferentes, es importante garantizar una configuración de la máquina correcta y montar los herramientas correctamente con el fin de cumplir con cada requerimiento de cada número de parte. Para esto también es importante que los herramientas o sistemas de fijación sean funcionales.

Los elementos de fijación, son los que sujetan la pieza y deben de ser estables, rígidos y deben de repetir la misma fijación pieza tras pieza. Estos pueden ser bases, mordazas de sujeción, bujes, etc. También se deben montar herramientas de corte y desbaste como lo son cabezales con broca, insertos, porta insertos, avellanadores, etc.

A continuación, se presentará a detalle las actividades para hacer este cambio y configuración de herramientas con sus respectivas observaciones y tiempos. Las actividades las recopilé en tablas con tiempos y observaciones, estas actividades las clasifiqué en subgrupos de pequeñas operaciones que se deben llevar a cabo para hacer una operación clave.

El nombre de cada subgrupo se especifica en el encabezado de las tablas y se muestra con colores distintos de acuerdo al tipo de actividades que realizan alrededor de las máquinas Robodrill y Mazak, la clasificación y colores correspondientes se muestra en la figura 32.


	Actividades fuera de la máquina		Actividades en máquina <i>Robodrill</i>
	Actividades en máquina <i>Mazak</i>		Actividades de inspección

Figura 32. Colores de clasificación de operaciones

En esta fase tuve que estar en lugar donde se lleva a cabo el proceso, recolectar comentarios de las personas que viven día a día estas operaciones, ver que herramientas y dispositivos usaban y anotar cualquier observación importante.

Para obtener un tiempo promedio representativo me apoye de la tabla Westinghouse para saber cuántas observaciones necesitaba hacer. Esta tabla indica el número de observaciones mínimas en función de la duración del ciclo y el número de piezas. Me base en esta tabla ya que se recomienda su uso en operaciones muy repetitivas tal y como es el proceso de maquinado CNC estudiado.

Como se verá más adelante, el estudio de tiempos lo dividí por grupos de actividades y en promedio el tiempo de cada grupo es de 9 minutos, además el tiempo ciclo del maquinado de la cruceta en la máquina Robodrill y Mazak es de 8 minutos. Con estos datos y sabiendo que en este proceso se fabrican más de 10000 piezas al año obtuve de la tabla de Westinghouse que el número de observaciones recomendadas serían 12.

Aunque esta observación la hice estas 12 veces; el caso que se documenta en este trabajo es uno en donde se presentaron más variaciones y reajustes. Para mí, fue importante enfocarme en un caso crítico como este ya que podría documentar y tomar en cuenta todos los posibles problemas que se pueden presentar en el proceso de ajuste de máquina.

3.2.1 Limpieza y revisión de documentación

Primeramente, antes de empezar a producir un lote o número de parte nuevo el operador, tiene que retirar todos los objetos del lugar de trabajo correspondiente a la producción número de parte anterior y hacer una rutina de limpieza.

También observé que tiene que revisar su orden de producción donde se especifican características, cantidades y el número de parte a producir. En esta parte vi que en algunas ocasiones se siguen llenando registros del número de parte anterior, como las piezas que se produjeron, las piezas que fueron desperdicio, las horas en que se finalizó el lote, etc. A continuación, en la tabla 2 se presenta este conjunto de actividades con sus respectivas observaciones.

PASO No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
I	LIMPIEZA Y DOCUMENTACIÓN				
1	Limpiar y organizar lugar de trabajo	Trapos	¿Se puede hacer mientras la máquina está trabajando?	38	0.63
2	Llenar registros pendientes del número de parte anterior	Registros y pluma	¿Se puede hacer mientras la máquina está trabajando? No se deberían seguir llenando registros del número de parte anterior.	42	0.70
3	Verificar el número de parte a producir en la orden de trabajo y hoja de operación si es necesario.		¿Se puede hacer mientras la máquina está trabajando?	24	0.40
TOTAL (MINUTOS):					1.73

Tabla 2. Observación de actividades de limpieza y documentación. Fuente: Elaboración propia

3.2.2 Solicitud de herramientas

Una vez confirmado el número de parte a producir se consiguen los herramientas y herramientas necesarias para hacer ajustes tanto para la máquina *Mazak* como *Robodril*. Para conseguir estos es necesario trasladarse al cuarto de cambios rápidos.

Esta es un área en donde se tienen todos los herramientas necesarios para la producción de todos los números de parte o modelos que se fabrican en tres líneas de producción importantes, una de ellas maquinado de cruceta. También se cuenta con herramientas de mano, desatornilladores neumáticos, prensas, sierras, tornillería y todos aquellos dispositivos que son necesarios para ajustar los elementos de las máquinas.

En esta área una persona se encarga de resguardar, organizar y preajustar todos estos accesorios, esto con el fin de apoyar en tareas que pueden alargar los tiempos de preparación de la máquina para los operadores.

Cuando se requiere hacer cambio de herramientas para comenzar a producir un lote nuevo con diferentes características del que se estaba produciendo, el operador encargado de esta operación se desplaza a esta área la cual se puede observar en la figura 33 y solicita los herramientas y herramientas necesarias para poner en punto su máquina.



Figura 33. Cuarto de cambios rápidos. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 3 se muestran los pasos detalladamente para realizar esta solicitud con las observaciones que hice y tiempos que tomé.

PASO No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
II CONSEGUIR HERRAMIENTAS Y HERRAMIENTALES NECESARIOS PARA EL NUEVO NÚMERO DE PARTE					
1	Desplazar al cuarto de cambios rápidos		¿Se puede hacer mientras la máquina está trabajando? Traslado largo y con distracciones	54	0.90
2	Solicitar herramientas de máquinas CNC para operaciones de desbaste, acabado y barrenado (mordazas, bases, sujetadores e inserto), correspondiente a número de parte a producir		¿Se puede hacer mientras la máquina está trabajando?	14	0.23
3	Solicitar herramientas de mano y tornillos		A veces se olvidan solicitar los tornillos ¿Es posible que tenga su propio kit de herramienta en la estación de trabajo?	6	0.10
4	Espera a que encargado de cambios rápidos encuentre herramientas		Alto tiempo de espera debido a desorden y falta de identificación en los materiales	215	3.58
5	Espera a que encargado de cambios rápidos encuentre herramientas		Lo mismo que el punto II-4	49	0.82
6				117	1.95

Recibe herramientas y herramienta solicitados y se desplaza a célula de trabajo	Carrito móvil	Transporta mucho material, lo que hace necesario el uso de carrito móvil algunas veces Alto tiempo para trasladarse / Distracciones en el camino / Al operador algunas veces regresa al cuarto de cambio rápidos debido a que se le olvidan algunos accesorios o herramientales		
TOTAL (MINUTOS):				7.58

Tabla 3. Observación de actividades para conseguir herramientales. Fuente: Elaboración propia

Las primeras observaciones que hice en estas actividades es que se hacen muchos transportes a esta área por parte del personal que está configurando la máquina y además se demoran tiempos largos, esto se da por la cantidad de herramientas que manipula, las distracciones en el camino, por olvidar solicitar algunos accesorios como tornillos y la lejanía del área de cambios rápidos con la máquina, además de que el encargado de cambios rápidos no tiene identificados y preajustados algunos dispositivos a usar, ocasionando que existan errores en la entrega o bien se entreguen herramientales en malas condiciones y se tenga que regresar al área de cambios rápidos de nuevo.

3.2.3 Cambio de herramientales en máquina Mazak

Para la máquina Mazak se desmontan herramientales del número de parte anterior y se montan los del siguiente lote de producción. Estos herramientales son la base (donde asienta la cruceta) y la mordaza superior que funciona como sujetador de la pieza cuando se le aplica presión. Figura 34.

Una de las principales dificultades para el operador que me percaté en esta operación fue que los herramientales están sujetos con mucha presión al chuck del torno, lo que ocasiona que a veces sea necesario golpearlos con martillo de goma y cinceles, otras ocasiones se tienen que usar pinzas de presión, ya sea para ensamblarlos o retirarlos de la muesca del chuck. Por otra parte, algunas bases ya no son funcionales debido a que estas están desgastadas o ya tienen fracturas como se mencionó en el capítulo de la situación actual.

Además, algunos operadores tienen dificultad para ubicar rápidamente la tornillería usada, debido a la gran cantidad de objetos cerca de su zona de trabajo.

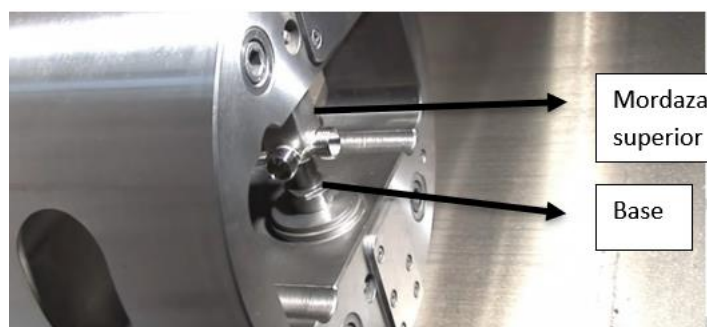


Figura 34 Cambio de herramientales. Fuente: Elaboración propia

Para el cambio de insertos observé que algunos operadores tenían duda sobre el inserto que debían solicitar y colocar, además de que para conseguir estos también es necesario transportarse al cuarto de cambios rápidos. Una vez obtenido este inserto se cambia retirando un tornillo de sujeción como se puede ver en la figura 35.

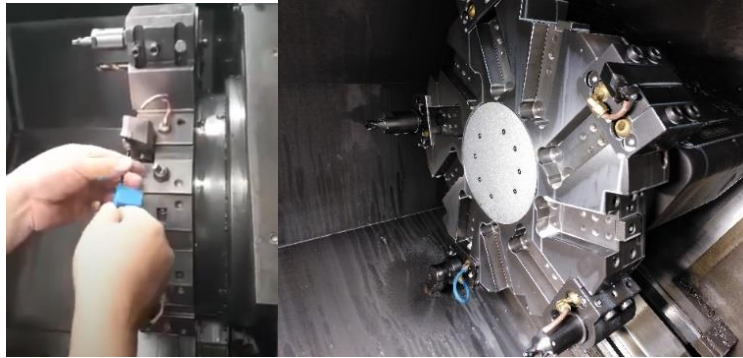


Figura 35. Cambio de inserto. Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se presentan las observaciones y tiempos que recopilé de este conjunto de actividades.

PASO No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
III DESMONTAR BASES, MORDAZAS E INSERTO CORRESPONDIENTE A NÚMERO DE PARTE ANTERIOR EN MAZAK (MAQUINADO DE MUÑÓN)					
1	Ubicar llave allen 8mm y martillo de goma para desmontar base y mordaza.		Se tiene mucho material y desorden sobre la mesa de trabajo	29	0.48
2	Desatornillar y desmontar base de sujeción del número de parte anterior	Llave allen 8mm	Se presentaron dificultades para desapretar y retirar algunos tornillos	54	0.90
		Martillo de goma y cincel	En algunas ocasiones se tuvo que golpear con martillo de goma y cincel las bases. Otros operadores ocupan pinzas de presión para retirar estos herramientas		
3	Llevar Base a banco de trabajo			12	0.20
4	Desatornilla y desmonta mordaza de sujeción del número de parte anterior	Llave allen 8mm	Se presentaron dificultades para desapretar y retirar algunos tornillos	68	1.13
		Martillo de goma, cincel y pinzas de presión	Se golpea con martillo de goma algunas ocasiones		
5	Llevar mordaza de sujeción a banco de trabajo			16	0.27
6	Sopletear chuck con pistola de aire hasta eliminar virutas de estrías	Pistola de aire		42	0.70
TOTAL (MINUTOS):				3.68	
IV MONTAR BASES MORDAZAS E INSERTO DE NÚMERO DE PARTE ACTUAL EN MAZAK (MAQUINADO DE MUÑÓN)					
1	Localizar llave allen 8mm, tornillos de base y mordaza		Se tiene mucho material y desorden sobre la mesa de trabajo y el operador tarda en localizar sus accesorios	16	0.27
2	Montar y atornillar la Base correspondiente al Número de Parte a producir.	Llave allen 8mm	Se ocupa martillo de goma o pinzas de presión para ensamblar completamente base en chuck debido al fuerte apriete	57	0.95
		Martillo de goma, cincel y pinzas de presión			
3	Montar y atornillar mordaza de sujeción correspondiente al Número de Parte a producir.	Llave allen 8mm	Se ocupa martillo de goma para ensamblar mordaza de sujeción en chuck	78	1.30
		Martillo de goma			
4	Cambiar de auto mode a jog mode, posicionar torreta en punto de seguridad y girarla hasta posicionar porta herramienta de frente a operador			35	0.58
5	Aflojar tornillo de cuña de sujeción y desmontar inserto desgastado	Llave allen 3mm		42	0.70

6	Montar inserto y apretar tornillo de cuña de sujeción	Llave allen 3mm	Operador tuvo duda para saber si el inserto montado era el correcto.	54	0.90
7	Colocar la cruceta cuidando asentar la pieza completamente en la mordaza, oprimir el pedal de sujeción. Y verificar que no se mueve cruceta colocada.		Los operadores comentan que algunas bases se han desechado debido a que al colocar la cruceta esta tiene juego, por lo que la base ya no es funcional	10	0.17
TOTAL (MINUTOS):					4.87

Tabla 4. Observación de actividades para desmontar y montar herramientas de máquina Mazak.

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Ajuste de parámetros y corrida de programa

Cuando se hace la gestión de un número de parte nuevo, el Ingeniero de manufactura junto con personal operativo encargado de la programación y ajuste de parámetros en las maquinas se encargan de crear el código para la ejecución de todas las operaciones de maquinado de manera correcta, tanto en la máquina *Mazak* como en la máquina *Robodrill*.

Una vez probados estos parámetros y códigos se guardan y se ejecutan cada que se requiere la fabricación de ese número de parte.

A pesar de tener la ventaja de la repetibilidad que ofrecen las máquinas CNC, algunas veces se tiene que hacer modificaciones en el código y parámetros del maquinado (Figura 36). Por ejemplo, se hacen compensaciones de dimensiones, o modificaciones en los parámetros críticos en el maquinado como lo son el avance de la herramienta de corte, las revoluciones del Chuck, la presión neumática de las mordazas etc., ya que estos parámetros pueden ser variables debido a la altura de una broca nueva, el desgaste del inserto o broca, o bien por el cambio de tipo de material de corte al implementar algún inserto o broca nueva.



Figura 36. Ajuste de código y parámetros en máquina CNC. Fuente: Elaboración propia

Estos códigos y parámetros se deben verificar cada que se correrá la primera pieza de un lote de producción nuevo, es decir en el proceso de set-up.

Después de hacer la observación de estas actividades me percaté que el hecho de que solo los operadores más experimentados conozcan los aspectos más importantes del código conduce a depender de ellos para hacer estos ajustes, lo que ocasiona que se tengan tiempos muertos al

momento de intentar correr la primera pieza si estas personas no pueden auxiliar a los operadores que no tienen estos conocimientos

También se pudo observar en estas operaciones que existen códigos en las máquinas que ya son obsoletos, así como varias versiones de algunos, por lo que existen causas potenciales de correr un código erróneo por falta de administración de esta información técnica y digital. Los pasos de este grupo de operaciones se presentan detalladamente en la tabla 5.

PASO No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
V	AJUSTE DE PARAMETROS Y CORRIDA DE PRIMER PIEZA EN MAZAK (MAQUINADO DE MUÑON)				
1	Verificar que los parámetros son los correctos según la hoja de parámetros		El operador no conoce la función de estos parámetros	28	0.47
2	Seleccionar el Programa CNC para Maquinado.			22	0.37
3	Se desplaza a buscar al encargado para validar programa y ajustes hechos		El operador tuvo duda si el programa correspondía a la última versión para este número de parte El operador no se siente seguro para verificar código y ponerlo a trabajar.	110	1.83
4	Espera a que encargado o persona experimentada llegue a la máquina		Los operadores con pocos conocimientos acerca del código de maquinado no entienden al 100% el programa y parámetros.	175	2.92
5	El encargado verifica que el programa corresponda al número de parte indicado en la orden de trabajo y a la última versión indicada en el plano del producto.			29	0.48
6	Corre el programa utilizando el botón Single Block y velocidad en Modo Dry Run para verificar que las herramientas no colisionan con la pieza o alguna parte de la máquina.		En lo que corre programa el operador le sobran aproximadamente 3 minutos para hacer más actividades	176	2.93
7	Abrir puerta, liberar mordazas y retirar cruceta maquinada			18	0.30
TOTAL (MINUTOS):				9.30	

Tabla 5. Observación de actividades para ajustar parámetros o correr programa de maquinado. Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Cambio de herramientas en máquina *Robodrill* y corrida de programa

Para el centro de maquinado *Robodrill* se cambia la base o plato donde asienta la cruceta, esta está formada por 4 "V blocks" (soportes) para apoyar cada muñon de la cruceta y 2 postes para sostener la barra de sujeción como se muestra en la figura 37.



Figura 37. Herramientales para máquina *Robodrill*. Fuente: Elaboración propia

Para el ensamble de este conjunto de accesorios es importante la ayuda del encargado de cambios rápidos, ya que este dispositivo debe estar ensamblado previamente de forma que el operador solo tenga que montarlo en la máquina *Robodrill* y ajustar la barra de sujeción cada que se monte una cruceta nueva.

Para estas operaciones los principales inconvenientes que noté fue que algunos juegos de herramientas no estaban ensamblados al momento de ser entregados debido a que no se tenían los postes suficientes para todos los platos.

Otro punto importante fue que dichos postes presentaban desgaste en su superficie provocando una diferencia de altura entre los pares de los postes, dicha altura se observó que a veces puede variar milésimas de pulgada entre un poste y el otro. También noté que los barrenos de algunos postes no están completamente perpendiculares a la base donde se ensamblan.

Todo esto resulta en que la barra de sujeción no puede ejercer una fuerza homogénea sobre la cruceta. Esto provoca que a pesar de que este conjunto de herramientas ya se entregue ensamblado por parte del encargado de cambios rápidos se tenga la necesidad de cambiar y probar varios postes.

Por último, para el ajuste de parámetros y corrida de programa se notan errores muy similares que en la máquina *Mazak*, ya que tampoco hay una buena administración de los programas de maquinado, ni un buen entrenamiento por parte de los operadores para manejar estos. Esto se puede observar en la siguiente tabla 6.

PASO No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
VI RETIRAR HERRAMENTALES DE ROBODRILL (BARRENADO DE VENAS)					
1	Se retiran 2 pasadores de sujeción			16	0.27
2	Localizar speedlock de sujeción y llave allen 10mm+		Se dificulta ubicarlos cuando hay mucho material en mesa	7	0.12
3	Se retira base de barrenado del número de parte anterior			8	0.13
4	Llevar base a banco de trabajo			6	0.10
5	Sopletear y limpiar la mesa de sujeción de pieza	Pistola de aire		10	0.17
6	Localizar disco base, postes, barra de sujeción, llaves Allen y tornillos con hombros		Alta probabilidad de mezclar herramientas a montar con herramientas de números de parte anteriores	12	0.20
7	Ensamblar postes y barra de sujeción en disco	Llave allen 3/8	El plato no tenía los postes ya ensamblados previamente	175	2.92
		Llave allen 5/16	El operador comenta que a veces los postes pueden tener diferencia en alturas y eso provoca una sujeción deficiente. Los barrenos de los postes no están bien alineados.		
8	Sopletear mesa de trabajo con pistola de aire hasta eliminar virutas de estrías	Pistola de aire		14	0.23
TOTAL (MINUTOS):					4.13
VII MONTAR BASE EN ROBODRILL (BARRENADO DE VENAS Y 5TO BARRENO)					
1	Localizar speedlock de sujeción y llave allen 10mm+		Se dificulta ubicarlos cuando hay mucho material en mesa	16	0.27
2	Montar disco de sujeción ensamblado en mesa de sujeción de maquina <i>Robodrill</i>	Speedlock		119	1.98
		Llave allen 10mm			
TOTAL (MINUTOS):					2.25
VIII AJUSTE DE PARAMETROS Y CORRIDA DE PRIMER PIEZA EN ROBODRILL (BARRENADO DE VENAS Y 5TO BARRENO)					
1	Colocar la cruceta cuidando asentar la pieza completamente en las 4 bases			19	0.32
2	Colocar tornillo de sujeción de cabeza de mariposa y revisar que la cruceta quedo bien sujeta		¿Se puede automatizar sujeción de cruceta?	25	0.42
3	Cerrar puerta y Verificar que los parámetros son los correctos según la hoja de parámetros			18	0.30
4	Seleccionar el Programa CNC para Maquinado y correr programa.		Los operadores con pocos conocimientos acerca del código de maquinado no se sienten seguros de seleccionar el programa y ajustar parámetros.	159	2.65
5	Desatornillar tornillo de sujeción de cabeza de mariposa y retirar pieza maquinada			22	0.37
TOTAL (MINUTOS):					3.68

Tabla 6. Observación de actividades para desmontar y montar herramientas de máquina Robodrill.

Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Obtención de pieza maquinada y verificación de dimensiones

En el torno CNC *Mazak* además de obtener el diámetro de muñón especificado en el plano del producto, también se deben de obtener las tolerancias geométricas de concentricidad, perpendicularidad y simetría en la cruceta mostradas en el plano de la figura 38, las cuales son

sumamente importante inspeccionar, especialmente porque se ha detectado que frecuentemente no se obtienen estas especificaciones como se mencionó en capítulo de la situación actual.

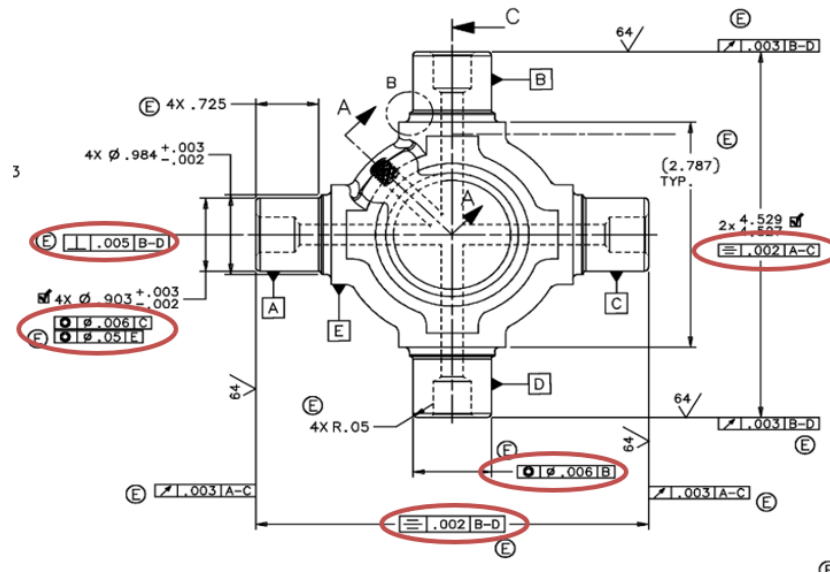


Figura 38. Tolerancias geométricas especificadas en plano del producto. Fuente: Plano de producto “obsoleto”, Federal Mogul.

Como se puede ver en la figura 38, estas tolerancias son muy cerradas, las cuales se encuentran en milésimas de pulgadas, y en una planta automotriz es fundamental cumplir con estas.

Una vez obtenida la pieza maquinada el operador la retira de la máquina como se muestra en la figura 39 y procede a verificar sus dimensiones con ayuda de diversos dispositivos de medición como lo son dispositivo de alturas, calibrador vernier y comparador óptico.



Figura 39. Cruceta maquinada y lista para inspeccionar especificaciones. Fuente: Elaboración propia

Con este último se realizan las mediciones a través de la proyección de la pieza en una pantalla traslúcida, produciendo una ampliación de la misma y permitiendo una medición con la sensibilidad y precisión requerida. Con esto es posible medir las tolerancias geométricas ya mencionadas; en la pantalla se encuentran dos ejes que forman un plano cartesiano X-Y, estos ejes se pueden mover con una manivela en ambas direcciones, y en un display se muestra cuanta distancia recorrieron. De esta

manera se hace un barrido a cada muñón para inspeccionar las características y dimensiones requeridas. Figura 40.



Figura 40. Medición de especificaciones obtenidas en comparador. Fuente: Elaboración propia

La forma de inspeccionar las tolerancias geométricas de simetría, concentricidad y perpendicularidad es midiendo el radio del escalón del muñón que se ve en la parte del plano en la Figura 41, y este radio con la distancia al eje central del diámetro del muñón.

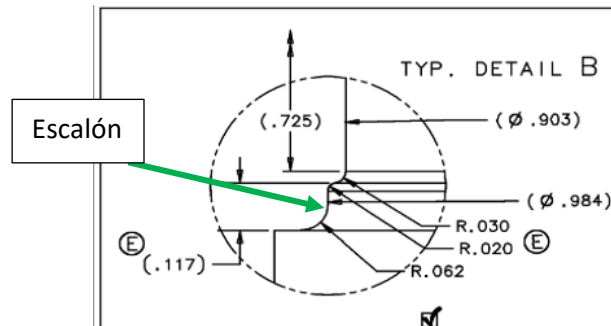


Figura 41. Especificaciones de zona llamada “escalón” en la cruceta. Fuente: Plano de producto “Obsoleto”

A continuación, se muestran los tiempos y detalles de esta operación en la siguiente tabla 7.

PASO No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
IX VERIFICAR DIMENSIONES OBTENIDAS CON INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN					
1	Desplazar a ubicación de los instrumentos de medición			16	0.27
2	Dimensionar la pieza obtenida, siguiendo el procedimiento establecido en la Hoja de Instrucción de Inspección.	Comparador óptico	Se obtienen dimensiones fuera de especificaciones frecuentemente.	175	2.92
		Calibrador de Vernier 0-6" Resolución .000			
		Dispositivo de Alturas			
TOTAL (MINUTOS):					3.18

Tabla 7. Observación de actividades para verificar dimensiones. Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Reajustes

Después de realizar las observaciones en esta etapa, me di cuenta que no se obtenían las especificaciones correctas en la cruceta y en consecuencia se tuvo que ajustar la máquina. Para este caso la manera en que se corrigió esto fue ajustando las bases sobre las que se coloca la cruceta, las cuales son previamente colocadas en el chuck de la máquina como se mencionó anteriormente.

Con la experiencia de los operadores pude guiarme para saber en qué casos era necesario cambiar la base, ya que en algunos casos el proceso para corregir este problema es únicamente colocar calzas debajo de la base. Básicamente estas dos alternativas se rigen bajo lo mostrado en la tabla 8.

Condición	Causa probable	Acción a realizar
Muñones maquinados no quedan perpendiculares entre ellos de acuerdo a tolerancias. (Figura 42)	La base es incorrecta, está asimétrica o presenta problemas de alineación y erosión.	Hacer cambio de base.
Eje central de muñones están fuera de tolerancia geométrica de concentricidad. (Figura 42).		
Se obtienen especificaciones erróneas de simetría, es decir los muñones no son simétricos respecto al cuerpo completo de la cruceta en el eje X. (Figura 42).		
Cuando se obtienen una concentricidad, perpendicularidad y simetría dentro de tolerancias en los 4 muñones, pero estas tolerancias se consiguen con los muñones desfasados únicamente en el eje Y.	Base simétrica y alineada pero no tiene la altura adecuada.	Colocar calzas debajo de la base.

Tabla 8. Condiciones que presentan los herramientales y las acciones que se ejecutan. Fuente: Elaboración propia

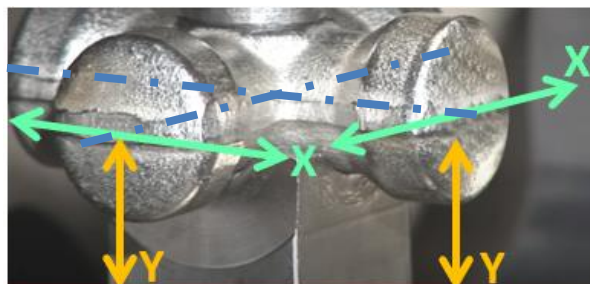


Figura 42. Centramiento de cruceta en base de máquina Mazak. Fuente: Elaboración propia

En el último caso podemos asegurar que las bases están bien alineadas y son simétricas, pero no alcanzan la altura necesaria para que los muñones queden maquinados a la altura correcta en el eje Y (figura 43), esto se puede saber midiendo el escalón del muñón como ya se mencionó antes en el método de medición. De un lado se obtendrá un radio ligeramente más pequeño en el escalón que del otro pero cumpliendo con las condiciones de simetría y perpendicularidad.



Tabla 43. Corrimiento de maquinado en eje "Y". Fuente: Elaboración propia.

El método de colocación de calzas consiste en colocar laminas donde asienta la base con el chuck, de manera que la base pueda aumentar su altura. Estas calzas han sido mandadas a hacer previamente con diferentes espesores en placa de aluminio para poder modular el tamaño necesario para modificar la altura a la que se posiciona la cruceta como se puede ver en la figura 44.

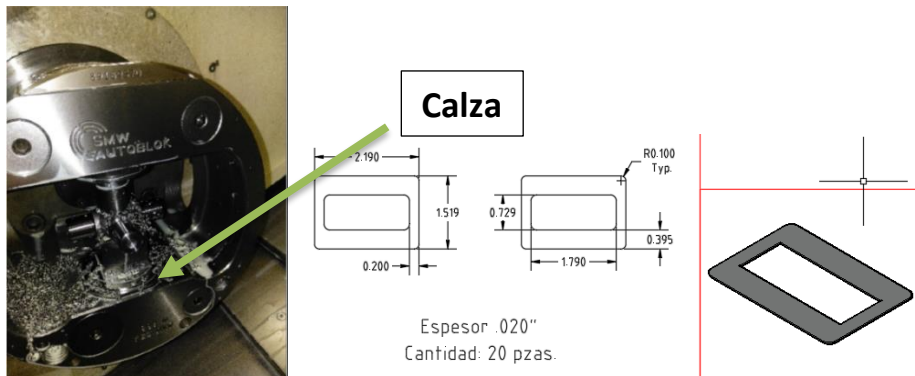


Figura 44. Colocación de calzas en cruceta. Fuente: Elaboración propia

A pesar de esto, observé que es difícil calcular el grosor ideal de la calza y por lo tanto se hace complejo y largo este proceso de ajuste, por lo que este es uno de los principales motivos que se observan para hacer ajustes adicionales y consumir tiempo de set-up.

La recolección de los pasos con su respectivo tiempo para estos ajustes se muestra en la tabla 9. Para el caso que se muestra en este trabajo, el ajuste se hizo una sola vez y este fue suficiente para corregir el problema, pero en otros casos se observó que este ajuste se repitió hasta 3 veces hasta obtener las dimensiones marcadas por el plano, por lo que el tiempo empleado aumentaría de acuerdo al número de veces que no se consiga la configuración adecuada y el desperdicio en piezas malas aumenta.

PASO No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
X AJUSTE DE HERRAMENTALES EN MAZAK POR DIMENSIONES FUERA DE ESPECIFICACIONES					
1	Desplazar a cuarto de cambios rápidos		Desplazamientos innecesarios y largos.	74	1.23
2	Solicitar calzas y esperar a que encargado encuentre calzas		Tiempos de espera en cuarto de cambios rápidos	36	0.60
3	Recibe calzas y desplazar a máquina CNC		Tiempos adicionales no planeados por colocación de calzas.	48	0.80
4	Desatornillar y desmontar base de sujeción	Llave allen 8mm Martillo de goma y cincel	Tiempos adicionales no planeados por colocación de calzas. Golpeo brusco a herramientas.	61	1.02
5	Colocar calzas debajo de la base según las milésimas faltantes para obtener las especificaciones correctas en la cruceta		Tiempos adicionales no planeados por colocación de calzas.	25	0.42
6	Montar y atornillar la Base nuevamente	Llave allen 8mm	Tiempos adicionales no planeados por colocación de calzas.	44	0.73
7	Volver a correr a programa seleccionado		Tiempos adicionales no planeados por colocación de calzas.	178	2.97
TOTAL (MINUTOS):					7.77
XI VERIFICAR DIMENSIONES OBTENIDAS EN MAZAK					
1	Retirar pieza obtenida y desplazar a comparador óptico		Se hizo en los pasos VI. Si se obtuvieran las especificaciones requeridas desde la primera vez no se tendría que medir por segunda vez	21	0.35
2	Dimensionar concentricidad en muñones y revisar que esta tolerancia ya se encuentre dentro de especificaciones	Comparador óptico	Si la pieza esta fuera de especificaciones volver a calibrar con calzas	122	2.03
TOTAL (MINUTOS):					2.38

Tabla 9. Observación de actividades de reajuste de herramientas en máquina Mazak. Fuente: Elaboración propia

3.2.8 Liberación de primer pieza y llenado de registros

Ya que se obtuvo la primera pieza con las dimensiones de acuerdo a las especificaciones del plano es necesario que esta se documente y físicamente se etiquete para ser identificada como la primera pieza maquinada y liberada cumpliendo todos los requisitos de calidad (figura 45). Estas serán inspeccionadas nuevamente, pero esta vez por el inspector de calidad, este es el último filtro para que se asegure la calidad del maquinado en la producción del lote completo de este número de parte.



Figura 45. Primer pieza maquinada correctamente y liberada. Fuente: Elaboración propia

Las piezas con defectos, como las mencionas anteriormente con dimensiones incorrectas, se colocan dentro de un contenedor y se identifica como scrap con una tarjeta roja como se ve en la figura 46.



Figura 46. Scrap o piezas defectuosas. Fuente: Elaboración propia

Una vez que se obtuvieron piezas dentro de especificaciones se comienza a realizar la producción del lote completo del número de parte y todas las crucetas obtenidas se irán acomodando en un contenedor hasta completar la cantidad de piezas solicitadas, este contenedor estará identificado con una tarjeta verde, que significa que esas piezas cumplen con las especificaciones (figura 47).



Figura 47. Piezas dentro de especificaciones identificado con tarjeta verde. Fuente: Elaboración propia

En este paso me di cuenta que las tarjetas son resguardadas por el supervisor, lo que ocasiona que el operador tenga que desplazarse de su lugar cuando necesita estas tarjetas ya que tiene que buscar a este supervisor para hacer la solicitud de dichas tarjetas.

Llenado de Registros

Como ya se ha mencionado, en una empresa que lleva a cabo un sistema de gestión de calidad es necesario documentar diferentes datos, ya que nos ayudan tener un histórico de cómo se trabajó, y poder tener una referencia para poder mejorar.

Es por esto que otra de las responsabilidades del operador una vez liberada su primera pieza es registrar los parámetros con los que la máquina está trabajando establemente, así como las dimensiones obtenidas de su pieza. En la figura 48 se presenta un ejemplo de este registro en donde el operador debe registrar dichos parámetros en la columna “resultado”.

Para los parámetros de la máquina ya se tienen valores establecidos como se ve la Figura 48, pero, estos están dentro de rangos de manera que el operador pueda ajustar estos parámetros como mejor convenga para obtener piezas de calidad, pero siempre respetando los límites establecidos.

Registro de Parametros de Set-Up

PROCESO: MAQUINADO DE CRUCETA MAQUINA: _____ FECHA: _____ TURNO: _____
 NUMERO DE PARTE: _____ NUMERO DE ORDEN: _____ OPERADOR: _____ * FIRMA SUP/ PREP / OPER AA: _____

Parametros	Esepecificación	Resultado
1.- LIMITE DE RPM's DE PROCESO (G50)	S1700-S3000 RPM	
1.- * VELOCIDAD CONSTANTE DE DESBASTE (G98)*	*S460-S1050 RPM	
2. AVANCE (F) DESBASTE	0.004-0.007 INCH/REV	
3.- *VELOCIDAD CONSTANTE DE ACABADO	*S460-S1050 RPM	
4. AVANCE (F) ACABADO	0.003-0.005 INCH/REV	
5. RPM DE BARRENADO	*S1800-S2500 RPM	
6. AVANCE (F) BARRENADO	*0.004-0.007 INCH/REV	

* PLAN DE REACCION IMPLEMENTADO						
FECHA	TURNO	HORA DE FALLA	NUM PARAM	ACCION TOMADA	HORA DE CORRECCION	RESULTADO DE CORRECCION / NUMERO DE DESVIACION
						1. PARAR SET UP 2. CORREGIR SET UP

Figura 48. Registro de parámetros de maquina Mazak. Fuente: Registro "Obsoleto" (Federal Mogul)

Otra de mis labores en esta área fue estudiar, probar y validar dichos rangos de parámetros del proceso de maquinado, de acuerdo a las especificaciones requeridas en el producto, verificando la ficha técnica de insertos, brocas, machuelos, y cualquier herramienta de corte empleada para el proceso de maquinado. Esta información debe estar actualizada, validada y al alcance del personal operativo. Para el proceso de maquinado de cruceta se da seguimiento a los siguientes parámetros.

1. Límite de RPM's para G50 (revoluciones de chuck de torno CNC)
2. Velocidad constante de desbaste
3. Avance de desbaste
4. Velocidad constante de acabado
5. Avance de acabado
6. RPM de barrenado
7. Avance de barrenado

Otro registro importante que tiene que llenar el operador en este paso es el de inspección de proceso donde se registran las primeras dimensiones obtenidas dentro de especificaciones como se muestra en la figura 49.

FEDERAL-MOGUL PARTS									
REPORTE DE INSPECCION EN PROCESO									
MÁQUINA CRICETAS CNC HAZAK (OP-158)									
FECHA REFERENCIAL: 12-10-17									
MAGDALENA: 25-05									
LINEA 436 C4	OPERACION	FECHA	HORA	RELOJ	FINAL				
		12-10-17	14:50	15:50	16:00				
No. O. P. 5 3 1 3 0 9	1. DIMENSIONES DEL BLOQUE	RESULTADO	1670	1669	1673	1669	1673	1669	1674
	2. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	6670	6670	6673	6673	6674	6679	6674
	3. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	6670	6672	6673	6671	6680	6677	6674
	4. DISTANCIA ENTRE MARCAS	RESULTADO	6670	6673	6673	6673	6677	6677	6674
5. DIMENSIONES DEL BLOQUE	RESULTADO	689	690	690	695	695	690	690	690
6. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	7238	7236	7240	7240	7230	7238	7238	7238
7. DISTANCIA ENTRE MARCAS	RESULTADO	956	959	958	959	957	956	956	956
8. ANGULO EN GRADOS DEL BLOQUE	RESULTADO	16° 3'	15° 41'	15° 37'	15° 11'	16° 21'	15° 30'	15° 30'	15° 36'
9. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	1556	1690	1544	1658	1530	1736	1536	1736
10. DISTANCIA ENTRE MARCAS	RESULTADO	2189	2189	2185	2189	2188	2189	2189	2189
11. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
12. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
13. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
14. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	SIN MARCA	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
15. AJUSTE DE LAS CANTAS	RESULTADO	20.81	20.85	19.43	21.28	20.64	21.33	20.86	20.86
16. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
17. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
18. DISTANCIA ENTRE MARCAS DE ESCALERA	RESULTADO	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

Figura 49 Reporte de inspección de proceso. Fuente: Reporte “Obsoleto” (Federal Mogul)

A continuación, en la tabla 10 se describen estas operaciones y con esto se termina el proceso de set-up. Al sumar todos los tiempos de los subgrupos de actividades que se fueron presentando y forman parte de los ajustes con la máquina detenida se obtiene un tiempo total de Set-up de 51.95 minutos o 51 minutos con 57 segundos.

PASO No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
XII LIBERACIÓN DE PRIMERA PIEZA Y LLENADO DE REGISTROS					
1	Una vez obtenidas dimensiones dentro de especificaciones anotar datos en etiqueta verde calidad.			22	0.37
2	Colocar etiqueta a primer pieza liberada y ponerla a disposición de inspector de calidad, poner en contenedor de SCRAP piezas fuera de especificaciones con tarjeta roja de identificación.		En algunos casos se notó que el operador se tiene que transportar con el supervisor a conseguir tarjetas de identificación de material y pierde tiempo en esta actividad.	17	0.28
3	Llenar registros de parámetros y de inspección de proceso		Algunos operadores llenan registros con la maquina trabajando y otros con la máquina detenida	36	0.60
4	Colocar pieza correcta en contenedor metálico y seguir con la operación de forma continua			8	0.13
TOTAL (MINUTOS):				1.38	
TIEMPO TOTAL DE SET-UP (MINUTOS):				51.95	

Tabla 10. Observación de actividades para la liberación de primer pieza y llenado de registros. Fuente:

Elaboración propia

3.2.9 Paro de máquina y reajuste

A pesar de que muchas veces ya se han obtenido las especificaciones correctas en las piezas y ya se ha comenzado con la producción de forma normal, me di cuenta que la máquina *Robodrill* (Operación de barrenado) tiene que ser detenida y ajustada debido a que el operador percibe que la broca ya no tiene filo al ver que se comienza a producir mucha rebaba.

Cuando es necesario un cambio de broca por desgaste, se retira el cabezal que sujeta la broca para posteriormente colocarlo en un dispositivo que sujeta este cabezal y con ayuda de una llave de nariz se afloja la boquilla para retirar la broca desgastada y colocar la broca nueva. (Figura 50)



Figura 50. Proceso de cambio de broca de máquina Robodrill. Fuente: Elaboración propia

Se vuelve a montar el cono porta herramienta, y ya que no se tiene un método para asegurar la broca en la misma altura que la que se retiró, es fundamental que el programa quede ajustado con esta nueva altura, así sean milésimas de pulgada las que varían. Por lo tanto, se tiene que buscar **0 pieza** en la máquina CNC y compensar la diferencia que pudiera existir.

Con las observaciones que hice me di cuenta que este cambio de broca se hace aproximadamente de 1 hasta 5 veces a la semana en las brocas de mayor uso, pero no se tiene un dato exacto de la vida útil de las brocas para poder tener una mejor planeación en su cambio.

Ya que estas actividades también conciernen al ajuste de máquina y afectan a los tiempos de producción contemplados, documenté el proceso en un caso donde se requirió hacer este cambio de broca y se muestra en la tabla 11.

PAS O No.	Descripción de la operación	Herramienta	Observaciones y comentarios.	TIEMPO ACTIV. SEG.	TIEMPO ACTIV. MIN.
XIII RETIRAR CONO PORTA HERRAMIENTA DE MÁQUINA ROBODRILL POR DESGASTE DE BROCA					
1	El operador percibe rebabas y acabado superficial deficiente en piezas barrenadas y solicita a encargado hacer cambio de broca		Este cambio de brocas se hace de 1 a 2 veces por semana.	25	0.42
2	Se detiene máquina y se selecciona el porta herramienta correspondiente a la broca a cambiar y se posiciona para realizar cambio		No se tiene un dato exacto de la vida útil de las brocas.	15	0.25
3	Se retira cono porta herramienta de broca		Se consumen tiempos largos en el cambio de broca no planeada	9	0.15
TOTAL (MINUTOS):					0.82

XIV CONSEGUIR BROCA NUEVA Y REALIZAR EL CAMBIO EN CONO					
4	Desplazar al área de cambios rápidos		¿Se pueden tener porta herramientas con brocas listas fuera de la máquina?	58	0.97
5	Solicitar cambio de broca y entregar cono con broca desgastada			10	0.17
6	Espera a que encargado de cambios rápidos encuentre llave y broca			65	1.08
7	Insertar y sujetar cono con sujetador de herramientas	Dispositivo para sujetar cabezal		16	0.27
8	Retirar tuerca y boquilla de cono de sujeción con llave de gancho ER32	Llave de gancho/nariz ER32		25	0.42
9	Retirar broca desgastada y colocar broca nueva manualmente			22	0.37
10	Apretar tuerca con llave ER32 y retirar cono de sujetador			28	0.47
11	Operador recibe cono con broca nueva y se desplaza a célula de trabajo de maquinado	Llave de gancho/nariz ER32		48	0.80
TOTAL (MINUTOS):				6.17	
XV MONTAR CONO CON BROCA NUEVA EN <i>ROBODRILL</i>					
1	Montar cono porta herramienta en máquina CNC			34	0.57
2	Colocar la cruceta cuidando asentar la pieza completamente en las 4 bases			12	0.20
3	Colocar tornillo de sujeción de cabeza de mariposa y revisar que la cruceta quedo bien sujeta		¿Se puede automatizar sujeción de cruceta?	19	0.32
4	Cerrar puerta y Verificar que los parámetros son los correctos según la hoja de parámetros			18	0.30
5	Se busca 0 pieza y se revisa y/o compensa en programa diferencia que pudiera existir por cambio de broca y se manda a HOME torreta		Adquirir sistema para estandarizar altura de brocas	125	2.08
6	Se revisa movimiento de herramientas línea por línea de código para verificar que no exista colisión			57	0.95
7	Seleccionar el Programa CNC para Maquinado y correr programa.			52	0.87
TOTAL (MINUTOS):				5.28	
XVI VERIFICAR DIMENSIONES OBTENIDAS EN <i>ROBODRILL</i>					
1	Desatornillar tornillo de sujeción de cabeza de mariposa y retirar pieza maquinada		Esta operación se pudo haber hecho una sola vez (En el grupo de pasos XI)	24	0.40
2	Ubicar calibrador y dimensionar diámetro de barrenos de pieza maquinada y profundidad	Calibrador de Vernier 0-6" Resolución .000	Esta operación se pudo haber hecho una sola vez (En el grupo de pasos XI)	43	0.72
	Seguir con proceso de maquinado para lote completo de forma continua			0	0.00
TOTAL (MINUTOS):				1.12	
TIEMPO TOTAL DE AJUSTE POR CAMBIO DE BROCA (MINUTOS):				13.38	

Tabla 11. Observación de actividades de cambio de broca en máquina Robodrill. Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que para los casos que documenté, solo se presentó este reajuste con la máquina ya corriendo y produciendo continuamente el lote de piezas en la máquina *Robodrill*, pero también recopilé comentarios del personal operativo acerca de este mismo problema en la máquina *Mazak*.

Como se puede ver en la figura 51, existe la posibilidad de que el acabado superficial en el muñón no se obtenga con la rugosidad requerida en el plano del producto, por lo que igualmente se tendría que parar la máquina y cambiar el inserto de corte.



Figura 51. Muñón con mal acabado por inserto desgastado. Fuente: Elaboración propia

Estas últimas operaciones de reajuste de broca se suman a los tiempos totales que ya se habían obtenido antes de que se tuviera que parar la máquina por el último reajuste. Por lo que finalmente se obtiene un tiempo de 65.33 minutos o 65 minutos con 20 segundos.

El tiempo contemplado por el área de planeación de la empresa para la operación de set-up es de 35 minutos, por lo que el porcentaje de variación que se obtiene respecto al tiempo real documentado es de 46%.

TIEMPO TOTAL CON CAMBIO DE BROCA (MINUTOS):	65.33
TIEMPO CONTEMPLADO (MINUTOS):	35.00
PORCENTAJE DE VARIACIÓN:	46%

3.3 Analizar actividades y tiempos observados

3.3.1 Tiempo promedio

Como se vio en la fase de observación, el promedio de tiempo total que se obtuvo fue de 65.33 minutos, es decir 30.33 más de minutos del tiempo contemplado por el área de logística y planeación.

Esta misma medición la hice 12 veces basándome de la tabla de Westinghouse como ya se mencionó, posteriormente la grafiqué y comparé con el tiempo contemplado por parte del equipo de logística destinado para esta operación. Cabe mencionar que en algunos casos se tuvieron tiempos adecuados respecto a lo que se tiene contemplado, pero confiarnos de que el proceso siempre se comportará de esta forma sería un error.

Como se puede ver se la figura 52, estos tiempos son muy variables y con base en la hoja de observación de actividades se puede hacer la hipótesis que estas grandes variaciones se pueden dar debido a la cantidad de ajustes indefinidos que a veces se tienen que hacer. El tiempo actual en promedio para hacer un set-up fue de 56 minutos. Ya con estos tiempos registrados podemos ver que si nos proponemos una reducción en el tiempo de set-up de 30%, podríamos obtener tiempos de 39 minutos aproximadamente. Aunque este tiempo aun no es el que tiene contemplado el área de planeación (35 minutos), es un tiempo muy cercano a este y, sobre todo, es alcanzable y viable.

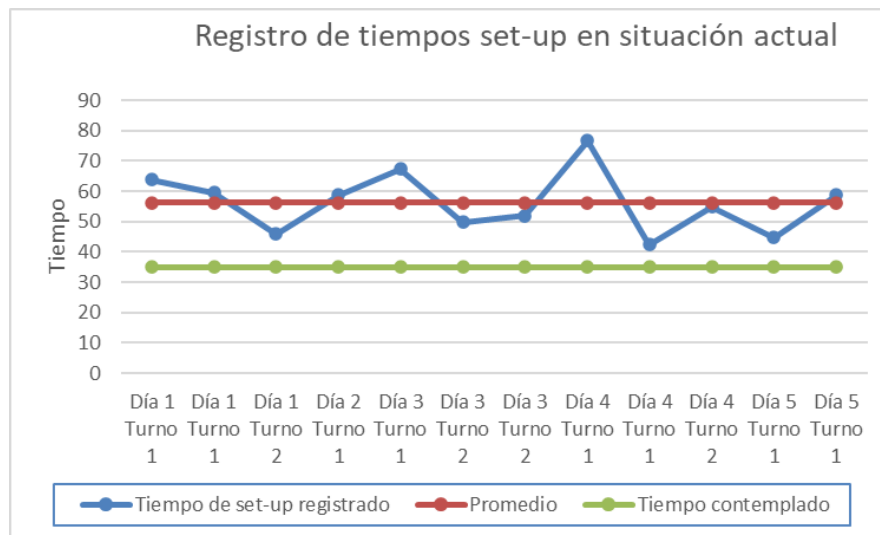


Figura 52. Histograma de tiempos registrados, tiempo promedio, y tiempo contemplado en proceso de set-up. Fuente: Elaboración propia

3.3.2 Diagrama de flujo

Como se ha visto en los antecedentes teóricos, un diagrama de flujo puede ser una herramienta útil para analizar los pasos de un proceso de forma general. Para esto hice uno, el cual se puede ver en la figura 53. En este represento los pasos que se hicieron de manera lineal en las operaciones documentadas en este trabajo y posteriormente en la figura 54 represente este mismo diagrama con las posibles iteraciones indefinidas que el actual proceso de set-up puede tener al hacer los reajustes no planeados que igual se vieron en la fase de observación.

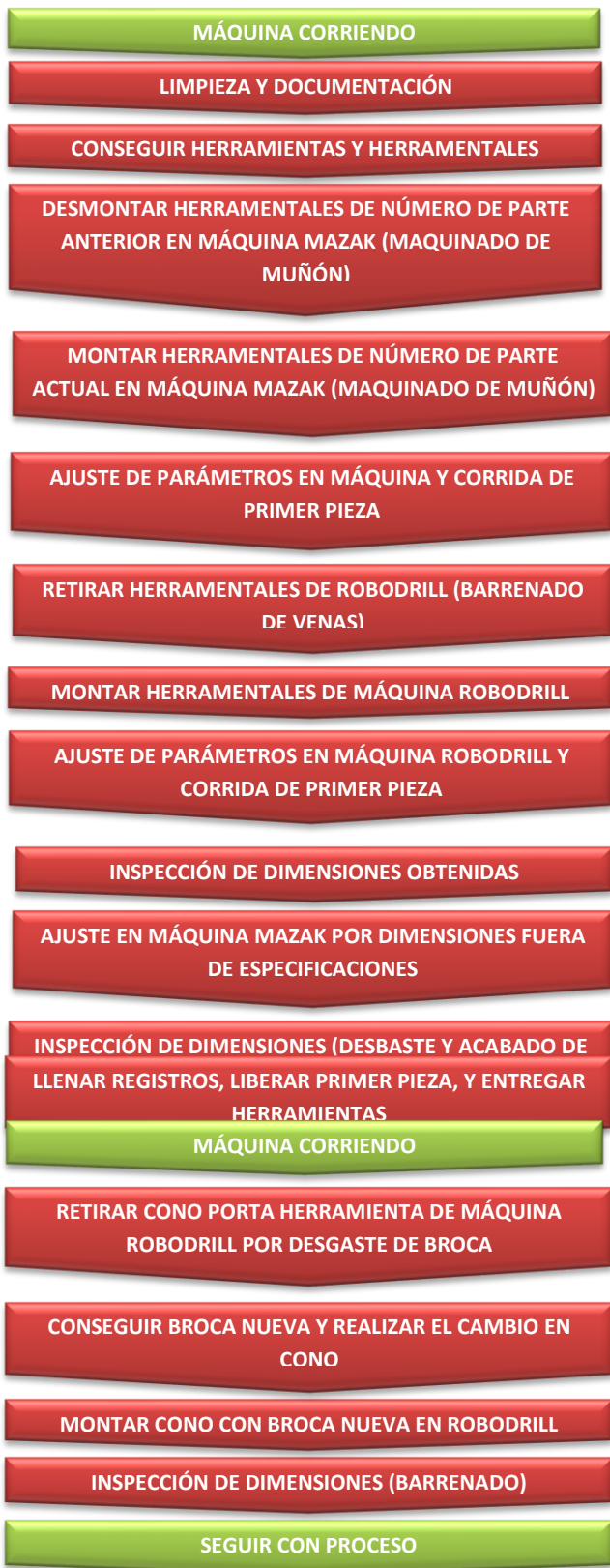


Figura 53. Diagrama de flujo de actividades que se hacen mientras la máquina está trabajando.
Fuente: Elaboración propia



Figura 54. Secuencia de actividades que se hacen mientras la máquina está trabajando.
Fuente: Elaboración propia

3.3.3 Analizar mejoras para externalizar, eliminar o reducir actividades observadas

Después de analizar los pasos en los que se presentaron más tiempos de espera y dificultades para que el operador realizara la configuración de su máquina, se analizaron las causas raíces de estos problemas y las acciones que se implementarían para su solución. En este paso se volvió hacer uso de la técnica de 5 why's para la investigación de los problemas que surgieron, y las acciones correctivas a las que llegué junto con el equipo de Ingeniería de procesos se muestra en la tabla 12.

Siguiendo la metodología SMED, analicé las mejoras que podrían eliminar las actividades que le consumen tiempo al operador o bien, mejoras que permitieran al operador hacer estas actividades mientras la máquina está corriendo, es decir externalizarlas.

Por otro lado, esta metodología nos dice que las actividades que no se pueden eliminar o externalizar, se intenten reducir a través de mejoras como estandarización, cambios de ingeniería, capacitaciones, administración visual, 5S's y cualquier técnica que contribuya a ser más eficiente la operación, por lo tanto, también incluí mejoras de este tipo.

Para esta fase me fue muy útil la participación del equipo definido al principio del proyecto, ya que a través de los comentarios de las personas involucradas en el proceso pude desarrollar diferentes ideas. Posteriormente ordené y analicé la viabilidad de estas ideas.

En la tabla 12 se propone el reto de mejora para cada operación, ya sea eliminar la actividad, externalizarla o reducirla, así como la descripción de la posible mejora para lograr dicho reto. Dichas mejoras las identifiqué con colores de acuerdo a la clasificación de la figura 55.

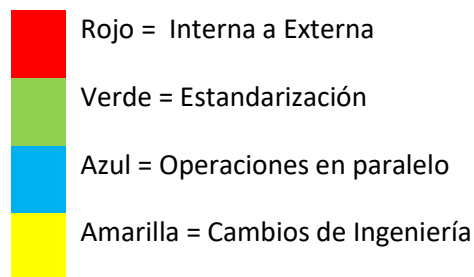


Figura 55. Clasificación del tipo de mejora a aplicar. Fuente: Elaboración propia

PASO NO.	Observaciones / Problema	CAUSA RAÍZ	RETO DE MEJORA			DESCRIPCIÓN DE LA MEJORA
			Elimin. Activid.	Extern. Activid.	Reducir Activid.	
I LIMPIEZA Y DOCUMENTACIÓN						
1	Se invierten alrededor de 2 minutos en llenar registros, reportes y hojas de inspección	No se ha estandarizado un proceso que indique el momento en el que se deben llenar registros y formatos.		Ext.		Hacer instrucciones estándar y dar retro alimentación a los operadores sobre el impacto que causa llenar registros en el tiempo destinado a configurar la máquina.
II CONSEGUIR HERRAMIENTAS Y HERRAMIENTALES NECESARIOS PARA EL NUEVO NÚMERO DE PARTE						
1	El operador consume largos tiempos en el desplazamiento al área de cambios rápidos, así como en la solicitud y recepción de herramientas y herramientas	El área de cambios rápidos (donde se encuentran las herramientas) se encuentra lejos del área de maquinado CNC (donde se hace el proceso de set-up)	Elim.			Implementar mueble con herramientas y herramientas de mayor uso en la estación de trabajo CNC para eliminar desplazamientos
					Red.	Reubicar cuarto de cambios rápidos a un lugar más cercano a la estación de trabajo CNC.
		El operador tiene que esperar a la búsqueda y preparación de sus herramientas y herramientas		Ext.		Solicitar herramientas y herramientas antes de parar máquina.
			Elim.			Asignar esta operación al supervisor o encargado del proceso de maquinado CNC.
	El área de cambios rápidos carece de orden, administración e identificación en los herramientas y herramientas.			Red.	Proporcionar un inventario actualizado al encargado de cambios rápidos	
				Red.	Aplicar 5's y administración visual en el área de cambios rápidos.	
III DESMONTAR BASES, MORDAZAS E INSERTO CORRESPONDIENTE A NÚMERO DE PARTE ANTERIOR EN MAZAK						
1	Algunos operadores tienen inconvenientes para retirar bases o mordazas y tienen que golpearlas consumiendo más tiempo y dañando herramientas	Algunas mordazas presentan fuerzas de aprietes altas en el ensamble con las muescas del chuck de la máquina CNC debido a que estas erosionadas o no están controladas las tolerancias dimensionales de estas.			Red.	Seleccionar herramientas que se dificulte su ensamble y desecharlos
					Red.	Rediseñar y refabricar mordazas con ajustes que tengan un deslizamiento fácil al momento de ser desmontados y que sean más resistentes al trabajo al que se cometen.
IV MONTAR BASES MORDAZAS E INSERTO DE NÚMERO DE PARTE ACTUAL EN MAZAK (MAQUINADO DE MUÑÓN)						
1	El operador presenta dudas sobre el inserto a solicitar y montar en procesos de desbaste y acabado de muñón	Los insertos para el proceso de desbaste y acabado son muy parecidos y no se tienen controles suficientes para identificar cada uno.			Red.	Implementar ayudas visuales o layouts sobre los herramientas y accesorios de cada proceso de maquinado
2	El operador pierde o mezcla con facilidad tornillos y accesorios en el momento que ajusta herramientas, lo que ocasiona que pierda tiempo en buscarlos	No se tiene un lugar adecuado para separar y evitar mezclar accesorios en el proceso de ensamble de mordazas			Red.	Estandarizar mesa de trabajo para preparar y montar herramientas asignando un lugar fijo para cada objeto
V AJUSTE DE PARAMETROS Y CORRIDA DE PRIMER PIEZA EN MAZAK (MAQUINADO DE MUÑÓN)						
1	Los operadores menos experimentados tienen dudas para ajustar código o parámetros y tienen que esperar a que se les auxilie	No hay una buena capacitación y entendimiento en los operadores acerca de los comandos básicos de los códigos de maquinado CNC			Red.	Implementar descripciones documentadas de cada comando de los programas de maquinado
					Red.	Mejorar Planes de capacitación a personal operativo

2	Existe más de un solo código de maquinado para algunos números de parte y algunos operadores tardan en averiguar cuál es el correcto	No se tiene administración de códigos de maquinado en las maquinas CNC			Red.	Eliminar códigos obsoletos e implementar proceso para administración de programas y subprogramas actualizados.
VI RETIRAR HERRAMENTALES DE ROBODRILL (BARRENADO DE VENAS)						
1	El operador invierte tiempos variables en ensamblar plato con postes.	Algunos platos no tienen todos sus accesorios completos.			Red.	Definir accesorios faltantes y mandarlos a fabricar
		No se le ha estandarizado el pre ensamble de estos herramientas por parte del área de cambios rápidos		Ext.		Externar actividad de ensamble de postes con plato.
2	Algunos postes están más altos que otros, lo que genera una sujeción deficiente y ajustes extra	No se tiene control sobre las dimensiones en los postes.	Elim.			Desechar postes fuera de especificaciones y mandar a fabricar postes faltantes controlando sus dimensiones en el diseño para que sean funcionales
VII MONTAR BASE EN ROBODRILL (BARRENADO DE VENAS Y 5TO BARRENO)						
1	Se pierde tiempo en volver a localizar speedlock de sujeción y llave allen 10mm	Es difícil ubicar accesorios mezclados con otros objetos.			Red.	Estandarizar mesa de trabajo para preparar y montar herramientas asignando un lugar fijo para cada objeto
VIII AJUSTE DE PARAMETROS Y CORRIDA DE PRIMER PIEZA EN ROBODRILL (BARRENADO DE VENAS Y 5TO BARRENO)						
1	El operador no comprende todos los comandos del programa de maquinado	No existen instrucciones documentadas para entender comandos básicos.			Red.	Implementar descripciones documentadas de cada comando de los programas de maquinado
		No se han hecho capacitaciones efectivas sobre los programas de maquinado CNC			Red.	Hacer planes de capacitación para operadores acerca de comandos básicos de programas CNC
IX VERIFICAR DIMENSIONES OBTENIDAS CON INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN						
1	Sin problemas mayores	No Aplica				No Aplica
X AJUSTE DE HERRAMENTALES EN MAZAK POR DIMENSIONES FUERA DE ESPECIFICACIONES						
1	Las piezas maquinadas están fuera de especificaciones por lo que el operador tiene que parar máquina y colocar calzas debajo del herramental	La mordaza que hace función de base para la cruceta presenta fracturas o no tiene las dimensiones y geometrías exactas para centrar correctamente la cruceta en el torno	Elim.			Seleccionar y desechar herramientas obsoletos
			Elim.			Diseñar y fabricar mordazas que aseguren que la pieza estará dentro de tolerancias sin la necesidad de usar calzas, además de que sean resistentes.
2	El operador pierde tiempo en desplazarse a conseguir calzas	Las calzas se encuentran en el área de cambios rápidos			Red.	Colocar calzas de diferentes calibres en la estación de trabajo y reubicar cuarto de cambios rápidos.
XI VERIFICAR DIMENSIONES OBTENIDAS EN MAZAK						
1	Debido al problema anterior se tiene que volver a repetir este paso que ya se hizo previamente.	La misma causa de la sección X-1	Elim.			Se puede resolver con la mejora de la sección X-1
XII LLENADO DE REGISTROS Y LIBERACIÓN DE PRIMERA PIEZA						
1	Algunos operadores llenan registros y reportes con la maquina detenida	No se han estandarizado actividades externas e internas		Ext.		Estandarizar esta operación para que se haga mientras la maquina está trabajando. (Externar actividad)

2	El operador pierde tiempo en conseguir tarjetas para identificar su material.	Las tarjetas de identificación las tiene el supervisor o no se encuentran algunas veces en la estación de trabajo.	Elim.			Ubicar tarjetas de identificación en la estación de trabajo cerca del operador.
FINAL DE SET-UP Y EMPEZAR CON LA PRODUCCIÓN DEL LOTE COMPLETO						
Se necesita parar máquina y cambiar broca por desgaste						
XIII RETIRAR CONO PORTA HERRAMIENTA DE MÁQUINA ROBODRILL POR DESGASTE DE BROCA						
1	Se tiene que parar la máquina debido a que se perciben rebabas grandes en la pieza y un maquinado con mucha rugosidad en la pieza	No se sabía la vida útil de la broca y se terminó su filo mientras se estaba procesando el lote de producción	Elim.			Analizar vida útil de las brocas y planear su cambio en el proceso de set-up.
XIV CONSEGUIR BROCA NUEVA Y REALIZAR EL CAMBIO EN CONO						
1	El operador se tiene que volver a desplazar al área de cambios rápidos a conseguir una broca nueva	Las brocas nuevas están en el área de cambios rápidos, así como los instrumentos para sujetar y aflojar las boquillas del cabezal.		Ext.		Tener cabezales preparados con la broca correspondiente en la estación de trabajo CNC
					Red.	Reubicar cuarto de cambios rápidos
2	El operador tarda más de 2 minutos en solicitar la broca a cambiar y esperar a que se le cambie y ajuste en el cabezal.	Se tiene que sujetar el cabezal en dispositivo de prensa y aflojar tuercas de cabezal manualmente		Ext.		Externar esta actividad solicitando y preparando previamente cabezal con broca nueva.
		El encargado de cambios rápidos tarda en ubicar brocas y herramienta necesaria para hacer el cambio de broca			Red.	Ordenar herramienta y brocas en área de cambios rápidos y hacer administración visual.
XV MONTAR CONO CON BROCA NUEVA EN ROBODRILL						
1	Se pierde tiempo en volver a montar cabezal		Elim.			Se pueden evitar estas actividades si se aplican mejoras de la sección XIII y XIV
2	Se pierde tiempo en buscar el "cero pieza" para compensar la diferencia de alturas entre las 2 brocas intercambiadas		Elim.			
XVI VERIFICAR DIMENSIONES OBTENIDAS EN ROBODRILL						
1	Desatornillar tornillo de sujeción de cabeza de mariposa y retirar pieza maquinada		Elim.			Se pueden evitar estas actividades si se aplican mejoras de la sección XIII y XIV
2	Ubicar calibrador y dimensionar diámetro de barrenos de pieza maquinada y profundidad		Elim.			
Seguir con proceso de maquinado para lote completo de forma continua						

Tabla 12. Análisis de causa raíz de problemas vistos en el proceso de set-up y propuesta de mejoras. Fuente: Elaboración propia

Capítulo 4. Resultados.

Como resultado de la búsqueda de causa raíz del problema y la aplicación de la metodología SMED se pudieron realizar mejoras en el proceso de una forma ordenada, efectiva y sobre todo con los menores costos de inversión.

A continuación, se describe el desarrollo de las mejoras establecidas en la sección anterior. El análisis hecho me ayudo a dar visibilidad de las mejoras que eliminan directamente alguno de los 7+1 desperdicios y que son más fáciles de aplicar y sin requerir grandes gastos. Después continué con las mejoras que convierten en externas las actividades internas, y por último describo las mejoras que se hicieron para mejorar las actividades que no se pueden ni eliminar ni externalizar, o bien aquellas que son a largo plazo y requieren un poco más de inversión.

Igualmente, en este trabajo muestro los resultados de las mejoras a mediano plazo, pero también mejoras que se tienen que seguir evaluando, ya que para implementar algunos cambios permanentes se requiere probar y a veces volver a mejorar, por lo que algunos proyectos son pensados para largo plazo, sin embargo, presentaré las actividades en las que participé para poner las bases de dichos proyectos.

Por otra parte, hay mejoras propuestas que se pondrán en espera, ya que estas no impactarían de manera significativa al ahorro de tiempos y elevaría la inversión inicial como, por ejemplo:

- Pistola neumática para desatornillar mordazas.
- Mecanismo de sujeción automático en *Robodrill*
- Sistema para automatizar posición de brocas repetidamente

4.1 Externar proceso de llenado y revisión de documentación

Esta actividad a pesar de que se realiza correctamente tuvo que buscar la manera de evitar que se hiciera mientras la máquina esta parada. Para este se hizo una reunión con el personal operativo donde yo junto con mi equipo de liderazgo informamos el impacto que causa el tomar tiempo de set-up para llenar registros con el fin de aumentar la conciencia en la gente acerca de estas acciones. Con esta simple platica aprendí que si las personas entienden la criticidad de sus acciones y el impacto que tiene sobre el proceso es más fácil que hagan buenas prácticas.

Para tener un control de las personas que recibieron las instrucciones de este estándar se registran las personas que asistieron a reunión informativa en un formato como el de la figura 56.

FEDERAL-MOGLUL Registro de capacitación "Nombre de Línea"

Nombre del empleado: _____ Número: _____
 Maquina/Proceso: _____ Fecha: _____

a) Indicar motivo de la capacitación:

Nuevo Ingreso Transferencia de Línea Transferencia de Proceso / Máquina Otro *Especificar

b) Favor de colocar una X si recibió capacitación en los siguientes conceptos:

	Capacitación			Hrs de Capacitación
	SI	No	NR	
1 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
2 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
3 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
4 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
5 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
6 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
7 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
8 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
9 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
10 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
11 _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
12 Prácticas capacitación en proceso / maquina	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	40

Figura 56. Registro de capacitación para cambiar proceso. Fuente: Federal Mogul

Posteriormente este proceso se documentará y se pondrá a la vista de cualquier operador de modo que se convierta en un estándar.

4.2 Externar y eliminar solicitud y búsqueda de herramientas

Para externar la solicitud de herramientas implementé un vale de salida (figura 57), en el cual se especifica el material que se solicita con su fecha de devolución, turno, nombre de quién lo solicita, y firma. Con esto se busca llevar un mayor control de materiales que salen del cuarto de cambios rápidos, pero sobre todo se eliminan las esperas para recibir estos materiales ya que este vale se entrega con anticipación al encargado de cambios rápidos y él puede ir preajustado los herramientas que se requieran y tenerlos listos para su entrega en cuanto se empieza el proceso de set-up.

FEDERAL-MOGUL MOTORPARTS **CONTROL DE SET-UP**
INGENIERÍA DE PROCESOS

Solicitado por: _____
 Turno: _____
 Supervisor: _____
 Línea o No. de Torno Baird: _____

Identificación	Descripción	Motivo	Fecha de devolución

Firma de quien solicita el equipo de Set-Up

NOTA: Verificar que el equipo, se entregue en condiciones adecuadas, sino es así no destruir el vale

Figura 57. Vale de salida de herramientas y herramienta. Fuente: Federal Mogul

Por otro lado, con el fin de que el operador no tenga que trasladarse hasta el cuarto de cambios rápidos, se hace un cambio en el proceso y se asigna al supervisor o encargado de turno la responsabilidad de entregar dicho vale antes de que se pare la máquina.

Los resultados de esta mejora son que se eliminan los tiempos para solicitar y buscar herramientas mientras la máquina está parada, se aprovecha el tiempo del encargado de cambios rápidos para hacer la preparación de herramientas y por lo tanto se disminuye el tiempo de la máquina detenida como se muestra en el diagrama de la figura 58.

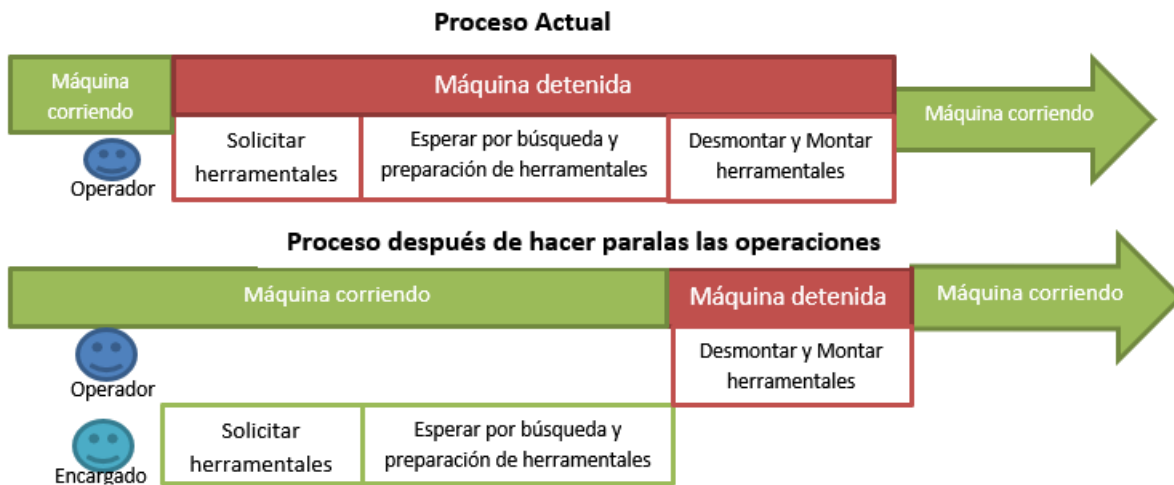


Figura 58. Proceso actual vs proceso después de la mejora. Fuente: Elaboración propia

4.3 Eliminar preparación de herramientas

4.3.1 Cabezales con brocas

Otra acción que dio resultado después de analizar el tiempo perdido en los cambios de broca fue eliminar el tiempo que el operador usa para solicitar al encargado de cambios rápidos el cambio de broca en su cabezal y también eliminar la espera que hace en el proceso de este cambio, para esto establecí un proceso para que este cabezal estuviera ya preparado con la broca correspondiente.

Para esto hice uso de unas plataformas con orificios que se tenían sin ningún uso en la planta y coloqué los cabezales de brocas en dichos orificios, estas plataformas serían colocadas cerca de la máquina al alcance del operador para que este solo tuviera que desmontar el cabezal con la broca usada y montar el cabezal con la broca nueva y preparada (figura 59).

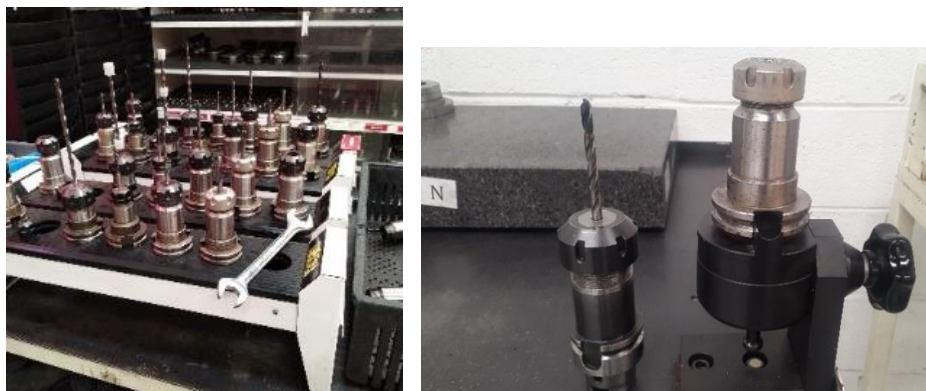


Figura 59. Cabezales con broca preparadas previamente. Fuente: Elaboración propia

Para lograr esto se le dio la responsabilidad al encargado de cambios rápidos de preparar este conjunto de cabezales previamente, de modo que el operador no tuviera que solicitar y esperar este cambio y solo tuviera que acudir al cuarto de cambios para intercambiar la plataforma completa una vez que se agotaran los cabezales con brocas nuevas. Por lo que se pretende que esto suceda una vez cada quince días, debido a que las brocas con mayor uso se necesitan cambiar cada semana.

En estas plataformas organicé los 7 cabezales con su respectiva broca de mayor uso en el proceso de barrenado, estos se pueden ver en la tabla 13.

No. Herramienta - Proceso	Tipo de broca o machuelo
TOOL 1 - BARRENADO PASADO 1/4" 10XD	BROCA DE CARBURO 1/4" 10 XD 2 FL
TOOL 2 - BARRENADO 3/4"	BROCA DE CARBURO 3/4"
TOOL 3 - BARRENADO 1/2"	BROCA DE CARBURO 1/2" 10 XD 2 FL
TOOL 4 - BARRENADO 5/16"	BROCA DE CARBURO 5/16"
TOOL 18 - BARRENADO 7/32" 10XD	BROCA DE CARBURO 7/32" 10 XD 2 FL
TOOL 19 - BARRENADO 1/4" 5XD	BROCA DE CARBURO 1/4" 5XD 3FL
TOOL 20 - BARRENADO 17/64" 20XD	BROCA 17/64" 20XD 2FL

Tabla 13. Brocas de mayor uso en el proceso de barrenado de cruceta. Fuente: Elaboración propia

En este proceso las brocas de 7/16" y 17/64" 10XD también son usadas, pero su demanda es muy mínima, (1 vez al mes aproximadamente), es por eso que decidí no incluir estas medidas en este

conjunto de cabezales mencionados, ya que la plataforma solo tiene capacidad para 7 cabezales y estas 2 medidas mencionadas no afectarían el objetivo eliminar los tiempos de solicitar y esperar por cambio de brocas al menos cada quince días.

Cabe mencionar que con los cabezales existentes en ese momento solo pude establecer este proceso para una sola estación de trabajo, pero se pretende cubrir las otras 2 estaciones y hacer la compra de más cabezales si este proceso funciona correctamente en la estación donde se prueba esta mejora.

4.3.2 Platos con postes de máquina Robodrill

Por otro lado, estandaricé también la preparación de los herramientales de sujeción de la máquina Robodrill los cuales se muestran en la figura 60, estos eran necesarios que estuvieran ya ensamblados con los postes y la barra de sujeción lista solo para ser apretada.

Me di cuenta que esta actividad ya estaba establecida para ser hecha por el encargado de cambios rápidos, pero ya que no había postes y barras de sujeción suficientes para todos los números de parte, el encargado no podía tener juegos completos y listos para ser usados.

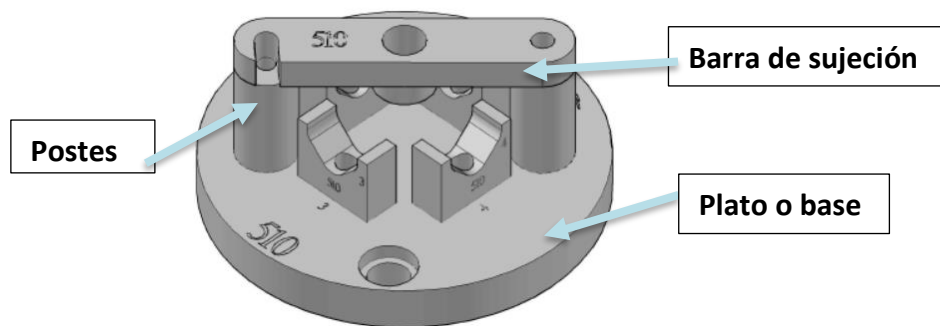


Figura 60. Base de máquina Robodrill con postes y barra de sujeción ensamblada. Fuente: Elaboración propia

Para esto hice un inventario de los postes y barras de sujeción existentes, y mandé a fabricar los faltantes. Como se vio en la fase de observación, algunos pares de postes eran diferentes entre sí en su altura por milésimas de pulgada, o bien los barrenos del poste no eran completamente perpendiculares a la superficie donde se ensamblaría.

Es por eso que diseñé un plano donde controlé las tolerancias dimensionales importantes como es la altura y las tolerancias geométricas como son la planicidad, perpendicularidad y paralelismo como se puede ver en la figura 61, además de que incluí la especificación de un material resistente como los es el acero 4140, con el fin de evitar una erosión en la pieza y esto provoque variaciones de alturas.

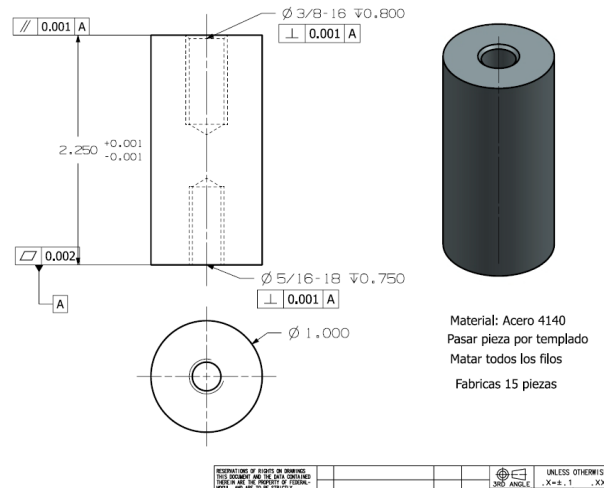


Figura 61. Plano de postes con tolerancias geométricas y dimensionales. Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido estos postes, se los proporcioné al encargado de cambios rápidos junto con un inventario fácil de administrar y le asigné la responsabilidad de actualizar este inventario cada que entren o salgan más herramientas, ya sea por nuevos números de parte o por término de vida útil.

Con esto aseguré que siempre se tuvieran los herramientas suficientes de la máquina Robodrill listos para la producción de cualquier número de parte y que ya estuviera ensamblados previamente al proceso de set-up hecho por el operador.

4.4 Reducir el transporte de herramientas y herramientas

En el proceso de observación se vio que el operador se tiene que trasladar al cuarto de cambios rápidos para conseguir herramientas de mano y algunos accesorios.

El resultado fue que esto me ayudo a saber que era necesario que el operador tuviera en su misma estación de trabajo los objetos que más utiliza y reducir los transportes que tiene que hacer al cuarto de cambios rápidos.

Entre estos objetos analicé las herramientas de mano que son necesarias para ajustar su máquina los cuales se documentaron en la fase de observación, también incluí los insertos de maquinado, los cuales están igualmente en el cuarto de cambios rápidos y son motivo para que el operador tenga que trasladarse con la máquina parada. Igualmente, seleccioné la tornillería que se ocupa para hacer la sujeción de las mordazas y bases para que fueran colocados en la estación de trabajo.

Y, por último, incluí las tarjetas de identificación de los de producción (verde, amarillo, verde y rosa) que la fase de observación me ayudo a identificar que son motivo para que el operador se traslade de su estación de trabajo y pierda tiempo, de modo que estas estén cerca y al alcance del operador.



Figura 62. Tarjetas de identificación, tornillería e insertos usados en el proceso de set-up. Fuente: Elaboración propia

Estos materiales y accesorios se muestran figura 62 y su respectiva documentación se puede ver en la tabla 14. Esta lista se sumaría a los cabezales con brocas documentados anteriormente.

Herramientas de mano	Herramientales	Tornillería y otros
Estuche de lanas cuadradas	Insertos de desbaste (varias especificaciones)	Tornillo allen 3/8
Juego de llaves Allen milimétricas	Insertos de acabado (varias especificaciones)	Tornillo allen 5/16
Juego de llaves Allen estándar	Bases de mayor uso de máquina Mazak	Tornillo allen 10 mm
Martillo de bronce		Tornillo allen 8 mm
Pinzas de presión		Tornillo allen 3 mm
Lampara de mano		Tarjetas de identificación
Martillo de goma		
Juego de botadores punta cónica		

Tabla 14. Lista de materiales a colocar en la estación de trabajo. Fuente: Elaboración propia

Conociendo todos los materiales a mover a la estación de trabajo de maquinado CNC, ya podría saber el espacio necesario para establecer un lugar donde se acomoden estos.

Para esto analicé diversas ideas, primero analicé la opción de adquirir un anaquel donde se acomodarán estos accesorios. Esta opción la descarté ya que analicé que era importante que este mueble de herramienta tuviera ruedas para poder ser desplazado cuando se requiriera cargar y transportar herramienta o herramientales desde el cuarto de cambios rápidos. Además, en este no tendría la oportunidad de diseñar los cajones y compartimientos con la distribución y medidas que más le convenga al operador.

También analicé la opción de comprar el carrito de herramienta, pero tendría el mismo problema de no poder personalizar los compartimientos y los costos serían más altos.

Por último, la opción más factible fue diseñar con software CAD el carrito de herramienta y mandarlo a fabricar con un proveedor que ofrece servicios de herrería. Esta opción la encontré más viable ya que yo podría establecer las medidas y la distribución de los compartimientos de acuerdo a las necesidades del usuario de una forma simplificada, además de que sería la de más bajo costo y aprovecharía los recursos digitales de la empresa y mis conocimientos adquiridos en mis años de estudio. Este modelo se puede ver en la figura 63 con la distribución de los herramientales y herramientas que se analizó anteriormente que se debían incluir para disminuir los desplazamientos del operador.

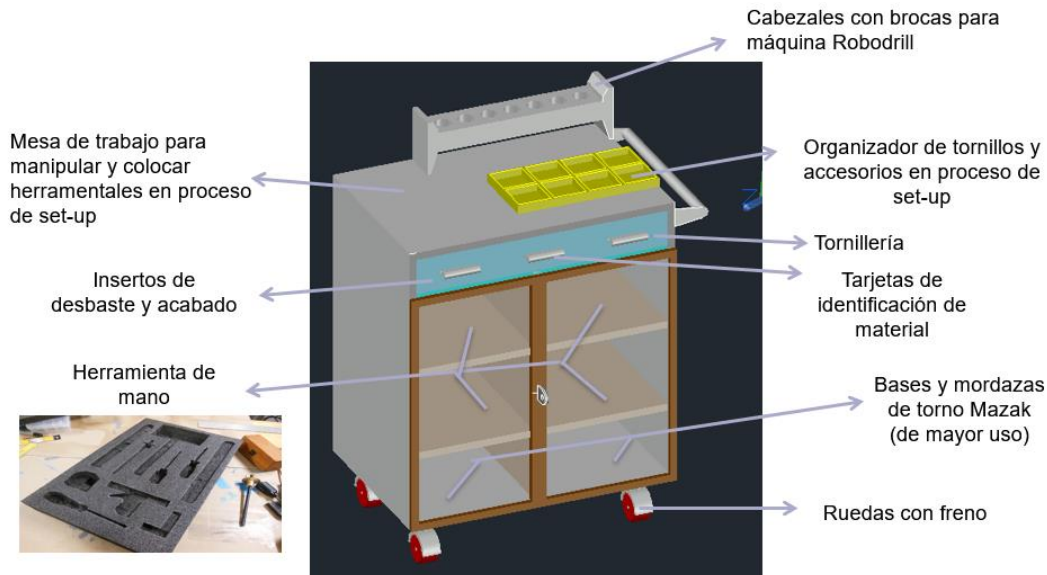


Figura 63. Diseño CAD de carrito de herramienta con distribución planeada de materiales. Fuente: Elaboración propia

Los espacios y características que tome en cuenta para este diseño fueron:

- Espacio para plataforma de cabezales para brocas de máquina Robodrill.
- Mesa de trabajo para que el operador se apoye mientras manipule sus herramientas y herramientas en su proceso de set-up
- Charola para organizar tornillos y accesorios pequeños solo temporalmente mientras se hace el proceso de set-up.
- Cajón para resguardar y organizar insertos.
- Cajón para resguardar y organizar tornillería de los herramientas que se ensamblan en las máquinas CNC.
- Cajón para organizar las tarjetas de identificación de las piezas producidas.
- 4 compartimientos para organizar herramienta de mano ya documentada, esta herramienta se organizará en siluetas hechas en material "foam" (figura 63) con el fin de que todas las personas conozcan el lugar de cada herramienta y se pueda visualizar cuando alguna falte.
- Ruedas para desplazar carrito y frenos para fijarlo en la estación de trabajo.

Por último, me di cuenta que también podría incluir las bases Mazak de mayor uso en este carrito, ya que estas también se intercambian en el proceso de set-up. Esto lo analizaría en el inventario que se mostrará a continuación ya que estas podrían ser muchas y se tiene que reforzar la responsabilidad de su cuidado por su alto costo.

Una vez distribuidos los espacios para los objetos en el carrito de herramienta, establecí las medidas adecuadas en cada espacio como se puede ver en la figura 64 en el modelo CAD.

Con esto pude mandar a fabricar el carrito de herramienta y de seguimiento con el proveedor para cada duda o comentario que me pudiera proporcionar.

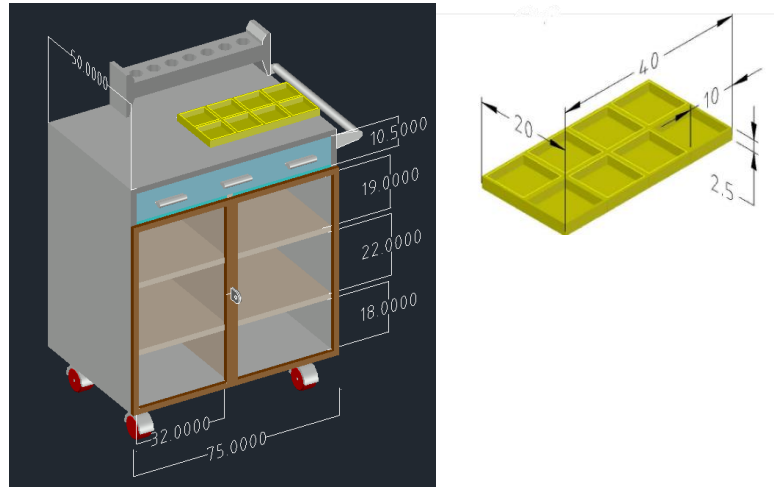


Figura 64. Modelo CAD de carrito de herramienta con medidas generales. Fuente: Elaboración propia

Como resultado de este diseño pude tener un carrito de herramientas con la gran ventaja de que sus medidas y características estaban hechas pensando en el proceso y las personas que realizan dicho proceso (figura 65), tal y como lo fomentan las herramientas Lean Manufacturing, además de que el software CAD fue una herramienta muy útil para lograr esto.

Ya que hasta este punto el carrito no ha sido probado no se incluirá en este trabajo los siguientes resultados después de su uso, pero se tiene como hipótesis que para disminuir los desperdicios ya mencionados se tendrá que trabajar con la cultura de las personas para mantener las 5S's en dicho carrito y estandarizar el proceso para el correcto uso de este.



Figura 65. Carrito de herramienta fabricado. Fuente: Elaboración propia

4.5 Seleccionar e inventariar herramientas de torno CNC Mazak y Robodrill

Como se vio en el capítulo 2 de la situación actual en el problema que se tuvo de baja producción, el resultado del análisis de 5whys y del diagrama de Ishikawa para corregir el problema de falta de herramientas en ese momento, fue mandar a fabricar urgentemente los herramientas necesarios para cubrir la demanda de producción de las siguientes semanas. Esto implicó que invirtiera todo mi tiempo en realizar los dibujos y la selección de especificaciones de una manera rápida y sin mucho análisis, ya que se requieren analizar muchos factores como dimensiones, tolerancias, materiales, proveedor adecuado, etc.

Además, la fabricación de dichos herramientas tuvo un costo alto, ya que se tuvieron que mandar a hacer con proveedor externo y no en el taller de la empresa por falta de tiempo. Cabe mencionar que al pedirlos con poca anticipación con proveedores externos se encarece este servicio de fabricación.

Por lo tanto, esto me condujo a aplicar la primera “S” de la metodología de 5S’s (Seleccionar), ya que con esto podría saber que herramientas son los que realmente faltan, y en que cantidades, además de que podría saber que herramientas son de mayor uso para organizar la secuencia de su diseño y fabricación. Con esto podría también mandar a fabricarlos con tiempo suficiente, se podrían mandar a hacer en el taller de la empresa y yo podría hacer un mejor análisis de diseño y especificaciones.

Otra ventaja de empezar con esta fase de *Seleccionar* es que no representa inversiones grandes de dinero para mejorar las operaciones, además de que facilitarían mucho las mejoras que se tengan que hacer posteriormente, ya que solo se trabajara con aquellas cosas que agregan valor.

Para esto, con ayuda del encargado del área de cambios rápidos seleccioné los herramientas y accesorios en mal estado como se muestra en la figura 66 o bien que ya eran obsoletos debido a que ya no se fabrican los números de parte para los cuales se ocupaban.



Figura 66. Selección de herramientas y accesorios obsoletos. Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionado lo aún funcional, realicé un inventario de los herramientas existentes y de acuerdo a la demanda de cada número de parte establecí la cantidad ideal que se debería tener en inventario de cada uno.

En esta parte analicé que muchos de los herramientas pueden servir para más de un número de parte debido a que dos o más números de parte pueden maquinarse con la misma forja, las

características que las hacen diferentes son procesos aplicados en procesos posteriores al maquinado CNC o bien accesorios que se agregan en el empaque final.

En esta parte me di cuenta que no tenía esta relación documentada y me di a la tarea de hacer la clasificación por familias de acuerdo a los números de parte que se pueden fabricar con la misma forja. Esto me ayudaría a reducir significativamente la cantidad de bases a fabricar.

En la figura 67 se puede ver en plano de una forja que se usa para varios números de parte, así como una foto de un lote de forjas del cual se podrían desprender más de un número de parte.

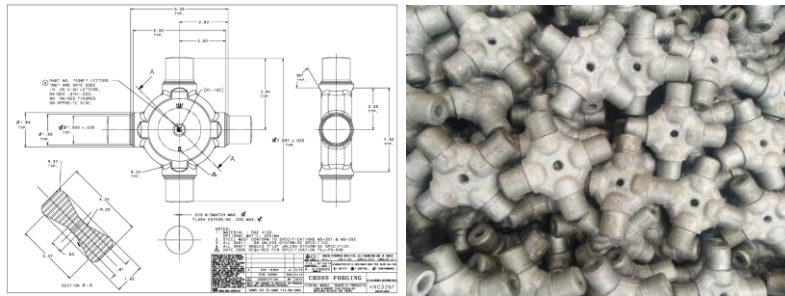


Figura 67. Forja de una cruceta que puede servir para fabricar más de un número de parte. Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la tabla 15, en la primera columna de izquierda a derecha se enlistan todos los números de parte que se fabrican en estos centros de maquinado, este número de parte corresponde a la operación de maquinado exclusivamente, en la siguiente columna coloqué el nivel de demanda, este dato lo pude obtener con ayuda del equipo de logística, los números con mayor demanda se clasifican con la letra “A” y los de menor demanda con la letra “D” de acuerdo a los criterios de la empresa. En esta parte también investigué el dato de algunos números de parte ya obsoletos que aún se tomaban en cuenta para administrar sus herramientas.

En la tercera columna coloqué el número de forja que es usada para cada número de parte de maquinado. Como se puede ver, una sola forja puede servir para el proceso de maquinado de más de un número de parte.

En la cuarta columna establezco el nombre de la familia con la que se identificaran, en la quinta la cantidad de bases que se tienen para las familias ya establecidas, en la sexta la cantidad ideal que se tiene que tener como objetivo para cumplir con las demandas más críticas, en la séptima las bases que faltarían para cumplir con la cantidad ideal de bases a tener, y por último coloqué los comentarios que pude recopilar de cada familia para completar dichas cantidades necesarias.

Número de Parte maquinado	NIV DEMAND A	Número de parte Forja	Familia	Bases Mazak en stock	Objetivo	Faltantes	Observaciones
HXC331CM	A	HXC331FP	M1	3	3	0	2 bases necesitan ser calibradas con lanas (Verificar)
HXC333CM	B	HXC331FP					
HXC341CM	D	HXC331FP					

HXC514CM	C	HXC331FP					
HXC515CM	A	HXC331FP					
HXC482CM	C	HXC331FP					
HXC350PCCM	B	HXC331FP					
HXC344AGCM	A	HXC331FP					
HXC993CM	C	HXC335F					
HXC335CM	B	HXC335F					
HXC856CM	A	HXC335F					
HXC501CM	A	HXC335F	M2	2	3	1	
HXC253CM	Obsoleta	HXC335F					
HXC358CM	D	HXC335F					
HXC491CM	C	HXC439F					
HXC853CM	A	HXC439F					
HXC373CM	B	HXC439F	M3	3	3	0	Verificar que corresponda base marcada
HXC460CM	B	HXC439F					
HXC439CM	D	HXC439F					
HXC470CM	A	HXC470FP					
HXC880CM	A	HXC470FP					
HXC899CM	B	HXC470FP	M4	3	3	0	1 base necesita ser calibrada con 3 lanas de 0.020"
HXC815CM	A	HXC470FP					
HXC262CM	B	HXC470FP					
HXC983CM	D	HXC381F					
HXC381CM	B	HXC381F					
HXC499CM	C	HXC381F	M5	1	3	2	
HXC450CM	B	HXC381F					
HXC551CM	B	HXC450FP					
HXC412CM	D	HXC450FP	M6	3	3	0	
HXC832CM	A	HXC450FP					
HXC540CM	C	HXC540FP					
HXC550RCCM	B	HXC540FP	M7	2	3	1	Se puede usar para la familia M17 con 1 lana de 0.020"
HXC272CM	A	HXC540FP					
HXC489CM	A	HXC489FP					
HXC240CM	A	HXC489FP	M8	1	3	2	1 base necesita ser calibrada con 2 lanas de 0.020"
HXC353CM	B	HXC489FP					
HXC367CM	A	HXC367FP					
HXC334CM	C	HXC334FP					
HXC304CM	C	HXC304FP	M9	2	3	1	
HXC579CM	B	HXC579FP					
HXC578CM	B	HXC578F					
HXC282CM	A	HXC578F	M10	1	3	2	
HXC359CM	B	HXC232F					
HXC232CM	Obsoleta	HXC232F	M11	2	2	0	
HXC287CM	C	HXC287F					
HXC559CM	B	HXC287F	M12	1	2	1	
HXC344RACM	C	HXC344F					
HXC436CM	A	HXC344F	M13	2	2	0	Se puede usar para la familia M44 con 2 lanas de 0.020"
HXC568CM	C	HXC568F					
HXC995CM	A	HXC568F	M14	2	3	1	
HXC486CM	C	HXC568F					
HXC488CM	D	HXC488FP					
HXC888CM	A	HXC488FP	M15	1	2	1	Necesita ser calibrada con lanas (Verificar)
HXC332CM	C	HXC332FP					
HXC231CM	A	HXC332FP	M16	2	2	0	
HXC261CM	B	HXC261FP					
HXC580CM	D	HXC261FP	M17	1	2	1	Este número se producirá la siguiente semana
HXC590CM	B	HXC590FP					
HXC271CM	A	HXC590FP	M18	1	3	2	
HXC712CM	A	HXC712FP					
HXC363CM	C	HXC712FP	M19	0	2	2	
HXC351CM	D	HXC351FP					
HXC484CM	D	HXC351FP	M20	2	2	0	
HXC296ACM	B	HXC296FP					
HXC430CM	B	HXC296FP	M21	1	2	1	

HXC411CM	A	HXC411FP	M22	2	3	1		
HXC560CM	B	HXC411FP						
HXC507CM	A	HXC507FP	M23	2	3	1		
HXC531CM	B	HXC507FP						
HXC291CM	B	HXC291F	M24	4	3	0		
HXC285CM	A	HXC285FP						
HXC348CM	C	HXC348FP	M25	1	2	1		
HXC281ACM	A	HXC348FP						
HXC898CM	B	HXC898F	M26	1	2	1		
HXC964CM	C	HXC898F						
HXC896CM	C	HXC896FP	M27	1	2	1		
HXC376CM	B	HXC376F	M28	1	2	1		
HXC488CM	D	HXC488FP	M29	1	2	1	Verificar que corresponda a NP	
HXC550CM	C	HXC550FP	M30	2	2	0		
HXC354CM	B	HXC354F	M31	1	2	1		
HXC409CM	D	HXC409F	M32	1	2	1		
HXC289CM	A	HXC289FP	M33	0	2	2		
HXC389CM	D	HXC389FP	M34	1	2	1	Verificar que corresponda a NP	
HXC585CM	B	HXC585F	M35	1	2	1		
HXC492CM	A	HXC492F	M36	2	2	0		
HXC364CM	C	HXC364F	M37	1	2	1		
HXC447CM	B	HXC447FP	M38	2	2	0		
HXC344CM	C	HXC344FP	M39	0	2	2	Verificar que corresponda a NP	
HXC491CMCV	C	HXC491F	M40	1	2	1		
HXC351AGCM	C	HXC351FP	M41	1	2	1		
HXC390CM	B	HXC390FP	M42	2	2	0		
HXC279CM	D	HXC279F	M43	1	2	1		
HXC570CM	C	HXC570F	M44	1	2	1		
HXC462CM	A	HXC462FP	M45	2	2	0	Verificar que corresponda a NP	
HXC493CM	D	HXC493F	M46	1	2	1		
HXC336CM	Obsoleta	HXC336F	M47	2	2	0		
HXC560RCCM	C	HXC560FP	M48	2	2	0		
TOTAL					73	111	39	

Tabla 15. Inventario y estandarización de bases de máquina Mazak. Fuente: Elaboración propia

El resultado de este inventario me ayudaría a entender mejor las necesidades en cantidad y calidad de los herramientas. A continuación, se estudiará mejor el diseño y las especificaciones que deben tener estas bases para cumplir con su función de forma correcta, así como la documentación emitida para estandarizar este proceso de modo que esto pueda contribuir a la mejora actual del proceso facilitando el ensamble y la administración de estos herramientas.

4.6 Rediseño de herramientales

Después de haber seleccionado y ordenado los herramientales supé cuantas bases y mordazas tenía que mandar a hacer para cada número de parte y fui capaz de realizar los modelados en el orden que establecí de acuerdo a la demanda. Para el modelado y creación de planos de ingeniería utilicé el software NX proporcionado por la empresa.

En este trabajo describiré el proceso que seguí para desarrollar la base inferior donde se apoya la cruceta para hacer el proceso de maquinado de muñón en el torno CNC Mazak, incluyendo su modelado en software CAD, generación de planos de Ingeniería y su fabricación y prueba en el torno correspondiente. Esta base será la correspondiente al número de parte 381, la cual es una cruceta considerablemente grande, y será el ejemplo de los pasos que seguí para desarrollar los demás herramientales.

4.6.1 Modelado y dimensionamiento

En la figura 68 se muestra un chuck con una base en la parte inferior y una mordaza superior ejerciendo una sujeción sobre una pieza en forma de cruceta, esta es una imagen proporcionada por el proveedor del chuck en su catálogo y se propone que la base inferior sea diseñada con 4 ranuras con el fin de soportar los 4 muñones de la pieza que se apoyará en esta base, también es necesario generar un buen ensamble entre las muescas inferiores de la base y las ranuras del chuck.

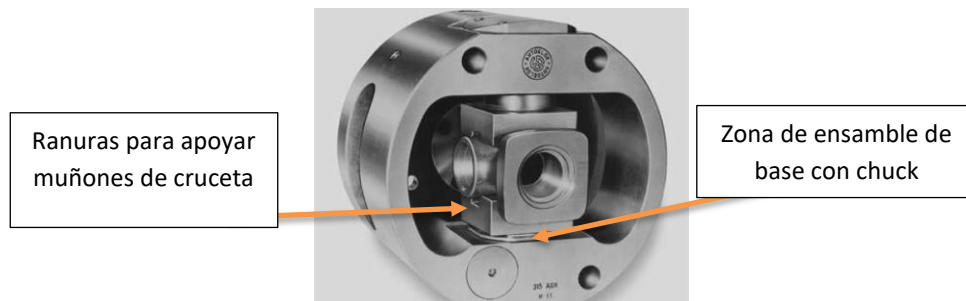


Figura 68: Imagen del chuck con ejemplo de herramientales sacados del catálogo de proveedor. Fuente: Elaboración propia

Primeramente para las ranuras donde se apoyan los muñones decidí conservar la geometría en forma de "V" que ya se tenía en algunas bases fabricadas anteriormente como se puede ver en la figura 69.

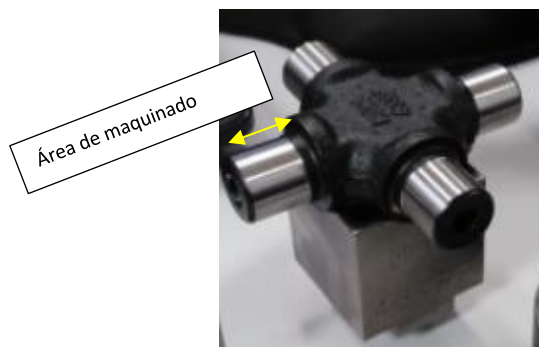


Figura 69. Base actual tomada como referencia para mejorarla Fuente: Elaboración propia

Esto lo decidí así ya que con esta geometría no existe corrimiento de los muñones hacia los costados, permanecen estables y fuera de la base, de modo que quedan libres para realizar su maquinado con el inserto de corte desde el escalón hasta la cara exterior de cada muñón.

Algo que me fue de mucha utilidad fue el hecho de que se me proporcionó por parte del departamento de "Diseño del producto" el modelo 3D del número de parte de la cruceta para la cual estaba diseñando la pieza, con esto analicé las zonas del muñón de la cruceta que estarían en contacto con la base (específicamente con la ranuras en "V") y que son las más regulares en su circunferencia para que no exista un movimiento o descentramiento sobre la base y esto provoque problemas de tolerancias geométricas o dimensionales fuera de especificación nuevamente.

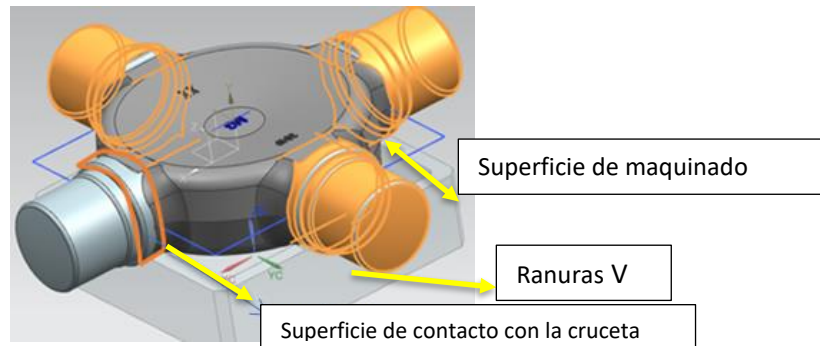


Figura 70. Zona propuesta de contacto de la cruceta. Fuente: Elaboración propia

Estas 4 ranuras en "V" tienen que tener un grosor limitado, como se puede ver en las figuras 70 y 71 y este grosor está determinado por lo que mide la superficie de contacto con la cruceta mencionada anteriormente en la cual ya no se maquina el muñón y su circunferencia es regular para hacer una sujeción homogénea.

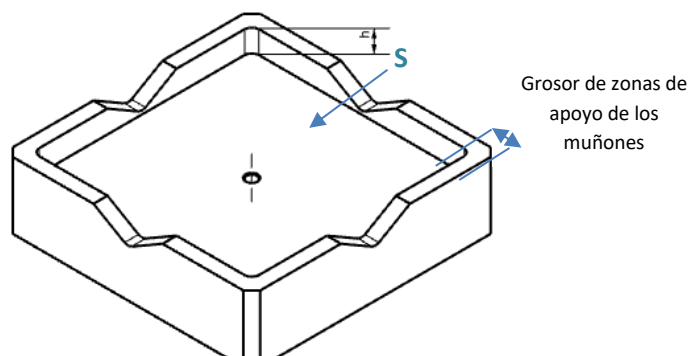


Figura 71. Geometría de pieza propuesta. Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, con la forja 3D pude analizar la distancia que necesitaba dejar en la cota "h" mostrada en la figura 71. Esto para evitar que la forja de la cruceta tuviera contacto con la superficie "S", y solo lo hiciera en las geometrías en "V", las cuales se establecieron para soportar y acomodar centradamente la cruceta.

En esta parte he tratado de hacer lo más gruesa posible las geometrías en “V”, que es la que se ha visto que presenta más fallas en las piezas que han llegado a fracturarse al someterle a la carga que proporciona la mordaza superior para sujetar la cruceta como se puede ver en la figura 72.



Figura 72. Base fracturada debido a la carga aplicada en torno Mazak. Fuente: Elaboración propia

Ya que no sabía si este grosor fue la principal causa de falla de esta base y que ya había hecho lo más gruesa posible esta parte de la pieza de modo que solo se apoye la parte regular del muñón en ella y quedará libre la parte que se maquina, hice la hipótesis que mejorando la geometría de esta parte la resistencia mejoraría también, además de establecer el mejor material en función de su uso, el cual se verá más adelante.

En la vista de la figura 73 se puede ver el ángulo que propuse para esta zona de apoyo, con mis conocimientos técnicos hice la hipótesis de que si el ángulo era muy grande la pieza iba a tener más libertad de desplazarse en el eje “Y”, y esto podía causar el desajuste de la forja, y si este mismo ángulo era muy pequeño se concentrarían los esfuerzos en el vértice central provocando su ruptura, por lo que decidí establecer un ángulo de 120° en esta ranura y que esta quedará a una altura que cubriera aproximadamente un 30% de la circunferencia del muñón.

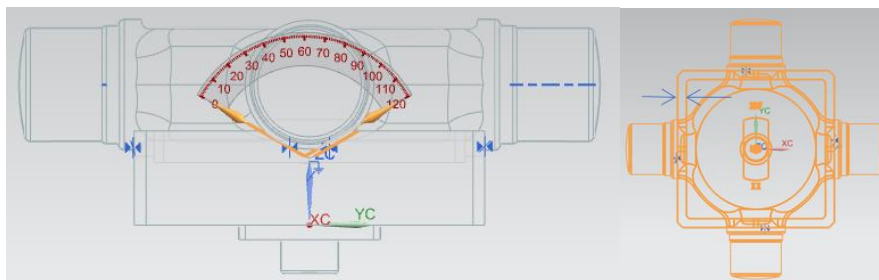


Figura 73: Vista lateral y superior de estructura alámbrica Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, otro elemento de la base que fue importante analizar para obtener especificaciones correctas fue el diámetro y la altura del escalón y cilindro de la parte inferior de la base, los cuales se ensamblan dentro de las ranuras del chuck (Figura 74), para posteriormente atornillar la base por medio de un barreno central que cruza en su totalidad la pieza.

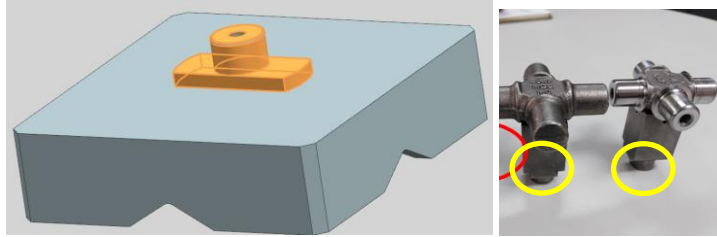


Figura 74. Escalón y cilindro que se ensambla en chuck del torno CNC. Fuente: Elaboración propia

Para esta parte consulté un layout con las medidas principales del chuck, el cual fue proporcionado por el proveedor. Este layout se muestra en la figura 75, y las cotas que consulté para colocar las dimensiones en esta parte de la pieza fueron las que se representa con las cotas $\varnothing W$, l , y M , así como la cota $\varnothing F$ para el tamaño del barreno.

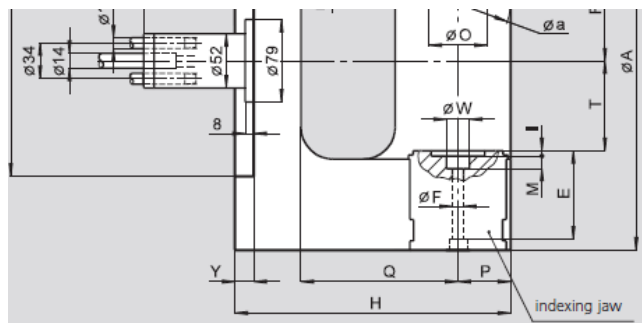


Figura 75. Layout chuck de máquina CNC Mazak. Fuente: Lay-out proveedor SMW Autoblok

Ya que la base sería acoplada a esta parte del chuck, consideré utilizar las medidas nominales que se indican en este layout y posteriormente utilizar tablas de ajustes y tolerancias para un apriete deslizante, con el fin obtener las zonas de tolerancia de esta parte de la base.

Pero lo que vi más práctico y rápido, fue medir este escalón y cilindro en bases que ya se tenían y que se ensamblaban con un apriete adecuado en el chuck sin que existiera un apriete excesivo como se vio en el proceso de set-up con algunas bases que incluso se tienen que golpear con martillo de goma para que se acople la base hasta el fondo de los agujeros o ranuras del chuck. Con esto aproveché las dimensiones de estas características de la pieza que ya tenía la seguridad que funcionaban correctamente para colocarlas como medidas estándar en esta base y en las demás que iría diseñando.

Otra condición importante que tuve que tomar en cuenta fue la altura a la que debía quedar la cruceta una vez colocada en la base para ser maquinada, ya que con esto podría especificar la altura total de la base.

Esta condición es importante porque la altura que se muestra en la figura 76 con la cota "T" debe ser la misma en todas la piezas debido a que en este punto esta programado el torno CNC para ser tomado como el cero pieza en todas las piezas que se maquinan en esta máquina, es decir, que a partir de este punto la herramienta de corte toma como referencia para realizar todos los movimientos

y compensaciones para el maquinado. Esta dimensión también se puede ver en el layout del chuck en la figura 75, donde el proveedor representa esta altura con la letra "T".

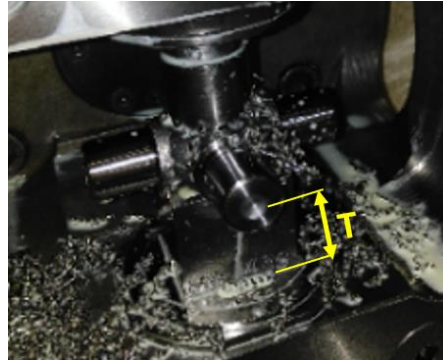


Figura 76. Distancia T que se debe cumplir entre el cero pieza del programa CNC y la base. Fuente: Elaboración propia

Con esto obtuve las dimensiones de las características más importantes de la pieza como se muestra en la figura 77, la fase de observación también dio como resultado darme cuenta que era importante incluir chaflanes que coloque en las 4 esquinas de la pieza con el fin de que esta fuera más ergonómica para el operador al momento de sujetarla y retirarla del chuck.

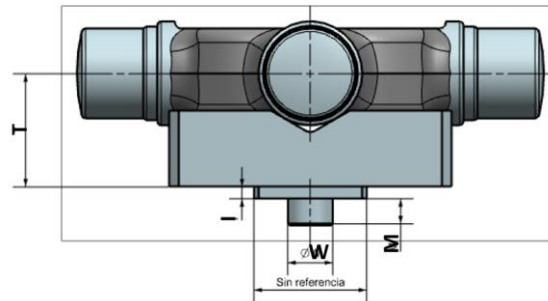


Figura 77. Vista con cotas importantes a controlar en la base. Fuente: Elaboración propia

De una manera similar modelé la mordaza superior, la cual presiona la cruceta una vez colocada la base, para esta ocupe el mismo diseño con el que ya se mandaban a fabricar las mordazas, el cual es una especie de círculo, con 4 sujetadores de un material duro atornillados a esta mordaza, mi trabajo fue buscar para cada pieza o número de parte los puntos o zonas de la cruceta que tuvieran mayor área de contacto con estos sujetadores o grippers para establecer su ubicación como se puede ver en la figura 78.

Por último analicé el ensamble completo como se muestra en la figura 79, para analizar posibles interferencias con la cruceta y todos los puntos de contacto.

Esto lo realicé para todos los números de parte que carecían de herramientas para el torno Mazak o bien que presentarían los problemas de tolerancias geométricas y dimensionales ya mencionados.

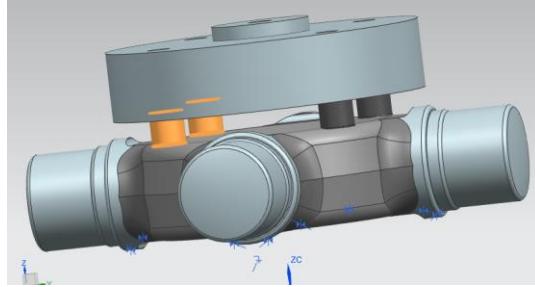


Figura 78. Modelado de mordaza superior. Fuente: Elaboración propia

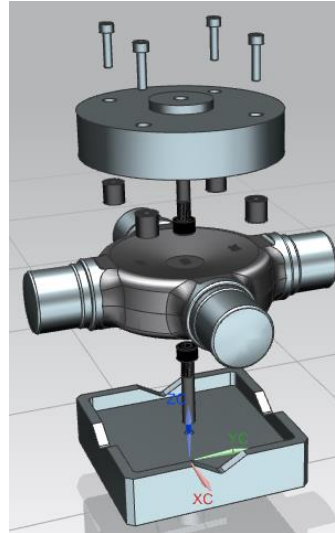


Figura 79. Ensamble completo con base, cruceta y mordaza superior. Fuente: Elaboración propia

4.6.2 Material

Como se puede ver en la figura 70, han existido algunas bases que se fracturan, por lo que después de modelar nuevamente la pieza y aumentar el grosor de algunas geometrías lo más posible como se mencionó en el proceso de modelado de la pieza, es importante seleccionar un material que resista el tipo de trabajo al que se someterá la pieza.

Es importante mencionar que antes de el rediseño que haría de estas piezas no se tenían datos estandarizados del tipo de material del que se habían fabricado los herramientales actuales, por lo decidí medir la dureza de las piezas que habían presentado fallas y que todavía se conservaban, ya que este era el único dato que podía obtener a través de un durómetro que se tiene en la empresa, con lo que obtuve una dureza de aproximadamente 55 a 60 HRC.

Con esto hice la hipótesis de que el material era muy duro y por lo tanto muy frágil para soportar la carga que ejerce la máquina CNC para hacer la sujeción, además de que posiblemente no tenía tratamiento térmico para que este fuera más tenaz.

Con estos datos escogí para la fabricación de estos herramientales el acero O1, ya que este es un acero con un alta dureza superficial y tenacidad después del tratamiento térmico y tiene un uso muy

grande en aplicaciones como estampado, forjado, troquelado, perforado, herramientas para cortar, etc., además es muy suave al principio para maquinarse.

Consideré utilizar acero D2, el cual también es muy usado para herramientas de este tipo, pero sus costos eran más altos y difícil de conseguir con los proveedores de la empresa.

Otro aspecto que fue importante para la decisión es que este era un acero del cual ya se tenía conocimiento de sus buenas propiedades para utilizarlo como herramienta de sujeción en la empresa donde se desarrolla el presente trabajo, ya que se había utilizado para algunas refacciones de otras máquinas.

Una vez que obtuve el acero por parte del proveedor se lo proporcioné al taller de la empresa para fabricar las piezas. Al encargado de este taller le pedí que no se le aplicara tratamiento térmico a los herramientas de manera que me permitiera probarlas en las máquinas CNC, ya que, si se tuviera que hacer algún rectificado adicional estos por no cumplir con las dimensiones en la cruceta, fuera más fácil hacer un maquinado con el material aún suave y sin endurecer.

La generación de los planos de Ingeniería para fabricar esta base se presenta a continuación, en esta se detallan todas las especificaciones que se deben llevar a cabo en el maquinado de la pieza.

4.6.3 Generación de especificaciones y Tolerancias geométricas

Como se ha mencionado, las principales especificaciones que se dificulta obtener en el proceso de maquinado, son aquellas que están relacionadas con las tolerancias geométricas de localización y orientación colocadas recientemente en los planos a raíz de los problemas reportados para obtener en las piezas la perpendicularidad entre ejes de muñones, simetría entre línea de centros y muñones, y concentricidad entre muñones.

En esta parte fue muy importante asegurar que la base mostrada en la figura 80 posicionara a la cruceta de tal manera que se puedan obtener las tolerancias geométricas mencionadas.



Figura 80. Cruceta colocada sobre una base (herramental Mazak). Fuente: Elaboración propia

Me di cuenta que en los planos de las bases anteriores, aunque el fabricante de la pieza respetara todas las dimensiones del plano mencionadas anteriormente, nada garantizaba que las

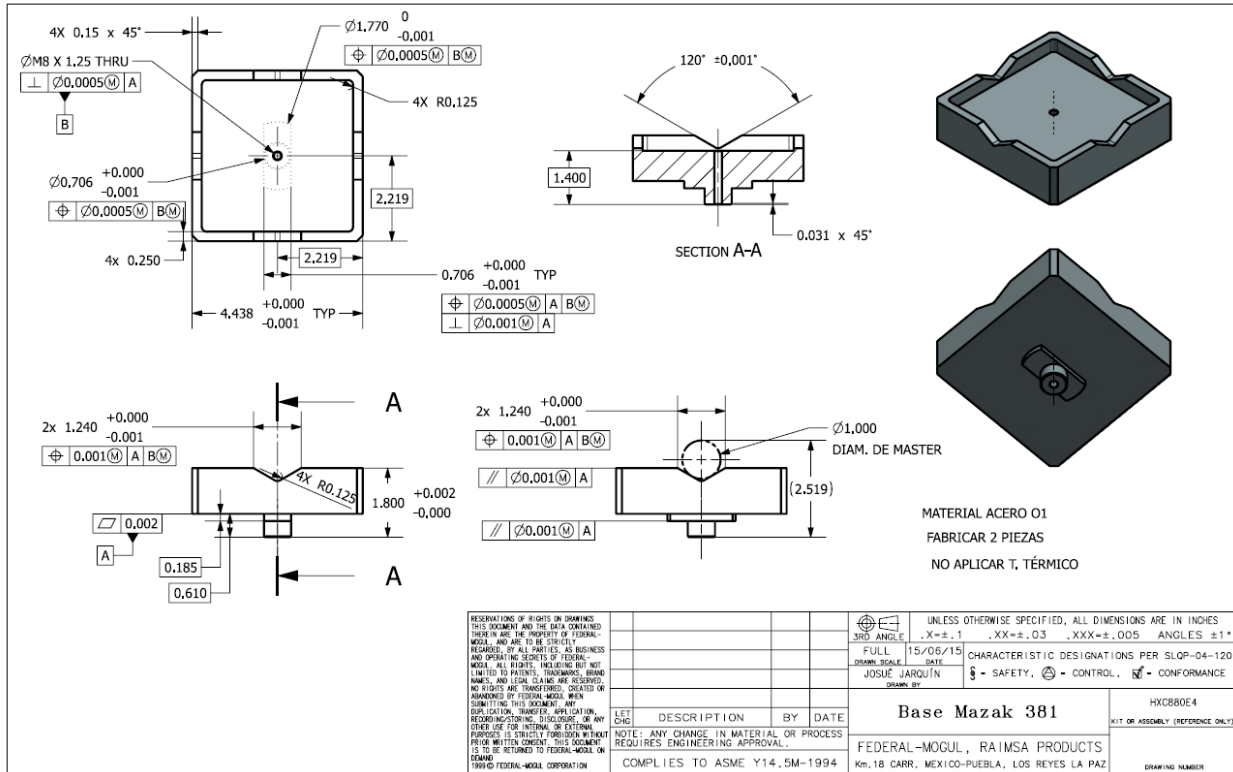


Figura 82. Plano de fabricación de Base Mazak 381. Fuente: Elaboración propia

- En primer lugar, generé un plano identificado con el datum “A” en una de las caras inferiores de la pieza, y aseguré que esta tuviera una planicidad con una tolerancia de 0.002” (figura 83), es muy importante esta tolerancia ya que este plano hace contacto en la mayor parte de la superficie del chuck de la máquina, y de no tener esta planicidad puede resultar en una diferencia de alturas entre cada extremo de la base y a la vez de la cruceta, y por lo tanto obtener una concentricidad entre los ejes de los muñones fuera de tolerancia como se notó que pasa en algunas bases en la observación del proceso de set-up.

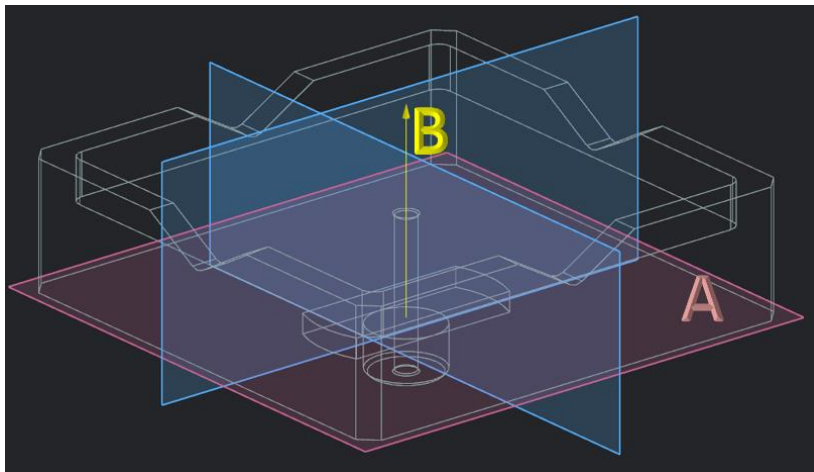


Figura 83. Datum's de referencia en pieza modelada. Fuente: Elaboración propia

- Las siguientes restricciones que analicé están relacionadas con las características del cilindro inferior y el escalón de la base las cuales se introducen en los agujeros del chuck. Como se puede ver en el layout del chuck (figura 75), en esta parte del chuck se tienen ranuras y un barreno en donde se ensamble y atornilla la base. Por este motivo vi necesario controlar en primer lugar el eje del barreno de la base con una tolerancia de “perpendicularidad” al plano “A”, y este lo identifiqué con el datum “B”.
- Para cumplir con las tolerancias geométricas de simetría, concentricidad y perpendicularidad de la cruceta fue muy importante posicionar algunas características de la base que se relacionan directamente con la cruceta igualmente con tolerancias geométricas respecto al eje “B” ya definido, de modo que no se alejaran algunos ejes básicos de este eje ya controlado para cumplir con dichas tolerancias.
 - Primeramente, el eje del cilindro que entra en el agujero central del chuck le coloqué una tolerancia de posición de 0.0005” con la condición de máximo material, de modo que esta tolerancia pudiera incrementar 0.001” solo si el diámetro del cilindro llegara a fabricarse en el diámetro más chico permitido de acuerdo a la tolerancia dimensional. Esto asegura que esta parte de la pieza siempre pudiera entrar en la ranura y el fabricante tuviera un rango adecuado de variación, pero sin afectar la simetría de la pieza en ningún momento.
 - Algo similar hice con el eje del escalón que también entra en la ranura del chuck, ya que su eje central de igual manera debe quedar lo más próximo posible al eje “B”, pero también debemos proporcionar cierta tolerancia, aunque sea mínima.
 - Y por último el eje que se forma entre las ranuras superiores donde asientan los muñones de la cruceta, las cuales son 4 geometrías en forma en “V”, igualmente las controlé con una tolerancia de posición respecto al eje “B” de 0.001” en condición de máximo material, asegurando así que estas geometrías fueran concéntricas entre si con una tolerancia menor a la que deben tener los muñones de la cruceta entre sí.
- Por último, indique dos tolerancias de paralelismo entre las caras paralelas al plano “A” para asegurar que toda la pieza no presente una inclinación, y esto afecte la simetría o la homogeneidad de la pieza en su conjunto.

Con esto se aseguraría que las características de la pieza fueran simétricas entre sí, y estuvieran alineadas concéntricamente y perpendicularmente según el caso y nunca obtener un corrimiento mayor al de las tolerancias marcadas en el plano del producto cruceta siempre y cuando se respeten estas especificaciones y planos generados por datum’s como se ve en la Figura 83.

4.6.4 Fabricación y validación

Para este número de parte solicité 2 piezas y una vez que se fabricaron me fueron entregadas de acuerdo a las especificaciones que coloqué en el plano, estas piezas se muestran en la figura 84.

Es importante mencionar que en esta fase fue muy importante que estuviera en constante comunicación con el jefe del taller, ya que a veces hay cuestiones en el plano que se tienen que aclarar para interpretarse correctamente o bien algunas medidas a veces no afectan la funcionalidad de la pieza y se puede prescindir de ellas, pero para esto es importante consultar al diseñador primero.



Figura 84. Base 381 fabricada de acuerdo al plano de fabricación. Fuente: Elaboración propia

Después probé estas bases en el torno CNC Mazak y para este número de parte obtuve resultados parcialmente favorables. Las tolerancias geométricas se cumplieron, así como las dimensiones en los muñones, el único problema fue que la altura total de cruceta quedó ligeramente arriba de lo establecido. Algo similar al problema que se mencionó que sucede cuando se tienen que poner calzas, solo que esta vez el corrimiento no fue hacia abajo, por lo que pude corregir este detalle corrigiendo la base.

Para este caso tuve que hacer una iteración sobre las especificaciones, y aplicar un rectificado en la cara inferior de la base para desbastar 3 milésimas de pulgada esta. Con esto volví a hacer otra prueba maquinando otro par de crucetas y esta vez obtuve las dimensiones y tolerancias geométricas correctas y las registré estas revisiones sobre las crucetas mostradas en la figura 85.



Figura 85. Crucetas probadas en torno Mazak con los nuevos herramientas. Fuente: Elaboración propia

Este proceso también lo seguí para todos los herramentales de los demás números de parte que tuve que mandar a fabricar y validar en la máquina.

Los resultados en las especificaciones de los herramentales fueron muy buenos, ya que obtuve medidas muy precisas en ellos de acuerdo al plano de producto que realicé, además de características geométricas dentro de las tolerancias geométricas establecidas. En la figura 86 se muestra un herramental que se fabricó el cual solo estuvo diez milésimas de pulgada por debajo de la medida que establecí y con esto se pretende asegurar que el herramental cumpla con su función de forma precisa sobre las crucetas que sujetará en las maquinas CNC y reduzca los desperdicios de tiempos por los ajustes frecuentes que tiene que hacer el operador.



Figura 86. Herramental mordaza manufacturado de acuerdo al plano. Fuente: Elaboración propia

4.6.5 Tratamiento térmico

Como se mencionó antes, vi importante primero validar las dimensiones de los herramentales y que se pudieran obtener crucetas de calidad con ellos para posteriormente aplicar tratamiento térmico.

Para este caso le pedí al taller que le aplicará un tratamiento de temple, ya que buscaba en primer lugar aumentar las durezas y reducir las tensiones que el material pudo haber sufrido en el proceso de maquinado.

Seguido de esto me puse de acuerdo de igual manera con el taller para aplicar un revenido controlado, que disminuyera la dureza y liberara las tensiones que se dan siempre en los aceros después del temple.

Como ya se mencionó, buscaba que las piezas no fueran tan duras para que no se fracturaran como se había dado en los herramentales anteriores, por lo que se sometió la pieza a una temperatura de 450°C para obtener durezas por debajo de los 50 HRC y por encima de los 42 HRC. Estos datos los consulté en la ficha técnica del acero O1 de una comercializadora de aceros importante (figura 87), pero esto solo lo consideré en un proceso ideal ya que las temperaturas son difíciles de controlar y también se depende de los componentes reales de la aleación del acero trabajado.

RESPUESTA AL TRATAMIENTO TÉRMICO
Dureza y Tenacidad al Impacto

Temple a 800°C (1475°F) Enfriamiento al Aceite

Temperatura de Revenido	HRC	Entalla Charpy C	
		Ft. lbs.	Joules
Temple al Aceite	63-65	----	----
150°C - (300°F)	63-65	14	19
175°C - (350°F)	62-64	28	38
205°C - (400°F)	61-63	30	41
230°C - (450°F)	60-62	----	----
260°C - (500°F)	58-60	30	41
315°C - (600°F)	55-57	32	43
370°C - (700°F)	51-53	----	----
425°C - (800°F)	48-50	----	----
480°C - (900°F)	43-45	----	----
540°C - (1000°F)	39-41	----	----

Los resultados pueden variar dependiendo del método de temple y el tamaño de la pieza.

DIAGRAMA DE REVENIDO

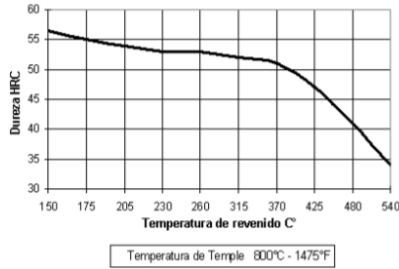


Figura 87. Respuesta al tratamiento térmico del acero O1 (Aceros SISA). Fuente: Otai Special Steel

Al final obtuve una dureza de 47 HRC y con esto terminé el desarrollo de este herramental y puse en observación su desempeño en los procesos de producción diarios con el fin de vigilar que la pieza no vuelva a sufrir fallas o descompensaciones en sus dimensiones.

4.7 Reubicar y ordenar herramientas y herramientales

Como se ha visto en la observación del proceso de set-up, el operador pierde un tiempo considerable para trasladarse a conseguir herramientas y herramientales al cuarto de cambios rápidos.

El resultado de este análisis fue la relocalización de este cuarto de cambios rápidos de modo que este estuviera más cerca del área de maquinado CNC, en esta área de maquinado no solo se lleva a cabo el proceso abordado en este trabajo, si no también se hacen procesos de otras líneas de producción, por lo que esta relocalización también traería beneficios a otros procesos de producción.

En la Figura 88 se puede observar la localización del cuarto de cambios rápidos y la del área de maquinado CNC, la ruta que seguía el operador antes de la relocalización y el tiempo promedio que se observó que ocupaba para este traslado, lo cual fue clave para analizar dicha reubicación.

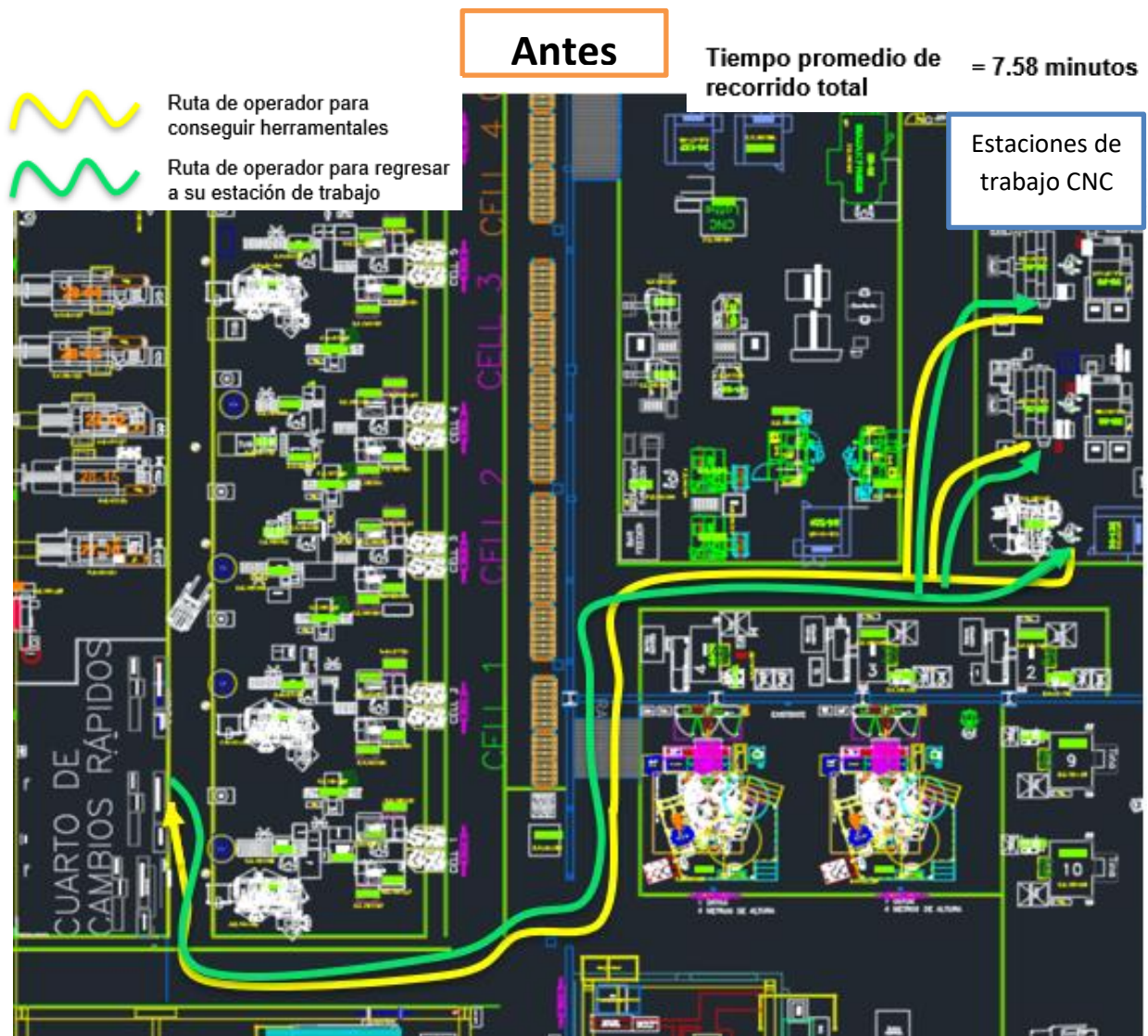


Figura 88. Layout con ruta desde área de maquinado CNC a cuarto de cambios rápidos antes de la mejora.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se implementó el movimiento del cuarto de cambios rápidos a la parte que se muestra en la figura 89. Esta relocalización se llevó a cabo por un área llamada “Proyectos”, la cual se encarga de este tipo de trabajos en la planta, sin embargo, mis actividades fueron previamente hacer algunos proyectos de mejora con los que se pudieron remover las máquinas en donde sería la nueva ubicación de este cuarto de herramientas, esto fue gracias a la mejora continua que ya se ha mencionado que se lleva en esta planta, ya que con otro proyecto que se hizo se pudo trasladar el proceso que hacían estas máquinas a otras con características similares y así generar este espacio.

También tuve que cotizar y adquirir materiales para su traslado como una maya que limitaría esta área, pintura, anaqueles, planear los recursos y tiempos que teníamos en el área para trasladar anaqueles y herramientas, como lo fueron plataformas móviles y el mismo personal operativo.

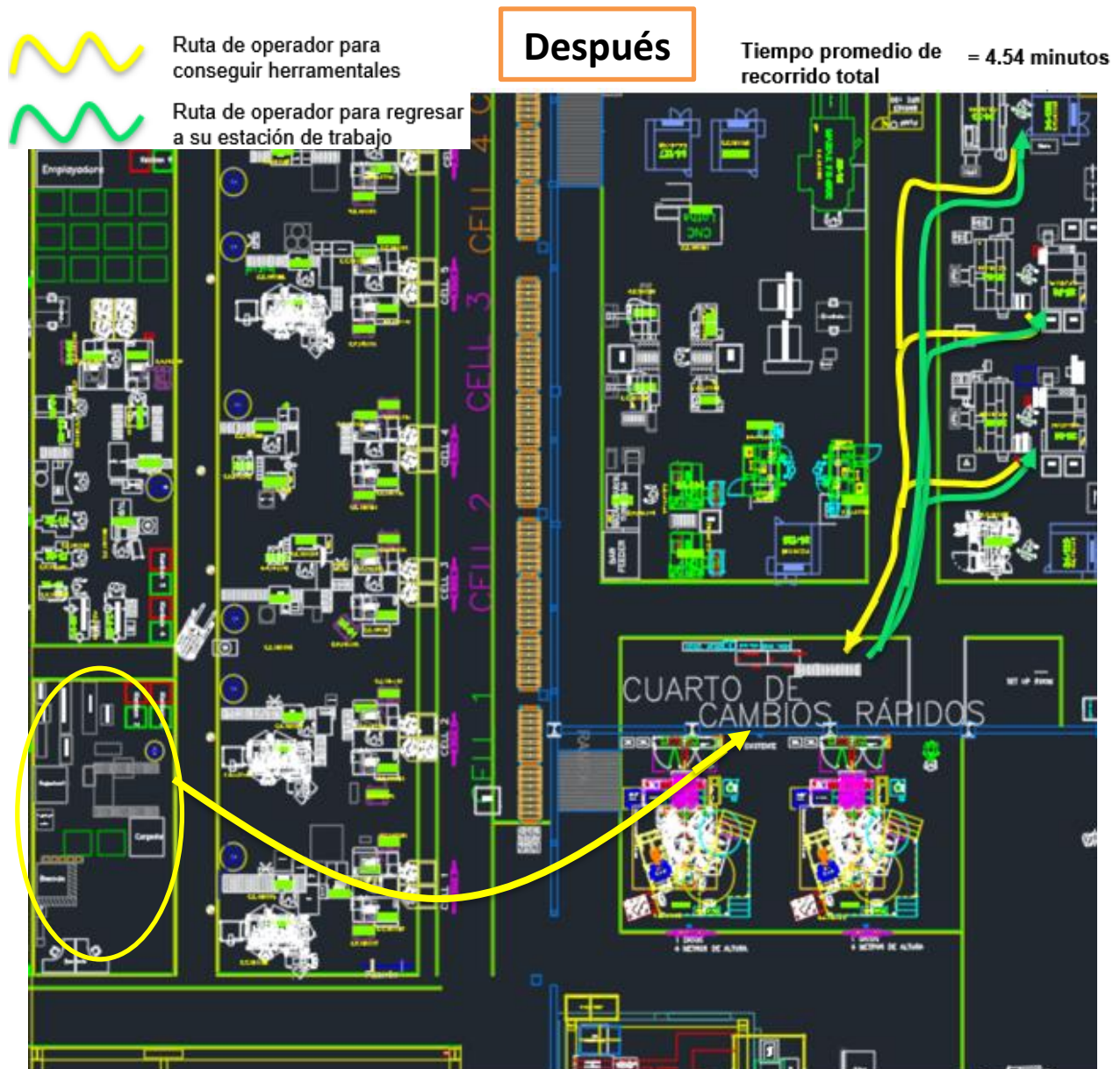


Figura 89. Layout con ruta desde área de maquinado CNC a cuarto de cambios rápidos después la mejora.

Posteriormente me reuní con el encargado de cambios rápidos para analizar la mejor distribución de los muebles de herramienta y optimizar el espacio de este cuarto de herramientas, esto lo hice proponiendo diferentes distribuciones a través de layouts en software CAD.

Para esta distribución tome en cuenta el tamaño de los anaqueles que se tenían, y dos más que se comprarían, de esta manera logré que cada línea de producción tuviera su propio mueble de herramientas y herramientas.

En la figura 90 se puede observar la distribución final, por ejemplo, el mueble 1 y 2 los destiné para herramientas y herramientas de maquinado de cruceta. Así mismo tomé en cuenta el espacio para el escritorio y ventanilla del encargado de cambios rápidos el cual sería importante para realizar una buena entrada, salida y administración de su herramienta.

La puerta quedaría colocada directamente frente al área de maquinado CNC pensando en la ruta más directa para los operadores, también se tomó en cuenta una mesa de trabajo para la preparación previa de herramientas como lo son los cabezales de brocas ya mencionados y por último se destinó un lugar para posibles carritos de herramienta, pensando que en un futuro cada línea de producción tuviera sus propios carritos de herramienta y estos se surtieran de herramientas preensamblados por el encargo de cambios rápidos.

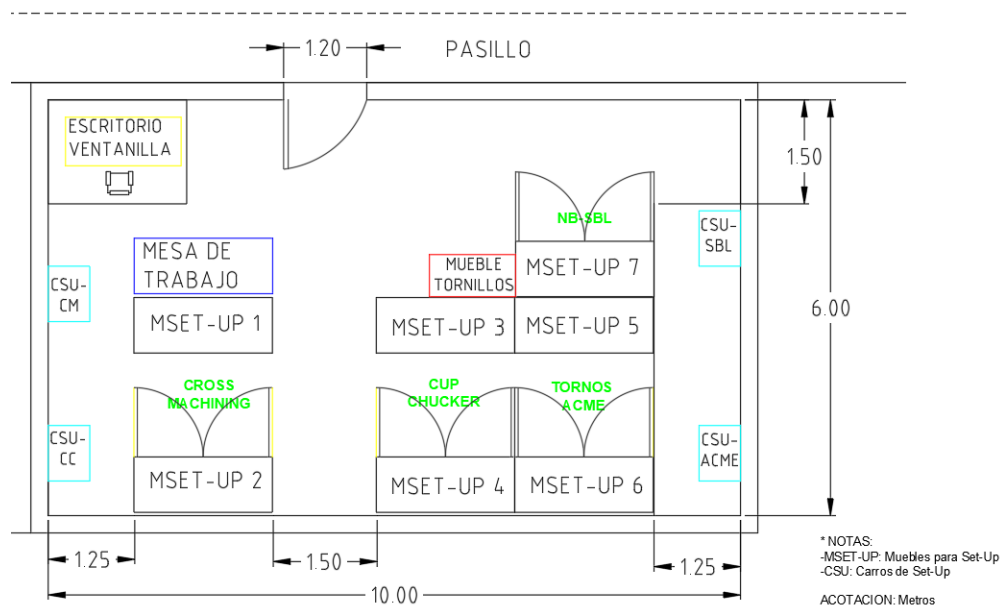


Figura 90. Layout final del cuarto de cambios rápidos. Fuente: Elaboración propia

Siguiendo con esta etapa de ordenar herramientas y herramientas, di seguimiento que se ubicaran los anaqueles conforme al layout analizado y se le asignó un lugar específico a cada herramienta y cada herramienta en estos muebles. (Figura 91).

La herramienta de mayor uso se colocó en una altura accesible para cualquier persona y los de menor uso en las partes que es un poco mas difícil acceder, como lo son espacios altos o muy bajos.

Así mismo los herramientas más pesados se colocaron en las partes más bajas del anaquel para prevenir accidentes.



Figura 91. Anaqueles de herramientas y herramientas. Fuente: Elaboración propia

4.8 Estandarizar y mantener

4.8.1 Administración visual

Otro resultado que nos dio seguir la metodología SMED y las herramientas Lean manufacturing fue convertir en un estándar todo los cambios y mejoras que se estaban haciendo.

Para esto mandé a fabricar con un proveedor letreros de vinil en material PVC para ayudar a tener una buena identificación del lugar asignado a cada herramienta conforme a los procesos para los que se usa como se ve en la Figura 92.



Figura 92. Letreros para identificar herramienta de maquinado de cruceta CNC. Fuente: Elaboración propia

También comencé a elaborar layouts de los herramientas que el operador tiene que ajustar en el proceso de set-up estudiado. Con estas ayudas visuales se pretende evitar errores o dudas sobre las piezas que se deben ensamblar en las máquinas CNC como se vio que se da algunas veces en la fase de observación. En la Figura 94 se muestra el layout del cabezal o herramienta 8 del torno CNC Mazak, esta herramienta ejecuta el proceso de desbaste de muñón. La fotografía de este herramental se

puede ver en la Figura 93, pero con el layout se identifican todas las piezas que componen esta herramienta de una forma más fácil de entender, primero con su nombre descriptivo y después con el código con el que está registrado en el sistema de la empresa, esto con el fin de que no exista errores al momento de solicitar algún accesorio en específico.

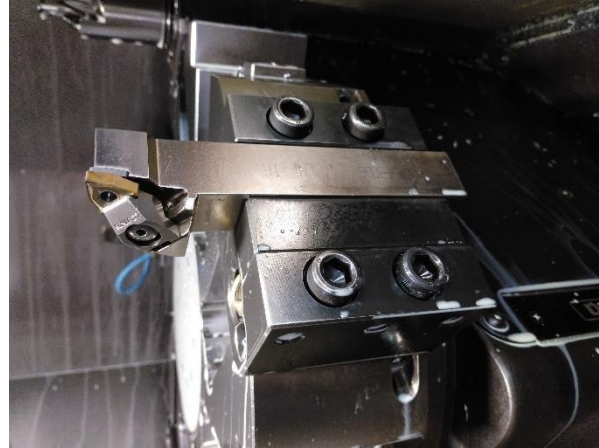


Figura 93. Fotografía de cabezal con herramientas y accesorios para proceso de desbaste de muñón.
Fuente: Elaboración propia

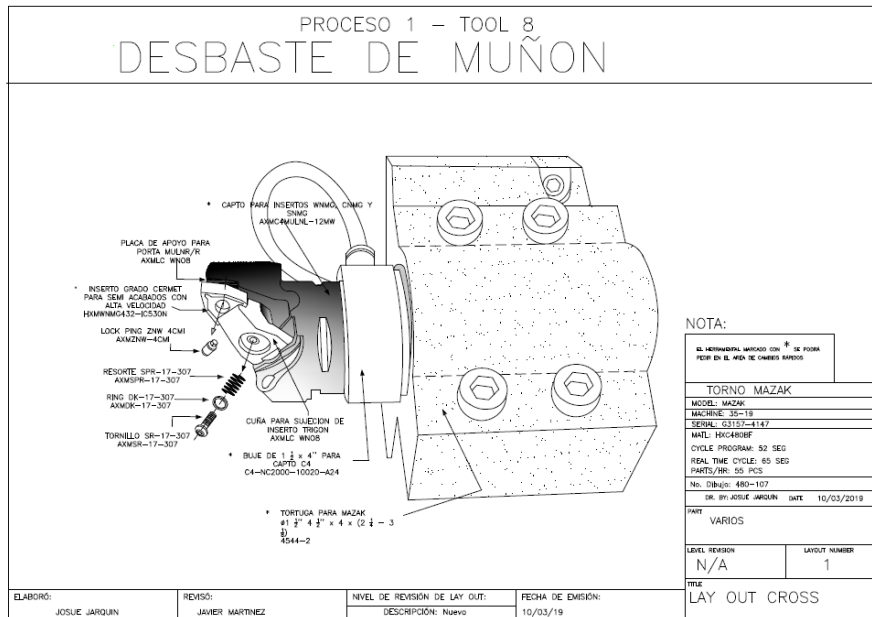


Figura 94. Layout de cabezal con herramientas y accesorios para proceso de desbaste de muñón.
Fuente: Elaboración propia

Con este layout también busqué identificar todos los herramentales que pertenecen al proceso de desbaste de muñón, ya que también se tiene el proceso de rectificado o acabado, con los cuales se vio que el operador puede presentar confusiones, ya que los herramentales son muy parecidos y existe la probabilidad de ocupar herramentales equivocados si no se proporcionan estos recursos de administración visual.

4.8.2 Hojas de instrucción de proceso de set-up.

Una vez establecido el nuevo proceso de set-up es importante documentarlo para que quede estandarizado, y mas que este estandarizado, sea una guía fundamental para que el operador pueda seguir y ejecutar de forma correcta su proceso.

Es por eso que para esto redacté una hoja de proceso de set-up donde indiqué la forma ideal de seguir dicho proceso después de la observación y mejoras establecidas.

En esta hoja indique cada paso de este proceso, incluyendo tiempos de referencia estándar, herramienta a usar, imágenes de referencia, indicaciones importantes como alarmas, botones o comandos a vigilar, el equipo de seguridad a usar, el número y nombre de máquinas para la que aplica esta instrucción y sobre todo, el proceso para que las actividades internas que se detectaron ya se hagan externas de forma estándar como por ejemplo:

- Llenar registros cuando la maquina esta corriendo aún.
- Alimetar de piezas una máquina mientras la otra esta corriendo.
- Solicitar herramientas del proximo lote de producción antes de acabar el actual.
- La indicación de hacer 5s en su carrito de herramienta.



Figura 95. Hoja de Instrucción de Set-up colocada en estación de trabajo. Fuente: Elaboración propia

Esta hoja la coloqué al alcance del operador en su estación de trabajo como se ve en la figura 95, con el fin de que cualquier operador de esta estación la pueda consultar cuando tenga duda sobre un paso o un dato importante del proceso y así convertir esto en un estándar.

4.8.3 Estandarización de vida útil de brocas

Otra medida que incorporé como resultado de la pobre planeación que se vio que había en el cambio de brocas y conocimiento de la vida útil estándar de estas, fue comenzar a hacer una medición de la cantidad de barrenos hechos por cada broca antes de que su filo se termine, esto con el fin de conocer su vida útil y que se pueda anticipar el momento en que ya no tendrán filo y planear su cambio sin parar la máquina una vez funcionando como se observó anteriormente.

Para hacer este registro hice un formato como el de la Figura 96, y di seguimiento con el personal operativo para su llenado cada que se hacía el conteo de las piezas barrenadas.

CONTROL DE VIDA UTIL DE LA HERRAMIENTA
BARRENADO DE CRUCETA
HYUNDAI Y ROBRODRILL

TURNO: 1er # OPERADOR: Hsc 71281 NOMBRE: Harro Antonio Mendez
DE PARTE HXC358CM
RPM: 3600 F-007

Realizada por OSG

# POS.	DESCRIPCION	SAP	PROPUESTA EN PIEZAS	VIDA DE LA HTA.			MOTIVO DE REPLAZO	
				INICIO	FINAL	ACUMULADO	FRACTURA	DES GASATE
1	BROCA 1/4	AXM1/40SG	1000	0	83	83		
2	AVELLANADO 5" BARRENO	AXM5/16TAPE	1000	427	0	427		
3	BROCA 7/32	AXM7/32F400	1000	757	0	757		
4	MACHUELO 1/4-28	HXCE33PA1/4	2000	757	0	757		
5	BROCA 17/64	AXM554026512	2000	N/A	N/A	N/A		
6	BROCA 3/16	AXM3/16 (Carburo)	300	N/A	N/A	N/A		
7	BROCA 1/4	AXM1/4F400	2000	N/A	N/A	N/A		

Se solicitarán brocas 3/16 de carburo de acuerdo a consumo.

FECHA: 27-09-2016 TURNO: 2^a # OPERADOR: 41181 NOMBRE: Jesús Valladolid Aguilar
MAQ. 35-02 # DE PARTE HXC358CM
Broca realzada 1/4
3600 F-007

# POS.	DESCRIPCION	SAP	PROPUESTA EN PIEZAS	VIDA DE LA HTA.			MOTIVO DE REPLAZO	
				INICIO	FINAL	ACUMULADO	FRACTURA	DES GASATE
1	BROCA 1/4	AXM1/40SG	1000	53	145	198		
2	AVELLANADO 5" BARRENO	AXM5/16TAPE	1000	532	145	677		
3	BROCA 7/32	AXM7/32F400	1000	865	145	1010		
4	MACHUELO 1/4-28	HXCE33PA1/4	2000	865	145	1010		

Figura 96. Registro de vida util en brocas de maquinado CNC. Fuente: Registro Obsoleto (Federal Mogul)

4.8.4 Estandarización de codigos para maquinado CNC

Como se vio en el proceso de observación, los operadores menos experimentados tienen confusiones para seleccionar el código correcto para maquinar algún número de parte o bien para modificar los comandos de dicho código cuando se necesite hacer compensaciones en la herramienta.

Es por eso que lo primero que hice fue asegurarme de que se eliminaran de la máquina todos los códigos obsoletos o que habían sido modificados y ya no se ocupaban. Para esto trabajé con las personas más experimentadas y que conocían los códigos correctos para ir seleccionando y administrando estos códigos. (Figura 97).

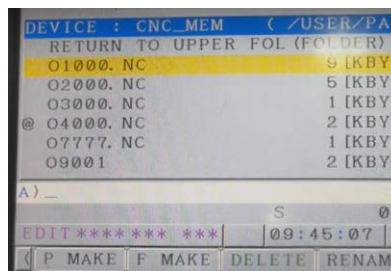


Figura 97. Selección y eliminación de códigos en máquina CNC. Fuente: Elaboración propia

Una vez hecho esto, analicé cada comando de los códigos y me di cuenta que estos eran muy similares para todos los números de parte, lo único que cambiaba son las coordenadas ya que estas dependen del tamaño de la pieza, pero esencialmente este código estaba programado con la misma estructura y la misma secuencia de comandos, también existían subprogramas que no eran necesario conocer a

fondo, simplemente saber para que servía ese subprograma y que proceso de maquinado se lleva a cabo con este.

Para que el operador entendiera todo esto comencé a ordenar los códigos en hojas de texto digital con cada código de cada número de parte, agregué descripciones de las funciones generales de cada comando entre paréntesis, estos paréntesis sirven para que todo lo que se ponga en medio de ellos no afecte al programa. Con esto describí brevemente la función de cada comando o cada subprograma como se puede ver en la figura 98.

```
PROGRAMA Y SUBPROGRAMA PARA MAQUINADO DE CRUCETA HXC373CM
DMG MORI 34-138

%<HXC373CM>
N1 (CAREADO DE MUNON)
G55 (CERO PIEZA)
G28 W0 (SALIDA A HOME)
G50 S2600 (LIMITE DE REVOLUCIONES)
T0505 (HTA. 01 OFFSET 01)
G96 S700 M3 (VELOCIDAD DE CORTE)
M8 (ACTIVA REFRIGERANTE)
M200 (ACTIVA CONVEYOR)
G0 X1.2 Z1. (POSICIONAMIENTO DE HERRAMIENTA RÁPIDO)
M443 (PRIMER MUNON)
M98 P373 (SUBP. CAREADO)
G97 S700 (VELOCIDAD DE CORTE)
T0515
M442 (SEGUNDO MUNON)
M98 P373 (SUBP. CAREADO)
G0 Z700
```

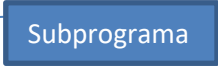


Figura 98. Parte de código para maquinado de cruceta con descripción de comandos y subprogramas. Fuente: Elaboración propia

Posteriormente los almacené tanto en una carpeta electrónica como física, en donde se comenzarían a controlar los cambios que pudieran tener estos códigos y dar seguimiento a cada actualización de modo que nunca se tengan códigos obsoletos en la máquina.

Todo esto se reforzó con capacitaciones planeadas cada mes, donde los instructores serían las personas más experimentadas aprovechando su talento y conocimientos.

4.8.5 Identificación de herramientas

Como se vio anteriormente, las bases para la máquina Mazak fueron inventariadas y clasificadas por familias para optimizar su uso, y ya que estos pueden ser mezclados con otras bases debido a su similitud en dimensiones como se vio en la fase de observación, mandé a colocar por medio de marcado laser el número de familia y número de parte al que pertenece como se puede ver en la figura 99.



Figura 99. Marcado laser de número de parte y familia en herramienta de máq. Mazak. Fuente: Elaboración propia

4.8.6 Procedimientos para administrar herramientas

Con el fin de que los procesos y responsabilidades queden estandarizados, es necesario documentarlos. En la Figura 100 se puede ver parte del procedimiento establecido para controlar los herramientas que se han estudiado y mejorado en este trabajo.

En esta parte mis responsabilidades fueron reunirme con el departamento de *Gestión Calidad* para redactar este procedimiento con todos los puntos importantes a seguir para mantener las mejoras hechas y posteriormente emitirlo en el sistema de gestión de calidad de la empresa.

Entre los datos que redactamos en primer lugar son el título del procedimiento, el área o departamento que emite dicho procedimiento, así como el área donde se llevara a cabo. Se colocan fechas de revisión para garantizar que se lleva una correcta actualización conforme se siguen mejorando los procesos. También se incluyen las máquinas en las que impactará este nuevo procedimiento.

En el cuerpo del procedimiento tuve que definir el objetivo el cual fue asegurar que los herramientas se encontraran siempre en buenas condiciones y con suficiente stock, ya que esta fue la oportunidad de mejora principal que se encontró en los problemas ya mencionados en este proyecto.

Se establece el alcance, para que se tomen en cuenta las áreas que estarán involucradas en este procedimiento y se involucren en dichos cambios.

TÍTULO: CONTROL DE MORDAZAS PARA MAQUINADO DE CRUCETAS		FEDERAL-MOGUL MOTORPARTS	
DEPARTAMENTO PROCESOS:	EMISOR:	INGENIERIA DE ELABORO:	DE REVISIO:
FECHA DE EMISION:		FECHA DE REVISION:	
AREA: MAQUINADO DE CRUCETAS CNC		MAQUINAS: 35-04, 35-05, 34-73, 34-136, 34-137, 34-138	

1.0 OBJETIVO.

Asegurar que los dispositivos de sujeción de crucetas para el proceso de maquinado de muñón (careado y diámetro) se encuentren en óptimas condiciones y con un nivel en stock adecuado, evitando así la variación en el proceso y atrasos en cumplimiento de la meta de producción y generación de tiempos muertos.

2.0 APROBACIÓN Y REVISIÓN.

Ingeniería de Procesos ha aprobado esta instrucción de trabajo. La solicitud para realizar alguna modificación de dicha instrucción deberá ser directamente con el área ya mencionada.

3.0 ALCANCE

Equipos y Personal destinados para Maquinado de Crucetas CNC, Taller Mecánico, Laboratorio de Calidad de FM- Los Reyes, así como personal del Área de Cambios Rápidos (SMED ROOM).

4.0 RESPONSABILIDADES

a) Ingeniero de Procesos

- Diseño y fabricación de Mordazas de sujeción para los diferentes números de parte en nivel de maquinado (CM) existentes en el proceso de maquinado de crucetas. El Plano de cada mordaza deberá especificar las características críticas y el nivel de revisión cada vez que este sea modificado.
- Mantener el plano de cada una de las mordazas de manera electrónica y vigente.
- Definir la vida útil de cada una de las mordazas disponibles para el proceso de maquinado y documentar en Lay Out de Herramientas de proceso.
- Determinar y mantener Stock de mordazas con base a los registros de vida útil de las mordazas.
- Comunicar a los usuarios la entrega de las mordazas de sujeción la aplicación y el funcionamiento para asegurar el mejor desempeño del herramienta.
- Monitorear la vida útil de las mordazas de acuerdo con los registros de control de vida útil de mordazas. Esta información servirá como base para la reparación y/o fabricación de mordazas para mantener el stock de cada número de parte.

b) Ingeniería de Manufactura

- Diseño y fabricación de Mordazas de sujeción para la introducción de números nuevos (CM) a la línea de producción de maquinado de crucetas. El Plano de cada mordaza deberá especificar las características críticas y el nivel de revisión cada vez que este sea modificado.

Figura 100. Procedimiento documentado para controlar mordazas o herramientas. Fuente: Elaboración propia

Después, definí junto con el equipo de *gestión de calidad* que a partir de ese momento sería mi responsabilidad y de mi área diseñar y fabricar herramientas de números de parte que ya se

fabriquen en la empresa, y que hagan falta o estén en malas condiciones, como fue el caso redactado en el presente trabajo, sin embargo, sería responsabilidad del área de Ingeniería de Manufactura, diseñar y fabricar herramientas para números de parte nuevos.

Por otra parte, también documentamos que sería mi responsabilidad y de mi área mantener los planos actualizados, por lo cual comencé a organizar en una carpeta electrónica los planos que al final sirvieron para obtener herramientas funcionales como se mostró en el ejemplo que se redactó en este reporte. También tendría que monitorear la vida útil de los herramientas e informar a los operadores de cualquier cambio en estos herramientas para evitar errores.

En la figura 100 se muestra parte de este procedimiento, el cual no es el original por cuestiones de confidencialidad, pero contiene los puntos importantes que se redactaron.

En este mismo procedimiento también se establece el control de salida y entrada de herramientas como se puede ver en la Figura 101, tanto de los herramientas nuevos que yo entregaría al área de cambios rápidos como los que saldrían para producción con el vale de salida implementado y mencionado en capítulo 4.2

6.0 DISPONIBILIDAD DE HERRAMENTAL

El encargado del área de cambios rápidos deberá colocar la mordaza entregada por el ingeniero de procesos en el Stand de Mordazas para maquinado CNC con la identificación correspondiente para cada una de ellas tomando en cuenta lo siguiente:

- Registrar el ingreso de la mordaza en su sistema para control de Stock, marcando como disponible y lista para su uso en producción.
- Registrar la salida de cada mordaza que sea solicitada por el supervisor y/o encargado del área de maquinado de crucetas.

7.0 REQUERIMIENTO DE HERRAMENTAL

El supervisor y/o encargado del área de maquinado de crucetas CNC en turno debe dirigirse al área de cambios rápidos y solicitar la mordaza y cantidad que requiera de acuerdo el número de parte correspondiente a su Orden de Trabajo y con el vale de salida correspondiente llenado y firmado.

Consultar las condiciones en las que recibe la mordaza, es decir, asegurarse que la mordaza ha sido debidamente dimensionada y se encuentra en óptimas condiciones para su uso en producción.

8.0 DEVOLUCION DE HERRAMENTAL AL AREA DE CAMBIOS RAPIDOS

El personal encargado de la operación de la maquina debe entregar la mordaza al terminar la Orden de Trabajo al supervisor y/o encargado en turno.

Figura 101. Segunda parte procedimiento documentado para controlar mordazas o herramientas.

Fuente: Elaboración propia

De manera similar que se definieron también procedimientos para las pruebas de herramientas y dimensionamiento, así como responsabilidades del supervisor y encargo de cambios rápidos para asegurar la funcionalidad de los herramientas y una buena administración en ellos.

4.9 Tiempos y diagrama de flujo después de las mejoras

Con todas las mejoras mencionadas ya sea en el cambio de los procesos, la estandarización o las mejoras mecánicas, procedí a volver a medir el tiempo promedio de la estación de trabajo que se mencionó al inicio de este proyecto que se tomaría como piloto para la aplicación del SMED y las herramientas Lean Manufacturing complementarias,

Cabe mencionar que hasta este punto algunas mejoras no han sido implementadas en su totalidad, ya que no se han adquirido el 100% de los herramientas planeados a fabricar o porque el carrito de herramientas aun entrará en la fase de prueba, pero vi adecuada esta medición para verificar la viabilidad del proyecto y hacer ajustes necesarios para replicar de una forma más efectiva en las siguientes estaciones, además de que no se puede cubrir una inversión tan alta por parte del área en poco tiempo.

Como se puede ver en la figura 102, hasta este punto ya se notó una disminución en el tiempo promedio de set-up después de las mejoras aplicadas como resultado de la aplicación del SMED, ya que este nuevo tiempo promedio fue de 47.5 minutos, es decir se mejoró aproximadamente un 15% el tiempo promedio registrado antes de las mejoras el cual fue de 56 minutos, por lo que se comprueba la hipótesis que aplicando las herramientas Lean Manufacturing de una forma correcta se pueden mejorar la eficiencia del proceso.

Aunque se pretende que, aplicando las mejoras propuestas de forma completa, trabajando con la cultura *Kaizen* en las personas y buscando más mejora continua se llegue al objetivo de 35 minutos planteado inicialmente para el proceso de set-up.

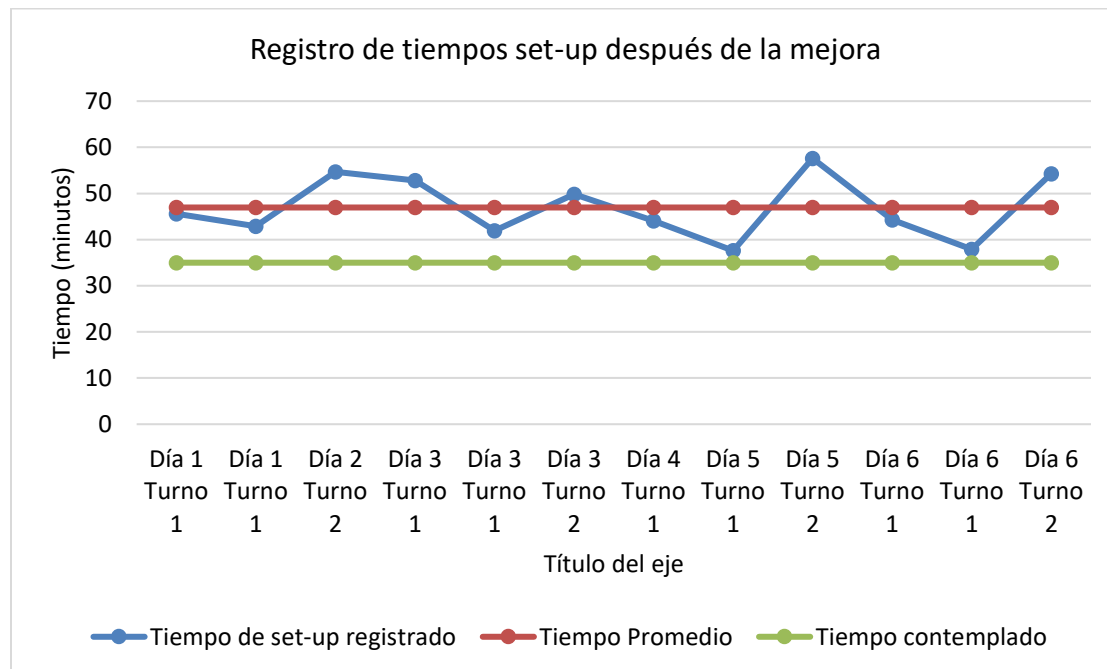


Figura 102. Tiempos registrados después de la mejora. Fuente: Elaboración propia

En el siguiente diagrama de flujo de la figura 103 represento la comparativa del proceso de set up antes de las mejoras contra el proceso después de las mejoras donde gracias a externalizar algunas actividades internas como la limpieza, documentación y conseguir herramientas anticipadamente se ahorraron pasos y por lo tanto tiempos. Además de todas las mejoras mecánicas y de diseño en los herramientas que permitieron eliminar reajustes innecesarios en el proceso y a su vez eliminar desperdicio de piezas.



Figura 103. Comparativa del proceso de set-up antes y después de las mejoras. Fuente: Elaboración propia

Conclusiones.

Sin duda las herramientas Lean Manufacturing y de calidad me ayudaron en todas las etapas de este trabajo y comprobé que son una guía fundamental para el inicio y planteamiento de un problema (ya sea de eficiencia o calidad), también me proporcionaron las pautas para hacer una correcta investigación de causa raíz, y para determinar de forma efectiva las acciones correctivas

Primeramente, me ayudaron a darme cuenta que la causa raíz de un atraso de producción eran procesos con poca eficiencia y flexibilidad, esto fue muy importante entender ya que muchas veces se comete el error de atacar situaciones superficiales que no resuelven el problema permanentemente y de raíz. Para esto fue muy importante herramientas de la calidad como el diagrama de Ishikawa, el análisis de 5why's y los datos registrados que se llevan de producción.

Una vez analizado el problema raíz fue importante establecer acciones contención para mitigar el problema temporalmente ya que esto ayudo a recuperar el atraso que se tenía en la producción de piezas y sobre todo entendí que lo primordial es tener un cumplimiento con el cliente oportuno.

Posteriormente, una vez que entendí la causa raíz del problema fue más fácil establecer cuáles serían las acciones correctivas, en esta parte me di cuenta que a pesar de que la metodología Lean Manufacturing cuenta con muchas herramientas para mejorar los procesos, lo verdadero crítico es saber escoger que herramienta es más útil para algún problema determinado. En este caso la herramienta principal que se escogió fue el SMED ya que el problema que se pretendía resolver estaba relacionado con la eficiencia.

Posteriormente, me fui dando cuenta que algunas otras herramientas Lean Manufacturing se complementan entre ellas y en el caso de este trabajo, la estandarización, las 5S's, la administración visual, los cambios rápidos, la filosofía Kaizen y sobre todo tener bien identificados cuales son los 7 desperdicios que no agregan valor a la empresa me ayudó a externalizar las actividades internas que se identificaron en la fase de observación y reducir aquellas que no se podían externalizar.

Una vez que estas herramientas se aplican de una forma correcta y ordenada me di cuenta que pueden tener muchos beneficios, entre los principales: eliminar desperdicios con poca inversión y pocos recursos tal y como Lean Manufacturing nació en la fábrica de Toyota. También me ayudó a solo trabajar con lo realmente necesario, desechar todo lo que no agrega valor como herramientas inadecuadas, mordazas en malas condiciones que aumentaban los tiempos y costos de producción, tener un orden en todo para que las cosas que están mal en el proceso se hagan más evidentes, esto también apoyado de una administración visual y estandarización para que las personas puedan seguir más fácil el proceso que fui mejorando.

Sin duda, las herramientas Lean Manufacturing están pensadas en los procesos tomando en cuenta la relación de las personas con la máquina, esto fue algo que hizo que con este proyecto las personas tuvieran menos transportes innecesarios, se simplificaran y redujeran sus actividades, y como consecuencia tener menos desperdicios en piezas y en tiempos.

Por otra parte, mis conocimientos técnicos, mecánicos y mi formación como ingeniero mecatrónico me dieron la capacidad para mejorar la resistencia y funcionalidad de los herramientas a través de la mejora en el material y de un análisis profundo de las especificaciones técnicas y de las tolerancias geométricas y dimensionales. El utilizar TDG ayudó tener mayor control sobre las superficies de una pieza y asegurar la correcta interpretación de las necesidades en los herramientas. Cabe mencionar que también tener una clara comunicación entre diseñador y fabricante asegura que las piezas manufacturadas tendrán un funcionamiento correcto.

En esta parte me di cuenta que no solo hay una manera de llegar a un objetivo, y que siempre puedes encontrar un método más práctico para resolver algún obstáculo, tal como fue la obtención de las tolerancias de apriete, las cuales conocía el método teórico aprendido en mis años de estudio, pero ya que tenía herramientas funcionales, pude tomar las dimensiones de estos como referencia para establecer dichas tolerancias y al final esta decisión me ahorro más tiempo y pude ser preciso.

A pesar de que en un inicio no se logró disminuir el tiempo de set-up a 39 minutos como se planteó inicialmente como objetivo, pude validar la hipótesis de que las herramientas Lean Manufacturing son fundamentales para la mejora continua de este tipo de situaciones y que este objetivo es alcanzable y los desperdicios se pueden seguir disminuyendo en un futuro siempre fomentando una cultura de buscar la mejora continua.

Por último, quisiera concluir que hubo materias que me ayudaron mucho para ejecutar este proyecto como lo son procesos de manufactura, diseño CAD, diseño del producto, mecánica de materiales, diseño de máquinas, y aquellos conocimientos de la disciplina de ingeniería industrial que en mi formación universitaria como ingeniero mecatrónico no aborde, pero en esta empresa logré aprender a través de cursos y de mis líderes que sin duda demuestran que la ingeniería en México tiene un nivel muy alto.

Además de estas, hay materias humanísticas que muchas veces son infravaloradas por los ingenieros como lo son cultura y comunicación, ética profesional y literatura que sin duda han sido fundamentales para relacionarme con las personas que viven día a día la operación, poder transmitirles mis ideas, escucharlos de forma activa y tomar en cuenta todos los aspectos importantes para que las personas tengan las herramientas necesarias para hacer su trabajo más fácil y seguro.

Bibliografía y referencias

- Federal Mogul - Motorparts. (2018). Manual de curso: *Manual de Lean Manufacturing*
- Federal Mogul - Motorparts. (2018). Manual de curso: *Single Minute Exchange of Dies (SMED) Facilitator Guide*
- Masaaki, Imai. (2001). *KAIZEN: La clave de la ventaja competitiva japonesa* (13ª edición). México: Continental.
- Gutierrez Pulido, Huberto & De la Vara, Román. (2009). Control Estadístico de calidad y seis sigma (2ª edición). México. McGrawHill.
- Villaseñor, A. & Galindo, Edber. (2007). *Manual de Lean Manufacturing*. México: Programa editorial del Tecnológico de Monterrey.
- Dr1v-Federal Mogul. “Acerca de nosotros” (2021) [Consultado en línea el 28 de agosto de 2021]. Disponible en: <https://www.drivparts.com/esmx/originalequipment/products.html>
- Hernández, J. / Vizán A. (2013). *Lean Manufacturing: Conceptos, técnicas e implementación*. Madrid: Escuela de organización industrial
- Rober L. Norton. (2011). *Diseño de Máquina. Un enfoque integrado*. (4ª edición). México: Pearson Educación de México.
- Universidad ISO. (2019). ISO 9001: 2015 *Proceso Procedimiento e Instrucción de Trabajo*, Youtube. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=EMCD4yFRydw>
- Karl T. Ulrich & Steven D. Eppinger. (2013). *Diseño y Desarrollo de productos*. (5ª edición). México: McGraw-Hill/Interamericana editores
- Mipesa, grupo empresarial. “*La Precisión en el Mecanizado CNC* “. [Consultado el 13 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.mipesa.es/la-precision-en-el-mecanizado-cnc/>
- Loiza Ayala R. MANUFACTURA DE CLASE MUNDIAL. “*Cambio rápido de productos*” (2012). [Consultado en línea el 19 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://manufacturaclasemundial.wordpress.com/tag/setup/>
- Geometric Learning Systems “*GD&T Blog*”. [Consultado en línea el 09 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://gdtseminars.com/blog/>
- Otai Special Steel “*O1 Tool Steel*”. (2020). [Consultado en línea el 09 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://www.astmsteel.com/blog/>