

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño
Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería



TESIS

“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA REDUCIR VARIACIÓN DEL PROCESO DE LIJADO DE CUERPOS DE GUITARRAS ELÉCTRICAS”

Que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

Presenta:

Irma Cecilia Rodríguez García

Director de tesis:

Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza

Ensenada, Baja California

noviembre 2017

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

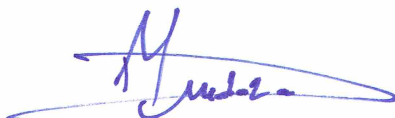
“APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA REDUCIR VARIACIÓN DEL PROCESO DE LIJADO DE CUERPOS DE GUITARRAS ELÉCTRICAS”

TESIS

Que para obtener el grado de MAESTRO EN INGENIERÍA presenta:

Irma Cecilia Rodríguez García

Aprobada por el siguiente comité:



Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza
Director de tesis



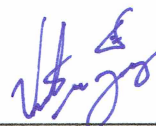
Dra. Yolanda Angélica Báez López
Miembro del comité



Dr. Jorge Limón Romero
Miembro del comité



M.I. Guillermo Amaya Parra
Miembro del comité



M.C. Víctor Manuel Juárez Luna
Miembro del comité

Ensenada, Baja California, noviembre del 2017

RESUMEN

La competitividad en la actualidad ha hecho que las empresas busquen incrementar la calidad de sus productos y servicios a través de metodologías como six sigma (SS) y lean manufacturing (LM) con el objetivo de reducir sus costos y ser más competitivos en el mercado.

La presente tesis aborda la aplicación de la metodología SS y LM con el objetivo de reducir la variación del proceso de lijado en una empresa dedicada a la fabricación de instrumentos musicales, donde el objetivo es hacer el proceso más eficiente y eliminar actividades que no agregan valor al proceso, y en donde los indicadores de manufactura impactados por dicha mejora son la productividad, tiempo de ciclo, conteo de personal, entre otros.

ABSTRACT

Competitiveness on the actual markets has driven companies to increase the quality of their products thru methodologies as six sigma (SS) and lean manufacturing (LM) with the purpose of reduce costs and make themselves more competitive on the markets.

This thesis is about SS and LM case study in a musical instruments company with the main goal of reduce sanding process variation in order to make process more efficient and eliminate activities with non-value added. The main manufacturing triggers involved in this improvement are productivity, cycle time, head count, among others.

DEDICATORIA

Con todo mi amor para mi pequeña princesa Fernanda y mi esposo Víctor, mi éxito es suyo.

Los amo.

AGRADECIMIENTOS

A mi Director de tesis el Dr. Diego Alfredo Tlapa Mendoza quien a lo largo de estos dos años supo guiarme para alcanzar el logro de mis objetivos y siempre me mostró su apoyo tanto en lo profesional como lo personal.

A los miembros del cuerpo académico de Calidad y Productividad por los conocimientos compartidos, las horas de clases y las dudas que me ayudaron a resolver.

A la Universidad Autónoma de Baja California por ser mi casa de estudio donde empecé mi formación profesional y a donde pertenezco orgullosamente como Cimarrón.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la ayuda económica brindada que me permitió culminar mis estudios de Posgrado.

Al M.B.A Gabriel Pulido, al Ing. Abel Ledezma Rodríguez y la empresa donde se realizó este proyecto de mejora, por permitirme ser parte del equipo de trabajo y darme la oportunidad de colaborar con ellos, sin su apoyo no hubiera podido desarrollar esta tesis.

A todos mis maestros que a través de sus clases contribuyeron al logro de este grado académico y a mis compañeros de posgrado quienes formamos un equipo de trabajo y cooperación mutua, especialmente a mi amigo Sergio.

A mi amiga Marina quien me inspiró a iniciar con este reto profesional y con quien siempre conté en lo escolar y en lo personal cuando la necesitaba.

Y finalmente a mi hermosa familia, primeramente, a mis Padres quienes me dieron la vida y me enseñaron que el camino al éxito va de la mano de trabajo duro y mucha dedicación, a mis hermanas que son mi ejemplo a seguir en lo personal y profesional.

A mi esposo Víctor mil gracias por el apoyo incondicional, las horas de desvelo entre la tesis, el embarazo, los pañales y sobre todo por tu amor que me impulsa a salir adelante y sacar lo mejor de mí.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Planteamiento del problema.....	6
1.3 Preguntas de investigación.....	6
1.4 Hipótesis.....	6
1.5 Objetivos.....	6
1.6 Justificación.....	7
1.7 Limitaciones y Delimitaciones.....	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 Six Sigma.....	11
2.1.1 Antecedentes de Six Sigma.....	11
2.1.2 Metodología DMAIC.....	15
2.1.3 Fases de la metodología DMAIC.....	15
2.2 Lean Manufacturing.....	20
2.2.1 Antecedentes de Lean Manufacturing.....	20
2.3 Lean SS.....	23
3. METODOLOGÍA.....	26
3.1 Materiales.....	26
3.2 Métodos.....	27
3.2.1 Revisión de literatura.....	28
3.2.2 Definir.....	29
3.2.3 Medir.....	30
3.2.4 Analizar.....	31
3.2.5 Mejorar.....	31
3.2.6 Controlar.....	32
3.2.7 Resultados y conclusiones.....	33
4. RESULTADOS.....	34

4.1 Definir.....	34
4.2 Medir.....	41
4.3 Analizar.....	46
4.4 Mejorar.....	53
4.5 Controlar.....	58
5. DISCUSION	61
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
7. REFERENCIAS.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.....	8
Figura 2.....	9
Figura 3.....	10
Figura 4.....	14
Figura 5.....	25
Figura 6.....	28
Figura 7.....	29
Figura 8.....	36
Figura 9.....	37
Figura 10.....	38
Figura 11.....	39
Figura 12.....	40
Figura 13.....	41
Figura 14.....	42
Figura 15.....	43
Figura 16.....	43
Figura 17.....	45
Figura 18.....	46
Figura 19.....	47
Figura 20.....	48
Figura 21.....	49
Figura 22.....	50
Figura 23.....	51
Figura 24.....	52
Figura 25.....	53
Figura 26.....	55
Figura 27.....	56
Figura 28.....	57
Figura 29.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	24
Tabla 2.....	44
Tabla 3.....	54
Tabla 4.....	57
Tabla 5.....	58
Tabla 6.....	59
Tabla 7.....	61

1. INTRODUCCIÓN

Desde su introducción en el año de 1980 por la empresa Motorola (Amitrano, Franzosi, Cristina, Estorilio, & Hatakeyama, 2014; Boon Sin, Zailani, Iranmanesh, & Ramayah, 2015a; Braunscheidel, Hamister, Suresh, & Star, 2011; Lin, Frank Chen, Wan, Min Chen, & Kuriger, 2012; Snee, 2004a), Six Sigma (SS) ha sido una de las herramientas predilectas por las compañías para resolver problemas de calidad, adquiriendo mucha relevancia sobre otras herramientas de mejora de procesos. Tal es su importancia que la Asociación Americana de la Calidad, entre otras, han otorgado certificaciones relacionadas con habilidades en dicha metodología. El principal objetivo de SS es reducir variación en los procesos, mediante la recopilación de herramientas de calidad para su aplicación en las fases de Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, conocido como DMAIC. La competitividad en el mercado actual, ha propiciado que las empresas utilicen una gama de herramientas de mejora de procesos para bienes y servicios con el objetivo de presentar una ventaja entre sus competidores respecto a calidad, precio, servicio, tiempo de entrega, entre otras. Una de las herramientas de mejora que ha sido utilizada por grandes compañías a través de los años es la metodología SS.

La empresa donde se realizó la mejora de procesos es una empresa líder dedicada a la fabricación de instrumentos musicales entre los cuales destacan guitarras eléctricas, amplificadores y bajos, la cual inicia sus operaciones en México en la ciudad de Ensenada en el año de 1987. Actualmente la demanda diaria de guitarras es de 650 unidades que son fabricadas en la planta de Ensenada, donde su proceso de cortado y lijado conocido como Mills es el primer proceso en la elaboración de dichas guitarras.

Con el objetivo de retar a sus procesos de fabricación de guitarras, la alta dirección de la empresa ha establecido un rumbo de mejora continua mediante la aplicación de la metodología SS para hacer más eficientes sus procesos de manufactura. Uno de dichos procesos es el lijado de cuerpos de guitarras, su importancia está dada ya que es el primer proceso de lijado y preparación de la superficie de la madera antes de la aplicación de pinturas y esmaltes.

El proceso de lijado conocido internamente como proceso de Body Mills, incluye una serie de operaciones manuales y semi-automáticas mediante las cuales se prepara la superficie para la aplicación de un gel sellador que es secado mediante el uso de luz ultravioleta (UV), y posteriormente otra operación de lijado que tiene como objetivo dejar la superficie con la rugosidad (Ra) necesaria para la aplicación de la pintura deseada según el modelo de guitarra y sus especificaciones previamente establecidas por el cliente.

La cantidad de operadores del proceso, el número de operaciones de lijado, el tipo de lija necesaria y el método de lijado son variables de proceso de las cuales se desconoce si agregan valor al proceso y su participación en el proceso o la combinación de las mismas puede contribuir a la ineficiencia del proceso que a su vez contribuye a los resultados de la productividad del proceso, la cual se mide en horas entre piezas producidas. En este sentido la cantidad de operadores en el área de Mills, los costos de los consumibles en el área, el tiempo de entrega del cuerpo al siguiente proceso, así como el tiempo de ciclo, se pueden afectar positivamente impactando la productividad del área, mediante la simplificación o eliminación de las actividades que no agregan valor al proceso.

1.1 Antecedentes

La metodología SS utiliza una serie de herramientas de mejora continua que han sido desarrolladas a través del tiempo por diferentes personajes que son parte de la historia de la mejora continua y sus contribuciones a la misma siguen siendo ampliamente utilizadas por grandes empresas.

SS ha sido definida como una estrategia de negocios (Bañuelas, Antony, & Brace, 2005; Snee, 2004a), un enfoque para lograr mejoras (Tague, 2005), un proceso de aprendizaje organizacional que resulta en un mayor conocimiento (Schroeder, Linderman, Liedtke, & Choo, 2008), una letra griega utilizada en estadística como un indicador de dispersión o variabilidad (Desai & Shrivastava, 2008; Reyes Aguilar, 2002), una filosofía basada en hechos y datos (Kubiak & Benbow, 2009), una filosofía que encapsula la visión, la filosofía, y el compromiso de la organización (Waterbury & Bonilla, 2008), también está definida como una metodología y un métrico según lo sugieren (Kubiak & Benbow, 2009). Donde algunos autores coinciden es en el propósito para el cual es implementada SS donde su principal objetivo es reducir defectos o errores en los procesos (Bañuelas et al., 2005), con el objetivo de mejorar la calidad a 3.4 o menos defectos por millón (Bodek, 2004; Desai & Shrivastava, 2008; Mendoza & Mendoza, 2005).

SS está definido como un término acuñado por Motorola que enfatiza la mejora de procesos por el propósito de reducir la variabilidad y hacer mejoras generales (Breyfogle, 2003) mientras que el TQM (Gestión de la calidad total) está considerado como el padre de SS debido a que muchos de los principios que constituyen sus bases también están presentes en SS (Brun, 2011).

George et al (2005) define SS como una metodología estructurada de resolución de problemas ampliamente utilizada en los negocios, en ese mismo sentido Kubiak & Benbow (2009) definen DMAIC como una metodología estructurada que se enfoca en la mejora de procesos existentes con el objetivo de conseguir niveles de calidad SS.

Otra metodología ampliamente utilizada por la industria para mejorar procesos es Lean Manufacturing, la cual Kubiak & Benbow (2009) mencionan su definición de acuerdo a la NIST (Instituto Nacional de estándares y tecnología) como: Un enfoque sistemático para identificar y eliminar desperdicios (actividades de no valor agregado) a través de mejora continua por el flujo del producto a través de la fuerza del cliente por la búsqueda de la perfección, donde el pensamiento lean se refiere al uso de ideas para mejorar funciones en todos los departamentos de la empresa.

George et al (2005) define actividades que no agregan valor o desperdicio desde la perspectiva del cliente y que no son requeridas por razones financieras, legales o de negocios. Con el enfoque en reducir desperdicios, Lean Manufacturing (LM) es definido por Bodek (2004) cuando operas tu compañía con la mínima cantidad de desperdicio, al más alto nivel de eficiencia, con la mínima cantidad de inversión, el más bajo número de empleados, el más alto nivel de calidad, el tiempo más corto en la línea desde la orden hasta la entrega del producto final, que no sobre o baja producción, y que entregas al cliente el producto ni tarde ni antes, exactamente justo a tiempo.

La integración de SS y LM es en cierto sentido una evolución de la metodología SS (Hoerl, 2004), por su parte, mediante la estructura de lean SS se permite una mejor implementación de las herramientas y utilización de los recursos para conducir los esfuerzos de mejora continua en una organización (Park & Proceedings, 2005).

Tanto LM como SS pueden ser utilizadas en procesos o servicios, sin embargo su principal aceptación se da en el ramo de la manufactura, donde su popularidad ha crecido en los últimos años, a pesar de esto, Bañuelas et al (2005) habla sobre la poca literatura existente de casos de estudios a profundidad de SS, en este sentido Ghaleb & El sabaie (2014) realizó un estudio de revisión de 5 años de literatura relacionada a publicaciones de casos de estudio de la aplicación de la metodología Lean SS y los sectores que más utilizan dicha metodología, del mismo modo en una revisión de literatura relacionada con SS de un periodo de 12 años se encontró un 24% de los artículos publicados

relacionados con la manufactura y un 26% relacionados con el área de servicios (Chakrabarty & Tan, 2012).

Algunos casos de éxito en la implementación de SS en el ámbito de servicios son la reducción del tiempo de ciclo de reparación de calles en la ciudad de Irving, Texas de 14 a 6 semanas (Brandt, 2011), la mejora en la eficiencia de pagos oportunos a proveedores de Henkel en el Reino Unido (Fraser & Fraser, 2009), la reducción del tiempo de procesamiento de nóminas en un 60%, compras y cuentas por pagar en un 40%, cuentas por cobrar en un 90% y el tiempo de procesamiento de conciliaciones mensuales en un 87% en una entidad gubernamental (Furterer & Elshennawy, 2005).

En la rama de la manufactura, se tienen documentados casos de éxito en la implementación de SS donde se logró una reducción global del 50% en el costo total en la fabricación de un producto militar (Pickrell, Lyons, & Shaver, 2005), reducción del 91.67% de defectos en la fabricación de faros traseros y delanteros de automóviles y motocicletas (Sodkomkham & Chutima, 2016), ahorros de 100,000 dólares anuales en materia prima para la fabricación de tapas plásticas para empaque de productos alimenticios (Pranckevicius, Diaz, & Gitlow, 2008), el incremento de producción de tarjetas de circuitos impresos de 22500 piezas diarias (Lee & Wei, 2010)

En México la implantación de la metodología SS aún no se ha iniciado en la micro y pequeña empresa, sólo se ha iniciado en empresas medianas y grandes, subsidiarias de grandes corporaciones que han impulsado su implantación; para ello han enviado a capacitación externa a coordinadores o champions (Reyes Aguilar, 2002).

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente el proceso de Mills cuenta con 12 operadores donde sus operaciones de lijado representan el 65% de los costos de mano de obra en el área. Se han observado actividades repetitivas que contribuyen a la ineficiencia del proceso y costos excesivos de sobre-proceso, asimismo se desconocen los rangos de operación para la rugosidad de la superficie de los cuerpos.

1.3 Preguntas de investigación

- 1.3.1 ¿Genera la operación orbital L1 y L2 un cambio en la rugosidad con respecto de la siguiente operación de lijado?
- 1.3.2 ¿Contribuye la operación lijado caras a obtener la rugosidad deseada?
- 1.3.3 ¿El número de operadores es el requerido para las operaciones del área?
- 1.3.4 ¿Es posible incrementar la productividad del área?

1.4 Hipótesis

- 1.4.1 La operación Orbital lado 1 y lado 2 son operaciones repetitivas.
- 1.4.2 La operación Lijado caras es una operación innecesaria.
- 1.4.3 La cantidad de operadores del área esta sobrada.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Incrementar la eficiencia del proceso de lijado en el área de Mills mediante la implementación de la metodología DMAIC y herramientas de LM.

1.5.2 Objetivos Específicos

- 1.5.2.1 Identificar operaciones de sobre-proceso de lijado en el área de Mills y simplificarlas.
- 1.5.2.2 Mejorar el tiempo de ciclo.

1.5.2.3 Mejorar el tiempo de entrega.

1.5.2.4 Mejorar el indicador de Horas por Unidad.

1.6 Justificación

Como parte de una estrategia de mejora de la empresa, el departamento de mejora continua se ha dado a la tarea de retar sus procesos de manufactura, con el objetivo de hacerlos más eficientes mediante la aplicación de la metodología SS y algunas herramientas de LM.

Actualmente el proceso de Body Mills cuenta con actividades de lijado las cuales representan un 65% de los costos de mano de obra del área y se desconoce si dichas actividades agregan valor al producto.

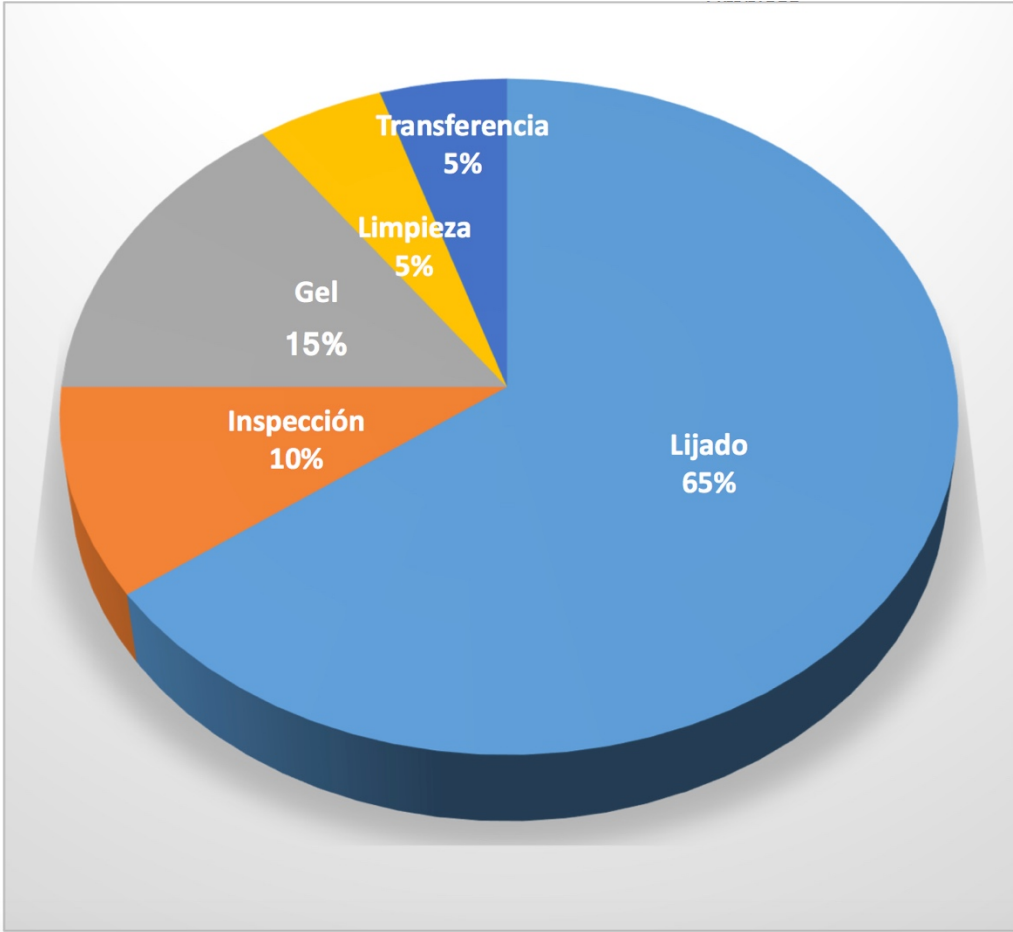


Figura 1 Costos del mano de obra en área de Body Mills

Los defectos del área encontrados en recibo del siguiente proceso están representados en la figura 2, donde se puede observar que el cuerpo delgado es el principal defecto generado por el área de Body Mills.

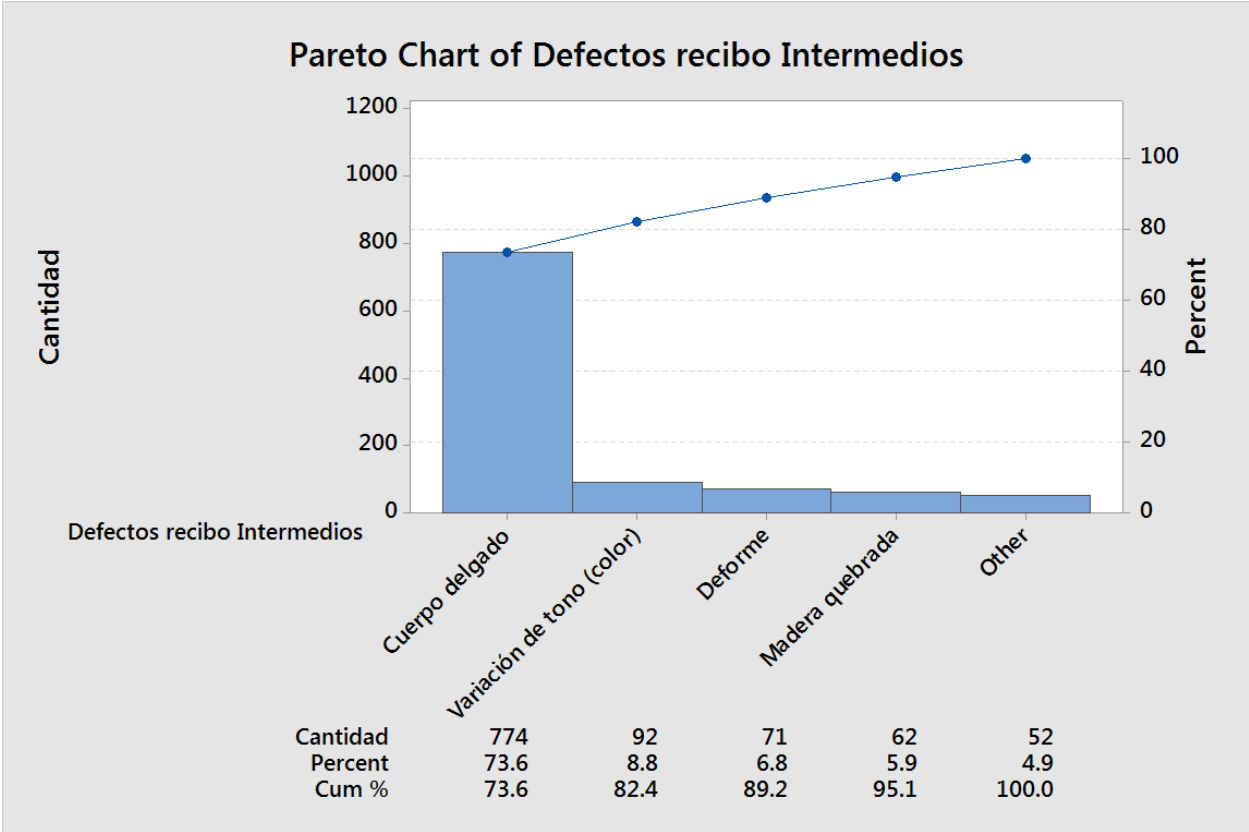


Figura 2 Gráfico de Pareto de defectos encontrados en recepción en el área de intermedios correspondientes al periodo de febrero del 2016.

El indicador de productividad en el área está dado en HPU (horas por unidad) con una meta en el año 2015 de 0.97 reduciéndose a 0.92 a inicios del año 2016 razón por la cual el proyecto se enfoca en la reducción de personal del área, ver figura 3.

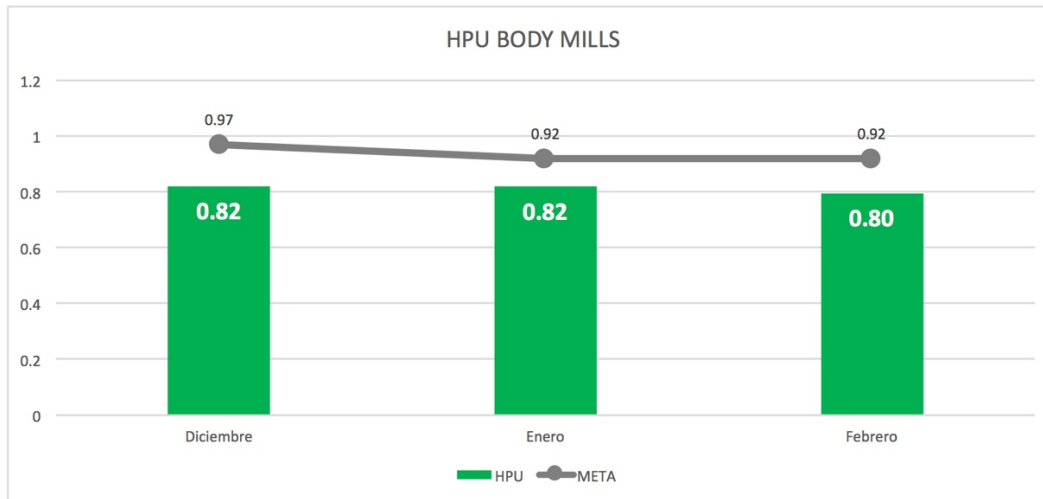


Figura 3 Indicador de HPU de diciembre a febrero del 2016.

1.7 Limitaciones y Delimitaciones

1.7.1 Limitaciones

El presente trabajo está limitado al uso de recursos disponibles en el área, los cuales incluyen: mano de obra directa, herramientas de proceso requeridas, disponibilidad del producto en proceso de acuerdo a las órdenes de producción y sus tiempos de entrega, restricciones de los recursos económicos para inversiones, prioridades del área asignadas por la dirección de la compañía y disponibilidad de tiempo del personal de soporte del área.

1.7.2 Delimitaciones

El alcance del presente trabajo es el área de Mills, específicamente las operaciones de lijado del cuerpo, inspección, montaje y aplicación de gel UV, en la fabricación de guitarras.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 SS

SS es una herramienta que proviene del uso complejo de la estadística aplicada a problemas o proyectos de eficiencia y productividad (Velazquez, 2014). Por su parte Schroeder et al (2008) define SS como una estructura paralela organizada que reduce la variación en procesos organizacionales utilizando especialistas en mejora, un método estructurado y métricos de desempeño con el objetivo de alcanzar los objetivos estratégicos.

2.1.1 Antecedentes de SS

La mayoría de las técnicas encontradas en la caja de herramientas de SS han estado disponibles por mucho tiempo, gracias al innovador trabajo de muchos profesionales en las ciencias de la calidad (Kubiak & Benbow, 2009). Walter A. Shewhart trabajó en una planta de Western Electric donde desarrolló y utilizó gráficos de control en 1920 y sus principios fueron aplicados en los años 30 pero se perdieron después de la segunda guerra mundial. (Kubiak & Benbow, 2009; Tague, 2005), aunque Snee (2004) menciona que fue durante su estancia en Bell Laboratories cuando desarrolló los gráficos de control. En 1924 Joseph Juran inicia su carrera que contempla la escritura de cientos de artículos y 12 libros (Kubiak & Benbow, 2009), también fue conocido por ser quien agregó el factor humano a la calidad (Bodek, 2004). Deming y Juran trabajaron en Estados Unidos y Japón para desarrollar y entender la importancia de la mejora continua (Kubiak & Benbow, 2009) y aseguraron que ellos fueron quienes proveyeron a los Japoneses de los principios básicos de los círculos de control de calidad (QCC) , que tenían como objetivo resolver problemas del área de trabajo de un pequeño grupo, sin embargo, luego se dio a conocer que fue Ishikawa quien introdujo estos principios donde ellos tuvieron importantes roles (Bodek, 2004).

Deming aprendió del control estadístico de procesos de Shewhart y lo enseñó a

ingenieros y estadísticos en 1940 y por sus contribuciones el JUSE (Unión japonesa de científicos e ingenieros) instituyó el premio Deming para reconocer a las compañías que mostraran excelencia en la calidad de sus productos (Tague, 2005), asimismo Kubiak & Benbow (2009) mencionan entre dichas contribuciones el desarrollo de los 14 puntos en donde enfatizar la necesidad de un cambio en la estructura y actitud de la administración, los cuales son los siguientes:

1. Crear constancia de propósito de mejora de producto o servicio
2. Adoptar una nueva filosofía
3. Cesar la dependencia en la inspección para conseguir la calidad
4. Finalizar las prácticas de comprar en base al precio. En cambio, minimizar el costo total trabajando con un solo proveedor
5. Mejorar constantemente y siempre cada proceso de planeación, producción y servicio
6. Instituir entrenamiento en el trabajo
7. Adoptar e instituir el liderazgo
8. Eliminar el miedo
9. Romper barreras entre departamentos
10. Eliminar eslóganes, exhortaciones, y objetivos a los empleados
11. Eliminar cuotas numéricas para los empleados y objetivos numéricos a los administradores
12. Remover barreras que impiden a las personas sentirse orgullosos de su trabajo. Eliminar la clasificación anual o sistema de méritos.
13. Instituir un vigoroso programa de educación y auto mejora para todos
14. Poner a toda la compañía a trabajar para conseguir la transformación.

Después de la segunda guerra mundial Deming fue a Japón en el año de 1950 invitado por el JUSE para dar una conferencia. Fue en ese tiempo cuando el concepto hecho en Japón era sinónimo de basura de baja calidad, pero Deming mostró a los japoneses sus conceptos y les dijo que si los aplicaban el mundo pediría sus productos (Bodek, 2004).

Philip B. Crosby miembro honorario de la ASQ (Sociedad Americana de la Calidad) y ex presidente de la misma, originó el concepto de cero defectos y desarrolló una serie 14 de pasos para mejorar la calidad (Kubiak & Benbow, 2009), también publicó un libro titulado la calidad es gratis (Bodek, 2004).

El verdadero genio detrás del movimiento de calidad japonesa fue Kaoru Ishikawa quien es conocido como el verdadero padre de la mejora de la calidad en Japón después de la segunda guerra mundial y quien en 1962 inició una revista para educar y promover los círculos de control de calidad (Bodek, 2004) y fue en 1985 cuando desarrolló el diagrama de causa y efecto (Kubiak & Benbow, 2009).

Japón desarrolló un cambio en la calidad de sus productos después de la segunda guerra mundial, mediante la ayuda principalmente de Deming y Juran quienes fueron llamados por el JUSE para impartir pláticas y conferencias que detonaron los cambios que convirtieron a Japón en un sinónimo de calidad a nivel mundial. Tague (2005) menciona que después del documental titulado ¿Si los japoneses pueden porque nosotros no? varios directores ejecutivos de las principales compañías automotrices americanas (Ford, General Motors, Chrysler) se acercaron a Juran y Deming para solicitar consultorías.

La metodología SS surge en Motorola en la década de los 80's (Amitrano et al., 2014; Boon Sin, Zailani, Iranmanesh, & Ramayah, 2015b; Braunscheidel et al., 2011; Lin et al., 2012; Snee, 2004a) cuando dicha compañía se da cuenta de su necesidad de adecuarse para alcanzar a sus competidores, es por ellos que necesitaban medir sus defectos en partes por millón (Tague, 2005).

Motorola se dio cuenta que sus problemas estaban causados por la forma en la que administraban la organización y fue cuando desarrollaron la calidad SS, haciéndolos acreedores al premio Malcolm Baldrige en el año de 1988 cuando tuvieron que compartir sus métodos al público y detonaron en la aplicación de la misma por otras compañías como General Electric, Allied Signal (Tague, 2005).

Basado en el trabajo de (Breyfogle et al., 2001; Kumar et al., 2004) la metodología SS produce resultados sustanciosos en numerosas compañías como General Electric, Motorola, Allied Signal, Honeywell, Raytheon (Pickrell et al., 2005).

Aunque diferentes autores mencionan el inicio de la metodología SS en la década de los 80's Albeanu & Radford (2010) dicen que surgió en 1970 después que una firma japonesa tomara control sobre una fábrica de televisiones en Estados Unidos. Sin embargo, autores coinciden con la necesidad de Motorola de re-pensar su enfoque en la calidad (Albeanu, Hunter, & Radford, 2010; Tague, 2005).

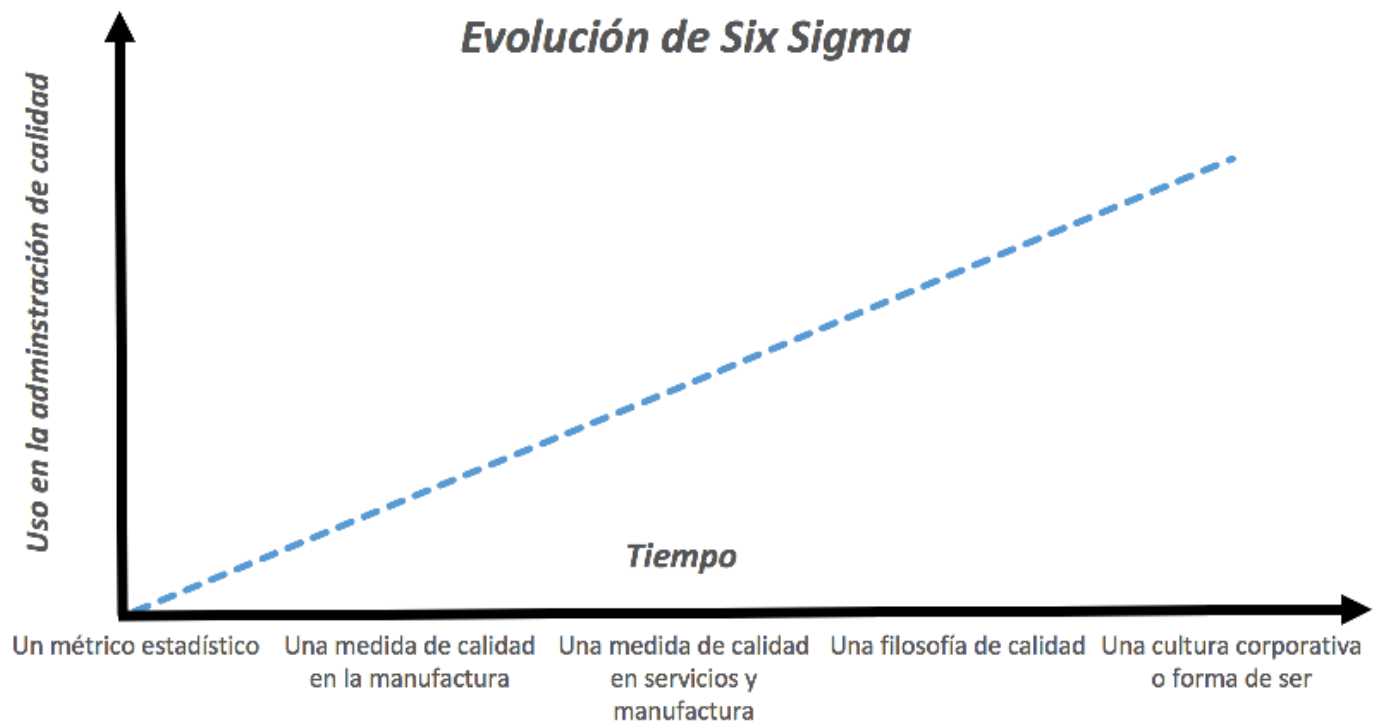


Figura 4 Evolución de la metodología SS (Albeanu et al., 2010).

2.1.2 Metodología DMAIC

El DMAIC (Definir, medir, analizar, mejorar y controlar) es una metodología bien estructurada de solución de problemas ampliamente utilizada por los negocios, que alienta el pensamiento creativo dentro de las fronteras manteniendo los procesos básicos, productos o servicios (George et al., 2005). La metodología DMAIC es consistente con el modelo de pasos de solución de problemas PDCA y da más énfasis en integrar específicas herramientas en cada paso del método (Schroeder et al., 2008).

2.1.3 Fases de la metodología DMAIC

2.1.3.1 Definir

En la definición del problema se busca encontrar la situación actual del problema mediante la voz del cliente que incluye la retroalimentación de lo que el cliente está buscando, cuáles son sus expectativas y sus requerimientos. Es en esta fase donde seleccionas el trabajo en el que vas a trabajar, defines el problema específico a resolver y el proceso a ser mejorado (Snee, 2004a).

Los pasos clave según George et al. (2005) en la fase de definir incluyen:

- Revisión del project charter (carta del proyecto)
- Validar el planteamiento del problema y los objetivos
- Validar los beneficios financieros
- Crear y validar los mapeos de proceso y el alcance
- Desarrollar planes del proyecto (agenda, presupuesto, metas)
- Completar la revisión de la definición

2.1.3.1.1 Herramientas utilizadas en fase de definir

Modelo de Kano: Técnica que sirve para entender los niveles de variación del valor que los clientes otorgan a diferentes características del producto o servicio (George et al., 2005). Kubiak & Benbow (2009) mencionan tres niveles de satisfacción del cliente, las

cuales son: insatisfacción, neutralidad y deleite.

Project Charter: Es un documento que indica los propósitos del proyecto (Kubiak & Benbow, 2009).

QFD o (despliegue de la función de calidad): También conocido como casa de la calidad llamado así por su apariencia a forma de casa el cual clarifica la relación entre las necesidades del cliente y las características del producto (Kubiak & Benbow, 2009).

SIPOC: Diagrama de proveedor-entrada-proceso-salida-cliente que da una imagen instantánea de los flujos de trabajo, donde el aspecto de proceso consiste de solo cuatro a siete bloques (Breyfogle, 2003).

2.1.3.2 Medir

La fase de medir está destinada a asegurar que estás trabajando en la mejora del métrico correcto; uno que es realmente el necesario para la mejora y el cual puede ser medido correctamente (Snee, 2004a). El objetivo de esta fase es recolectar información del problema en cuestión.

Los pasos claves en la fase de medición son los siguientes:

- Crear/Validar el VSM (mapeo de la cadena de valor) para confirmar el flujo del proceso actual
- Identificar las entradas, salidas y las variables relevantes del proyecto
- Crear un plan de recolección de datos que incluya definiciones operacionales para todas las mediciones
- Crear un plan de análisis de datos
- Utilizar MSA (Sistema de análisis de las mediciones) y Gage R&R (Repetitividad y Reproducibilidad)
- Recolectar datos para establecer la base del proyecto

- Actualizar el VSM con datos
- Calcular el lead time (tiempo de entrega)
- Desarrollar la evaluación de la capacidad del proceso
- Desarrollar mejoras rápidas
- Preparar para la revisión de la fase de medición (George et al., 2005).

2.1.3.2.1 Herramientas utilizadas en la fase de medir:

Gage R&R: Un tipo de análisis de sistema de mediciones realizado para evaluar el desempeño de un método de prueba o sistema de medición (Kubiak & Benbow, 2009).

VSM: Es el conjunto de acciones (tanto de valor agregado como las que no agregan valor) que se necesitan actualmente para mover un producto a través de los principales flujos esenciales para cada uno de ellos:

- 1) El flujo de producción, desde la materia prima hasta las manos del consumidor,
- 2) El flujo de diseño, desde el concepto hasta el lanzamiento. (Rother & Shook, 1999)

2.1.3.3 Analizar

En la fase de analizar evaluamos los datos de la base del proyecto para posteriormente documentar el desempeño e identificar la causa raíz de los defectos y variaciones observadas (Snee, 2004a). Durante esta fase con la información recopilada y los datos obtenidos de la medición se procede a analizar los datos para determinar la causa raíz del problema.

Su principal propósito es encontrar las X's (variables significativas) críticas, es decir verificar las causas que afectan las variables de entradas y salidas claves con relación a las metas del proyecto. (George et al., 2005). Según (Tague, 2005) esta fase analiza el proceso actual para entender problemas y sus causas.

Los pasos clave en la fase de analizar son los siguientes:

- Realizar análisis de valor
- Calcular el PCE (Eficiencia del ciclo de proceso)
- Analizar el flujo del proceso
- Analizar datos recolectados en la fase de medición
- Generar teorías para explicar causas potenciales
- Reducir la búsqueda
- Recolectar datos adicionales para verificar causas raíz
- Prepararse para la revisión de la fase de analizar (George et al., 2005).

2.1.3.3.1 Herramientas utilizadas en la fase de analizar

AMEF: Enfoque analítico dirigido a la prevención de problemas mediante la priorización de problemas potenciales y su resolución (Breyfogle, 2003).

Gráfico de Pareto: Una técnica gráfica utilizada para cuantificar problemas de manera que los esfuerzos se empleen en fijar los “pocos vitales” en lugar de los “muchos triviales” (Breyfogle, 2003).

Histograma: Un diagrama de frecuencia en donde se trazan las barras proporcionales en el área a las frecuencias de clase sobre el eje horizontal (Breyfogle, 2003).

Pruebas de hipótesis: Consiste de una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alternativa (H_a) donde, por ejemplo, una hipótesis nula indica la igualdad entre dos salidas de proceso y la alternativa indica que no son distintas (Breyfogle, 2003).

Solución de problemas: El proceso de determinar la causa de un síntoma y luego elegir una acción para mejorar el proceso o producto (Breyfogle, 2003).

2.1.3.4 Mejorar

Su principal propósito es encontrar las X's críticas, es decir verificar las causas que afectan las variables de entradas y salidas claves con relación a las metas del proyecto.

(George et al., 2005).

En esta fase se implementan las mejoras definidas de acuerdo a los datos analizados en la fase anterior. En esta fase debemos imaginarnos como cambiar el proceso para conducir las causas raíz identificadas en la fase de analizar, y de ese modo mejorar el desempeño del proceso (Snee, 2004a).

Los pasos clave en la fase de mejora son los siguientes:

- Desarrollar soluciones potenciales
- Evaluar, seleccionar, y optimizar las mejores soluciones
- Desarrollar el VSM
- Desarrollar e implementar la solución piloto
- Confirmar el logro de las metas del proyecto
- Desarrollar y ejecutar un plan de implementación a gran escala
- Preparar para la revisión de la fase de mejora (George et al., 2005).

2.1.3.4.1 Herramientas utilizadas en la fase de mejorar

DOE o (diseño de experimentos): Es un enfoque estadístico para designar y conducir experimentos de forma que dichos experimentos provean los métodos más eficientes y económicos para determinar el efecto de un set de variables independientes en una variable de respuesta (Kubiak & Benbow, 2009).

2.1.3.5 Controlar

La fase final del DMAIC es establecer controles para el monitoreo de los procedimientos y actividades establecidas en la fase de mejora. Generalmente la fase de control requiere de auditorías para aseguramiento de la implementación de procedimientos, uso de nuevos equipos, funcionamiento de maquinaria, control de parámetros de operación. En esta fase se tiene por objetivo controlar las características críticas como los parámetros de aplicación e instrucciones de trabajo para su correcta aplicación. En la fase de control

es muy común utilizar el control estadístico de proceso.

Los pasos clave en la fase de control son los siguientes:

- Desarrollar métodos de soporte y documentación
- Lanzar la implementación
- Bloquear la ganancia de rendimiento
- Monitorear la implementación
- Desarrollar planes de control de proceso y entregarlo al dueño de proceso
- Auditar a los resultados
- Finalizar el proyecto
- Validar el desempeño y los resultados financieros (George et al., 2005).

2.1.3.5.1 Herramientas utilizadas en la fase de controlar

Plan de control: Es un documento vivo que identifica las entradas críticas o variables de salida y actividades asociadas que deben ser desarrolladas para mantener el control de las variables de procesos, productos y servicios con el objetivo de minimizar la desviación de sus valores preferidos (Kubiak & Benbow, 2009).

2.2 LM

La palabra “lean” en inglés significa “magra”, es decir, sin grasa. En español no combina mucho la definición de “manufactura magra”, por lo que se le ha llamado: Manufactura Esbelta o Manufactura Ágil, pero al igual que muchos otros términos en inglés, se prefiere dejarlo así (Lilian, 2010).

2.2.1 Antecedentes de LM

A Taiichi Ohno quien fuera ingeniero de Toyota, se le atribuyen muchos principios, conceptos y herramientas lean, pero él dijo que aprendió de Henry Ford y Ford Motor Company con quien co-desarrolló TPS (Sistema de producción de Toyota) (Bodek,

2004). Por otra parte (Reyes Aguilar, 2002; Tague, 2005) dicen que el concepto lean fue acuñado por un grupo de estudio del MIT (Instituto de tecnología de Massachusetts). Basado en el trabajo previo de (NIST, 2000) se dice que LM surge del TPS (Pickrell et al., 2005).

Shigeo Shingo quien es uno de los precursores de LM define proceso como un flujo por el cual un objeto es transformado de materia prima a producto final (Bodek, 2004).

Shingo y Ohno jugaron papeles importantes en el desarrollo de LM y fue a través de sus conceptos que nació LM (Bodek, 2004).

LM forma parte de un grupo de mega herramientas para mejora de proceso entre las cuales se encuentran: SS, LM, enfoque benchmarking, ISO 9000, QFD, entre otras. (Tague, 2005). En este sentido ISO (Organización Internacional para la Estandarización) surge en el año de 1987 cuando lanza una serie de normas conocidas como ISO 9000 las cuales son idénticas a la BS5750 creadas como estándares británicos en 1979, desarrolladas con el objetivo de facilitar el comercio internacional (Tague, 2005).

Según (Näslund, 2008) LM es una versión actualizada del JIT (justo a tiempo), por otra parte (Bodek, 2004) dice que en Japón el JIT es solo una parte de lo que comprende el TPS aunque usualmente ambos sean utilizados para referirse a la misma cosa, en ese tema fue Ohno quien impulsó el desarrollo del JIT en Toyota, sin embargo después de su fallecimiento Toyota revirtió ligeramente su tendencia a eliminar inventario y manejar inventario adicional para protegerse de desastres, a pesar de eso, Toyota sigue siendo la mejor empresa a nivel mundial en cuestión de JIT. En este sentido Lilian (2010) define LM como un conjunto de técnicas desarrolladas por la Compañía Toyota que sirven para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial, independientemente de su tamaño.

El enfoque principal de LM es reducir desperdicios (Kubiak & Benbow, 2009; Lilian, 2010; Tague, 2005) los cuales según (Bodek, 2004) son los siguientes:

1. Inventario
2. Movimiento
3. Transporte
4. Defectos
5. Tiempo de espera
6. Sobre-producción
7. Procesamiento

Adicionalmente (Bodek, 2004) sugiere agregar los tres siguientes tipos de desperdicios:

1. Ineficiencias de inspección
2. Exceso de costos
3. Falta de creatividad, talento no aprovechado.

2.2.1.1 Herramientas de LM

JIT: Con el Just in Time todos los procesos producen las piezas necesarias en el tiempo necesario y se deben tener disponibles únicamente las existencias mínimas necesarias para mantener unidos los procesos (Lilian, 2010).

Benchmarking: Para proveer un estándar contra el cual algo puede ser evaluado (Breyfogle, 2003)

Jidoka: Hacer que el equipo o la operación se detenga, siempre que surja una situación anormal o defectuosa (Lilian, 2010).

Kaizen: Es prácticamente una palabra universal, pero raramente es utilizada en la mayoría de las organizaciones como una herramienta de mejora continua, la cual no es considerada como opcional en un sistema lean (Liker & Morgan, 2006).

Kanban: Una señal, comúnmente una tarjeta adjunta a los suministros o equipos que regula el pull (jalón) mediante la señalización de producción y entrega (Womack, Byrne,

Flume, Kaplan, & Toussaint, 2005).

Pull: Un sistema de producción de cascada e instrucciones de entrega de actividades desde abajo hacia arriba donde nada es producido por el proveedor de arriba hasta que es enviada una señal de requerimiento desde abajo, lo contrario a push (empujar) (Womack et al., 2005).

Push: Un término que resulta en una actividad que un cliente o proceso descendiente no ha solicitado específicamente (Breyfogle, 2003).

2.3 Lean SS

La metodología lean SS no es un procedimiento estandarizado, por lo cual puede ser utilizado en varios sectores (Psychogios & Tsironis, 2012). El concepto de fusionar lean y SS se remonta a 1997 cuando *BAE Systems* intentó combinar los principios de lean con SS (Alsmadi & Khan, 2010). Para crear un método de mejora holística, se debe crear un sistema integrado para gestionar proyectos en lugar de sistemas independientes como LM o SS (Snee, 2004b), esto debido a que la mejora de procesos requiere aspectos de ambos enfoques para lograr los resultados positivos, ventaja competitiva (Alsmadi & Khan, 2010; Kubiak & Benbow, 2009), y donde (Byrne, Lubowe, & Blitz, 2007) afirma que puede promover una cultura empresarial con inclinaciones a la innovación en vez de únicamente enfocarse en la eficiencia. En este sentido (Ghaleb, El-sharief, & El-sebaie, 2014) lo hace llamar lean Enterprise, y lo define como un enfoque a mejorar la calidad al reducir la variación y eliminar el desperdicio en una organización el cual se basa en el concepto de la combinación de LM y SS, algunos autores como (Al-Aomar, 2007) incluyen el concepto de simulación como parte de una trilogía que alineada logra beneficios que incluyen procesos aerodinamizados, minimización de riesgos, y rendimiento revolucionario.

Por su parte Kubiak & Benbow (2009) definen lean SS como Una filosofía de mejora basada en hechos, conducida por datos que valora la prevención de defectos sobre la

detección de los mismos. En este sentido lean y SS tienen diferentes enfoques, algunos autores como Pickrell et al (2005) y Tua (2011) coinciden en el enfoque de SS en reducir la variación, pero a su vez difieren en el enfoque al flujo y la reducción de desperdicios.

Tabla 1 Comparación entre Lean y SS (Tua, 2011)

Programa	SS	Pensamiento Lean
<i>Teoría</i>	<i>Reducción de la Variación</i>	<i>Reducción de desperdicios</i>
<i>Guía de aplicación</i>	1. Definir	1. Identificar desperdicios
	2. Mejorar	2. Identificar cadena de valor
	3. Analizar	3. Flujo
	4. Mejorar	4. Pull
	5. Controlar	5. Perfección
<i>Enfoque</i>	Enfoque al problema	Enfoque en el flujo

A la fecha no existen suficientes publicaciones relacionadas con la aplicación de lean SS, especialmente en México, esto se puede constatar en la investigación de Ghaleb et al (2014) donde se hace referencia a investigaciones publicadas en el idioma inglés relacionadas con Lean SS en un periodo de 5 años, donde Estados Unidos encabeza la lista de más publicaciones.

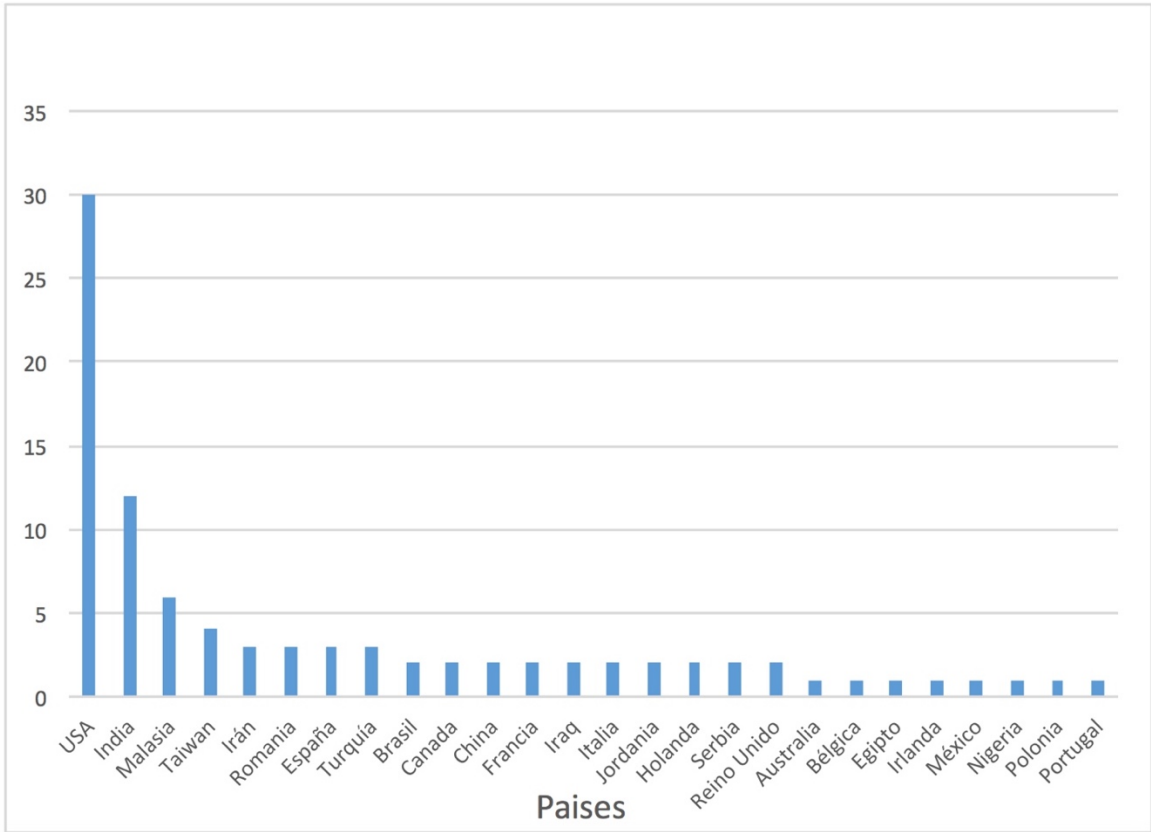


Figura 5 Países que han utilizado Lean SS desde 2008 al 2013 (Ghaleb et al., 2014).

3. METODOLOGÍA

Para la consecución del objetivo general se propone la metodología DMAIC como una metodología estructurada de solución de problemas.

3.1 Materiales

Los materiales requeridos para la realización de este proyecto de mejora en el área de Mills se clasifican en las siguientes categorías:

3.1.1 Software

3.1.1.1 SAP

3.1.1.2 Minitab 17

3.1.1.3 Paquetería Office

3.1.2 Equipos de medición

3.1.2.1 Medidor de rugosidad portátil TR200

3.1.2.2 Cronómetro Extech

3.1.2.3 Calibrador Digital Mitutoyo

3.1.2.4 Medidor de espesor por ultrasonido

3.1.2.5 Higrómetro Extech

3.1.3 Equipo de cómputo

3.1.4 Equipo y herramientas

3.1.4.1 Lijadora orbital

3.1.4.2 Lijadora minico

3.1.4.3 Lijadora sandingmaster

3.1.4.4 Secadora Ultravioleta

3.1.4.5 Router

3.1.5 Consumibles

3.1.5.1 Lijas grano 80, 120, 150, 220, 320, 400

3.1.5.2 Gel UV

3.1.5.3 Lija Scuff 3M

3.1.5.4 Pads de lijadora orbital

3.1.6 EPP (Equipo de protección personal)

3.1.6.1 Overol para pintura

3.1.6.2 Mascarilla de protección de gases

3.1.6.3 Cubre zapatos

3.1.6.4 Tapones auditivos

3.1.6.5 Mascarilla de protección de polvo

3.2 Métodos

La metodología aplicada para la realización de este proyecto comprende 7 fases que incluyen la revisión de literatura, la aplicación de la metodología DMAIC y la revisión de resultados y elaboración de conclusiones.

La figura 6 muestra el proceso de desarrollo de la metodología a través de las 7 fases:

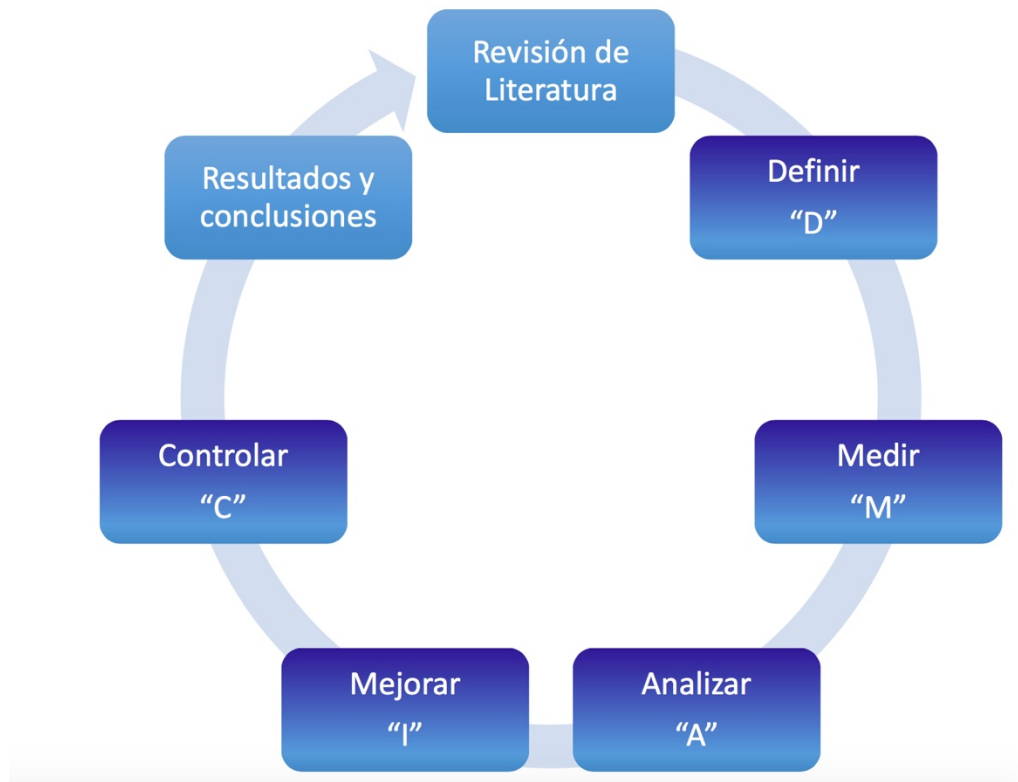


Figura 6 Fases de la aplicación de la metodología del proyecto.

3.2.1 Revisión de literatura

La revisión de literatura para desarrollar el presente proyecto incluyó la lectura de libros y artículos de revistas en bases de datos electrónicas. Para el criterio de búsqueda en libros se prestó especial enfoque en la literatura disponible por la ASQ (Asociación Americana de la Calidad) relacionada con Certificación Black Belt y manuales de herramientas. Por su parte en la revisión de artículos de revistas en bases de datos, se incluyeron en la lectura los artículos relacionados con casos de estudio aplicando metodología SS, LM y Lean SS, así como información empírica de historia y análisis de las metodologías.

El principal enfoque de la revisión literaria consistió en la identificación de herramientas de las metodologías que fueron aplicadas en casos de estudio en el sector de manufactura o industrial, considerando también aquellos sectores de servicios con casos de éxito en la implementación de dichas metodologías, con el objetivo de utilizar estos

antecedentes en la aplicación de dichas herramientas en la mejora de eficiencia del proceso de Mills en la fabricación de guitarras eléctricas.



Figura 7 Revisión de literatura.

3.2.2 Definir

El centro de la fase de definir una vez seleccionado el proyecto de mejora de eficiencia del proceso de Mills (conocido internamente por la empresa como caracterización de proceso) consiste en la realización de un project charter donde se contempla:

- Nombre del proyecto
- Tipo de proyecto
- Designación de equipo de trabajo
- Designación de responsable del proyecto

- Duración del proyecto
- Definición del proyecto
- Definición del problema o área de oportunidad
- Objetivos del proyecto
- Entregables (relacionados a la documentación requerida una vez finalizado el proyecto y cumplidos los objetivos)
- Alcance del proyecto
- Beneficios esperados, etc.

Aunado al project charter se realizó un gemba walk (caminar el proceso) que consiste en un recorrido por el área de Mills para identificar visualmente sus áreas de oportunidad y posibles problemas.

Otras herramientas de mejora de procesos aplicadas durante la fase de definir son las siguientes:

- Modelo de Kano
- QFD (Despliegue de la función de calidad)
- Sipoc (proveedor, entrada, proceso, salidas, cliente)
- Gantt

3.2.3 Medir

En la fase de medir se realizó la elaboración de un VSM (mapeo de la cadena de valor) con el fin de encontrar actividades que no agregan valor al proceso, para su análisis y la búsqueda de reducir y minimizar las mismas. Esta fase aunada con las características esperadas por el cliente definidas en el modelo de Kano y la relación de las mismas con los requerimientos técnicos de proceso por medio del QFD nos permitió considerar como variable significativa la rugosidad de la superficie de la madera en relación con la necesidad de lijado de la superficie con diferentes granos de lija para la correcta

adherencia del poliéster sobre la superficie del cuerpo de la guitarra.

Las actividades de medición y recolección de datos durante esta fase constan de:

- Mediciones de rugosidad después de lijado con grano 80, 120, 150, 220, 320, 400, entre otras.
- Realización de un estudio gage R&R (repetibilidad y reproducibilidad)
- Diagrama de espagueti
- Balanceo de líneas
- Yamazumi chart (gráfico de Yamazumi)

3.2.4 Analizar

Una vez disponibles los datos se procedió a la realización de pruebas de hipótesis para validar la necesidad de utilizar diferentes granos de lija y determinar si las medias de rugosidad son iguales entre diferentes actividades y diferentes lijas, asimismo su relación con la adherencia mecánica del poliéster en el siguiente proceso de manufactura de guitarras.

Otras de las herramientas en la fase de análisis que fueron aplicadas son las siguientes:

- AMEF (análisis de modo de efecto de falla)
- Matrices de productos por madera y tipo de producto
- Prueba de hipótesis de medias muestrales (Prueba T)

3.2.5 Mejorar

En la fase de mejorar, una vez analizada la información e identificado las posibles soluciones se realizaron diseño de experimentos factoriales completos y fraccionados, contemplando variables como el tipo de lijado (manual y automático), grano de lija (80,150), tipo de madera (ash y alder), gel UV (con gel y sin gel UV), lijado con fibra scuff (con lijado, sin lijado). Para determinar las variables significativas y los niveles (alto o

bajo) en los cuales se desempeña mejor el proceso.

Se definió un nuevo VSM con el nuevo listado de actividades, una vez identificadas las cuales no agregan valor y no son significativas con relación a la adherencia mecánica del poliéster.

Algunas otras herramientas aplicadas y actividades relacionadas con la fase de mejora son las siguientes:

- Nuevo balanceo de línea
- Cambios en herramientas de proceso (mejora a los sistemas existentes)

3.2.6 Controlar

En la fase final del DMAIC el objetivo es mantener el proceso bajo control, una vez identificados sus problemas y encontrada la causa raíz, el nuevo sistema o proceso tiene que ser capaz de continuar con los mismos resultados a través del tiempo sin regresar a prácticas anteriores, para ello es necesario implementar una serie de procedimientos de control del proceso con el fin de monitorear los resultados y analizar posibles tendencias que indiquen un retroceso en los objetivos logrados.

El centro de la fase de control para la mejora de la eficiencia del proceso de Mills es la elaboración de un plan de control donde se contemplaron las características críticas identificadas en el AMEF para posteriormente realizar contramedidas necesarias para controlar el proceso, entre ellas están la elaboración de documentación correspondiente, entrenamiento, entre otras.

A continuación, se presenta un listado de las herramientas y actividades originadas de la fase de control:

- Plan de inspección (incluye auditorías del sistema)
- Elaboración de ayudas visuales

- Cambios a las instrucciones de trabajo
- Integración de entrenamiento en nueva documentación al personal existente y plan de inducción a nuevos empleados.

3.2.7 Resultados y conclusiones

Al finalizar el proyecto de mejora, el equipo de trabajo presentó a la dirección y su equipo gerencial el despliegue de las metas alcanzadas en el proyecto, la validación de los ahorros hard los cuales son los ahorros que impactan directamente en el proyecto y los ahorros soft los cuales no impactan directamente en los estados financieros (Breyfogle, 2003), contra los datos del departamento de finanzas. Una vez validados los ahorros y el cumplimiento de los objetivos definidos al inicio del proyecto, la dirección de la empresa monitoreó los resultados por un periodo de dos meses, para finalmente concluir al cierre del proyecto y la recolección de firmas de cierre del project charter.

En el caso que un proyecto sea aplicado a un área específica y pueda ser utilizado como Benchmarking, la alta dirección considerará la ampliación del proyecto para incluir otras áreas o procesos como parte del mismo proceso o el inicio de un proyecto alterno.

4. RESULTADOS

En este capítulo, se abordarán los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología DMAIC y las herramientas de LM con el objetivo de hacer más eficiente el proceso de Mills en la fabricación de guitarras eléctricas.

4.1 Definir

En la definición del proyecto la cual fue identificada como una oportunidad de negocio, se contemplaron como objetivos la reducción del 16% del personal del área de Mills, la reducción del 14% del tiempo de ciclo y una reducción del 30% en costo de producción por unidad.

En la figura 8 se puede apreciar el Project chárter de este proyecto.

PROJECT CHARTER

Numero del proyecto: 01-2016

I. INFORMACIÓN GENERAL

NOMBRE DEL PROYECTO:	Mejora de eficiencia en proceso de Body Mills	
TIPO DEL PROYECTO:	1) Necesidad del mercado 2) Oportunidad de negocio , 3) Requerimiento de cliente, 4) Mejora al proceso o tecnología, 2) Regulacion legal o gubernamental	
DEPARTAMENTO:	Mejora continua	
AREA ESPECÍFICA	Planta de Ensenada	
CLIENTE (INTERNO/EXTERNO):	Francisco Granados	
INICIO DEL PROYECTO	15/02/16	
FIN DEL PROYECTO:	27/08/16	
GERENTE DEL PROYECTO : (Dueño del project charter)	Departamento	
Abel Ledezma	Mejora Continua	
REVISIÓN	FECHA	RAZÓN DEL CAMBIO
1	18/01/16	Borrador inicial

II. DEFINICIÓN DEL PROYECTO

De acuerdo con la iniciativa de caracterización de procesos. El departamento de mejora continua tiene el propósito de retar al proceso de Body Mills, y remover los pasos que no agreguen valor al proceso de lijado.

IV. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1. Mejorar el HC (indicador de personal) balanceando la línea (16%)
 - Actual: 12
 - Objetivo: 10
2. Reducir el tiempo de ciclo (14%)
 - Actual: 311.24 segundos
 - Objetivo: 267 segundos
3. Reducir los gastos por producción por unidad (30%)
 - Actual: .72 dólares
 - Objetivo: .50 dólares

V. ENTREGABLES	
1. Actualización del balanceo de líneas 2. Entregar manual de caracterización del proceso	
VI. ALCANCE DEL PROYECTO	
1. Proceso de lijado en Body Mills	
VII. FUERA DEL ALCANCE DEL PROYECTO	
1. Maquinaria CNC en Body Mills y Undercoat	
VIII. BENEFICIOS ESPERADOS	
BENEFICIOS - ¿Qué vamos a ganar?	METRICOS - ¿Como lo vamos a medir?
Indicador de personal	Gente
Ahorro en costos de lijas	Costo por unidad
Reducción de tiempo de entrega	Días de inventario
Reducción de tiempo de ciclo	Tiempo de proceso

Figura 8 Project charter.

La figura 9 representa las operaciones de lijado del área de body mills, de entre las cuales las operaciones sandingmaster y lija banda fueron excluidas del alcance del proyecto.

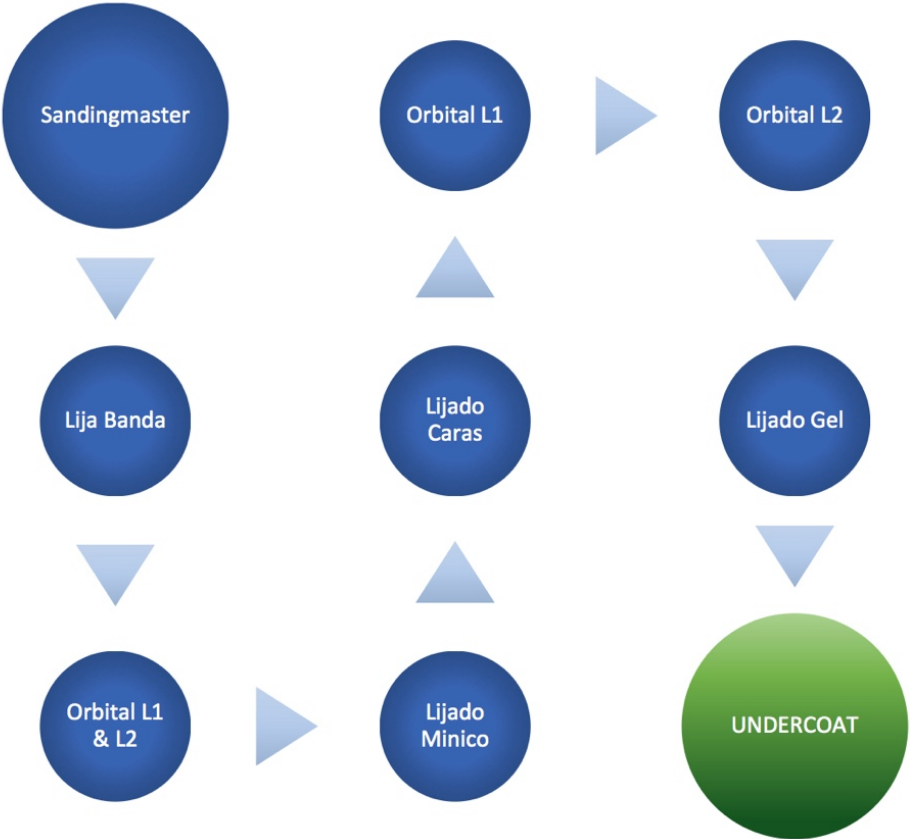


Figura 9 Operaciones de lijado en Body Mills.

El modelo de Kano fue realizado considerando al cliente interno como el siguiente proceso en la elaboración de las guitarras el cual es el área de intermedios, donde un grupo de operadores, el facilitador y el gerente de área se reunieron con el equipo de implementación del proyecto, identificando las características esperadas por el cliente las cuales se pueden observar en la figura 10.

Esta información junto con el Pareto de defectos de recibo en intermedios (ver figura 2), sirvió para identificar como críticas las siguientes características básicas:

- Pockets sin despostillados
- Radios y perímetros bien definidos (no deformes)
- Cuerpo no delgado

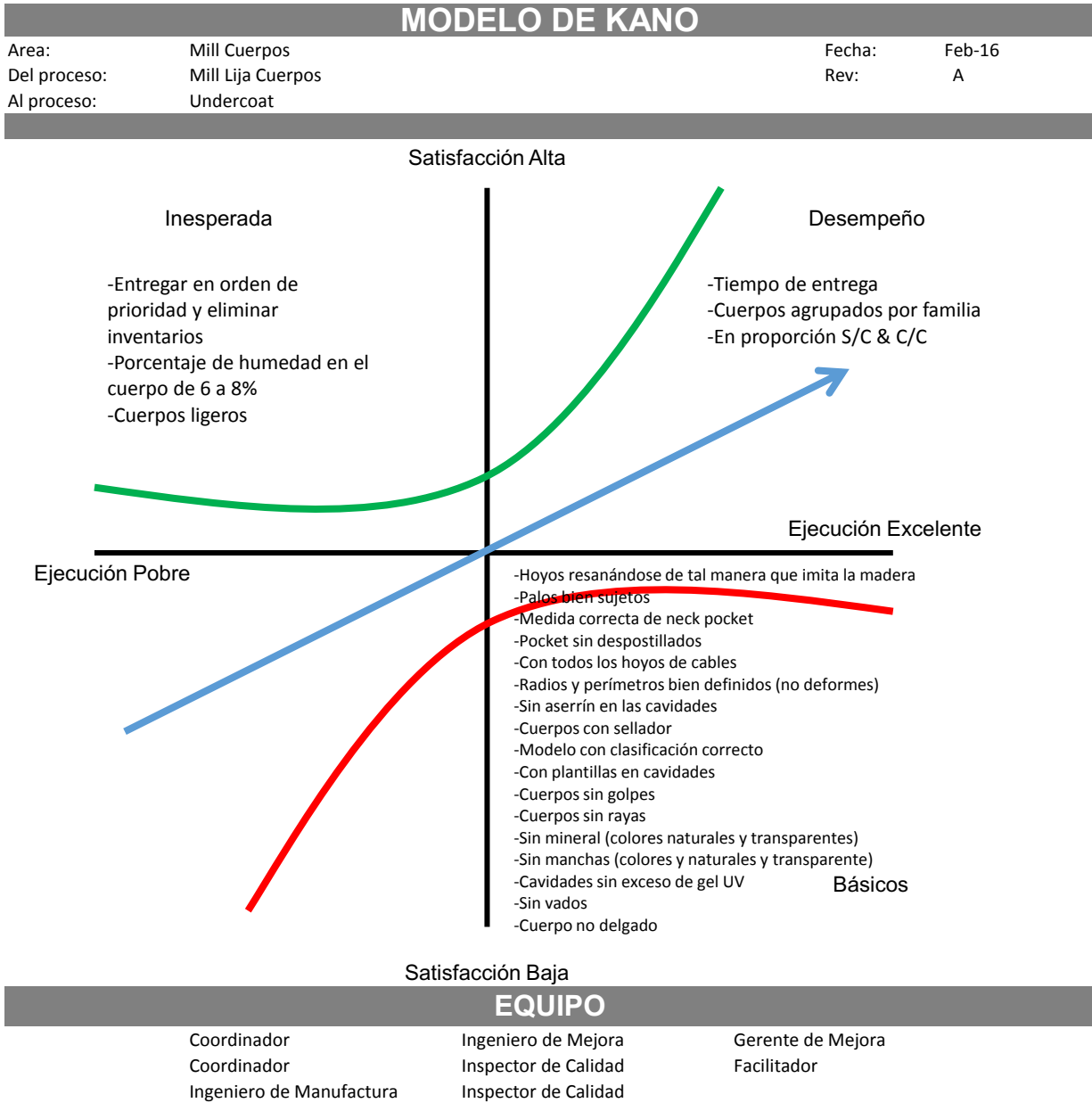


Figura 10 Modelo de Kano para proceso de Body Mills.

Con las características esperadas por el cliente que fueron identificadas en el modelo de

Kano, se realizó un QFD donde las principales interacciones con las características críticas previamente definidas se presentaron en las operaciones de minico e inspección y montaje tal y como se puede apreciar en la figura 11.

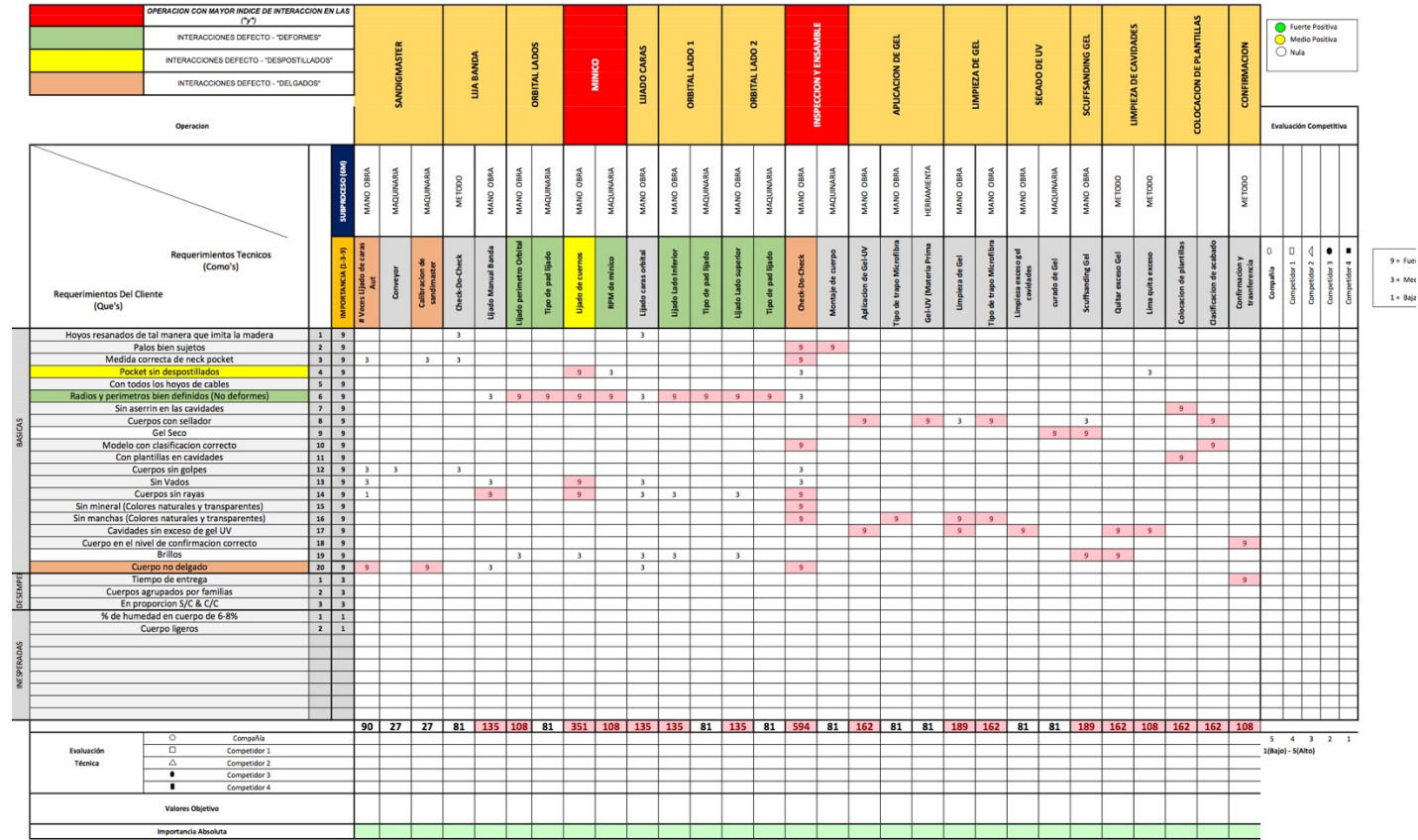


Figura 11 QFD de proceso Body Mills.

Como parte del mapeo del proceso se elaboró un diagrama SIPOC para analizar el proceso de manera más detallada y de forma visual, donde en la figura 12 podemos apreciar un extracto de dicho documento.

SIPOC DIAGRAM FOCUSED ON PROCESS CONTROL

PROCESS:

Medium Input/Output

Critical Input/Output

Lower Input/Output

SUPPLIER	INPUTS				INPUT REQUIREMENTS		PROCESS	OUTPUT	OUTPUT REQUIREMENTS (EVAQ'S)	CUSTOMER/ CLIENT
	MATERIAL	LABOR	MACHINE	METHOD	REQUIREMENT	COMMENTS				
Planner	Spread					Uncontrolled	SANDINGMASTER			LIJA BANDA
RH		Operador			Perfil necesario	Uncontrolled				
Mantenimiento			Planner		Máquina calibrada	Uncontrolled				
Ingeniería				SOP	EWI/EVAQ	Uncontrolled				
Mantenimiento	Navajas					Uncontrolled				
Almacén	Lijas				Lijas 120	Uncontrolled				
Seguridad	EPP				Guantes, lentes, tapones auditivos, faja, mascarilla, mandil y zapatos de seguridad	Uncontrolled				
Sandingmaster	Cuerpos				Laterales no deformes	Uncontrolled	LIJA BANDA		CARAS FRONTAL Y TRASERA SIN GOLPES CARAS FRONTAL Y TRASERA SIN RAYAS CARAS FRONTAL Y TRASERA SIN POROS CARAS FRONTAL Y TRASERA SIN HOYOS NO RAJADAS	ORBITAL C1 & C2
		Operador			Cuernos no deformes	Uncontrolled				
RH					Media luna no deforme	Uncontrolled				
Mantenimiento			Lija Banda		Perfil necesario	Uncontrolled				
Almacén	Lijas				FEN0193	Uncontrolled				
Seguridad	EPP				Lijas 150	Uncontrolled				
Almacén	Borrador				Mascarilla, lentes, tapones, guantes, mandil, zapatos de seguridad	Uncontrolled				
Ingeniería				SOP	Borrador de Grafito	Uncontrolled				
					VAGBMO18	Uncontrolled				
Lija Banda	Cuerpos				Cara entintada uniformemente	Uncontrolled	ORBITAL C1 & C2		SIN LINEA DE GOMA SIN RAYAS CARA TOTALMENTE LIJADA LATERALES SIN MANCHAS DE TINTA LATERALES SIN FILLOS	LIJADO MINICO
					Veneer no abierto	Uncontrolled				
					Sin linea de goma	Uncontrolled				
					Laterales no manchados de tinta	Uncontrolled				
					Sin rayas	Uncontrolled				
					Veneer sin burbujas	Uncontrolled				
Almacén	Lijas 120				Mirka 2333289912 Gold 125 mm	Uncontrolled				
Mantenimiento			Orbital Neumático		3M 20317, 303368	Uncontrolled				
Almacén	Disk Pad				3M P/N 05545	Uncontrolled				
RH		Operador			Perfil necesario	Uncontrolled				
Seguridad	EPP				Mascarilla, mandil, lentes, tapones auditivos, guantes	Uncontrolled				
Ingeniería				SOP	VAGBMO16	Uncontrolled				

Figura 12 Diagrama SIPOC de proceso Body Mills.

Para controlar el desarrollo del proyecto de manera más eficiente se elaboró un Gantt de actividades donde se establecieron responsables para cada actividad, así como fechas compromiso, el cual fue revisado periódicamente para asegurar su cumplimiento, y ofrecer ayuda a los responsables de las actividades en caso que no se cumpliera con el plazo previamente determinado. El Gantt de actividades se puede apreciar en la figura 13.

ID	Task Mode	WBS	Task Name	Month	Responsible
1		1	SS BODY MILLS		
2		1.1	Inicio		
3		1.1.1	Definir		
4		1.1.1.1	Project charter	Febrero 2016	Ing. mejora continua
5		1.1.1.2	Voz del cliente		
6		1.1.1.3	Gemba walk	Febrero 2016	Ing. mejora continua
7		1.1.1.4	Modelo de kano	Febrero 2016	Ing. mejora continua
8		1.1.1.5	QFD	Marzo 2016	Ing. mejora continua
9		1.1.1.6	Mapeo del proceso		
10		1.1.1.7	SIPOC	Marzo 2016	Estudiante UABC
11		1.1.2	Medir		
12		1.1.2.1	Mapeo del proceso		
13		1.1.2.2	VSM	Marzo 2016	Ing. Mejora continua
14		1.1.2.3	Colección de datos	Abril 2016	Estudiante UABC
15		1.1.2.4	Mediciones de rugosidad	Abril 2016	Estudiante UABC
16		1.1.2.5	Familias de productos	Abril 2016	Estudiante ITE
17		1.1.2.6	Gage R&R	Mayo 2016	Estudiante UABC
18		1.1.2.7	Herramientas lean		
19		1.1.2.8	Diagrama de espagueti	Mayo 2016	Estudiante UABC
20		1.1.2.9	Takt time	Junio 2016	Ing. mejora continua
21		1.1.2.10	Indicador de HPU	Junio 2016	Facilitador de Mills
22		1.1.2.11	Balaceo de linea	Mayo 2016	Estudiante UABC
23		1.1.2.12	Yamazumi chart	Mayo 2016	Ing. mejora continua
24		1.1.3	Analizar		
25		1.1.3.1	AMEF	Junio 2016	Estudiante UABC
26		1.1.3.2	Matrices de productos	Junio 2016	Estudiante ITE
27		1.1.3.3	Pruebas de hipotesis	Junio 2016	Ing. mejora continua
28		1.1.4	Mejorar		
29		1.1.4.1	Diseño de experimentos	Junio 2016	Ing. mejora continua
30		1.1.4.2	Grit de lija vs adherencia mecanica	Junio 2016	Ing. mejora continua
31		1.1.4.3	Balaceo de linea	Julio 2016	Estudiante UABC/ITE
32		1.1.4.4	Cambios de herramientas	Agosto 2016	Coordinador del área
33		1.1.4.5	Pruebas de nuevos herramientas	Agosto 2016	Coordinador del área
34		1.1.5	Controlar		
35		1.1.5.1	Plan de control	Septiembre 2016	Ing. mejora continua
36		1.1.5.2	Plan de inspección	Septiembre 2016	Coordinador del área
37		1.1.5.3	Documentacion		Coordinador del área
38		1.1.5.4	Ayudas visuales	Septiembre 2016	Estudiante ITE
39		1.1.5.5	EVAQ's	Septiembre 2016	Estudiante ITE
40		1.1.5.6	EWI's	Septiembre 2016	Estudiante ITE
41		1.1.6	Cierre del proyecto		
42		1.1.6.1	Monitoreo de resultados	Octubre 2016	Ing. mejora continua
43		1.1.6.2	Reporte de cierre	Noviembre 2016	Ing. mejora continua

Figura 13 Gantt del proyecto.

4.2 Medir

Con el propósito de observar el proceso en su estado inicial se realizó un VSM donde se encontró que solo un 0.36% de actividades son de valor agregado, lo cual contribuye a la ineficiencia del proceso. En la figura 14 se puede apreciar el VSM al inicio del proyecto el cual contempla la eliminación y consolidación de algunas operaciones de lijado sobre las cuales se trabajó con el objetivo de mejorar la eficiencia del mismo.

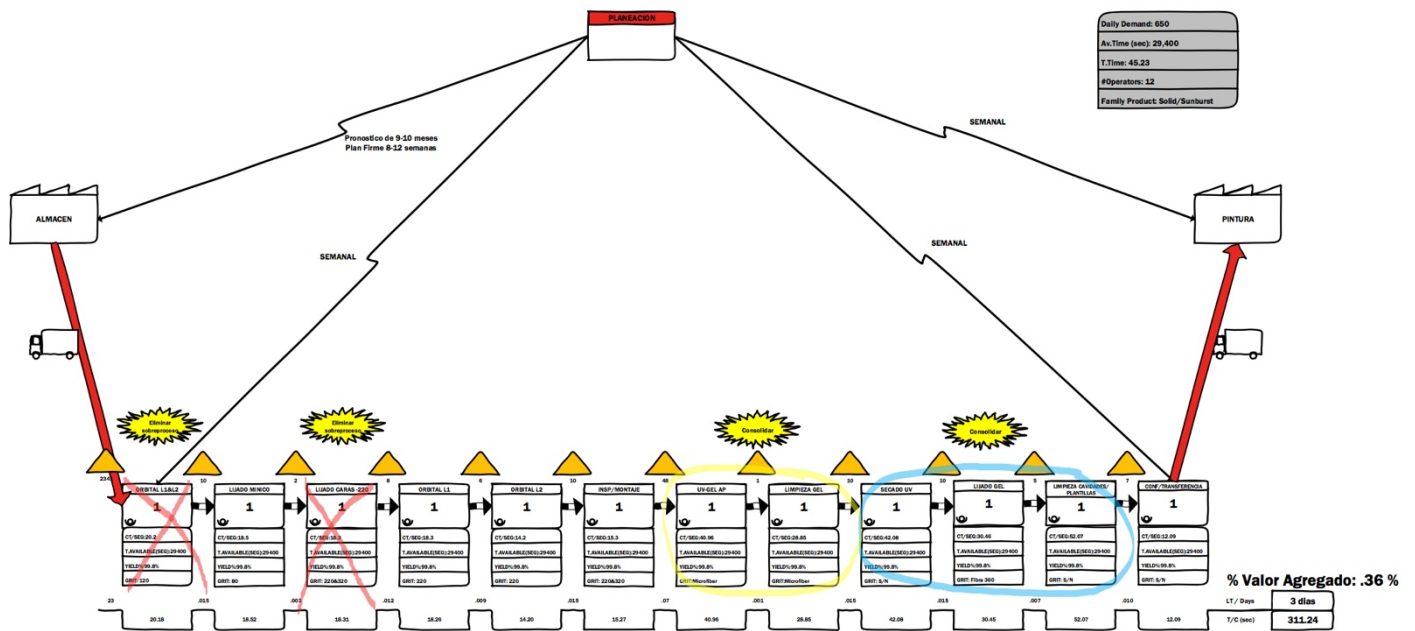


Figura 14 VSM área de Mills.

Con el propósito de evaluar la confiabilidad del sistema de mediciones se realizó un estudio Gage R&R a 2 operadores, donde se obtuvo un resultado inaceptable para el sistema de medición, el cual aporta 33.49 % de la variación observada y una sola categoría, como se aprecia en la figura 15, por lo cual se procedió a realizar la calibración del equipo de medición obteniendo un resultado de 8.17 e incorporando al estudio de Gage R&R todo el espectro de mediciones de rugosidad con el objetivo de incrementar el número de categorías, como se puede apreciar en la figura 16.

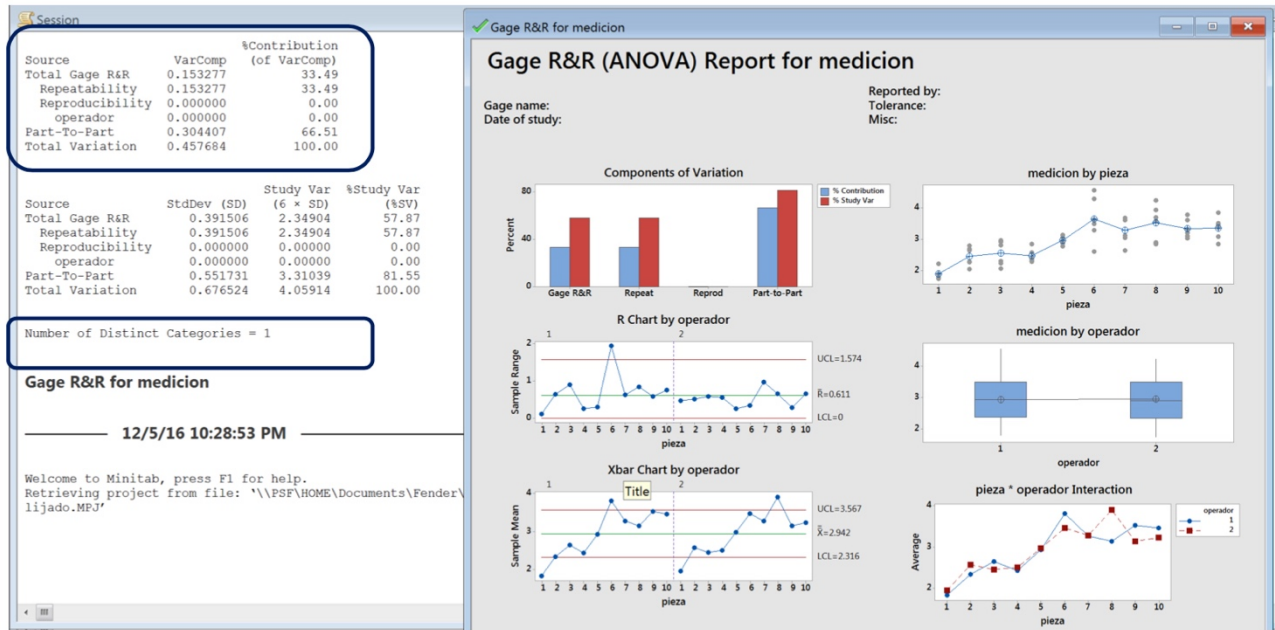


Figura 15 Estudio Gage R&R antes de calibración.

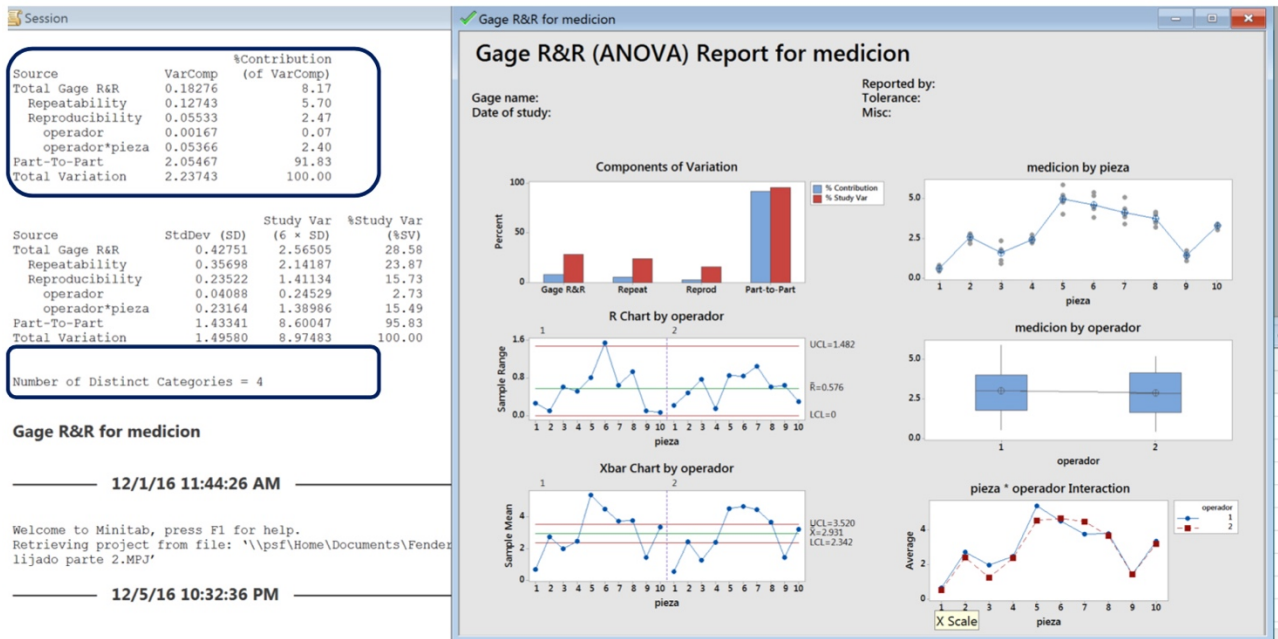


Figura 16 Estudio Gage R&R después de la calibración del equipo.

La colección de datos comprendió la toma de muestras de cuerpos procedentes de todas las operaciones de lijado dentro del alcance de este proyecto, donde se realizaron mediciones de rugosidad en los distintos tipos de madera utilizados para producir dichos

cuerpos de entre los cuales destacan las maderas tipo ash y alder. Un ejemplo de las mediciones de rugosidad se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Mediciones de rugosidad en para Alder y Ash.

Alder				Ash			
Muestra #	R.A L1&L2	R.A Minico	R.A L Banda	Muestra #	R.A L1&L2	R.A Minico	R.A L Banda
1	357	132	121	1	258	301	276
2	364	133	134	2	280	307	279
3	296	148	108	3	247	292	213
4	429	328	328	4	281	349	298
5	362	287	287	5	247	320	320
6	363	228	228	6	242	246	174
7	337	233	233	7	242	297	297
8	294	283	77	8	194	206	144
9	180	303	79	9	186	222	148
10	295	122	59	10	187	202	162
11	188	348	348	11	137	138	185
12	221	118	118	12	191	208	128
13	280	138	138	13	198	208	208
14	194	339	339	14	195	227	227
15	124	392	194	15	150	134	117
16	161	255	94	16	159	171	122
17	84	162	242	17	158	175	131
18	90	84	84	18	150	155	105
19	95	189	189	19	167	141	90
20	108	139	139	20	137	163	163
21	89	208	208	21	150	179	179
22	54	311	99	22	144	152	118
23	56	88	42	23	137	122	108
24	71	210	260	24	131	134	100
25	88	227	227	25	134	143	100
26	47	50	50	26	131	114	93
27	97	352	352	27	133	141	141
28	58	68	68	28	140	104	104
29	125	108	271	29	98	114	99
30	230	261	363	30	89	96	92
31	166	62	54	31	117	112	96
32	197	85	85	32	94	125	99
33	223	317	317	33	104	114	114
34	325	233	233	34	122	154	122
35	133	69	69	35	137	151	151

Otra herramienta de LM utilizada durante el proyecto es el diagrama de espagueti donde pudimos observar de manera visual el comportamiento del flujo del proceso de Body Mills el cual está representado en la figura 17.

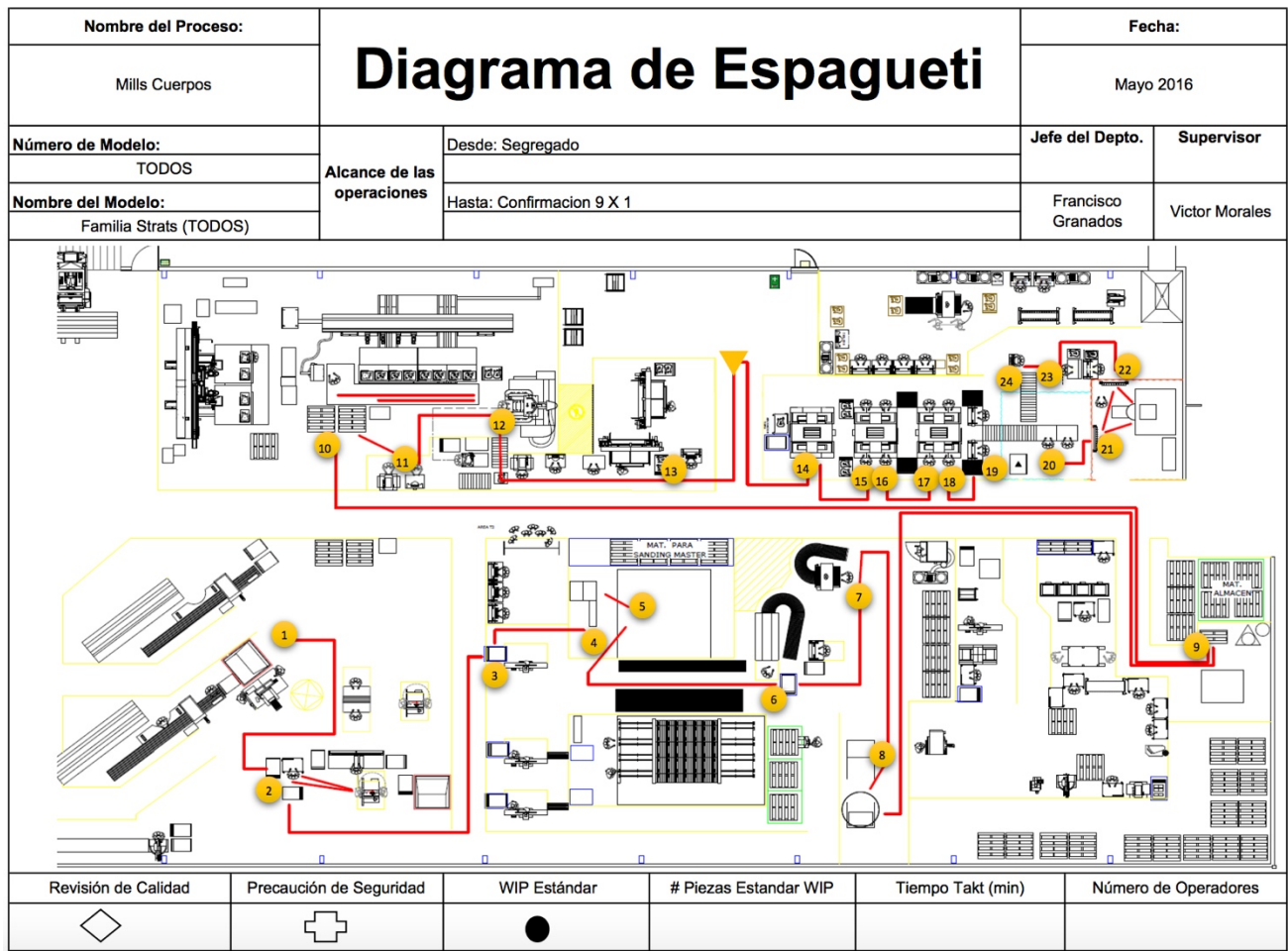


Figura 17 Diagrama de espagueti de Mills.

La eficiencia de la línea de producción fue calculada mediante el balanceo de línea el cual al inicio del proyecto representaba el 50% incrementándose al 77% después de la eliminación y consolidación de operaciones de sobre-proceso. La figura 18 muestra el balanceo de línea y su correspondiente gráfico de Yamazumi antes de las mejoras de proceso.

Solid Bodie Sanding (Alder)

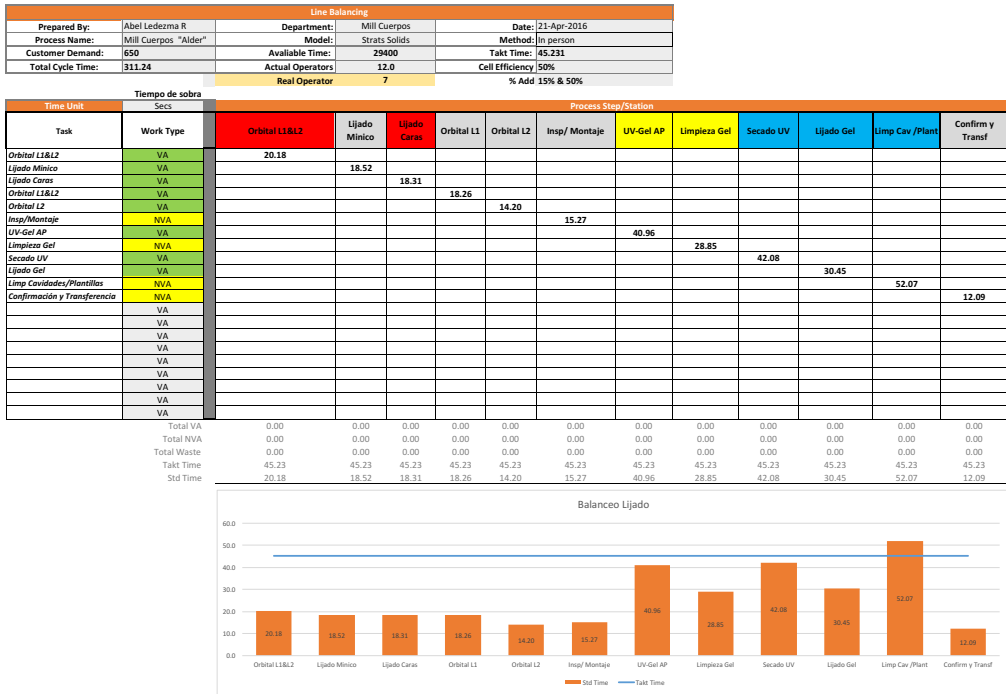


Figura 18 Balanceo de línea y gráfico de Yamazumi antes de la mejora de proceso..

4.3 Analizar

Se realizaron pruebas de adherencia mecánica del poliéster a la madera, a muestras provenientes del área de Mills, de las cuales su valor de rugosidad fue medido al salir del área (provenientes de lijado gel UV). Esta prueba consiste en el rayado de la superficie del cuerpo mediante un equipo especializado (ver figura 19), donde la evaluación del mismo es sujeta al juicio del inspector mediante una comparación de patrones de desprendimiento de poliéster. Un ejemplo de cómo se observa una muestra lista para su evaluación se puede apreciar en la siguiente figura 20.



Figura 19 Equipo de rayado para prueba de adherencia.



Figura 20 Muestra de prueba de adherencia mecánica sujeta a evaluación.

Los resultados de las pruebas de adherencia fueron analizados mediante una prueba de hipótesis donde los resultados arrojaron que las medias de la rugosidad para las muestras aceptadas y rechazadas son estadísticamente diferentes y el promedio de la rugosidad para las muestras aceptadas se encontró en 132 Ra. Ver figura 21.

Two-Sample T-Test and CI: Ra (Fibra), Categ

Two-sample T for Ra (Fibra)

Categ	N	Mean	STDev	SE Mean
Fail	5	272.6	34.8	16
Pass	26	132.0	37.2	7.3

Difference = μ (Fail) - μ (Pass)
Estimate for difference: 140.6
95% lower bound for difference: 110.0
T-Test of difference = 0 (vs >): T-Value = 7.81 P-Value = 0.000 DF = 29
Both use Pooled STDev = 36.8652

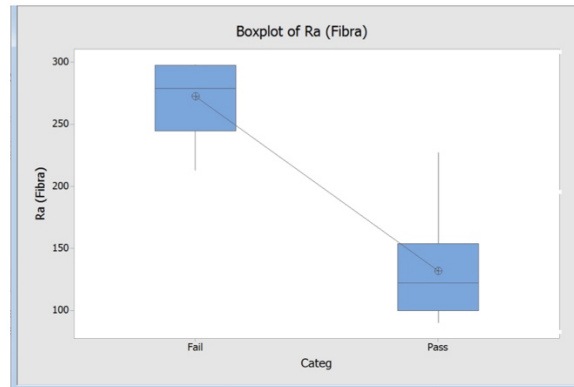
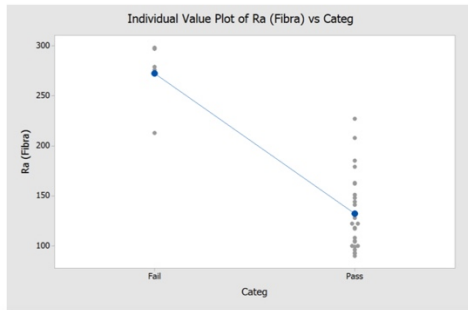


Figura 21 Prueba de hipótesis de las medias de pruebas adherencia mecánica.

Durante la recolección de datos se tomaron mediciones de la rugosidad de los cuerpos en caras y lados, las medias de los mismos fueron comparadas para determinar operaciones de sobre proceso. En la figura 22 se aprecian los promedios de rugosidad en operaciones de lijado lados, donde la media de las operaciones orbital L1 & L2 y Lijado minico son iguales, por lo tanto, se determinó eliminar la operación de orbital L1 & L2.

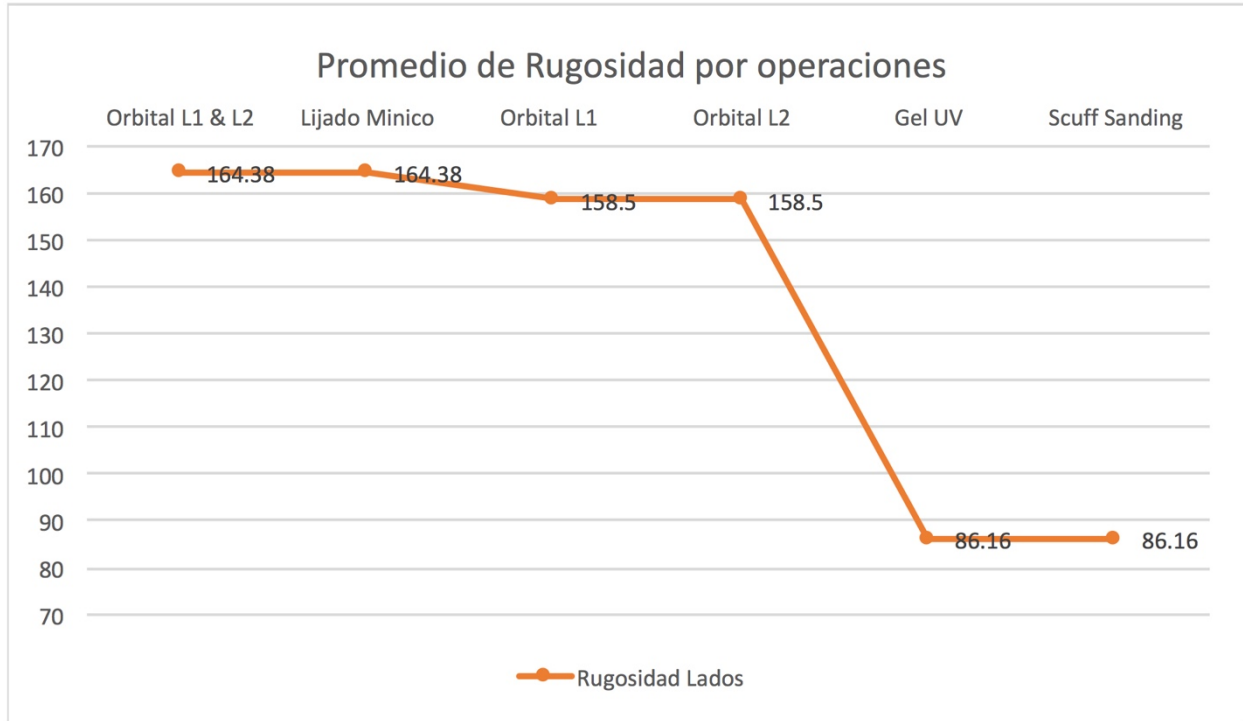


Figura 22 Rugosidad del cuerpo lados.

De la misma forma se recolectaron muestras de rugosidad por las caras del cuerpo donde se encontró un patrón a la baja en la rugosidad al lijar con lija grano 220, sin embargo, al realizar la aplicación del Gel UV la rugosidad de las superficies se incrementó y de nuevo se redujo al lijado de la misma, con la lija scuff o también conocida como fibra. En este análisis se determinó eliminar la operación lijado caras 220 y lijado scuff, conservando la aplicación y limpieza de gel UV. La figura 23 muestra el gráfico de medias para las operaciones de lijado caras.

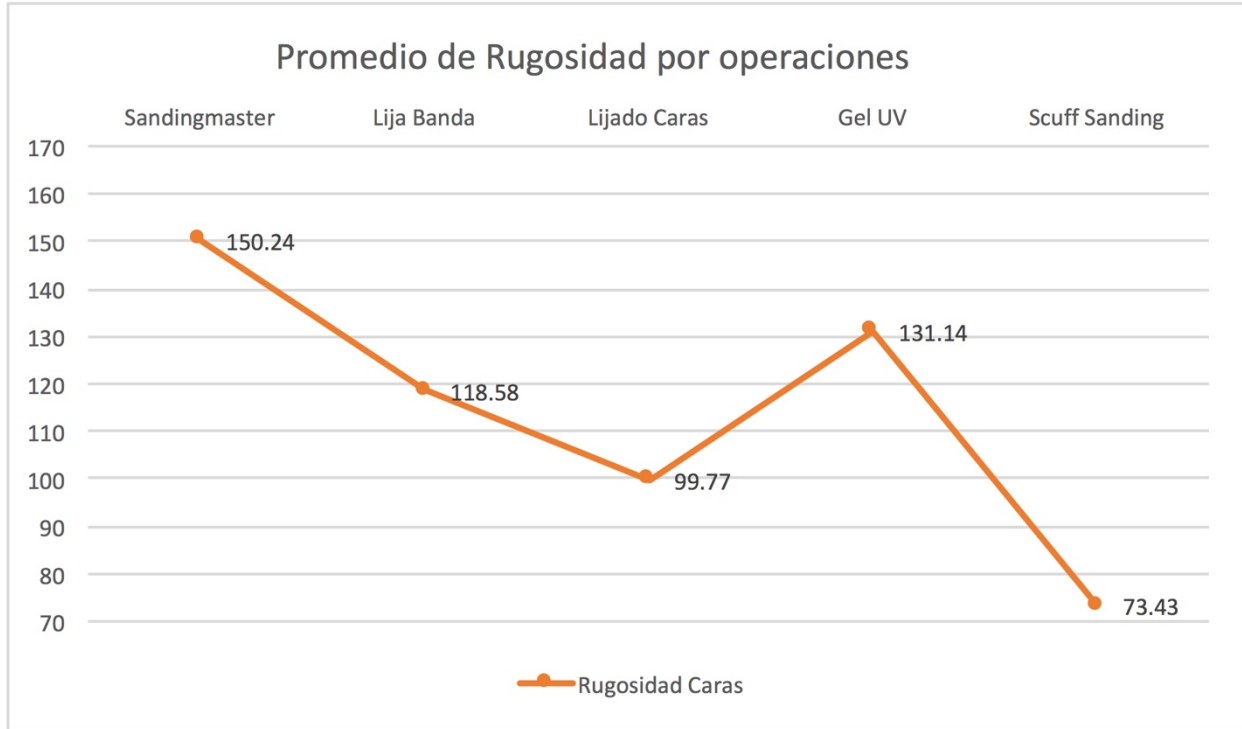


Figura 23 Rugosidad del cuerpo caras.

La figura 24 muestra el AMEF realizado en el proceso de Mills, el cual identificó 125 modos de falla de los cuales 18 son de alto riesgo, entre las cuales destacan rayas orbitales, las cuales son generadas por lija desgastada y el escape en la detección del defecto en el área de inspección.

De manera que se prevengan los modos potenciales de falla, se elaboró un plan de control con acciones de prevención específicas para cada modo de falla potencial.

AMEF

(ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA)

ÁREA:	Lijado Mills Cuerpos
DEPTO:	Mills Cuerpos
FECHA:	Junio 2016

No.	OPERACIÓN	MODO DE FALLA	EFEECTO	SEVERIDAD	CAUSAS DE FALLAS POTENCIALES	OCURRENCIA	CONTROLES ACTUALES	DETECCIÓN	RPN
2	Lija Banda	Resane inadecuado	Hoyos en el cuerpo	6	No realizar check do check	4	Visual	8	192
		Hoyos no resanados		6		4	Visual	8	192
4	Minico	Contornos con porosidades	Contornos porosos	6	Velocidad de avance inadecuada	7	Tacómetro	4	168
				6	Navaja de router CNC desgastada	7	Bitácora de uso	5	210
				6	Falta de resane	7	Visual	5	210
				8	Lijado no uniforme	4	Visual	6	192
		8	4	Visual		6	192		
		8	Contornos irregulares	Filos o deformidades	8	Exceso de lijado	4	Visual	6
8	Madera con exceso de desvste	8	Exceso de lijado		4	Visual	6	192	
5	Lija lado chico	Radios y perímetros mal definidos	Deformidades	8	Falta de lijado manual	3	EVAQ/EWI	6	144
				8	Exceso de lijado	3	EVAQ/EWI	6	144
6	Lija lado grande	Lija quebradiza filosa	Rayas orbitales	8	Lija orbital desgastada	2	Visual	8	128
		Radios y perímetros mal definidos	Filos o deformidades	8	Falta de lijado manual	3	Visual	6	144
		Contornos con exceso de desvaste		8	Exceso de lijado	3	Visual	6	144
7	Inspección	Cuerpos defectuosos	Cuerpo no cumple criterios de calidad	8	Fallo en la detección del defecto	6	EVAQ	6	288
		Despostillamiento por CNC	Neck pocket despostillado	8	No realizar check do check	6	EVAQ/EWI	3	144
8	Montaje	Punta desgastada	Cuerpo picado por herramienta	7	Uso excesivo de punta para atornillar	5	Bitácora de uso	3	105
12	Scuff Sanding	Lija quebradiza filosa	Rayas orbitales	8	Lija orbital desgastada	5	Visual	8	320
13	Limpieza de cavidades	Golpes por manejo	Cuerpo golpeado	8	Manejo inadecuado	3	Instrucción de tr	7	168
15	Confirmación y transferencia	Identificación incorrecta	Clasificación incorrecta	6	Confirmación incorrecta	5	EVAQ	9	270

Figura 24 AMEF de proceso Body Mills.

En cuestión de Pareto de defectos para análisis de datos, manejando matrices por tipos de productos, se utilizan más combinaciones de productos para lograr el principio de

Pareto 80/20, mientras que al generar matrices por tipos de madera se simplifican las combinaciones del principio de Pareto y facilita el análisis de datos, ver figura 25.

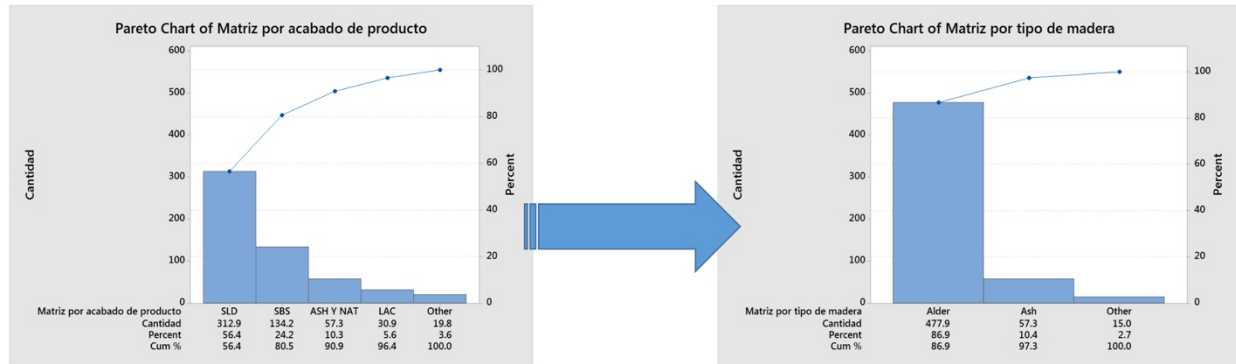


Figura 25 Pareto de matrices por producto y tipo de madera.

4.4 Mejorar

Después de la fase de analizar, con los resultados obtenidos, se realizaron diversos diseños de experimentos para definir variables influyentes en el proceso, y con ellos realizar las mejoras correspondientes al área. Se realizaron ocho diversos diseños de experimentos completos y fraccionados, incluyendo cada operación como un factor, y después segregando operaciones hasta trabajar con un DOE menos complejo, un ejemplo de un diseño de experimentos completo con 5 factores se muestra en la tabla 3.

Tabla 3 Elaboración de diseño factorial de 5 factores.

<i>StdOrder</i>	<i>RunOrder</i>	<i>CenterPt</i>	<i>Blocks</i>	<i>Tipo de Lijado</i>	<i>Grano de lija</i>	<i>Tipo de madera</i>	<i>Gel UV</i>	<i>Lijado Scuff</i>
12	1	1	1	1	1	1	-1	1
7	2	1	1	-1	-1	1	1	-1
9	3	1	1	1	-1	-1	-1	1
13	4	1	1	-1	-1	-1	1	1
1	5	1	1	-1	-1	-1	-1	-1
14	6	1	1	1	1	-1	1	1
11	7	1	1	-1	-1	1	-1	1
6	8	1	1	-1	1	-1	1	-1
15	9	1	1	1	-1	1	1	1
5	10	1	1	1	-1	-1	1	-1
2	11	1	1	1	1	-1	-1	-1
8	12	1	1	1	1	1	1	-1
16	13	1	1	-1	1	1	1	1
4	14	1	1	-1	1	1	-1	-1
10	15	1	1	-1	1	-1	-1	1
3	16	1	1	1	-1	1	-1	-1
29	17	1	2	1	-1	-1	1	1
22	18	1	2	1	1	-1	1	-1
25	19	1	2	-1	-1	-1	-1	1
28	20	1	2	-1	1	1	-1	1
18	21	1	2	-1	1	-1	-1	-1
21	22	1	2	-1	-1	-1	1	-1
19	23	1	2	-1	-1	1	-1	-1
23	24	1	2	1	-1	1	1	-1
30	25	1	2	-1	1	-1	1	1
26	26	1	2	1	1	-1	-1	1
27	27	1	2	1	-1	1	-1	1
31	28	1	2	-1	-1	1	1	1
20	29	1	2	1	1	1	-1	-1
17	30	1	2	1	-1	-1	-1	-1
24	31	1	2	-1	1	1	1	-1
32	32	1	2	1	1	1	1	1

Por cuestiones de confidencialidad de la información por parte de la empresa, en este punto no se mostrarán resultados de los diseños de experimentos, únicamente las variables influyentes las cuales son el grano de lija, el gel UV y lijado con fibra. Por lo tanto, las operaciones de aplicación de gel, limpieza del mismo, sellado y lijado con fibra, permanecerán en el nuevo balanceo de la línea, mientras que el lijado de caras con lija grano 220 y lijado orbital L1&L2 son operaciones que se eliminarán del área.

Después de la eliminación y consolidación de actividades se realizó un VSM donde el porcentaje de valor agregado se incrementó en un 2.58%, así mismo se puede apreciar la reducción de 5 operadores en el área. Ver figura 26.

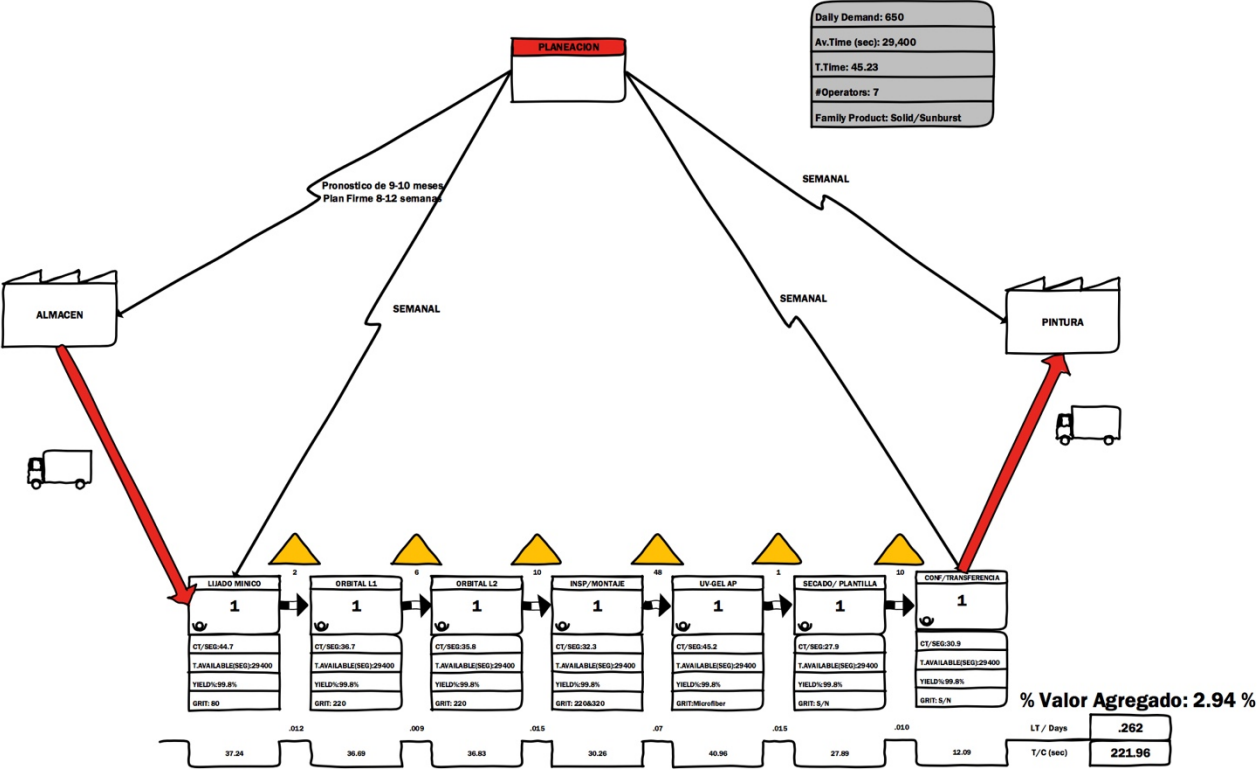


Figura 26 VSM después de la mejora.

Los resultados en el balanceo de línea se traducen en un incremento del 27% de eficiencia en la celda según se aprecia en la figura 27.

Solid Bodie Sanding (Alder)

Line Balancing							
Prepared By:	Abel Ledezma R	Department:	Mill Cuerpos	Date:	21-Apr-2016		
Process Name:	Mill Cuerpos "Alder"	Model:	Strats Solids	Method:	In person		
Customer Demand:	650	Available Time:	29400	Takt Time:	45.231		
Total Cycle Time:	221.96	Actual Operators:	7.0	Cell Efficiency:	77%		
		Real Operator:	5	% Add:	15% & 50%		

Tiempo de sobra		Process Step/Station						
Time Unit	Secs							
Task	Work Type	Minico	Lados -1	Lados-2	Inspección	Aplicación Gel	Secado/Plantillas	Transferencia/Transporte
Minico L1	VA	14.24						
Minico L2	VA	14.88						
Lijado manual L1	VA	8.12						
Lijado neck pocket	VA		4.37					
Lija máquina L1	VA		20.50					
Lijado manual L1	VA		11.82					
Lija máquina L2	VA			23.03				
Lijado manual L2	VA			13.80				
Inspección	NVA				7.03			
Detalles	NVA				7.70			
Montaje	NVA				15.53			
Aplicación Gel	VA					40.96		
Colocación en UV	VA						8.53	
Secado UV	VA						13.75	
Plantillas	NVA						5.61	
Confirmación	NVA							12.09
Transferencia	NVA							
Total VA		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total NVA		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Waste		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Takt Time		45.23	45.23	45.23	45.23	45.23	45.23	45.23
Std Time		37.2	36.7	36.8	30.3	41.0	27.9	12.1

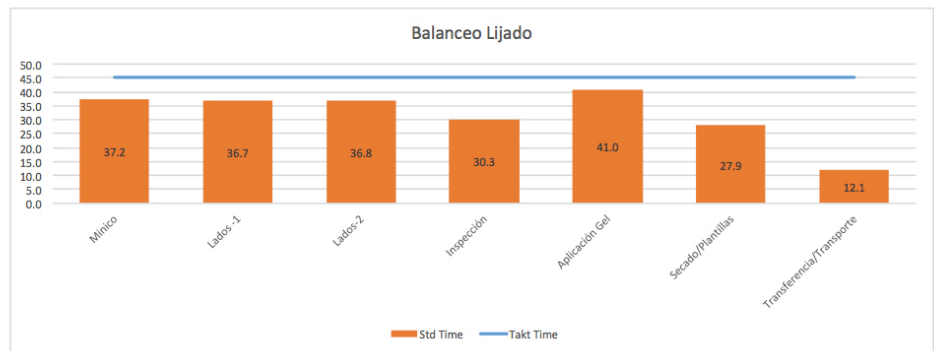


Figura 27 Balanceo y gráfico Yamazumi después de la mejora.

Con el objetivo de reducir el lijado y los defectos de contornos con filos y mal definidos, se realizó el cambio de la navaja del router a una navaja de diamante. En la figura 28 se muestra el cambio en el contorno del cuerpo de un tipo de navaja a otro.

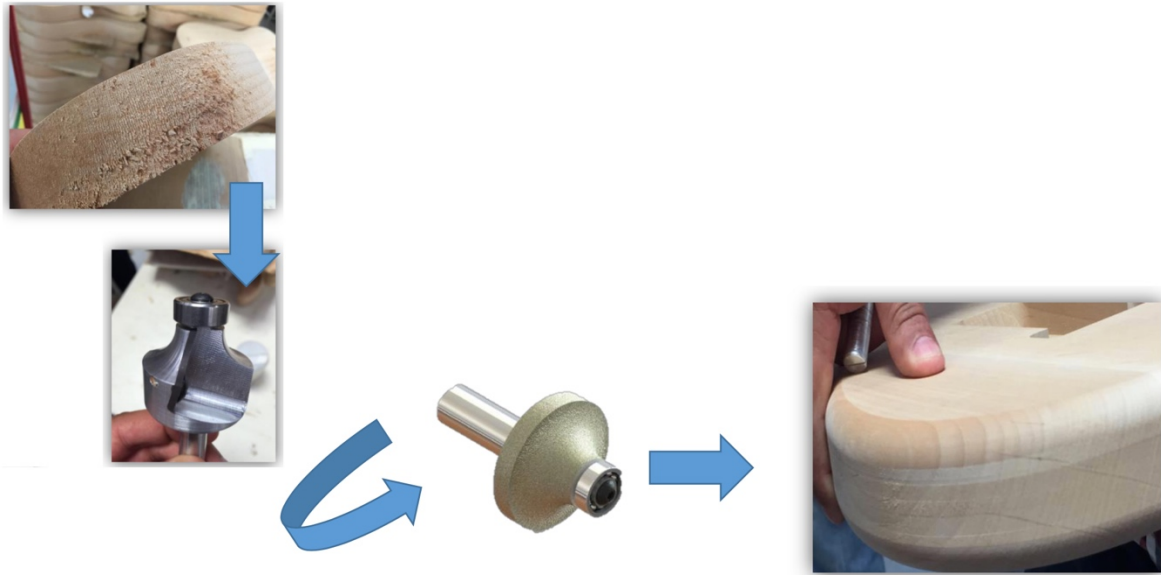


Figura 28 Cambio de navaja para router.

La eliminación y consolidación de actividades de sobre proceso se traducen en una reducción del 28.96% de exposición del operador al lijado orbital el cual pudiera resultar en una posible lesión de muñeca, la cual representa una mejora significativa para el departamento de Seguridad e Higiene de la empresa que había estado trabajando con su comité de ergonomía para reducir riesgos ergonómicos en el área de Body Mills.

Los ahorros que pueden medirse en dólares, así como los que representan ahorros en tiempos de fabricación, duración de inventarios, etc, fueron calculados al final del proyecto los cuales se representan en la siguiente tabla 4.

Tabla 4 Tabla de ahorros al finalizar el proyecto.

	Métrico	Unidad	Al inicio (A)	Objetivo (B)	Actual (C)	Delta (A-C)	Anual	Tipo de Ahorro
1	Tiempo de entrega	Días	3	0.5	0.262	2.738	\$ -	Soft
2	Tiempo de ciclo	Segundos	311.24	267	221.96	89.28	\$ -	Soft
3	Gente (operadores)	# empleados	12	10	7	5	\$ 40,000.00	Hard
4	Valor agregado	%	0.36	2.96	2.96	-2.6	\$ -	Soft
5	Tiempo de exposición ergonomico	Segundos	101.46	72.50	72.50	28.96	\$ -	Soft
6	Costos de consumibles	Dólares	\$ 138,253.40	\$ 123,273.74	\$ 123,273.74	\$ 14,979.66	\$ 14,979.66	Hard
7	Inventario de cuerpos	Partes	1960	252	252	1708	\$ 48,233.92	Soft
Total Ahorros Hard							\$	54,979.66
Total Ahorros Soft							\$	48,233.92

4.5 Controlar

Durante la fase de control y con los modos de falla potenciales previamente identificados en el AMEF, se elaboró el plan de control mediante el cual se controla el escape de defectos, mediante actividades de muestreo y criterios de aceptación y rechazo para chequeos visuales y mediciones, los cuales, serán evaluados contra cartas de control, planes de inspección, hoja de defectos y EVAQ. En la tabla 5 se muestra el plan de control del proceso de Body Mills.

Tabla 5 Plan de control de proceso Body Mills.

PLAN DE CONTROL

ÁREA:		Lijado Mills Cuerpos									
DEPTO:		Mills Cuerpos									
FECHA:		Julio 2016									
No.	Nombre del proceso/Descripción de la operación	Máquinas, equipos, fixturas o herramientas	Características		Muestra						Responsable
			Producto	Producto/Proceso/Especificación/Tolerancia	Evaluación/Medición/Técnica	Tamaño en pzas	Frecuencia	AQL-II	Método de control	Plan de reacción	
1	Resane	Bondo/ filler/ash	Cuerpo libre de hoyos	Cuerpo libre de hoyos	Visual	3	Cada hora	0=Acepta/ 1=Rechaza	Hoja defectos	Retener producto/Plan de muestreo	Facilitador
2	Lijado banda	Lija 150	Planicidad de caras	Rugosidad dentro de especificación	Medidor de rugosidad	8	2 veces al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	Carta de control	Retener producto/Plan de muestreo	Calidad
3	Inspección	Medidor de profundidad/ báscula/ lijadora orbital	Cuerpo libre de hoyos	Peso dentro de especificación	Gage de medidor de profundidad/ Báscula digital	8	2 veces al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	Carta de control	Retener producto/Plan de muestreo	Facilitador
4	Minico	Lija 80/Lija 120	Contornos sin deformidades	Sin rayas fuera de especificación	Visual	2	1 vez al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	Plan de inspección	Retener producto/Plan de muestreo	Calidad
5	Lijado lado chico	Lija 120/Lija 220	Radios definidos	Radios dentro de especificación	Gage Go no Go	2	2 veces al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	Plan de inspección	Retener producto/Plan de muestreo	Facilitador
6	Lijado lado grande	Lija 120/Lija 220	Radios definidos	Radios dentro de especificación	Gage Go no Go	2	2 veces al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	Plan de inspección	Retener producto/Plan de muestreo	Facilitador
7	Inspección	Taladro/ Lija 320	Neck pocket no despostillado	Sin despostillados	Gage Go no Go	3	1 vez al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	Plan de inspección	Retener producto/Plan de muestreo	Calidad
8	Montaje	Taladro/ Tornillos	Cuerpo montado	Aplicación uniforme conforme a especificación	Torquímetro	3	1 vez por semana	0=Acepta/ 1=Rechaza	Carta de control	Retener producto/Plan de muestreo	Operador
9	Aplicación gel UV	Microfibra	Sellado uniforme	Sellado uniforme conforme a especificación	Check do check	Todas las piezas	Todo el día	0=Acepta/ 1=Rechaza	EVAQ	Retener producto/Plan de muestreo	Operador
10	Secado gel UV	Luz ultravioleta	Cuerpo Curado	Curado uniforme conforme a especificación	Instrucción de trabajo	3	1 vez por semana	0=Acepta/ 1=Rechaza	Plan de inspección	Retener producto/Plan de muestreo	Facilitador
11	Scuff sanding	Lija 320	Rugosidad correcta	Rugosidad dentro de especificación	Visual	2	2 veces al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	EVAQ	Retener producto/Plan de muestreo	Operador
12	Colocación de plantillas	Plantillas	Cuerpo con plantillas	Cavidad cubierta conforme a especificación	Visual	2	2 veces al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	Plan de inspección	Retener producto/Plan de muestreo	Facilitador
13	Transporte	Rack forrado	Cuerpo en siguiente proceso	Cuerpo en área de intermedios (undercoat)	Visual	2	2 veces al día	0=Acepta/ 1=Rechaza	Plan de inspección	Retener producto/Plan de muestreo	Facilitador

Se elaboró un plan de inspección para controlar los defectos mediante procedimientos, instrucciones de trabajo e instrucciones de uso de equipos de medición. En la siguiente tabla se muestra el plan de inspección para Body Mills.

Tabla 6 Plan de inspección de proceso Body Mills.

PLAN DE INSPECCIÓN															
ÁREA:	Lijado Mills Cuerpos														
DEPTO:	Mills Cuerpos														
FECHA:	Julio 2016														
No.	Operación	Producto	Proceso	CTQ/CTC	Especificación	Met. Eval	Herramienta	Frecuencia	Cant. Inspección (pzas)	1	2	3	4	5	Plan de reacción
1	Resane	Cuerpo libre de hoyos	Resane manual	CTQ	Cuerpo libre de hoyos	Visual	N/A	Cada hora	3						Proced. Material no conforme
2	Lijado banda	Planicidad de caras	Lijado con lijadora	CTQ	Rugosidad dentro de especificación	Visual	de rugosidad	2 veces al día	8						Proced. Material no conforme
3	Inspección Banda	Cuerpo libre de hoyos/ dimensiones de acuerdo a especificación	Inspección visual y medición de dimensiones	CTQ	Instrucción de trabajo/Plano del producto	Visual /medición	Calibrador digital	2 veces al día	8						Proced. Material no conforme
4	Mínico	Contornos sin deformidades	Lijado manual	CTQ	Caracterización de defectos	Visual	N/A	Diaria	2						Proced. Material no conforme
5	Lijado lado chico	Radios definidos	Lijado con lijadora	CTQ	Caracterización de defectos	Medición	Gage indicador digital	2 veces al día	2						Proced. Material no conforme
6	Lijado lado grande	Radios definidos	Lijado con lijadora	CTQ	Caracterización de defectos	Medición	Gage indicador digital	2 veces al día	2						Proced. Material no conforme
7	Inspección	Neck pocket no despostillado/ dimensiones de acuerdo a especificación	Inspección visual y medición de dimensiones	CTQ	Caracterización de defectos/Plano del producto	Visual /medición	Calibrador digital	1 vez al día	3						Proced. Material no conforme
8	Montaje	Cuerpo montado	Atornillar palo de montaje	CTQ	Caracterización de defectos	Visual	N/A	1 vez por semana	3						Proced. Material no conforme
9	Aplicación gel UV	Sellado uniforme	Aplicación gel UV	CTQ	Check do check	Check do Check	N/A	Todo el día	Todas las pzas						Proced. Material no conforme
10	Secado gel UV	Cuerpo Curado	Secado en Maquina UV	CTQ	Caracterización de defectos	Visual	N/A	1 vez por semana	3						Proced. Material no conforme
11	Scuff sanding	Rugosidad correcta	Lijado de gel UV	CTQ	Caracterización de defectos	Visual	N/A	2 veces al día	2						Proced. Material no conforme
12	Colocación de plantillas	Cuerpo con plantillas	Colocación de plantillas	CTQ	Caracterización de defectos	Visual	N/A	2 veces al día	2						Proced. Material no conforme
13	Transporte	Cuerpo en siguiente proceso	Transporte a siguiente proceso	CTQ	Caracterización de defectos	Visual	N/A	2 veces al día	2						Proced. Material no conforme

El indicador de productividad dado en horas por unidad al inicio del proyecto tenía como meta un máximo de 0.97, mismo que fue fluctuando durante la implementación del proyecto, donde, al concluirse y durante 4 meses de monitoreo se observó una reducción del 25% del mismo.

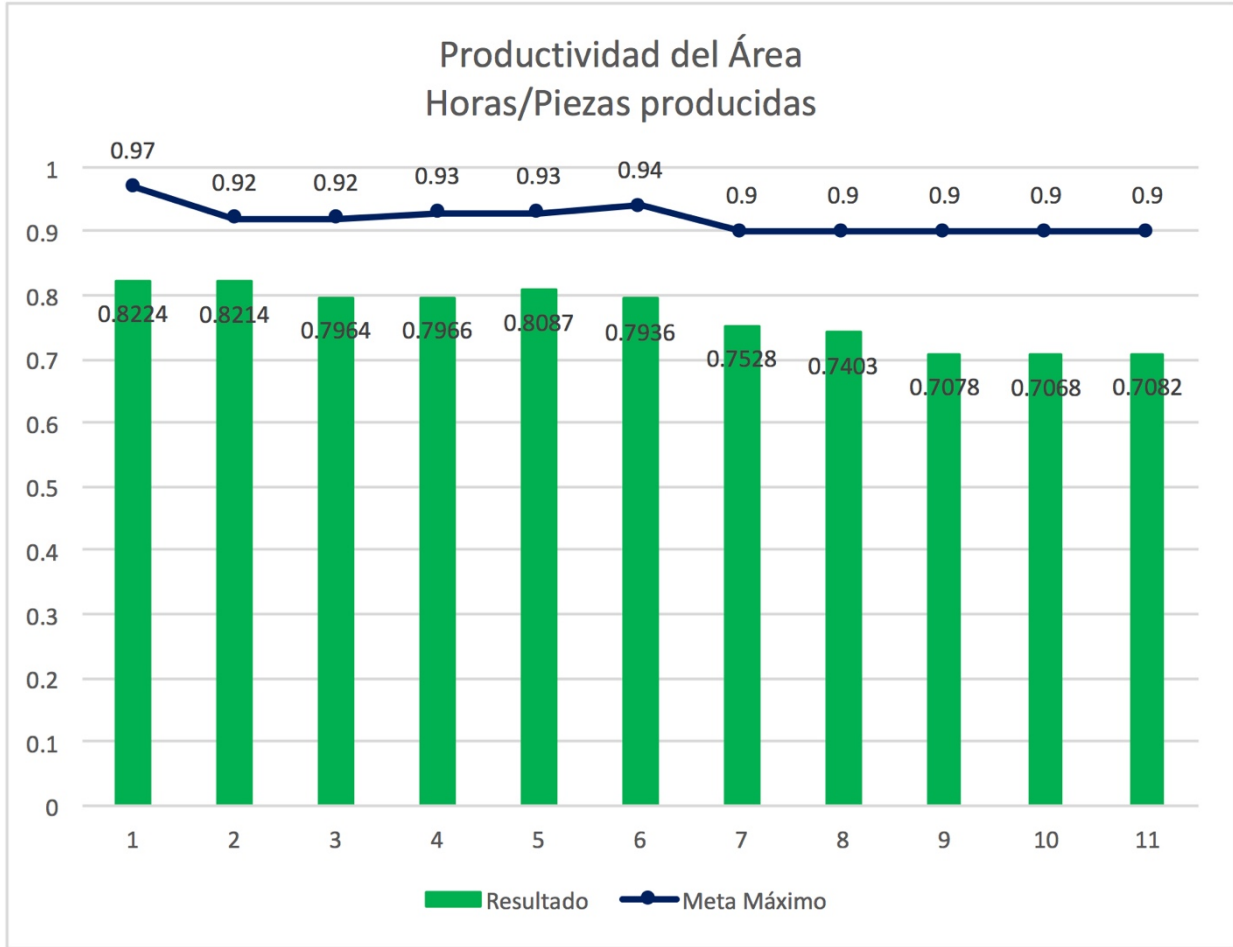


Figura 29 Indicador de productividad durante un periodo de 11 meses.

5. DISCUSIÓN

Durante la implementación de este proyecto de mejora, como con otros proyectos dentro de la empresa, nos enfrentamos a barreras que impiden el flujo del cambio tanto en procedimientos, actividades e incluso cierta renuencia del personal para llevar a cabo las operaciones de distinta forma a como se venían realizando. De la misma forma, también existen factores que influyen positivamente en la implementación de los mismos, de manera que dichos factores son clave tanto en el éxito de los proyectos como en el fracaso de los mismos. Es por este motivo que se realizó una reunión al finalizar el proyecto para discutir los factores que ayudaron a la implementación del proyecto de mejora, así como los críticos que contribuyeron de manera negativa en el mismo. La tabla “X” muestra las lecciones aprendidas al final del proyecto, en cuanto a factores críticos en la implementación del proyecto de mejora en el área de Body Mills.

Tabla 7 Factores de éxito en la implementación del proyecto de mejora en Body Mills.

Factor	Impacto	
	Positivo	Negativo
Planeación del proyecto	✓	
Equipo indicado	✓	
Soporte de los expertos del proceso	✓	
Conocimientos en Six Sigma	✓	
Estandarización del proceso	✓	
Identificación de riesgos	✓	
Capacidad de análisis de los miembros del equipo	✓	
Compromiso con el proyecto	✓	
Doble confirmación antes de la toma de decisiones	✓	
Romper paradigmas	✓	
Soporte de los dueños del proceso	✓	
Compromiso al cambio de la dirección de la empresa	✓	
Trabajo no programado		✓
Situaciones inesperadas		✓
Falta de presupuesto para el proyecto		✓
Resistencia al cambio		✓
Duración de las pruebas		✓
Problemas externos atribuidos al proyecto		✓

En comparación con otros proyectos de mejora dentro de la misma empresa, la implementación de este proyecto, obtuvimos resultados muy similares en el área de

intermedios, donde también se lograron mejoras en indicadores de productividad de la empresa al reducir el personal en el área mediante la eliminación y consolidación de operaciones de lijado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el proyecto de mejora se lograron reducir el tiempo de entrega en un 91.26%, el tiempo de ciclo 28.68%, gente (número de operadores) en un 41.66%, 28.54% de tiempo de exposición a riesgos ergonómicos, costos de consumibles en un 10.83%, 87.14% de inventario de cuerpos y se logró un incremento de 2.6% de actividades de valor agregado. Dicho de otro modo, al identificar las operaciones de sobre proceso, se eliminaron las operaciones de orbital I1&I2 y lijado de caras 220, y consolidaron gel uv, limpieza gel uv, secado gel uv, lijado gel y limpieza de cavidades/plantillas, en dos operaciones, lo que se traduce en la reducción de 5 operadores del área, que a su vez impactó positivamente la productividad del área de mills (HPU), la mejora en el tiempo de ciclo y el tiempo de entrega.

Durante la implementación de este proyecto de mejora se puede concluir que, con el compromiso hacia la cultura del cambio, la disponibilidad para el trabajo en equipo, al igual que otros factores que intervienen en la implementación de proyectos de mejora exitosos en las empresas, se pueden obtener los objetivos propuestos, e inclusive como en el caso de este proyecto, superar las metas previamente establecidas.

La cultura organizacional en la empresa ha cambiado a lo largo de los últimos años, donde la orientación hacia la mejora de procesos, el uso de la metodología SS así como herramientas de LM, han logrado cambios traducidos en ahorros, los cuales han contribuido para que la alta dirección continúe con el compromiso de retar sus procesos y preparar a sus empleados para desarrollar habilidades de pensamiento crítico, romper los paradigmas y contar con conocimientos teóricos y prácticos de herramientas de mejora continua utilizadas en SS y LM.

Actualmente grupos de ingenieros de diferentes departamentos están en entrenamiento para convertirse en Yellow Belt, Green Belt y Black Belt, obteniendo certificaciones de la ASQ que les permitirán continuar con la cultura de mejora continua.

Las recomendaciones para la empresa es continuar con esta cultura del cambio, mediante la estandarización de los proyectos de mejora, a través de procedimientos de cambios a productos y procesos, que permitirán que cualquier proyecto pase a través de una revisión de requisitos que permitan la actualización de los documentos internos de la empresa, como lo son el plan de control del producto, AMEF, SIPOC, instrucciones de trabajo, instrucciones de operación, procedimientos, ayudas visuales, así como toda la documentación concerniente a cada proceso o producto.

De esta forma sin importar cuál es el rango del ingeniero o líder del proyecto, todos los proyectos pasarán por una revisión estandarizada de requisitos que apliquen en el cambio, tales como documentación, maquinaria, materiales, equipos, personal.

7. REFERENCIAS

- Al-Aomar, R. (2007). Simulation, lean, and six sigma ease business process management. *Prestigious Three*, (December), 39–43.
- Albeanu, M., Hunter, I., & Radford, J. (2010). *Six Sigma in HR Transformation Achieving Excellence in Service Delivery*. Gower HR transformation series. Gower. Retrieved from <http://catalog.library.georgetown.edu/record=b5263766%5Cnhttp://proxy.library.georgetown.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=e00xna&AN=389097%5Cnhttp://www.gallaudet.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=533023>
- Alsmadi, M., & Khan, Z. (2010). Lean Sigma : The New Wave of Business Excellence , Literature Review and a Framework. *Engineering Systems Management and Its Applications (ICESMA)*, 1–8. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-1474.2009.00065.x/epdf>
- Amitrano, F., Franzosi, L. D. O., Cristina, C., Estorilio, A., & Hatakeyama, K. (2014). Application of Six Sigma in Small Company. *2014 Proceedings of PICMET '14: Infrastructure and Service Integration, IEEE*, 2354–2370.
- Bañuelas, R., Antony, J., & Brace, M. (2005). An application of Six Sigma to reduce waste. *Quality and Reliability Engineering International*, 21(6), 553–570. <http://doi.org/10.1002/qre.669>
- Bodek, N. (2004). *Kaikaku The power and Magic of Lean*. Vancouver: PCS Press.
- Boon Sin, A., Zailani, S., Iranmanesh, M., & Ramayah, T. (2015a). Structural equation modelling on knowledge creation in Six Sigma DMAIC project and its impact on organizational performance. *International Journal of Production Economics*, 168, 105–117. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.007>
- Boon Sin, A., Zailani, S., Iranmanesh, M., & Ramayah, T. (2015b). Structural equation modelling on knowledge creation in Six Sigma DMAIC project and its impact on organizational performance. *International Journal of Production Economics*, 168, 105–117. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.007>
- Brandt, D. (2011). Case Study Lean Six Sigma and the city. *Industrial Engineer*, 43, 50–53.
- Braunscheidel, M., Hamister, J., Suresh, N., & Star, H. (2011). An institutional theory perspective on Six Sigma adoption. *International Journal of Operations & Production Management*, 31(4), 423–451. <http://doi.org/10.1108/JFM-03-2013-0017>
- Breyfogle, F. W. (2003). *IMPLEMENTING SIX SIGMA Smarter Solutions Using Statistical Methods*. Austin, Texas: Wiley.
- Brun, A. (2011). Critical success factors of Six Sigma implementations in Italian companies. *International Journal of Production Economics*, 131(1), 158–164. <http://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.05.008>
- Byrne, G., Lubowe, D., & Blitz, A. (2007). Using a Lean Six Sigma approach to drive innovation. *Strategy & Leadership*, 35(2), 5–10. <http://doi.org/10.1108/10878570710734480>
- Chakrabarty, A., & Tan, K. (2012). Case study analysis of Six Sigma implementation in service organisations. *Business Process Management Journal*, 18(6), 992–1019.

- <http://doi.org/10.1108/14637151211283384>
- Desai, T. N., & Shrivastava, R. L. (2008). Six sigma: A break through business improvement strategy for achieving competitive advantage - A case study. *Proceedings - 1st International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET 2008*, 777–780. <http://doi.org/10.1109/ICETET.2008.263>
- Fraser, N., & Fraser, J. (2009). Lean Six Sigma applied to an accounting process within a client of a commercial finance organisation – an empirical case study. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 5(3), 272. <http://doi.org/10.1504/IJSSCA.2009.028097>
- Furterer, S., & Elshennawy, A. K. (2005). Implementation of TQM and lean Six Sigma tools in local government: a framework and a case study. *Total Quality Management & Business Excellence*, 16(10), 1179–1191. <http://doi.org/10.1080/14783360500236379>
- George, M., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket Toolbox*. McGrawhill.
- Ghaleb, A., El-sharief, M., & El-sebaie, M. (2014). Study of Tools, Techniques and Factors used in Lean Six Sigma. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(12), 1652–1658.
- Hoerl, R. (2004). One perspective on the future of Six-Sigma. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(1), 112–119. <http://doi.org/10.1504/IJSSCA.2004.005281>
- Kubiak, T., & Benbow, D. (2009). *The certified Six SIGMA master black belt handbook* (Segunda ed). Milwaukee: ASQ. Retrieved from <http://books.google.fr/books?hl=fr&lr=&id=Viyfv9C4iv4C&oi=fnd&pg=PR3&dq=Hos hin+Kanri+&ots=8KSE6qEyAX&sig=dkCPuhuFQ3jKZx1qwsFaxPJ5Ois>
- Lee, K.-L. L., & Wei, C.-C. C. (2010). Reducing mold changing time by implementing Lean Six Sigma. *Quality and Reliability Engineering International*, 26(September 2009), 387–395. <http://doi.org/10.1002/qre.1069>
- Liker, J. K., & Morgan, J. M. (2006). The Toyota Way in Services: The Case of Lean Product Development. *Academy of Management Perspectives*, 20(2), 5–20. <http://doi.org/10.5465/AMP.2006.20591002>
- Lilian, P. (2010). Lean Manufacturing Manufactura Esbelta / Ágil. *Revista Ingenieria Primero*, 15(15), 64–69.
- Lin, C., Frank Chen, F., Wan, H., Min Chen, Y., & Kuriger, G. (2012). Continuous improvement of knowledge management systems using Six Sigma methodology. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(3), 95–103. <http://doi.org/10.1016/j.rcim.2012.04.018>
- Mendoza, J. M., & Mendoza, J. J. (2005). Seis sigmas : hacia la cumbre de la calidad. *Pensamiento & Gestión*, 19, 101–117.
- Näslund, D. (2008). Lean, six sigma and lean sigma: fads or real process improvement methods? *Business Process Management Journal*, 14(3), 269–287. <http://doi.org/10.1108/14637150810876634>
- Park, J. W., & Proceedings, I. (2005). Lean Six Sigma Implementation at Logan Aluminum. *Quality*.
- Pickrell, G., Lyons, H. J., & Shaver, J. (2005). Lean Six Sigma implementation case studies. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(4), 369.

- <http://doi.org/10.1504/IJSSCA.2005.008503>
- Pranckevicius, D., Diaz, D. M., & Gitlow, H. (2008). A lean six sigma case study: an application of the "5s" techniques. *Journal of Advances in Management Research*. <http://doi.org/10.1108/97279810880001268>
- Psychogios, A. G., & Tsironis, L. K. (2012). Towards an integrated framework for Lean Six Sigma application: Lessons from the airline industry. *Total Quality Management & Business Excellence*, 23(3–4), 397–415. <http://doi.org/10.1080/14783363.2011.637787>
- Reyes Aguilar, P. (2002). Manufactura delgada (Lean) y Seis Sigma en empresas mexicanas: experiencias y reflexiones. *Contaduría Y Administración*, 205(205), 51–69. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39520506>
- Rother, M., & Shook, J. (1999). *Observar para crear valor* (1.2). Massachusetts: lean.org.
- Schroeder, R., Linderman, K., Liedtke, C., & Choo, A. (2008). Six Sigma: Definition and underlying theory. *Journal of Operations Management*, 26(4), 536–554. <http://doi.org/10.1016/j.jom.2007.06.007>
- Snee, R. D. (2004a). Six-Sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(1), 4. <http://doi.org/10.1504/IJSSCA.2004.005274>
- Snee, R. D. (2004b). Six-Sigma: the evolution of 100 years of business improvement methodology. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 1(1), 4–20. <http://doi.org/10.1504/IJSSCA.2004.005274>
- Sodkomkham, T., & Chutima, P. (2016). Lean Six Sigma Application in Rear Combination Automotive Lighting Process. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 131, 12022. <http://doi.org/10.1088/1757-899X/131/1/012022>
- Tague, N. (2005). *The quality toolbox* (Segunda ed). Milwaukee: ASQ.
- Tua, P. (2011). Quality planning improvement with lean six sigma approach and economic valuation with willingness to pay: Case in PT Telekomunikasi Indonesia. *APBITM 2011 - Proceedings 2011 IEEE International Summer Conference of Asia Pacific Business Innovation and Technology Management*, 172–175. <http://doi.org/10.1109/APBITM.2011.5996316>
- Velazquez, M. (2014). Proposal for Application of Six sigma Methodology in Sonora State University Process. In *Global conference on Business and Finance* (Vol. 9, pp. 1271–1282).
- Waterbury, T., & Bonilla, C. (2008). A Lean Six Sigma execution strategy for service sectors: what you need to know before starting the journey. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 4(4), 395. <http://doi.org/10.1504/IJSSCA.2008.022951>
- Womack, J., Byrne, A. P., Flume, O. J., Kaplan, G. S., & Toussaint, J. (2005). Going lean in health care. In *Innovation Series* (pp. 1–20).