

# ***Reduciendo los Defectos Cosméticos y de Precisión en el Proceso de Plateado de las Piezas Manufacturadas en la Empresa Keysight Technologies***

*Fernando Quiñones Ortiz  
Maestría en Manufactura Competitiva  
Dr. Edwin Dávila Aponte  
Programa Graduado  
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

---

**Resumen** - *En la actualidad muchas de las empresas buscan como objetivo estar en un mercado competitivo. Dicho mérito conlleva mucha dedicación, disciplina y la aplicación de métodos analíticos con el propósito de satisfacer las necesidades del cliente. Todo este proceso conlleva mantener unos estándares rigurosos de calidad y brindar un ambiente seguro al empleado.*

*Muchas compañías tienen programas para el desarrollo del empleado como, promover ideologías, adiestramientos y/o hábitos para estimular estos cambios de mejoras. El efecto de estos beneficios aplicados al empleado es invaluable, ya que son útiles para su formación profesional. Sin embargo, todo cambio conlleva una curva de aprendizaje y tiempo. A través de una buena práctica de planificación y/o un sistema bien estructurado se puede maximizar la eficiencia colectiva para que se pueda lograr la misión corporativa. Todos los objetivos fueron cumplidos en la investigación.*

**Términos Claves** - *Adiestramiento, Calidad, Eficiencia, Ideologías.*

## **PRESENTACIÓN DEL TEMA**

La compañía Keysight Technologies tiene un área esencial llamada “Plating shop”. En esta división se llevan a cabo reacciones químicas en función de electricidad, tiempo y exposición. Esta actividad se realiza en unos baños que contienen los reactantes. Muchas de las partes que se utilizan en equipos tecnológicos son plateadas a través de una técnica llamada electrolisis. Este proceso químico ocurre cuando un flujo de corriente y unos electrodos sumergidos en una solución ácida o básica reaccionan. Durante la reacción sucede un intercambio de iones proveyéndole propiedades físicas deseadas en el objeto

de interés. En otras palabras, ayuda a que el componente o parte sumergida adquiera características químicas que pueden favorecer una función específica de la parte o componente.

El objetivo de este proyecto de investigación es entender, aplicar y resolver la problemática de calidad. Para ello, se debe utilizar como guía la siguiente pregunta de investigación *¿cómo la calidad aumenta la eficiencia operacional reduciendo los defectos cosméticos y de precisión?*

El proyecto se llevará en el área de “Plating shop”. Esta es un área de muchos riesgos, ya que hay un sin número de baños o reservorios que contienen soluciones químicas altamente peligrosas. Como toda área de trabajo de alta peligrosidad su acceso es controlado a base de códigos de seguridad, en cumplimiento con las leyes de *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) y *Environmental, Health and Safety* (EHS). Si se mantienen unos estándares de calidad rigurosos se podrá establecer un marco óptimo. Esto contribuye a una mejor calidad y alta eficiencia operacional.

## **Objetivos Investigativos**

El objetivo de la investigación es recomendar acciones que contribuyan a una reducción de defectos cosméticos y de precisión en el proceso. Para este propósito, se observarán técnicas y herramientas que conducen a la recolección y análisis de data para poder resolver el problema. Si se parte de la premisa anterior, DMAIC es una herramienta muy detallada que permite tomar un proyecto y separarlo en etapas hasta alcanzar el objetivo deseado.

Para poder definir los objetivos primero se explicará la idea central de esta investigación. Dicha idea establece poder brindarle una solución efectiva al

área de trabajo de baños de plateado a las distintas partes que componen un dispositivo mecánico, brindado un proceso de uniformidad a través de un manual o proceso estándar de operación (SOP). El baño de plateado es una de las operaciones más importantes en la compañía debido a que todas las partes pasan por ese tratamiento. Debido a la complejidad del tratamiento, todo componente conlleva un proceso diferente debido a que las partes pueden tener diferentes funciones, geometrías o tratamientos de elementos. El enfoque de calidad que se aplica en este proyecto conlleva utilizar las técnicas de “Six sigma” y algunos conceptos de “Lean”, con el fin de identificar y reducir desperdicios o “waste” que pueda traer resultados negativos. Por lo tanto, los siguientes objetivos que se desean cumplir son:

1. Entender la importancia del uso y manejo del laboratorio del “Plating shop”.
2. Proveer información sobre la peligrosidad y la compatibilidad química en el proceso.
3. Proveer adiestramientos a los operadores con la importancia, seguridad y el manejo adecuado al momento de platear las partes.
4. Proveer métricas para medir los costos.
5. Reducir desperdicios en el proceso, minimizando costos debido a defectos cosméticos y de precisión.
6. Mejorar la eficiencia del operador.

## REVISIÓN DE LITERATURA: LEAN MANUFACTURING Y SIX SIGMA

La filosofía “Lean Manufacturing” es el proceso de diseñar sistemas de manufactura para reducir costos a través de la eliminación de productos o desperdicios en el proceso *waste* [1]. El énfasis primario consta en eliminar todo tipo de actividades que no añadan valor tales como la finalización de productos defectuoso, cargos por el exceso de inventario debido a trabajos en proceso, exceso de inspecciones y/e inventario por productos terminados.

Es de suma importancia entender las prácticas de Lean, pero primero se debe estudiar los propulsores del concepto de lean, desarrollado por el ingeniero Kaoru

Ishikawa, llamado la casa Toyota. En la siguiente ilustración se puede apreciar la casa *Lean*.

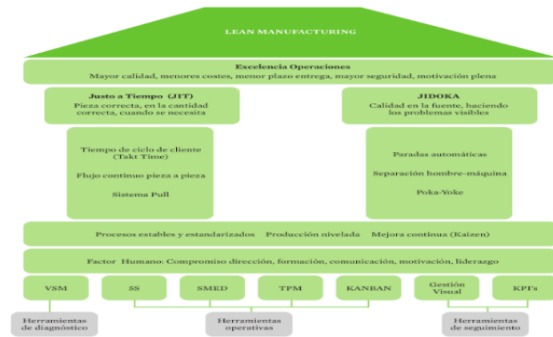


Figura 1

### Pilares de “Lean Manufacturing” [4]

Al observar la Figura 1 se puede apreciar que el nivel más bajo o base contiene los 3 tipos de herramientas que sostienen todos los fundamentos específicos para cada técnica. Para la primera técnica, conocida como *herramienta de diagnóstico*, se intenta expandir y organizar en secuencia los pasos en el proceso. Dentro de la herramienta de diagnóstico se encuentra el modelo de *Value Stream Map (VSM)*, mejor conocido como el diagrama o mapa de flujo de valor. Cuya función se enfoca en capturar todas las actividades cronológicamente y detalles sobre los tiempos que definen la operación.

Luego se estudia la segunda técnica, mejor conocida como *herramienta operativa*. La función de esta etapa es seguir unas metodologías o recomendaciones que ayuden a poder atacar un problema siguiendo un proceso. Dicha herramienta se compone de 5s, SMED, TPM y Kanban. Las siguientes herramientas serán detalladas a continuación.

La primera práctica dentro de las herramientas operativa es 5s. Una metodología que se compone de cinco etapas que ayudan a reducir desperdicios y optimizar la productividad. Cada *s* está definida por una etapa que consta de *Sort* (clasificar), *Set in order* (ordenar), *shine* (brillar), *standadize* (estandarizar) y *sustain* (sostener), implementando todo tipo de actividad que evite que el proceso se salga de control. La segunda práctica dentro de las herramientas operativas es SMED, mejor conocido como *single*

*minute exchange of die*. Su función principal es reducir los tiempos para completar los cambios de equipos en el proceso.

La tercera práctica operática es conocida como *mantenimiento productivo total* (TPM). El TPM es una filosofía de mantenimiento que, a través de condiciones óptimas, permite producir a su máxima capacidad productos de calidad. En otras palabras, si todos los desperdicios que están en el proceso son eliminados debido al mantenimiento productivo, el tiempo de producción será favorable y los resultados permitirán enfocarse en otras áreas como los estándares o parámetros que generarán el producto a la calidad deseada.

La última práctica operativa es conocida como Kanban y ésta es un sistema de información que controla armoniosamente las cantidades de producción en cada proceso [2]. En otras palabras, la producción se basa en la demanda del cliente, en lugar de los estándares establecidos para aumentar las cantidades del producto para llevarlos al mercado.

Por otro lado, la última herramienta de los pilares de lean es la *herramienta de seguimiento*. Los componentes de esta incluyen las prácticas de Gestión Visual y KPI. La Gestión Visual es una práctica ilustrativa que busca simplificar procesos y políticas a través de diagramas, con el fin de simplificar la información. Es sumamente útil poder representar la data de distintas maneras de forma visual y definidas por elementos que permiten relacionar información a decodificarse con mayor facilidad. Además de la herramienta de seguimiento, el “key performance indicator” (KPI) permite establecer indicadores que se utilizan como guías para evaluar el progreso en una actividad en particular. A pesar de las herramientas vistas previamente, Lean contrasta una lista de prácticas que ayudan a poder atacar una problemática con funciones específicas.

Igualmente, la herramienta *Six Sigma* es extremadamente útil para este estudio, ya que abarca una sucesión de técnicas que mejoran el proceso. Esto crea un efecto positivo en el mejoramiento del control de calidad, reduciendo los defectos de los productos.

La metodología Six Sigma, como un indicador de estandarización, se le atribuye a Carl Friedrich Gauss, quien también introdujo el concepto de la curva normal de Gauss. La metodología Lean y Six Sigma son originadas como herramientas de estadística.

Six Sigma, como estándar de medición en la variación del producto, se establece en la década de 1920 cuando Walter Shewhart demostró que tres sigmas de la media era el punto donde un proceso requiere corrección. Muchos estándares de medición (Cpk, Zero Defects, etc.) aparecieron más tarde, pero el crédito por el término "Six Sigma" es para un ingeniero de Motorola llamado Bill Smith. A principios y mediados de la década de 1980, con el presidente Bob Galvin, los ingenieros de Motorola decidieron que los niveles de calidad tradicionales (medir defectos en miles de oportunidades) no proporcionaban suficiente granularidad. En cambio, querían medir los defectos por millón de oportunidades. Motorola desarrolló este nuevo estándar y creó la metodología y el cambio cultural necesario asociado con él. Six Sigma ayudó a Motorola a obtener resultados finales poderosos en su organización. De hecho, documentaron más de \$16 mil millones en ahorros como resultado de los esfuerzos Six Sigma [3].

Para finalizar, es necesario reseñar la herramienta DMAIC. Las etapas de DMAIC se componen de Definir, Medir, Analizar, Implementar y Control. Dicha herramienta (DMAIC) facilita la aplicación de forma estratégica de las 5 etapas. La primera etapa es Definir, que consta en explicar de manera clara y organizada el problema actual y el propósito del proyecto. La segunda etapa es Medir, recolectar y definir indicadores que se utilizarán para capturar la data. La tercera etapa es analizar, la data que será observada y estudiada para poder proponer cambios que favorecerán el proyecto una vez se haya encontrado la solución del problema. La cuarta fase es Implementar, en donde se ejecutan acciones en función al análisis realizado con el fin de que sea efectivo. La última fase conocida como Control, busca mantener prácticas físicas que se encarguen de alertar en todo

momento cualquier variabilidad para mantener un control en el proceso [5].

## METODOLOGÍA Y HALLAZGOS USANDO DMAIC

Con el fin de resolver la problemática se pretende dar respuesta a la pregunta *¿Cómo la calidad aumenta la eficiencia operacional reduciendo los defectos cosméticos y de precisión?* El primer paso es definir de acuerdo con la metodología de DMAIC.

### Define:

El estudio de investigación se lleva a cabo en el área de plateado, que presenta una serie de problemas que están afectando la calidad operacional debido al incremento de defectos cosméticos y de precisión. Los defectos de precisión se atribuyen a errores causados por deficiencias del diseño, tales como *out of specs* (OOS), que significa que la pieza no cumple con las especificaciones. En otras palabras, partes que no están completamente plateadas o que están sobre plateadas.

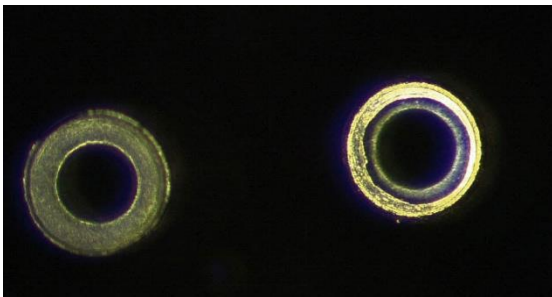


Figura 1

### Defecto de parte no completamente plateada

En la Figura 2 se puede observar que el “Thin Below” tiene un defecto de precisión debido a no haberse plateado correctamente cuando la reacción química se llevó a cabo. Esto puede ocurrir por varios factores como la densidad de corriente y el tiempo que estuvo la parte sumergida en el baño de oro. Uno de los problemas más comunes es que a la parte tener un pobre contenido de oro, el contacto eléctrico al insertar el semiconductor no funcione eficientemente.

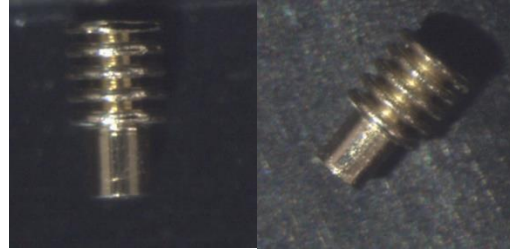


Figura 2

### Below, antes y después

En la Figura 3, la imagen de la izquierda es un ejemplo de un “Below” antes de ser plateado. En la imagen de la derecha se presenta la misma parte luego de estar expuesta al tratamiento de oro. Se puede observar que el “Below” fue sobre plateado, ya que mientras ocurre la reacción química, la parte se dejó en la solución de oro por un tiempo prolongado causando una superficie y/o coraza porosa. El problema con utilizar esta parte de esta manera es que, al aplicarse el torque correspondiente en un dispositivo mecánico, puede dañar el conector por tener un exceso de superficie. También, cuando las partes son sobre plateadas se requiere un trabajo adicional para remover esa composición extra, resultando en demoras en el proceso y dinero al tener que reprocesar la parte.

Los defectos cosméticos son errores que generalmente se encuentra en la superficie del producto. Estos daños podrían ser descoloramiento (*discoloration*), ampolla (*blister*) y escamas (*flakes*). Estos problemas que presenta la organización son debidos a errores existentes en la manufactura, en el proceso y la ejecución del operador, los cuales se pueden corregir si se mejora la metodología del proceso.



Figura 3

### Defecto de descoloramiento

La Figura 4 muestra un ejemplo de descoloramiento. Este defecto es causado por errores de cálculos, alta corriente y tiempo. Cuando la parte recibe un exceso de corriente, quema la parte resultando una inconsistencia al momento de pintar la superficie del objeto.

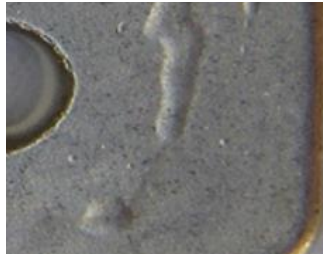


Figura 4

Defecto de ampolla

En la Figura 5 se observa un ejemplo de ampolla. Este daño es causado debido a la pobre agitación del “rack” en el baño de lavado. Al no agitarse rigurosamente las partes, el contenido de grasa no se remueve completamente causando problemas de adhesión del oro en la superficie de la parte.

**Medida:**

Luego de la investigación, junto a la herramienta DMAIC, se puede observar los resultados que muestran el efecto de los errores causados y se propone una nueva metodología con el fin de eliminar éstos.

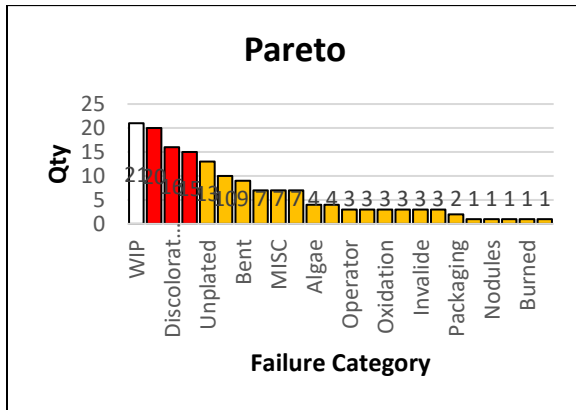


Figura 5

Diagrama de Pareto de defectos

En la Figura 6 se evidencia la frecuencia de los errores más comunes cometidos en un periodo de un año en el área de plateado. Los errores más comunes

son ampolla, descoloramiento y OOS. Esta información es muy importante, ya que ayuda a encontrar los problemas más recurrentes en el área de plateado. Permite traer soluciones en las áreas que más afectan la organización.

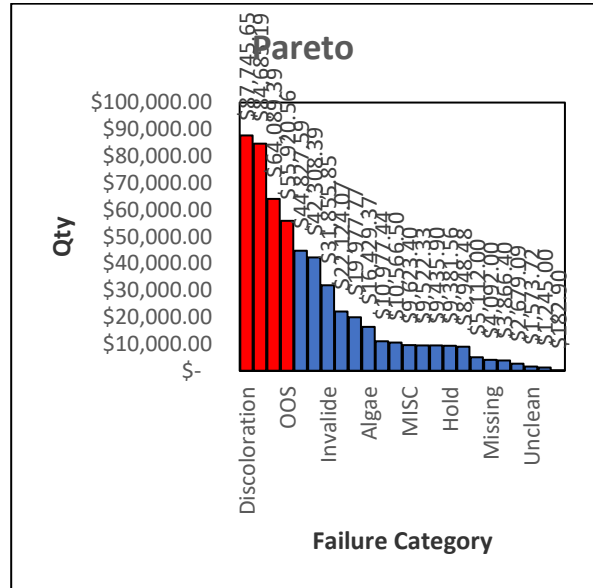


Figura 6

Diagrama de Pareto de Costos

En la Figura 7 se presentan, en orden descendiente, los 4 problemas más comunes, además de mostrar los costos de este tipo de error. La data ayuda a poder enfocarse en los problemas más recurrentes identificados en el Pareto anterior, pero en adición se puede identificar cuál es el que causa las mayores pérdidas de dinero.

**Análisis:**

En respuesta a la pregunta de investigación, se estudió la data de la fase de medida de DMAIC. Se logró seleccionar cuál es el déficit en el proceso del área de plateado. Esto ayuda a crear una propuesta que mejore la metodología y elimine este tipo de error del proceso de plateado. Basado en los defectos previos, se llevó a cabo una entrevista con el ingeniero de proceso, donde se discutió cuáles serían las posibles rutas para resolver este problema.

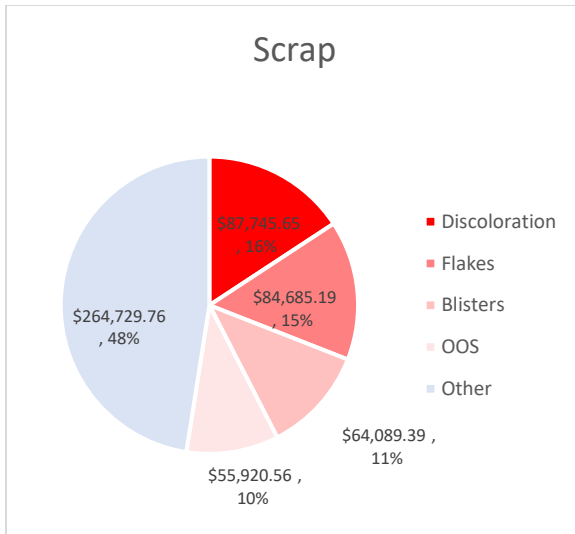


Figura 7

Diagrama de Pastel

En la Figura 8, el diagrama de pastel provee una perspectiva del porcentaje global que tienen los principales defectos que están causando un déficit en la eficiencia operacional. Esto permitió estudiar aún más qué causa esos problemas y cómo se puede buscar el mínimo común denominador para poder solucionar el problema.

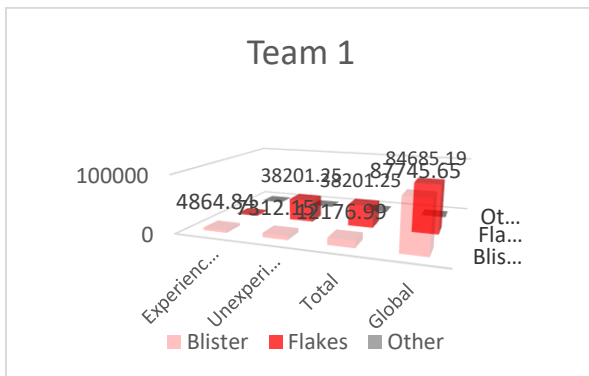


Figura 8

Diagrama de equipo 1

El área de plateado se compone de diferentes equipos que tienen como función platear diferentes partes perteneciendo a una familia de materiales. El equipo 1 se encarga del material de aluminio; el equipo 4 se encarga del cobre; el equipo 7 de cobre de berilio, y el equipo 6 del material de lato. Al entrevistar al ingeniero de proceso, se logró extraer una lista de todos

los lotes trabajados por los empleados y se clasificaron los defectos por equipos y nivel de experiencia.

Con la data recolectada se observó que el equipo 1 tenía la mayoría de los casos de los defectos cosméticos causados por ampollas y escamas. Esta información ayuda a entender que dentro del área de plateado no había una metodología uniforme para todos los empleados al asignarle el trabajo por nivel de experiencia, causando que la calidad de los productos fuera variable. Existen algunas fases dentro del área de plateado que requieren un grado de experiencia adicional en el empleado, ya que las mismas son de alto costo.

**Mejora:**

La propuesta para solucionar el problema de metodología en el área de plateado consiste en la creación de un sistema metodológico uniforme en forma de adiestramiento que busca la estandarización del proceso. El adiestramiento será implementado luego de una presentación detallada, tanto en forma escrita como en video, que contiene el proceso, paso a paso, de principio hasta fin, en el área de plateado. El propósito de esta implementación es lograr que los empleados tengan los mismos resultados óptimos para entonces reducir o hasta eliminar los errores cosméticos y de precisión. Por último, para poder medir la mejora, se compararon los resultados iniciales con los resultados finales, luego de haber implementado la mejora.

**Control:**

La última fase en la herramienta DMAIC es la fase de control, donde se busca introducir buenas prácticas en la metodología. Estas prácticas pueden ser inspecciones visuales, lista de verificación (*check lists*) y herramientas como gráficas de control. Esto permite medir periódicamente el proceso para identificar variabilidades. Si el proceso está en control, los resultados no excederán los límites inferiores y superiores de la gráfica de control. En el caso del proyecto, se definió un parámetro de rendimiento (*yield*) que compara la cantidad de lotes realizados en función de los lotes rechazados.

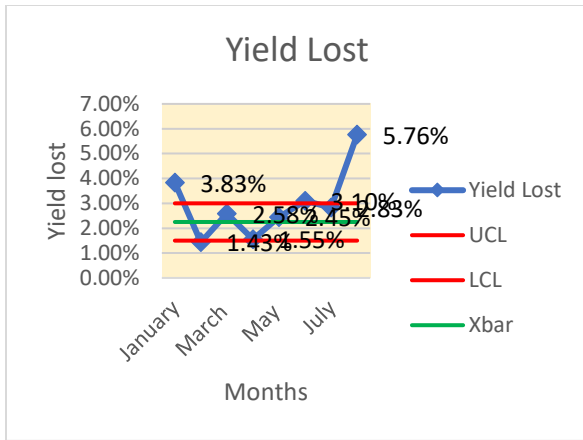


Figura 9

**Diagrama de control de pérdidas en el rendimiento (Yield Lost)**

La Figura 10 muestra una gráfica que presenta los límites inferiores y superiores aplicados a la data de pérdidas de rendimiento. Esta grafica muestra que el proceso está fuera de control causando pérdidas significativas en los costos de reproceso.

Month	Lots Shipped	Lots Rejected	Yield Lost	Yield	Scrap	UCL	LCL	Xbar
January	705	27	3.83%	96.17%	\$ 149,733.93	3.00%	1.50%	2.25%
February	697	10	1.43%	98.57%	\$ 45,039.69	3.00%	1.50%	2.25%
March	736	19	2.58%	97.42%	\$ 49,077.08	3.00%	1.50%	2.25%
April	772	12	1.55%	98.45%	\$ 65,077.08	3.00%	1.50%	2.25%
May	735	18	2.45%	97.55%	\$ 57,620.64	3.00%	1.50%	2.25%
June	678	21	3.10%	96.90%	\$ 48,119.08	3.00%	1.50%	2.25%
July	742	21	2.83%	97.17%	\$ 75,865.68	3.00%	1.50%	2.25%
August	677	39	5.76%	94.24%	\$ 54,119.44	3.00%	1.50%	2.25%
Total	5742	167	2.91%	97.09%	\$ 544,652.62	3.00%	1.50%	2.25%

Figura 10

**Tabla con información detallada de lotes en el área de plateado**

La Figura 11 muestra la data de los lotes enviados en función de los lotes rechazados. También se puede observar el dinero correspondiente al rendimiento perdido asociado a los lotes rechazados. Esto quiere decir que se puede tener mayor número de lotes con menor cantidad de pérdidas de dinero, debido a que hay partes cuyas geometrías de diseños conllevan tratamientos más costosos.

También el segundo método de control le enviará al supervisor de la línea un informe con la lista de los operadores que han tomado el curso. Otra información que se observará dentro del informe será la fecha de cuando el operador completó el adiestramiento. Esto ayudará a poder darle seguimiento a aquel operador que no complete el adiestramiento en el periodo requerido, el supervisor trabajaría directamente con ese

caso. El manual, los videos y estipulación de la metodología correcta para este proceso son algunos de los beneficios consistentes que procuran mantener el nuevo control de proceso, para evitar los errores en el área de plateado.

**CONCLUSIONES**

Según los resultados obtenidos a través de la aplicación del sistema analítico se concluye que la nueva implementación del proceso de manufactura en plateado en los errores y daños más frecuentes traerían unos resultados sin errores, creando una uniformidad al momento que se ejerza la práctica en el proceso del plateado. Con la implementación de esta nueva metodología, los resultados indican una mejora de hasta un 52%, lo cual representaría un alivio costo económico para la compañía.

La importancia del proceso de plateado consiste en tener un producto de excelencia y buen montaje de las partes que forman el producto, cumpliendo las necesidades del cliente. En el laboratorio donde se manufacturan estas piezas se necesita seguir ciertas normas de seguridad para crear un ecosistema seguro para el empleado. Por esta razón la propuesta de mejora de metodología de manufactura en el área de plateado incluye videos y manuales que describen, paso a paso, y de una manera segura, cómo hacer el proceso de una manera uniforme validada por los resultados estadísticos que muestran los programas de Six Sigma y DMAIC. Estos programas, al tener la data de los resultados previos a la aplicación y luego de la aplicación, muestran gráficos en forma de Pareto y de control que demuestran las mejoras de la aplicación de la nueva metodología.

Debido a la pandemia del COVID-19, no se han podido ofrecer los adiestramientos para los empleados con el fin de aplicar las mejoras en el sistema de manufactura de plateado, según se pudo evidenciar en los datos mostrados. Esta nueva metodología fue aprobada, más, sin embargo, está en espera para poder ser aplicada y los empleados recibir el debido adiestramiento para realizar los cambios en el proceso. La decisión de la compañía por optar en ofrecer estos

adiestramientos se basa en los resultados obtenidos durante el proceso de investigación.

### RECOMENDACIONES

Se recomienda que se hagan estudios de DMAIC y Six Sigma aplicables a otras áreas de manufactura, por ejemplo; “Chemiling, PMTC, Metrology y Special Handling”.

Se recomienda un mejor manejo de las herramientas localizadas en el laboratorio de plateado para optimizar el flujo de movimiento y brindar un ecosistema más seguro para el técnico del laboratorio.

Otra área de oportunidades de mejora es la logística de almacenamiento del área de CATR, que consta de un inventario con problemas deficientes causando así una prolongación al momento de buscar las piezas.

Por otro lado, se deben seguir diseñando más contenido en video para un proceso más ordenado e ilustrado, con el fin de poder ayudar aún más a los operadores.

### REFERENCIAS

- [1] F. M. Gryna, R. C. H. Chua, D. F. J. A., J. M. Juran, and J. M. Juran, *Jurans quality planning and analysis: for enterprise quality*, 5th edition. Boston, MA: McGraw-Hill, 2007.
- [2] Yasuhiro Monden (2012). *Toyota Production System: An Integrated Approach to Just-In-Time*, 4th edition. Taylor & Francis Group, LLC.
- [3] A. Töpfer and S. Günther, “Six Sigma im Entwicklungsprozess — Design for Six Sigma,” *Six Sigma*, pp. 98–169, 2004.
- [4] Leanlandia, “Los pilares del Lean, las 2D,” [Blog Online]. Available: <https://leanlandia.wordpress.com/2018/07/11/los-pilares-del-lean-las-2d/> [Accessed October 12, 2020].
- [5] American Society for Quality, “The Define, Measure, Analyze, Improve, Control (DMAIC) Process,” *ASQ*. [Online]. Available: <https://asq.org/quality-resources/dmaic>. [Accessed October 12, 2020].