



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

**“Aplicación de la metodología DMAIC en el área de
mantenimiento del proceso de extrusión de perfiles de
Aluminio de una fábrica para mejorar los tiempos de
utilización de la máquina”**

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN MEJORAMIENTO DE PROCESOS

Presentada por:

Jhonatan Favian Briones Rojas

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año 2022

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mis padres, a mi compañera de vida por darme la oportunidad de poder continuar mis estudios y apoyarme en lo necesario para avanzar con este proyecto. Al tribunal de graduación por su atención y dirección en el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Este esfuerzo de vida
está dedicado a mis
padres Domingo
Rodríguez y Alicia Rojas,
a mi compañera de vida
Allisson Venegas
Mosquera y mi hija
Dayanna Briones.

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

Ángel Ramírez M., Ph.D.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Oscar Calero M., Msc.
DIRECTOR DE PROYECTO

Denise Rodríguez Z., Ph.D
VOCAL

DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este proyecto de titulación, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”.

Jhonatan Favian Briones Rojas

RESUMEN

El proyecto consiste en buscar mediante el uso de la metodología DMAIC las mejoras que permitan incrementar la producción en el proceso de elaboración de perfiles de aluminio analizando el cuello de botella en el área de mantenimiento.

DMAIC es un proceso de mejora continua que usa la Metodología Seis Sigma y una herramienta ordenada que tiene 5 etapas (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar). Desde la definición, cada etapa orienta al usuario hacia la búsqueda de la mejora del proceso.

La empresa en la que se desarrolló el proyecto se dedica a la producción de perfiles Extruidos de Aluminio sólidos y tubulares, tiene instalaciones modernas y automatizadas de última generación, siendo competitivos en el mercado nacional e internacional pensando siempre en obtener los mejores resultados de productividad, al más bajo costo, con el mínimo rechazo y optimizando todos sus recursos.

La Extrusión en prensa es un procedimiento de conformación por deformación plástica, que consiste en moldear un metal, en caliente, por compresión en un recipiente obturado en un extremo con una matriz o hilera que presenta un orificio con las dimensiones aproximadas del producto que se desea obtener y por el otro extremo un disco macizo, llamado disco de presión.

El objetivo del proyecto es el de aumentar el tiempo neto de producción en un 2%, aumentando las disponibilidades del cuello de botella de la línea de producción de extruido de perfiles de aluminio aplicando la metodología DMAIC en el área de mantenimiento del proceso hasta febrero 2022.

Al momento de aplicar la metodología DMAIC se define las necesidades de las áreas relacionadas a la producción de perfiles de aluminio para la elaboración de la matriz voz del cliente. La matriz nos permitió ver cuál es uno de los problemas reales, la variabilidad en el tiempo en el corte de cizalla de bults en la elaboración de perfiles de aluminio.

Además, en la etapa de medición, se presenta la situación actual utilizando un diagrama de flujo y SIPOC para entender y delimitar el área del problema. Estas herramientas permiten visualizar las condiciones operacionales que utilizan en el proceso de producción. Además, el SIPOC ilustra la relación entre el proveedor y el cliente dentro del proceso; también, muestra las entradas y salidas de ambos dentro del sistema productivo. Con estas consideraciones se analizaron cada una de las etapas en la línea de extrusión de perfiles de aluminio

Posterior a esto en la etapa de análisis se usa la Matriz causa-efecto el cual es un método de valoración cualitativa que ayuda a identificar las causas que tienen mayor efecto en el problema del proyecto y el diagrama de Ishikawa o espina de pescado el

cual es un diagrama que analiza las causas raíces de un problema en el cual se evidenció la falta de preparación, las pocas personas asignadas para resolver cierta actividad de mantenimiento, entre otros parámetros que afectan la pronta respuesta del mantenimiento a las cizallas.

Con las causas observadas, se realizó el cronograma del plan de acción que se cumplió en los meses de diciembre-enero sugiriendo la cantidad de personas adecuadas para la tarea y requerimiento de materiales para cierto periodo de tiempo además de que el proceso es automatizado y se debe tener todo listo para actuar a tiempo ante posibles fallas ya detectadas en este estudio.

Posterior a eso se realiza el Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), el cual es un procedimiento que ayuda a identificar fallas en el proceso, además permite evaluar y clasificar en forma objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para evitar su ocurrencia y tener un procedimiento documentado de prevención.

En el AMEF, se detalló cada paso en las etapas de mantenimiento en la extrusora. En el cual, las actividades con NPR (número de prioridad de riesgo) mayores a 30, son la prioridad en el diagrama impacto esfuerzo, luego con la matriz de verificación de causas eliminar las que no influyen en el objetivo.

Además dentro del plan de acción se establecen los rangos de operación para las dos causas y luego comparar el antes y después para evidenciar la implementación de la mejora.

Al implementar una mejora se utiliza las gráficas de control y las pruebas de campo con los rangos de operación definidos. Para mostrar resultados se realizaron gráficas de cajas en el cual se evidencia él antes y después de la implementación. También se realizó una prueba de igualdad de varianzas en la que se puede ver como se reduce la variabilidad en el proceso. Y al finalizar, un Diagrama de Pareto desde el 20 de diciembre al 18 de enero, para evidenciar el aumento en la utilización de la máquina aunque desde la declaración de los objetivos en el Pareto se evidenciaba que si nos enfocáramos en el corte con cizalla disminuyéndolo al máximo reduciríamos un 3% como máximo y que hay otros factores en los que se puede mejorar aun.

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPÍTULO 1	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1. Antecedentes.....	11
1.2. Descripción del problema.....	12
1.2.1. Planteamiento del problema.....	12
1.3. Objetivos del trabajo de titulación	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.3.3. Justificación del proyecto.....	14
1.4. Estructura del proyecto de titulación	15
CAPÍTULO 2	18
2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DMAIC	18
2.1. Definición	18
2.2. Medición	24
2.2.1. Proceso actual de extrusión de perfiles de aluminio.....	24
2.2.2. Diagrama de Pareto	32
2.2.3. Problema enfocado.....	32
2.2.4. Análisis de capacidad	37

2.3.	Análisis	33
2.3.1.	Diagrama de Ishikawa.....	33
2.3.2.	Matriz causa-efecto.....	33
2.3.3.	Análisis del Modo y Efecto de Fallas.....	41
2.3.4.	Evaluación de los problemas críticos	42
2.3.5.	Matriz de verificación de causas.....	46
2.4.	Implementar.....	49
2.4.1.	Plan de acción de implementación de mejoras.....	49
CAPÍTULO 3.....		51
3.	RESULTADOS DEL PROYECTO	51
3.1.	Comparación del antes y después a las mejoras implementadas en el proceso.....	51
3.1.1.	Estandarizar tiempos de mantenimiento preventivo.....	51
3.1.2.	Temperaturas al momento del corte con cizalla de bults.....	53
3.1.3.	Daños en el sensor de botador.....	54
3.1.4.	Mantenimiento en la cizalla de bults.....	54
CAPÍTULO 4.....		58
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	58
4.1.	CONCLUSIONES.....	58
4.2.	RECOMENDACIONES	58

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ABREVIATURAS

VA	Valor Agregado
NVA	No Valor Agregado

SIMBOLOGÍA

°C	Grados centígrados
H	Horas
m	metros
Kg	kilogramos
min	Minutos
m ³	Metros cúbicos
T	Toneladas

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Tiempos de paras por distintos motivos en el primer trimestre 2021.....	12
Figura 1.2. Diagrama, utilización de la máquina año 2018.....	13
Figura 1.3. Tiempos de paras por distintos motivos en el primer trimestre 2021.....	16
Figura 1.4. Diagrama de la utilización de la máquina desde el año 2021	16
Figura 2.1. Porcentaje de tiempo de paras por mantenimiento.....	22
Figura 2.2. Gráfica del Benchmark y Objetivo SMART, tiempos de mantenimiento	23
Figura 2.3. Diagrama de flujo de extrusión de perfiles de aluminio.....	25
Figura 2.4. Layouts de los procesos de extrusión, anodizado, empaque y almacenamiento de perfiles.....	27
Figura 2.5. Diagrama de Pareto, tiempos de mantenimiento	29
Figura 2.6. Tiempos de mantenimiento en la cizalla de bults.....	30
Figura 2.7. Grafica de probabilidad (Normalidad de datos), tiempos de mantenimiento ...	31
Figura 2.8. Capacidad del proceso de extrusión.....	32
Figura 2.8. Diagrama de Ishikawa, tiempos de mantenimiento por corte con cizalla de bults	34
Figura 2.9. Impacto esfuerzo de causas críticas de tiempos de mantenimiento	42
Figura 2.10. Relación entre el tiempo de mantenimiento y la temperatura	43
Figura 2.11. Temperatura en el proceso de corte.....	44
Figura 2.12. Tiempos de mantenimientos por diferentes causas.....	45
Figura 3.1. Gráfica de caja de tiempos de mantenimiento (antes y después)	51
Figura 3.2. Gráfica de control tiempos de mantenimientos mensuales en el corte con cizalla de bults luego de la mejora	52
Figura 3.3. Temperatura en el corte con cizalla de bults	53
Figura 3.4. Prueba de varianzas de los tiempos de mantenimiento en el corte con cizalla de bults.....	55
Figura 3.5. Diagrama de Pareto – Resultados de tiempos de mantenimiento	57

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Costo Anual de Materia Prima, Billets de aluminio.....	12
Tabla 2. SIPOC proceso de elaboración de perfiles de aluminio	19
Tabla 3. Matriz de la Voz del Cliente, elaboración de perfiles.....	20
Tabla 4. Benchmark, objetivo SMART de los tiempos de mantenimiento	23
Tabla 5. Mapa de Proceso de Etapa de Extrusión, anodizado, empaque, almacenamiento	26
Tabla 6. Datos Diagrama de Pareto, tiempos de mantenimiento.....	28
Tabla 7. Datos de tiempos de mantenimiento en la cizalla de bults	28
Tabla 8. Valoración para la matriz causa efecto del tiempo de corte con cizalla de bults	33
Tabla 9. Matriz causa-efecto, tiempos de mantenimiento en el corte con cizalla de bults .	35
Tabla 10. Plan de acción para las demoras en el tiempo de mantenimiento de cizallas de bults.....	36
Tabla 11. Información de registros de parámetros de producción.....	38
Tabla 12. Rangos de Severidad de causas para evaluación de AMEF	40
Tabla 13. Rango de Ocurrencia de causas para evaluación de AMEF	40
Tabla 14. Criterio de evaluación de Detección de causas para evaluación de AMEF	40
Tabla 15. Matriz de verificación de causas de los tiempos de mantenimiento	46
Tabla 16. Plan de acción para la implementación de mejoras para evitar demoras en el mantenimiento de la cizalla de bults	50
Tabla 17. Tiempos de mantenimientos en la cizalla de bults	54
Tabla 18. Prueba de igualdad de varianzas de los tiempos de mantenimiento en la cizalla de bults.....	55

INTRODUCCIÓN

El proyecto se desarrolló en una fábrica de la ciudad de Durán que se dedica a la producción de perfiles Extruidos de Aluminio sólidos y tubulares, el cual cuenta con instalaciones modernas y automatizadas tratando siempre de ser competitivos en el mercado nacional e internacional obteniendo los mejores resultados de productividad, al más bajo costo, con el mínimo rechazo y optimizando todos sus recursos.

El proceso de Extrusión en prensa es un procedimiento de conformación por deformación plástica, que consiste en moldear un metal, en caliente, por compresión en un recipiente obturado en un extremo con una matriz o hilera que presenta un orificio con las dimensiones aproximadas del producto que se desea obtener y por el otro extremo un disco macizo, llamado disco de presión.

Las longitudes de las barras a mecanizar están establecidas entre 3,000 mm y 9,150 mm para los perfiles. Debido a su costo los perfiles se pueden suministrar a las dimensiones optimizadas por el cliente, pero con ciertos límites.

El promedio de productividad Hora de la Prensa Extrusora de aluminio en el año 2020 es de 1,053 kilogramos por hora, con una utilización promedio de máquina del 84%. Se trabaja de lunes a viernes con tres turnos rotativos de 8 horas cada uno con un promedio de producción diaria de 24 toneladas.

Con la información se llegó a la conclusión que la operación en la etapa de extrusión tiene un tiempo de paradas con más del 33.33% de datos fuera de especificación. Debido a esto, el proceso no se encuentra bajo un adecuado control estadístico ya que no se tomaban acciones que puedan prever el mantenimiento, esto es evidente ya que en el registro existen daños de sensores que pudieron ser cambiados a tiempo o simplemente tenerlos listos en la fábrica para su debido reemplazo pero no contaban con ellos para su respectivo cambio.

Este documento describe en detalle los 5 pasos de la Metodología DMAIC como lo son : definir, medir, analizar, implementar y controlar las causas raíces de la inestabilidad del proceso, por otro lado también, propone e implementa soluciones que permitan reducir la variación de tal forma que se pueda mantener el control a través el tiempo.

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La fábrica ABC. Se inauguró el 14 de Julio del 2014 en la ciudad de Durán, y se dedica a la producción de perfiles Extruidos de Aluminio sólidos y tubulares, con unas instalaciones modernas y automatizadas de última generación, Todo ello, con el objetivo de ser competitivos en el mercado nacional e internacional obteniendo los mejores resultados de productividad, al más bajo costo, con el mínimo rechazo y optimizando todos sus recursos. La Extrusión en prensa es un procedimiento de conformación por deformación plástica, que consiste en moldear un metal, en caliente, por compresión en un recipiente obturado en un extremo con una matriz o hilera que presenta un orificio con las dimensiones aproximadas del producto que se desea obtener y por el otro extremo un disco macizo, llamado disco de presión.

Las longitudes de las barras a mecanizar están establecidas entre 3,000 mm y 9,150 mm para los perfiles. Debido a su costo los perfiles se pueden suministrar a las dimensiones optimizadas por el cliente, pero con ciertos límites.

El promedio de productividad Hora de la Prensa Extrusora de aluminio en el año 2020 es de 1,053 kilogramos por hora y la capacidad instalada es de 1250 kg/hora, con una utilización promedio de máquina del 84%. Se trabaja de lunes a viernes con tres turnos rotativos de 8 horas cada uno con un promedio de producción diaria de 24 toneladas.

La producción se entrega al área de anodizado con una demanda diaria de 21,000 kilos para cada día con varios perfiles de diferentes secciones.

La planta industrial cuenta con un área total de 65000 m² destinadas a la producción de perfiles de aluminio.

La empresa utiliza entre 480 a 530 toneladas de aluminio en el mes que ingresan al área de extrusión de perfiles en los 3 turnos trabajados de lunes a viernes.

Existen varias empresas que producen billets de aluminio pero que de acuerdo a las fechas su demanda hace que el producto se encuentre escaso y por ende su costo varía.

El costo más representativo es el valor de los billets de aluminio el cual es variante dependiendo de la fecha de compra y su costo se expone en la página de la bolsa mundial Lme.

Tabla 1.

Costo Anual de Materia Prima de Billets de aluminio			
	Costo USD/T	Cantidad de billets de aluminio	Costo anual
Materia prima	2900,00	480 a 530 T/mes	\$1.464.500,00
Total		Promedio 505 T/mes	\$1.464.500,00

Fuente: Departamento de Producción-Recepción de Materia Prima 2021

Los costos de este material son elevados pero no cualquier empresa cuenta con las maquinarias para elaborar perfiles, pese a eso es importante mantener siempre bajo los niveles de desperdicios de materiales y materia prima incluidos el tiempo, todo esto conlleva a la pérdida de dinero que a la larga afecta de una u otra forma a la empresa.

1.2. Descripción del problema

En la empresa se registran los datos de los tiempos de las actividades realizadas en la máquina y así mismo los tiempos que no se usa por distintas causas y para esto se muestra un gráfico de los tiempos que la máquina permanece en para el primer trimestre del 2021 por distintas razones mostradas a continuación:

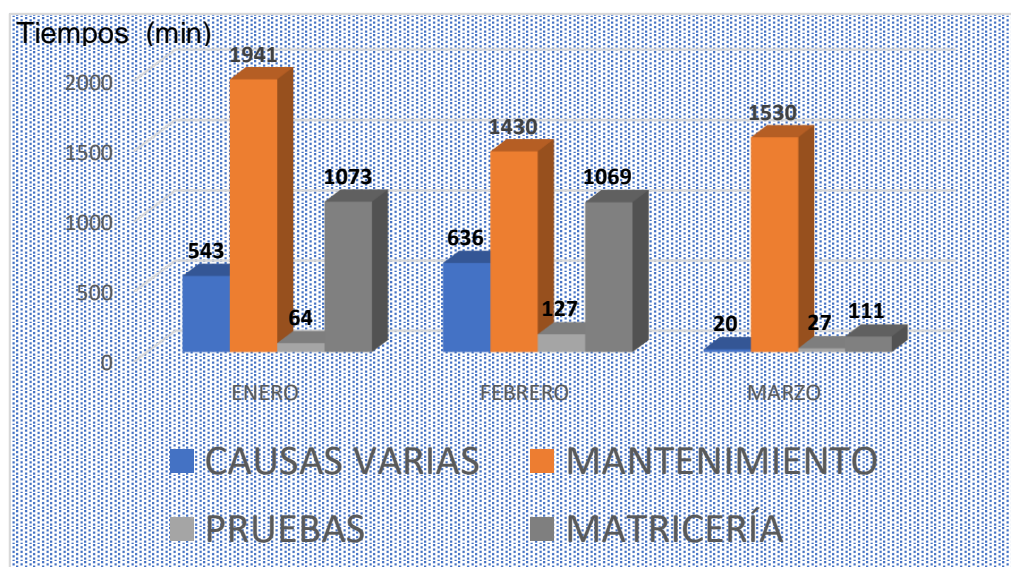


Figura 1.1. Tiempos de paradas por diferentes causas, primer trimestre 2021

Fuente: Registro de Producción mensual 2021

De la tabla anterior se puede evidenciar que la mayoría de tiempo de paradas no programadas se da por mantenimientos el cual podría ser un factor que influya en el tiempo de utilización de la máquina. Esto se viene observando desde registros que datan del 2018 según datos proporcionados por la empresa.

El gráfico de barra de la figura 1.2 muestra el comportamiento de la utilización de la máquina desde el año 2018.



Figura 1.2. Diagrama, utilización de la máquina año 2018

Fuente: Autor.

En el lapso de 3 años se ha evidenciado que el indicador Utilización de máquina, se ha mantenido por debajo del valor aceptable estipulado por la empresa el cual es de un 90% y con este gráfico podemos corroborar que el porcentaje de utilización promedio de la máquina es del 84%, entonces a partir de estos datos es posible identificar que la utilización de máquina puede ser mejorada a través del incremento de este indicador.

1.2.1. Planteamiento del problema

En la línea de producción de extrusión de perfiles de Aluminio, el promedio de la utilización de la máquina ha sido del 84 % desde el año 2018, mientras que la empresa espera que este porcentaje aumente a un 86 % para optimizar el volumen de producción diario y alcanzar las cotas exigentes de fabricación sin invertir en una línea nueva, para esto se analizará el cuello de botella en este proceso.

1.3. Objetivos del trabajo de titulación

1.3.1. Objetivo general

Aumentar el tiempo neto de producción en un 2%, optimizando las disponibilidades del cuello de botella de la línea de producción de extruido de perfiles de aluminio aplicando la metodología DMAIC en el área de mantenimiento del proceso hasta febrero de 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

- Recolectar datos del proceso de mantenimiento en la extrusora de tal forma que se precise la localización u ocurrencia de los problemas que afectan al no cumplimiento del indicador de utilización.
- Identificar las causas potenciales que afectan al cumplimiento del indicador de utilización de la extrusora de perfiles de aluminio.
- Implementar soluciones que ataquen las causas potenciales de las demoras en el mantenimiento de la extrusora.
- Mantener las medidas de control mediante la elaboración de registros, procedimientos estandarizados y gráficas de control.

1.3.3. Justificación del proyecto

La oportunidad de mejora se encuentra en aumentar el porcentaje de utilización de la máquina extrusora que se encuentra en un 84% según los registros proporcionados por la fábrica.

En la empresa se registran los datos de los tiempos que se usa la máquina y así mismo los que no se usan por distintas causas y para esto se muestra un gráfico de los tiempos que la máquina permanece en para el primer trimestre del 2021 por distintas razones mostradas a continuación:

La figura 1.3 evidencia que la mayoría de tiempo de paras no programadas se da por mantenimientos el cual podría ser un factor que influya en el tiempo de utilización de la máquina. Esto se viene observando desde registros que datan del 2018. Se observa en unos registros de datos proporcionados por la empresa desde el año 2018.

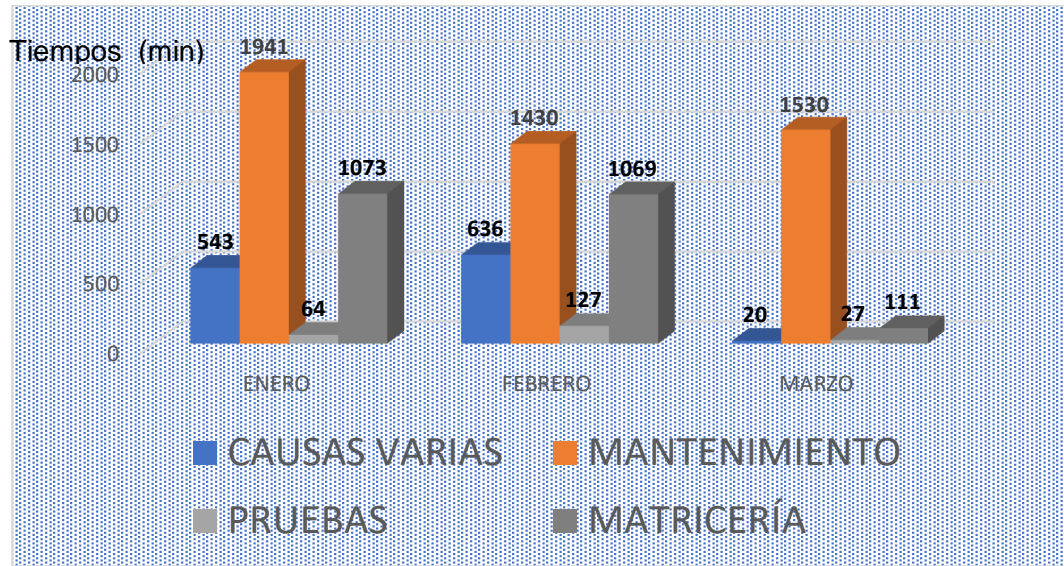


Figura 1.3. Tiempos de paras por distintos motivos en el primer trimestre 2021

Fuente: Registro de Producción mensual 2021

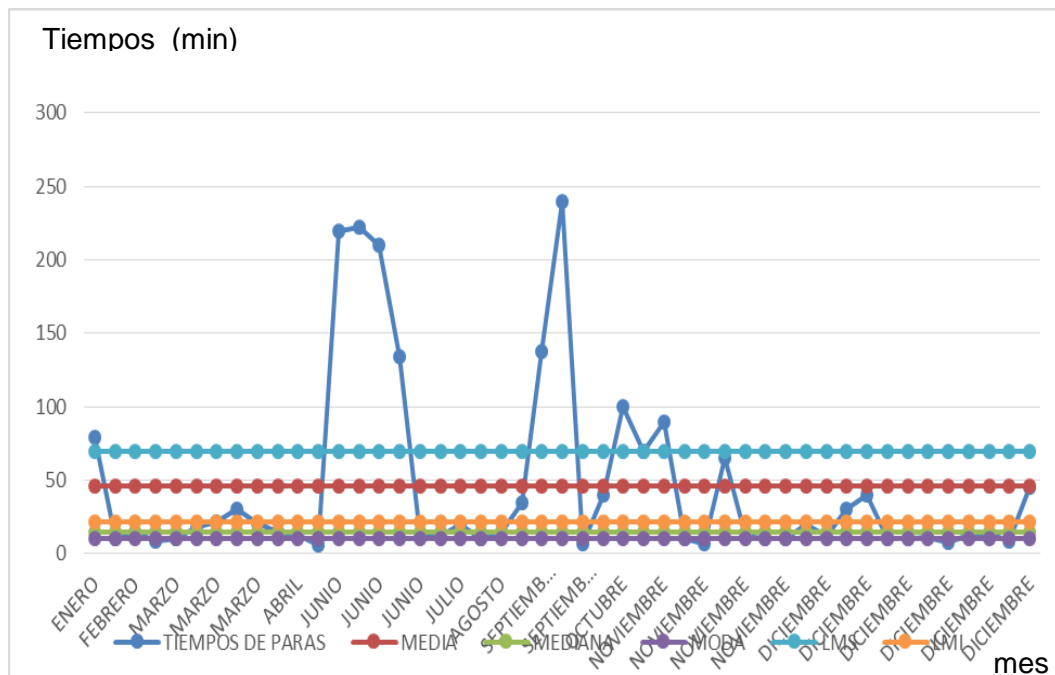


Figura 1.4. Diagrama de barras de la utilización de la máquina desde el año 2018

Fuente: Autor.

En la figura 1.4, se observa que en el lapso de 3 años se ha evidenciado que el indicador Utilización de máquina, se ha mantenido por debajo del valor aceptable estipulado por la empresa el cual es de un 90% y con este gráfico podemos corroborar que el porcentaje de utilización promedio de la máquina es del 84%, entonces a partir de estos datos es posible identificar que la utilización de máquina puede ser mejorada a través del incremento de este indicador.

1.4. Estructura del proyecto de titulación

El proyecto usa la metodología DMAIC, el cual está dividida en cinco etapas enfocadas a la solución de problemas con causas desconocidas, debido a esto se detalla cada fase:

- Definir: El proyecto presenta su problema definido y es socializado a los trabajadores.
- Medir: se obtienen los datos de la operación actual del proceso.
- Analizar: se usa alguna de las herramientas mostradas a continuación: Diagrama causa-efecto, análisis de varianza, correlación y regresión.
- Mejorar: se realizan técnicas analíticas o pruebas pilotos.
- Controlar: mediante el uso de Gráficos de control, capacidad de proceso o planes de control.

Posterior a eso, el alcance del proyecto es establecido mediante el uso del SIPOC de proceso para obtener una visión global del proceso de elaboración de perfiles de aluminio.

CAPÍTULO 2

2. APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA DMAIC

El proceso de mejora continua se enfoca en encontrar oportunidades de mejora en los productos o los servicios de una empresa y lo hace tanto en clientes externos como clientes internos. DMAIC es la metodología que aplica Seis Sigma para la mejora continua la cual es empleada por varias empresas de nivel internacional, cabe mencionar que esta metodología es muy escasa su aplicación en las microempresas, es por ello que este tipo de empresas busca asesoría externa para llevar a cabo proyectos que les permitan adquirir conocimientos en la aplicación de metodologías de mejora continua como el DMAIC de Seis Sigma para poder generar valor agregado (SAC, Villa El Salvador - Lima, - 2017)

Además DMAIC es un proceso de mejora continua que usa la Metodología Seis Sigma y una herramienta ordenada que tiene 5 etapas (Definir, Medir, Analizar, Implementar y Controlar). Desde la definición, cada etapa orienta al usuario hacia la búsqueda de la mejora del proceso.

2.1. Definición

Es la etapa inicial de la Metodología, en donde se recogen todos los problemas dentro de la empresa y se los identifica como posibles proyectos. En esta fase de se identifican los posibles proyectos Seis Sigma, que deben ser evaluados por la dirección para evitar la infrautilización de recursos. Una vez seleccionado el proyecto, se prepara su misión y se selecciona el equipo más adecuado, asignándole la prioridad necesaria (Mercado Vega- Christopher, 2016).

Los soportes que responden a las interrogantes de esta fase son:

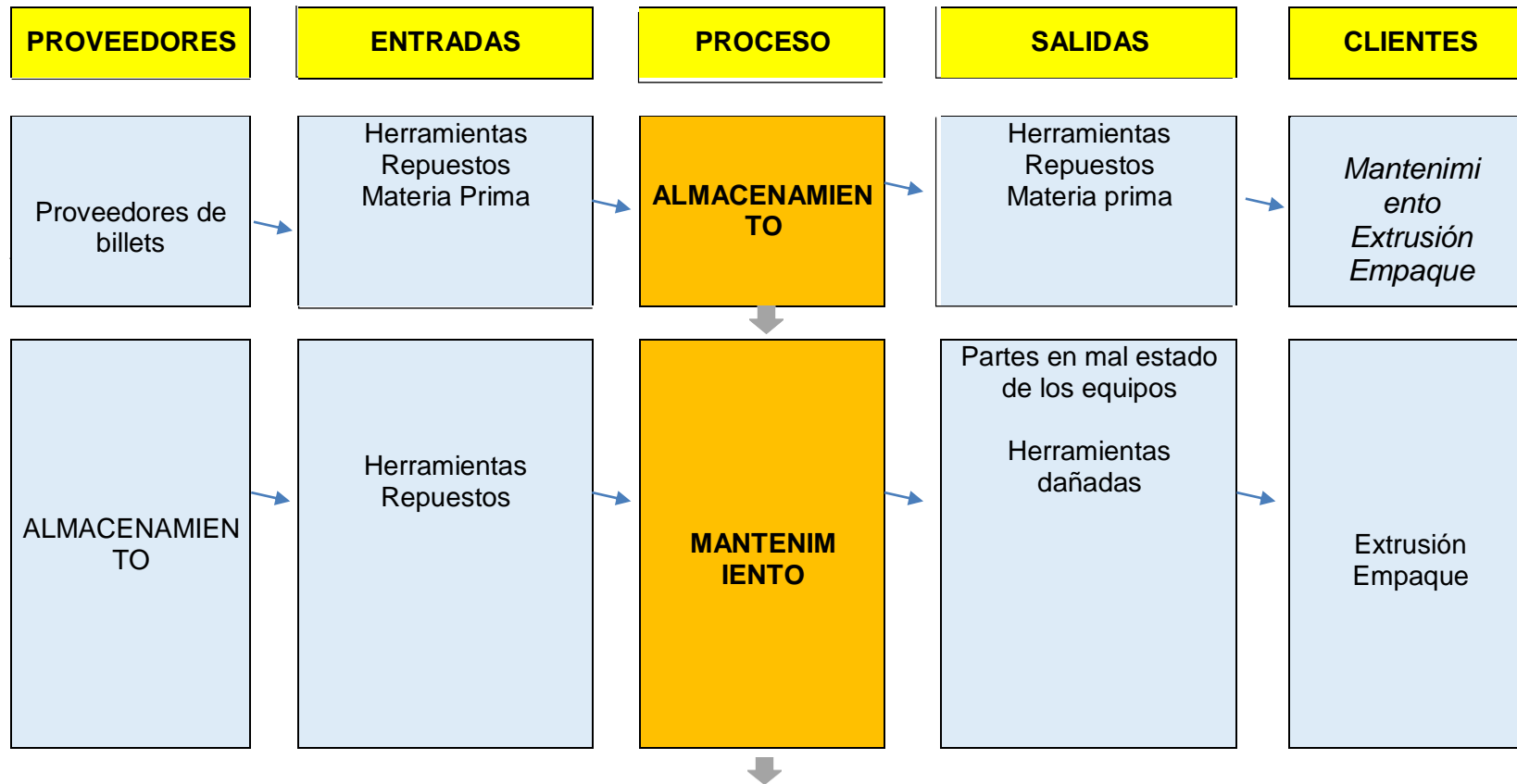
- Mapa de Proceso SIPOC, el cual es un diagrama en forma de tabla que registra relaciones en el proceso entre el proveedor y el cliente señalando además las entradas y salidas en cada etapa del sistema productivo
- Matriz voz del cliente, el cual indica los requerimientos del cliente según sus necesidades y problemas

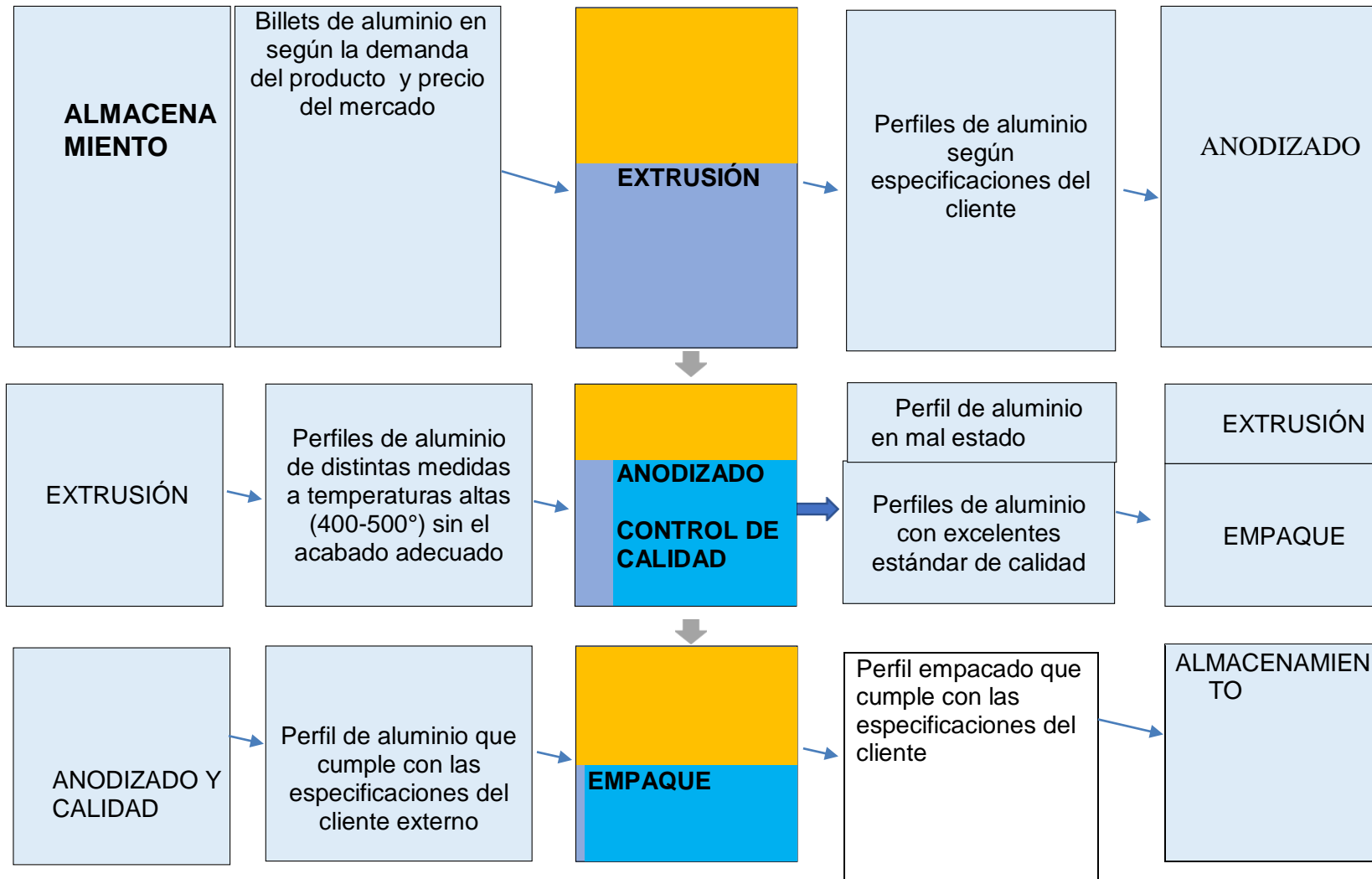
El Mapa de proceso SIPOC permite visualizar las condiciones operacionales que utilizan en el proceso de producción. Además, ilustra la relación entre el proveedor y el cliente dentro del proceso; también, muestra las entradas y salidas de ambos dentro del sistema productivo. Con estas consideraciones se analizaron cada una de las etapas en la línea de extrusión de perfiles de aluminio.

Con la información que brinda el SIPOC el problema es especificado desde el punto de vista del cliente. Para esto, en diversas reuniones de personas que laboran dirigiendo los departamentos internos evidenciando los problemas conocidos relacionados con la operación de mantenimiento en el proceso de extrusión de perfiles de aluminio y por esto se elaboró la Matriz de la voz del cliente.

Tabla 2.

SIPOC proceso de elaboración de perfiles de aluminio





Fuente: Autor.

Tabla 3.
Matriz de la Voz del Cliente de elaboración de perfiles

VOZ DEL CLIENTE	Característica o Problemas	Necesidades CTQs	Indicador o Medición	Meta	Límites de especificación
Costo de uso energía eléctrica alto	El consumo de energía es elevado	Mejorar la eficiencia del proceso	Consumo de energía	Reducir consumo	N/D
Horas hombre/ Máquina con índices elevados	Alta cantidad de reproceso	Disminuir la variación del proceso de extrusión	Horas extras	N/D	3000 USD
Parámetros de mantenimiento no establecidos	No se sigue un proceso para el mantenimiento	Disminuir la variación del proceso mantenimiento	Tiempos de mantenimientos	Reducir los tiempos en un 4 %	N/D
Corte de los perfiles no adecuados	Alta cantidad de reprocesos	Disminuir la variación del proceso de extrusión	% de defectos	5%	3 a 7%
	Poca disponibilidad de repuestos	Aumentar la disponibilidad	Frecuencia de cambios de repuestos	33,33%	Menos de 20%

Fuente: Autor.

Declaración del problema

En la figura 2.1 es evidente que se tiene 77.08% de tiempos fuera de especificación en el parámetro porcentaje de tiempos de para por mantenimiento. En el año 2021 el porcentaje de tiempos de para por mantenimiento en el proceso de extrusión se encuentra entre el 6 y 240 minutos, siendo el rango permitido entre el 22 y 70 minutos.

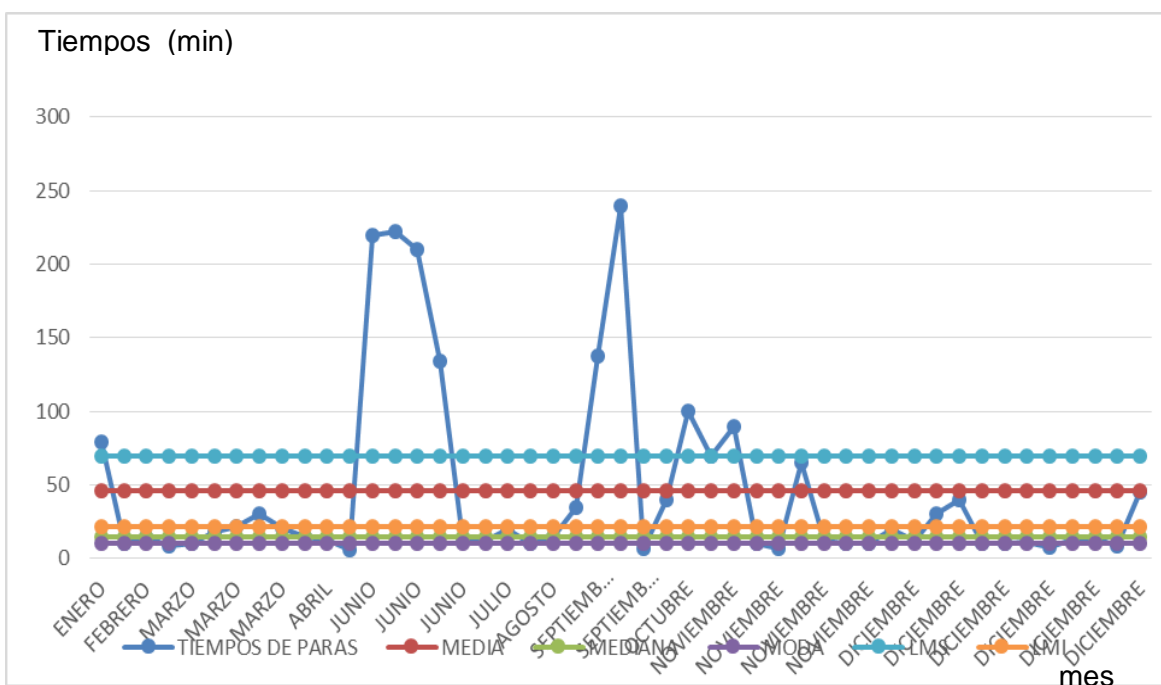


Figura 2.1. Porcentaje de tiempo de paras por mantenimiento

Fuente: Datos de tiempos de utilización de la máquina 2021

Objetivo SMART

Para establecer el objetivo Smart el cual es una meta concreta para analizar el desempeño, se tomaron los datos de corte con cizalla del proceso mantenimiento en extrusión de los meses noviembre y diciembre de 2021. De los cuales se eligió como medida de tendencia central la Mediana debido a que, en los muestreos de los tiempos en el corte de cizalla en mantenimiento, este valor se asemeja a los resultados obtenidos. El benchmark el cual es una referencia que se usa para hacer comparaciones lo establece la Gerencia General que solicita reduzca la variabilidad bajando los tiempos a 40 minutos.

Tabla 4.

Benchmark , objetivo SMART de los tiempos de mantenimiento

Medidas de tendencia central	Humedad
Media	45,93
Moda	10
Mediana	15
Referencia	Valor de referencia
BENCHMARK	50
GAP	40
Tiempo aumentado en 75% de la brecha	45
Tiempo aumentado en 50% de la brecha	35
Tiempo aumentado en 25% de la brecha	25

Fuente: Autor.

Por tanto, el objetivo SMART es aumentar el valor central de la variable porcentaje corte con cizalla (Mediana) de 15 a 45 minutos para disminuir la el tiempo por mantenimiento en el corte con cizalla de butts desde diciembre hasta la mitad de enero del 2022.

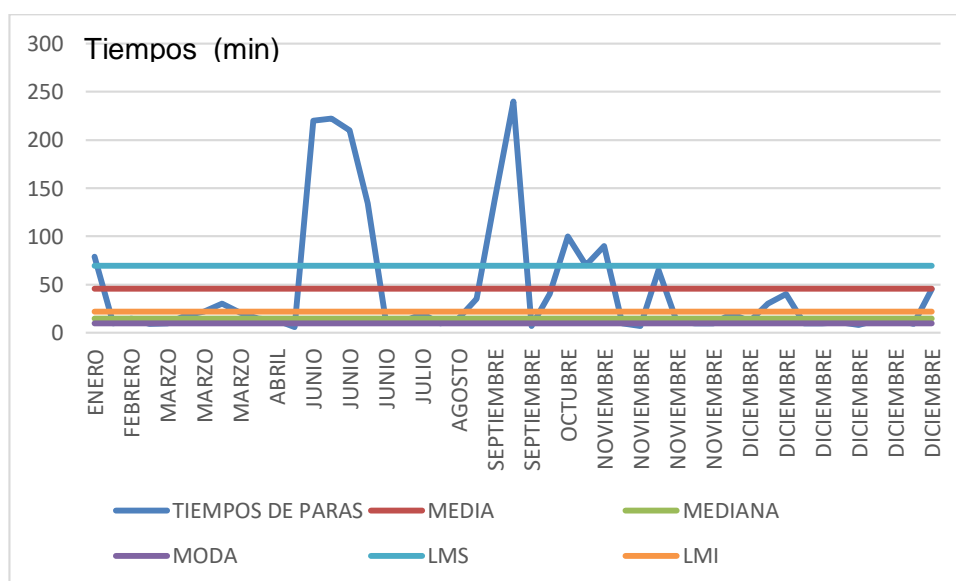


Figura 2.2. Gráfica del Benchmark y Objetivo SMART de tiempos de mantenimiento

Fuente: Datos tiempos de paros por mantenimiento en extrusión en general 2021

El GAP es la diferencia entre el Benchmark cuyo valor es 50 y el mínimo valor de calculado en una de las medidas de tendencia central como lo es en este caso la Moda cuyo valor es 10, es decir el GAP para este caso es 40.

2.2. Medición

Luego de haber definido el problema, nos enfocamos a la fase de medición el cual consiste en la caracterización del proceso identificando los requisitos clave de los clientes, las características clave del producto (o variables del resultado) y los parámetros (variables de entrada) que afectan el funcionamiento del proceso y las características o variables clave. A partir de esta caracterización, se define el sistema de medida y se mide la capacidad del proceso. (Mercado Vega-Cristopher, 2016).

En esta fase se recolectará datos del proceso de mantenimiento en la extrusora de tal forma que se precise la localización u ocurrencia de los problemas que afectan al no cumplimiento del indicador de utilización. En esta sección se pueden usar herramientas como el Diagrama entrada-proceso-salida, análisis de capacidad de proceso, gráfico Pareto, gráficos de control.

Las herramientas usadas en la etapa de medición son:

- Diagrama de flujo, el cual es la representación gráfica del proceso
- Diagrama causa-efecto, es un método para clasificar ideas
- Gráficas de control, es una gráfica que permite analizar si un proceso se encuentra en condición estable.

En la etapa de medición se puede conocer las variables que intervienen en el proceso de extrusión de perfiles de aluminio. Para eso, la fábrica cuenta con registros de producción diarios el cual ayudarán a establecer la situación actual del proyecto, toda esta información está documentada desde el año 2018. Este histórico de datos proporciona información del proceso como tiempos de paras por diferentes causas y en diferentes áreas.

2.2.1. Proceso actual de extrusión de perfiles de Aluminio

Definido el problema enfocado el cual se piensa resolver y posterior a eso analizadas las relaciones entre proveedores con sus debidos clientes en cada una de las etapas del proceso, se elabora el flujo de proceso y de información de las actividades relacionadas con la operación de extrusión de perfiles de aluminio. De esta manera identifican los puntos del proceso que generan información y las decisiones que resultan de los datos obtenidos luego de su debido análisis.

El Diagrama de flujo muestra la existencia de fábricas ocultas en cualquier etapa del proceso y delimita el objeto del proyecto. La figura 2.3 muestra el diagrama de flujo de extrusión de perfiles de aluminio.

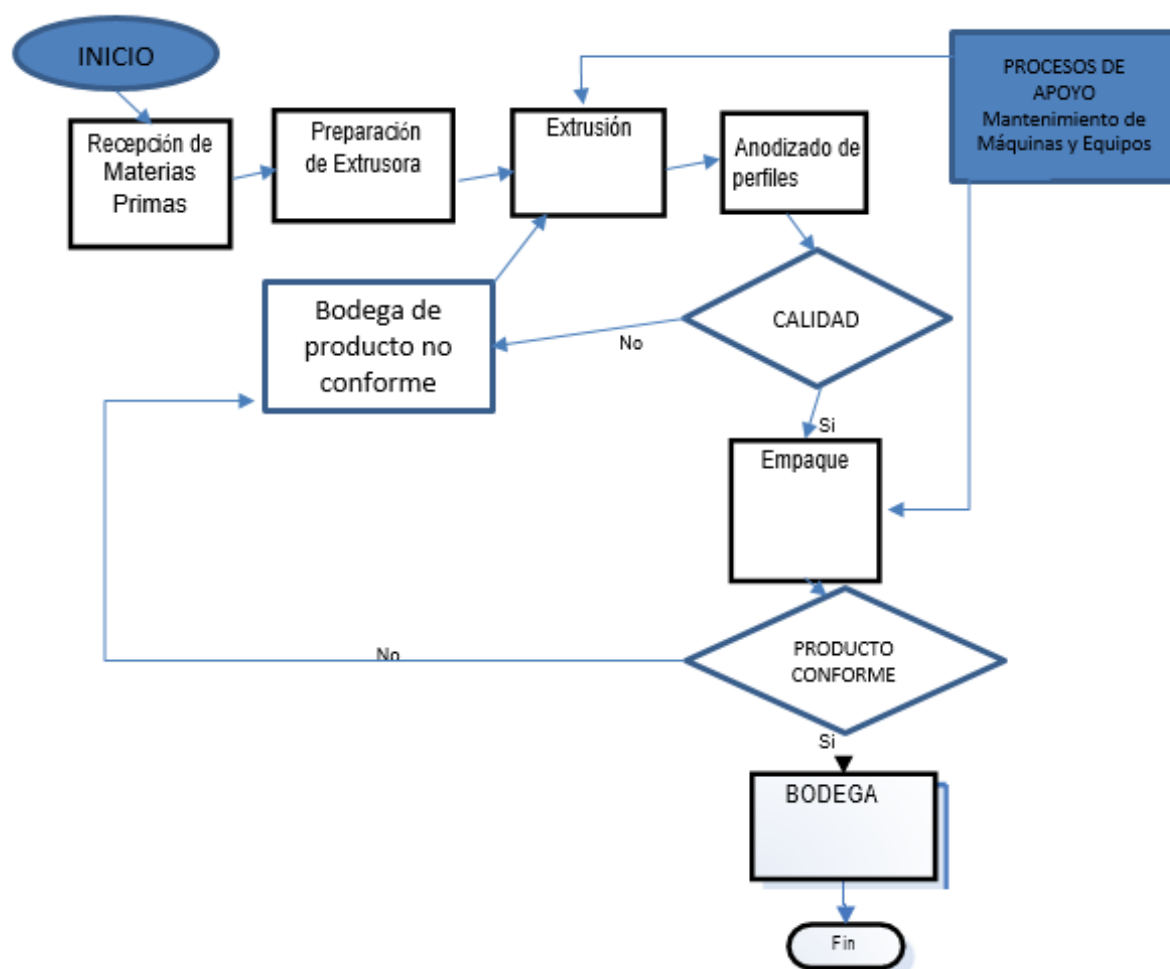


Figura 2.3. Diagrama de flujo de extrusión de perfiles de aluminio

Fuente: Autor.

El proyecto comprende la operación de extrusión de aluminio, además, la carga a los mismos que proviene de las operaciones de anodizado.

Tabla 5.

Mapa de Proceso de Etapa de Extrusión, Anodizado, empaque, almacenamiento

MAPA DE PROCESO DETALLADO DE PROCESO							
Pasos del proceso	VA/NVA	DOC	Entradas y Salidas	E/S	Especificaciones	C/N	Equipo/Operador
Sacar Billets de la bodega	NVA		Billets de aluminio	Entrada		NO Control	Operador
Traslado de materia prima	NVA		Billets de aluminio	Salida	Billets de 3 a 9.15 metros	NO CONTROL	Operador
Colocar billets en la extrusora	NVA		Billets de aluminio	Entrada		NO CONTROL	Operador
Calentar billets	NVA						
Revisión del perfil	NVA		Perfil recién extruido	Entrada	Superficie lisa	CONTROL	Operador
				Entrada	Corte adecuado	CONTROL	Operador
Puesta en marcha	NVA		Ajuste mecánico	Salida	6	CONTROL	Operador
			Colocación y ajuste de perfiles	Entrada	Sin fuga	CONTROL	Operador
			Pulida del perfil	Entrada		NO CONTROL	Operador
Alimentación con cortes adecuados	NVA		Encendido de transportador	Entrada		NO CONTROL	Operador
			MP cortada desde Proceso de extrusión	Entrada	Temperaturas de 400-500 °	NO CONTROL	Operador
			Mp empacadas	Entrada	Temperatura ambiente	NO CONTROL	Montacargas

Fuente: Autor.

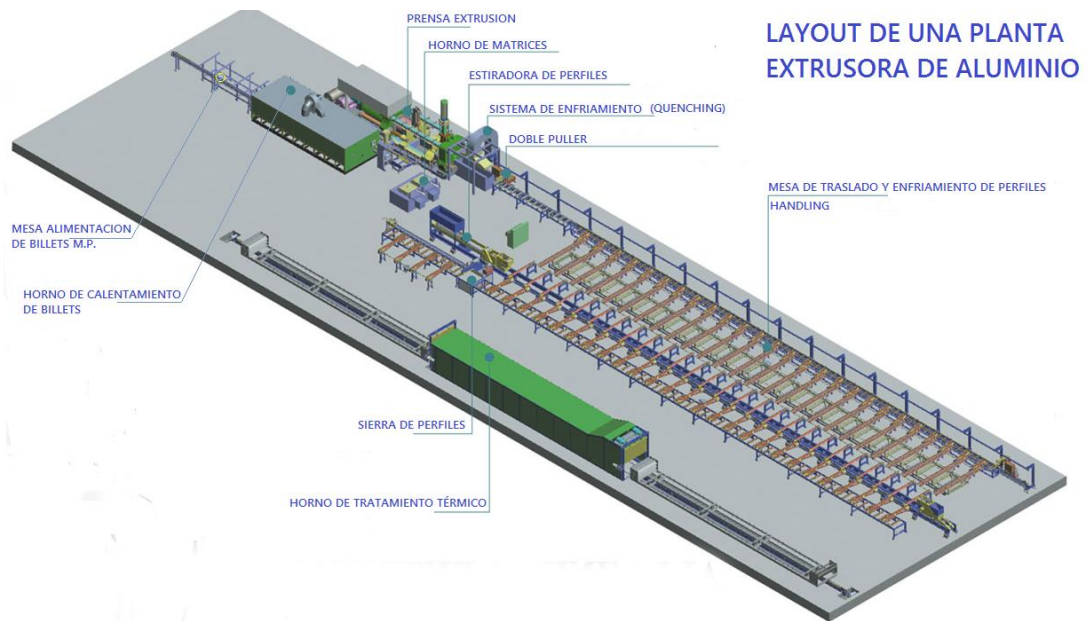


Figura 2.4. Layouts de los procesos de extrusión, anodizado, empaque y almacenamiento de perfiles

Fuente: Autor.

2.2.2. Diagrama de Pareto

Es un diagrama que permite visualizar la mayor ponderación de una causa potencial para focalizar el problema de forma concreta, debido a esto se analiza la información desde varios puntos de vista, separando los datos en grupos. La tabla 7 muestra la información con la que se elabora el Diagrama de Pareto.

Tabla 6.

Datos Diagrama de Pareto de tiempos de mantenimiento

Observaciones clave	Frecuencia	Consideraciones (Noviembre y diciembre 2021)
bomba hidraulica prensa	4	110 min
cargador de separadores	1	25 min
casetera matrices	3	92 min
cerrada	1	10 min
cizalla de billets	16	1247 min
cizalla de butts	21	514 min
Container	4	77 min
dummy block	1	10 min
encestador de perfiles	1	14 min
estiradora movil	2	31 min
grua 7	2	208 min
horno de billets	17	337 min
mesa de rodillo escamotables	1	30 min
mesa de enfriamiento inicial tomate	1	10 min
puller puller	18	183 min
puller sierra	10	186 min
quenching enfriamiento	1	54 min
robot cargador	3	66 min
sierra corte perfiles	6	182 min
sistema control prensa	5	499 min
sistema de enfriamiento	2	30 min
tecle de matrices	1	8 min

Fuente: Autor

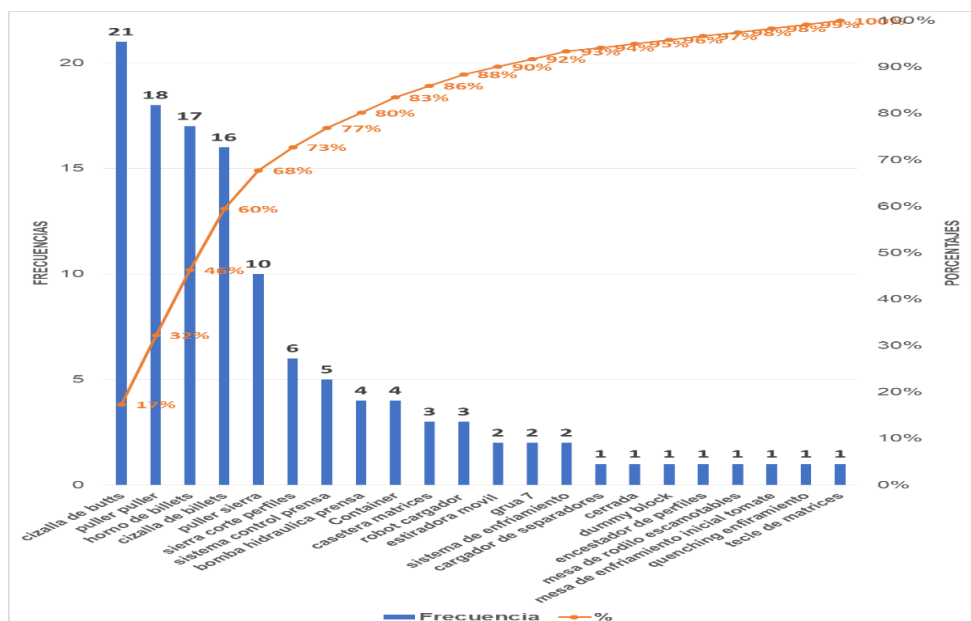


Figura 2.5. Diagrama de Pareto de tiempos de mantenimiento

Fuente: Autor

De la tabla 6 y figura 2.5 se evidencia que en el corte con cizalla de butts es en donde se emplea mayor tiempo en el mantenimiento, pero para enfocarnos de forma más objetiva realizamos la tabla 7 y figura 2.6 en el cual se analiza los parámetros del corte con cizalla.

Tabla 7.

Datos de tiempos de mantenimiento en la cizalla de butts

Tiempos de mantenimientos en la cizalla de butts	
cambio de cuchilla	14
corte defectuoso se queda el butt y choca con casetera	13
dañado botador	511
falla botador	15
falla doble corte	20
falla seguridad	10
falla sensor de la seguridad	10
falla sensor de la seguridad de la cizalla	8
fuga de aceite	35
no baja la cizalla	872
no cae el butt se dobla tocho y se forma flash	10
no funciona mesa vasculante	79
no funciona sensor de vibracion que detecta el butt	106
remordido	15
roto perno del cilindro de la seguridad de la cizalla	40
se daña botador	13
se daña transductor posición	373
se remuerde cuchilla dañada	10

Fuente: Autor

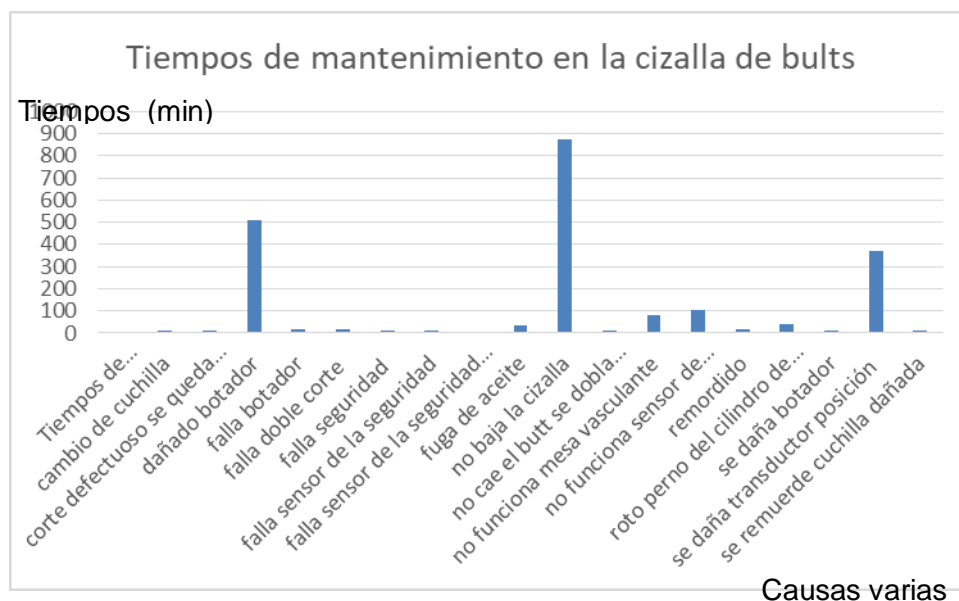


Figura 2.6. Tiempos de mantenimiento en la cizalla de bults

Fuente: Autor

2.2.3. Problema enfocado

El problema enfocado es centrar la problemática en el asunto en el cual realmente se debe trabajar, es decir cuál es el centro de interés para trabajar.

El proceso registra el 77,08% de tiempos de mantenimiento fuera de especificación en el parámetro corte con cizalla de bults en la etapa de mantenimiento. Desde el año 2018 el tiempo de para por corte con cizalla se encuentra entre 6 y 240 minutos, siendo el rango permitido entre el 22 y 70 minutos de humedad.

2.2.4. Análisis de capacidad

Antes de realizar el análisis de capacidad se debe realizar la Prueba de normalidad de los datos tiempos de cortes con cizalla de butts. En donde se rechaza la hipótesis nula (H_0) cuando el valor $p \leq \alpha$, ya que se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

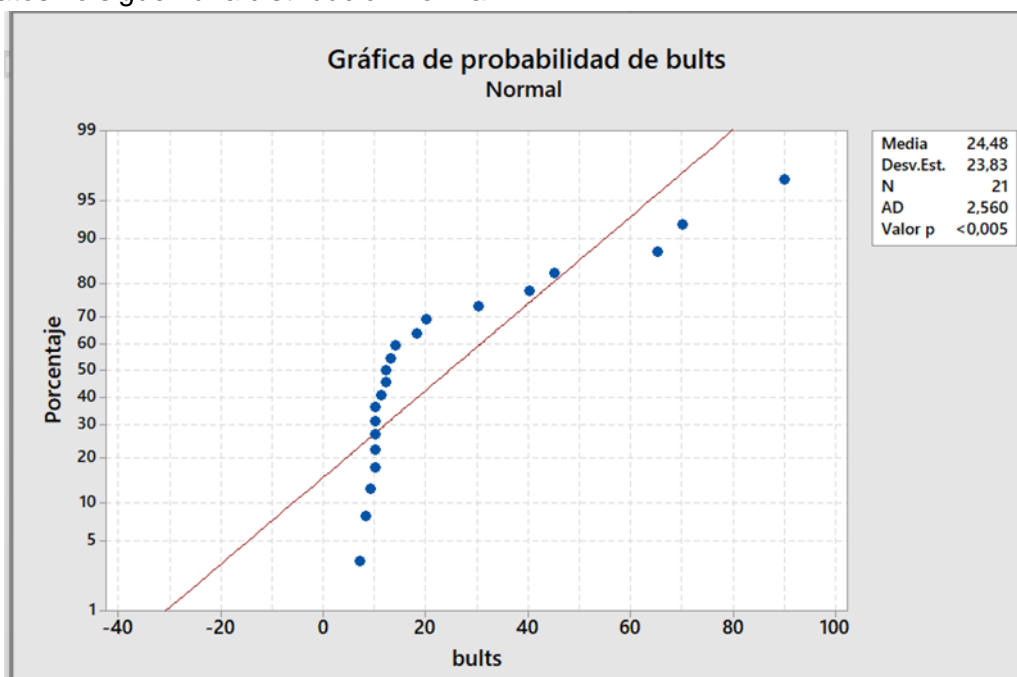


Figura 2.7. Gráfica de probabilidad (Normalidad de datos), tiempos de mantenimiento

Fuente: Autor

Con un valor p menor a 0,05 se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no presentan una distribución normal.

Por ende teniendo en cuenta que la distribución no es normal se realiza el análisis de capacidad del proceso.

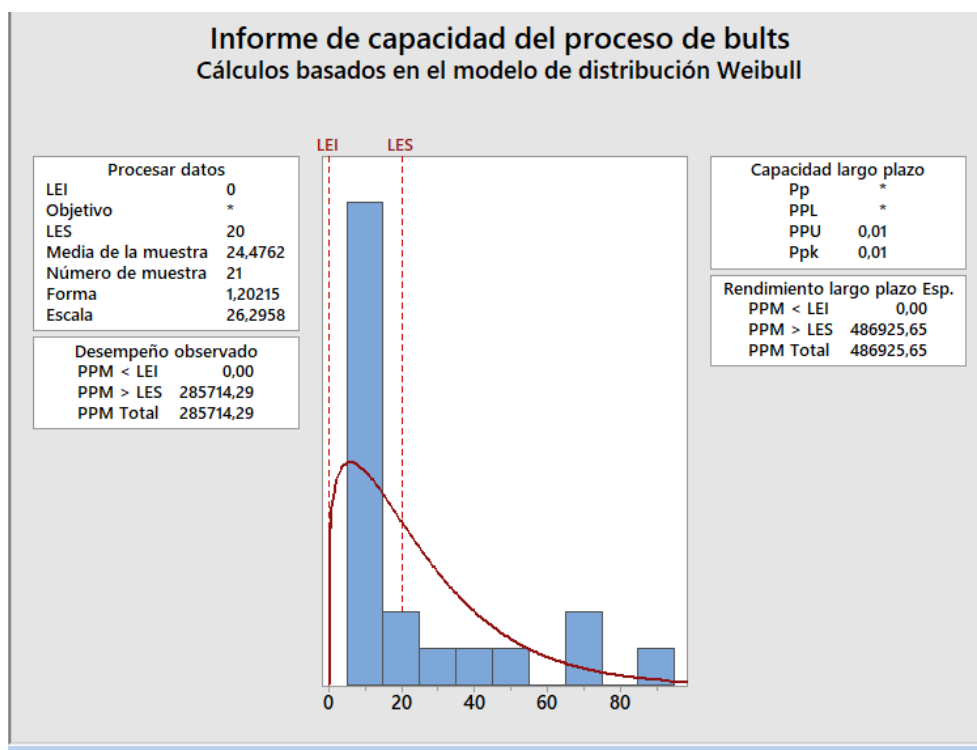


Figura 2.8. Capacidad del proceso de cizalla

Fuente: Autor

El valor de Pp no es especificado en el cálculo, esto se debe a que la cantidad de datos obtenida es insuficiente o que la capacidad del proceso es deficiente y se requiere mejorar el proceso reduciendo su variación.

El valor de Ppk es 0,01 el cual muestra que la capacidad del proceso es deficiente y que se requiere mejorarlo para que se encuentre dentro de los límites de especificación.

El valor de Pp y Ppk no son encontrados, pero en la gráfica se evidencia que el proceso no está centrado.

2.3. Análisis

En la tercera fase, análisis, el equipo analiza los datos de resultados actuales e históricos. Se desarrollan y comprueban hipótesis sobre posibles relaciones causa-efecto utilizando las herramientas estadísticas pertinentes. De esta forma, el equipo confirma los determinantes del proceso, es decir, las variables clave de entrada o “pocos vitales” que afectan a las variables de respuesta del proceso (Mercado Vega- Christopher, 2016).

“En términos estadísticos, el propósito de Seis Sigma es reducir la variación para conseguir desviaciones estándar muy pequeñas, de manera que prácticamente la totalidad de sus productos o servicios cumplan, o excedan, las expectativas de los clientes” (Pande et al., 2004).

En esta fase se identificará las causas potenciales que afectan al cumplimiento del indicador de utilización, así como también las definiciones y su enfoque six sigma. Para esto se puede usar herramientas como: Diagrama de causa efecto, matriz de relación, correlación y regresión, análisis de varianza, muestreo.

2.3.1. Diagrama de Ishikawa

El Diagrama de Ishikawa es un diagrama que permite identificar las causas de un problema, en este caso se usa el mantenimiento en el corte con cizalla de bults y las posibles causas que lo generan en cada etapa de producción, calidad, mantenimiento y seguridad en la empresa.

Para la elaboración de este diagrama se contó con la participación de los departamentos de Producción, Calidad y Mantenimiento. El efecto es 77,08% de mantenimiento por cortes en cizalla están fuera de tiempos de especificación. Cada área aportó con las razones de las posibles causas que generen el parámetro indicado. (Figura 2.8 Diagrama de Ishikawa))

2.3.2. Matriz causa-efecto

La matriz causa-efecto es un método de valoración cualitativa que ayuda a identificar las causas que tienen mayor efecto en el problema del proyecto (Tabla 9. Matriz causa-efecto). La valoración se realiza según la tabla que se presenta a continuación:

Tabla 8.

Valoración para la matriz causa efecto del tiempo de corte con cizalla de bults

Rango	Efecto
0	sin impacto
1	impacto bajo
2	impacto medio
3	Impacto alto

Fuente: Autor

En éste proyecto las causas que tienen más de 12 puntos serán consideradas las más importantes y se elabora el plan de acción asignando responsabilidades. (Tabla 10. Plan de acción).

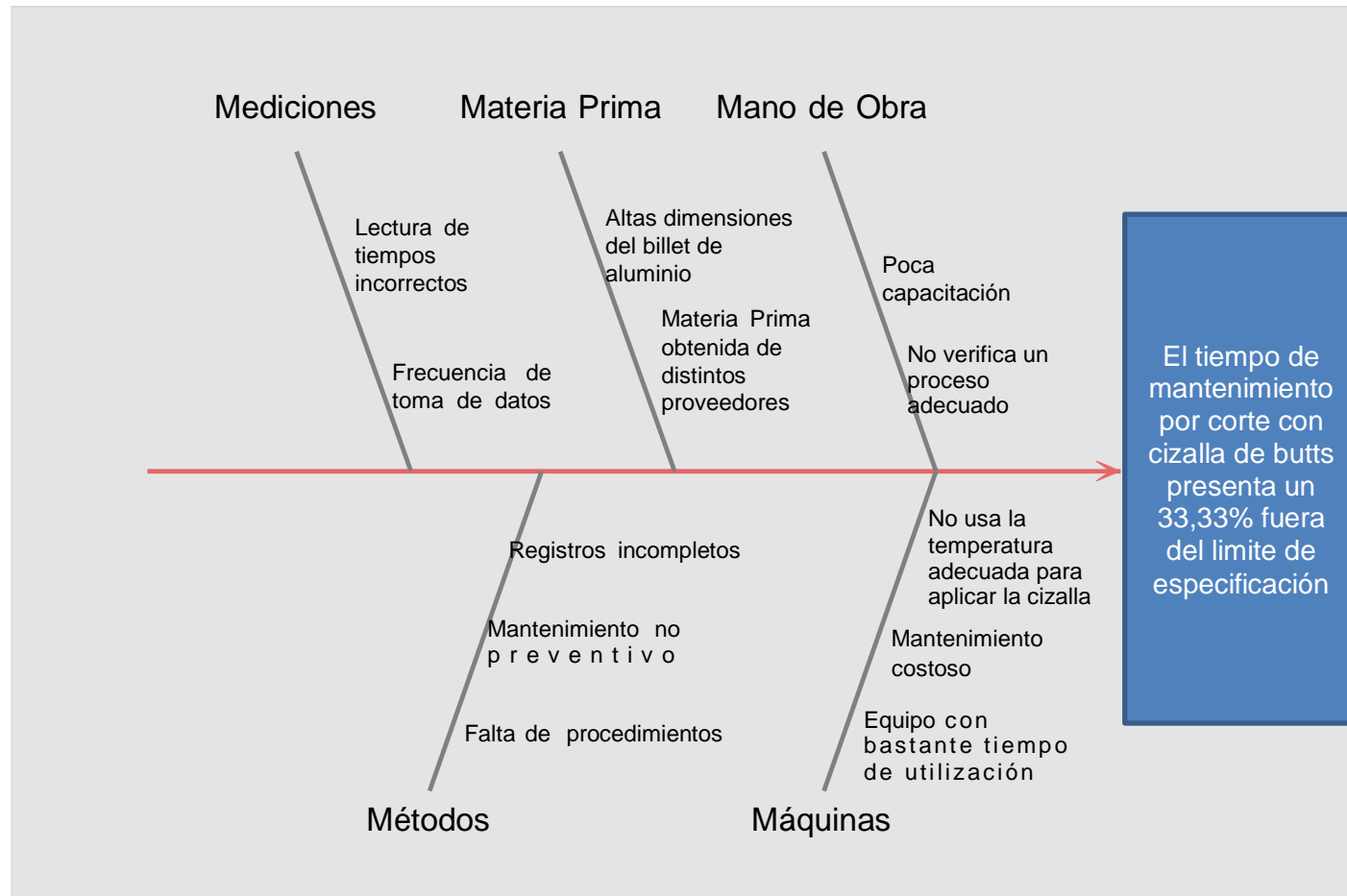


Figura 2.8. Diagrama de Ishikawa, tiempos de mantenimiento por corte con cizalla de butts

Fuente: Autor

Tabla 9.

Matriz causa-efecto, tiempos de mantenimiento en el corte con cizalla de butts

Causas principales Ishikawa	Impacto de la causa sobre el corte con cizalla de butts					total
	Supervisor de producción	Supervisor de calidad	Jefe de Mantenimiento	Operador de cocción y secado	Operador materia prima	
Poca capacitación	3	3	3	2	2	13
Poco Personal	3	2	2	3	3	13
Equipo en mal estado	1	2	3	1	2	9
Mantenimiento costoso	2	1	3	2	2	10
Baja capacidad flexibilidad de la Materia prima	3	2	3	2	1	11
Clasificación de Materia Prima	0	1	1	0	2	4
Dureza de la Materia Prima	3	3	2	3	3	14
Falta de procedimientos	3	3	3	2	2	13
Calibración no adecuada	3	3	3	2	3	14
Registros incompletos	1	2	2	1	2	8
Falta de parámetros de operación	3	3	3	3	2	14
Lectura de tiempos incorrectos	3	3	3	2	3	14
Frecuencia de toma de datos	2	3	2	2	2	11

Fuente: Autor

Tabla 10.
Plan de acción para las demoras en el tiempo de
mantenimiento de cizallas de butts

Causas	PLAN DE ACCION		
	nov-20	dic-20	Responsable
1.- poca capacitación			Jefe de producción
Realizar capacitación en el mantenimiento de la cizalla de butts			
2.- Poco Personal			Jefe de producción
Asignar la cantidad de personas adecuadas para el mantenimiento de la cizalla			
3.- Dureza de la Materia Prima			Jefe de calidad
Solicitar a Proveedores especificaciones de la dureza del billets de aluminio			
4.- Falta de procedimientos			Jefe de producción
Elaborar procedimientos para estandarizar el corte con cizalla			
5.- Calibración no adecuada			Jefe de mantenimiento
Realizar la calibración adecuada de la cizalla de butts			
6.- Falta de parámetros de operación			Jefe de producción
Analizar la información de los registros para establecer parámetros			
7.- Lectura de tiempos incorrectos			Jefe de producción y de calidad
Verificar correcta toma de datos con personal operativo			

Fuente: Autor

Personal insuficiente

El equipo de extrusión, el cual está a cargo de un operador en cada turno es manipulado hasta la sección de anodizado de forma automática. El Jefe de Producción desde la primera semana de diciembre del 2021 le solicita al supervisor que este más pendiente del momento de desperfectos en la extrusora, además se valúa mediante un estudio la cantidad de personas necesarias para los instantes de alimentación de la extrusora, así también como para los mantenimientos correspondientes.

Dureza de la materia prima

En la toma de datos es común creer que la máquina puede fallar debido a que corta y moldea un material de gran rigidez, el cual es comprado a varios proveedores según una especificación de precios que varía según la fecha de compra acorde con la demanda del producto.

Es común pensar que al ser materia prima de distintos proveedores un billete sea más rígido que otro, pero la especificación es similar y a las altas temperaturas a la que es sometido para que el estado del aluminio sea de tipo plástico también se puede pensar que la extrusora no llega a la temperatura adecuada para su respectivo corte.

Calibración no realizada

Debido a la pandemia los procesos productivos se han visto afectados a nivel mundial, inclusive las importaciones tienen diferentes problemas. Los equipos no han sido perfectamente revisados y los sensores ya tienen sus tiempos de vida útil en su mayoría.

Los valores automatizados de trabajo como lo es la temperatura adecuada para el corte con cizalla quizá no registran el valor correcto y podría ser que por eso las cizallas se rompen con gran frecuencia.

Falta de parámetros de operación

Se realiza el análisis de la información generada por los registros de producción para establecer parámetros de operación iniciales.

En la tabla 11 se muestra la información que se recibe con los registros generados

Tabla 11.
Información de registros de parámetros de producción

Registro	Etapa	Parámetro	Unidad	Rango
RE:P:010	Extrusión	Presión de vapor eje	psi	20 -30
		Frecuencia	hz	46,8 – 60
		Temperatura de corte	°c	min 500
RE:P:010	Anodizado	Frecuencia	hz	46,8 -60
		Ajuste manual	und	6
		Temperatura de pulida	m³	50°

Fuente: Registros de producción diarios de la Planta extrusora 2021

Los datos registrados como rangos de operación están dada por los valores máximos y mínimos tomados en el área de extrusión desde el año 2018.

El jefe de producción ha gestionado la compra de varios sensores de botador, cuchillas entre otros repuestos para generar cambios adecuados en el mantenimiento.

Todo según el plan detallado por el área de mantenimiento.

Lectura de datos incorrecta

Los jefes de producción, calidad y mantenimiento se reúnen con los operadores para revisar si la información registrada es correcta utilizando sensores externos a los instrumentos originales aplicados en las máquinas, los datos no son tan frecuentes y son numerosas las causas de paradas o las variables que influyen en este proceso y debido a esto es indispensable enfocarse en las variables para el mantenimiento en el corte con cizalla de butts en primera instancia.

Falta de capacitación y Falta de procedimientos.

El jefe de producción elabora instructivos para la operación de extrusión involucrando al jefe de mantenimiento, ya que la mala manipulación de los equipos al producir hace que sean frecuentes los daños en los equipos y que estos tiempos de para por fallas sean registrados como tiempos por mantenimiento.

Al transcurrir el proyecto se actualizará el contenido de los instructivos para realizar la capacitación al personal con el uso de los instructivos de operación.

2.3.3. Análisis del Modo y Efecto de Fallas

El (AMEF) Análisis del Modo y Efecto de Fallas, es un procedimiento que ayuda a identificar fallas en el proceso, además permite evaluar y clasificar en forma objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para evitar su ocurrencia y tener un procedimiento documentado de prevención.

Dada la dificultad del análisis, se revisaron los datos a partir de eventos de operación diaria. Para la realización del AMEF se contó con la participación del personal del área de mantenimiento y los operadores de esta área es cual fue indispensable para elaborar la tabla que contiene los modos y efectos de falla.

El AMEF es realizado al proceso de extrusión de perfiles de aluminio y comprende las etapas de calentamiento, extrusión, anodizado además de la alimentación y descarga de materia prima mediante tornillos helicoidales. Los detalles del proceso están representados en el Mapa de proceso (Ver Anexo 1)

Luego de obtener el mapa de procesos se determinan los modos y efectos potenciales de fallo relacionados entre sí. Posterior a eso se evalúa la gravedad de cada efecto. El proyecto presenta rangos de severidad, ocurrencia y detección elaborados para la autoría de este estudio.

Tabla 12.

Rangos de Severidad de causas para evaluación de AMEF

Medida	Ponderación	Criterio
NINGUNO	1	Ningún efecto
BAJO	2	El mantenimiento en la cizalla de butts se encuentra dentro de los rangos, pero con variación
NORMAL	3	El mantenimiento en la cizalla de butts se encuentra fuera de los límites de especificación menos de 100 minutos
ALTO	4	El mantenimiento en la cizalla de butts se encuentra fuera de los límites de especificación más de 100 minutos
FUERA DE LÍMITE	5	El mantenimiento en la cizalla de butts se encuentra fuera de los límites de especificación más de 200 minutos

Fuente: Autor

Tabla 13.

Rango de Ocurrencia de causas para evaluación de AMEF

Medida	Ponderación	Criterio
Poca	1	Más de un mes
Normal	2	una vez al mes
Alta	3	Una vez en la semana
Muy alta	4	Una vez en el día

Fuente: Autor

Tabla 14.

Criterio de evaluación de Detección de causas para evaluación de AMEF

Medida	Ponderación	Criterio
Poco probable	4	El efecto no es fácil de detectar
Pequeña	3	El efecto es difícil de detectar
Moderada	2	El efecto es fácil de detectar
Grande	1	El efecto es obvio

Fuente: Autor

El impacto de las acciones en el proceso de mantenimiento en el corte con cizalla de butts es fácil de entender mediante los valores de RPN (Número de prioridad de riesgo). Debido a esto, las acciones para minimizar el riesgo se registran en el Plan de mantenimiento anual, en los sistemas operativos de producción.

2.3.4. Evaluación de los problemas críticos

Según la información detallada en el AMEF, las acciones que presentan mayor impacto son las que tienen el valor de NPR superior a 30. Debido a esto, la matriz impacto-esfuerzo se enfoca en los problemas de tal forma que se identifiquen aquellos que usan menos recursos y que se consideren que tienen mayor impacto en el objetivo que es el mantenimiento en el corte con cizalla de butts de la etapa de extrusión.

Con el fin de evaluar los problemas críticos se usaron las siguientes preguntas:

Esfuerzo:

- A. ¿Se debe capacitar al operador en forma continua?
- B. ¿Se puede lograr que el trabajador cambie su forma de trabajo?
- C. ¿Cuál es la cantidad de recursos necesarios para gestionar la actividad?

Impacto:

- A. ¿Al realizar una acción, el efecto presenta una respuesta instantánea?
- B. ¿Al realizar una acción, los tiempos de mantenimiento se reducen?
- C. ¿Al realizar una acción, se simplifica el trabajo del personal en todo el proceso?

Esfuerzo e impacto cuantificado

- a. Leve
- b. Medio
- c. Fuerte

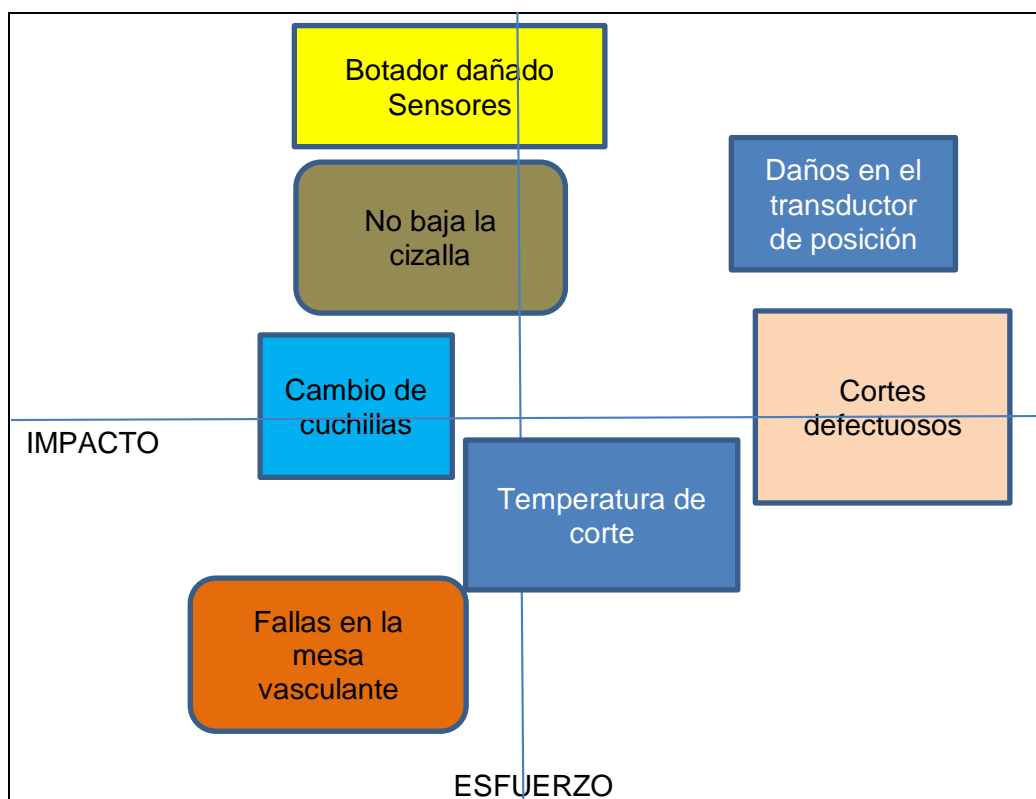


Figura 2.9. Impacto esfuerzo de causas críticas de tiempos de mantenimiento

Fuente: Autor

2.3.5. Matriz de verificación de causas

Con las causas críticas clasificadas se realiza la matriz de verificación en la que, para cada una de las posibles causas se identifique quien, como, donde y cuando investigar.

Para realizar la matriz de verificación de causas, el jefe de producción y el Jefe de control de calidad son los responsables de la verificación según la posible causa. Se define para el cómo realizar la verificación que, se realizará análisis estadístico o supervisión en sitio. Los lugares para realizar la verificación son los instrumentos de medición (termómetro, cronometro). El rango de fecha para verificar las causas son los primeros 15 días de enero 2202.

Sensores de botador dañado

No se registra parámetros según la vida útil o especificación del proveedor del equipo pero se puede verificar según las fechas de los daños registrados en mantenimiento en que tiempo sería adecuado reemplazarlos de forma oportuna o por lo menos mantener el repuesto en stock para reemplazarlo de forma inmediata.

No baja la cizalla de butts

En los datos registrados entre las fechas 20 de diciembre de 2021 y 15 de enero de 2022 se observó de modo visual que no se le da un cronograma de limpieza o de lubricación adecuada en la guía de la cizalla para realizar estos trabajos

Daños en las cuchillas

En los datos registrados entre las fechas 20 de diciembre de 2021 y 15 de enero de 2022 se verifica que los tiempos por cambios de cuchilla son bajos, que tienen stock en bodegas para su debido cambio y que es común el desgaste de cuchillas en un corte por lo que no influye significativamente en los tiempos de mantenimiento por cortes con cizalla.

Relación entre la temperatura de corte y el tiempo de mantenimiento

En los datos obtenidos entre el 20 de diciembre de 2021 y el 15 de enero de 2022 (Registro RE:P:010; enero 2022), se observa que la temperatura empleada en el proceso de extrusión se mantiene de una forma poco variable pero que podría influir en los daños de la cizalla de butts.

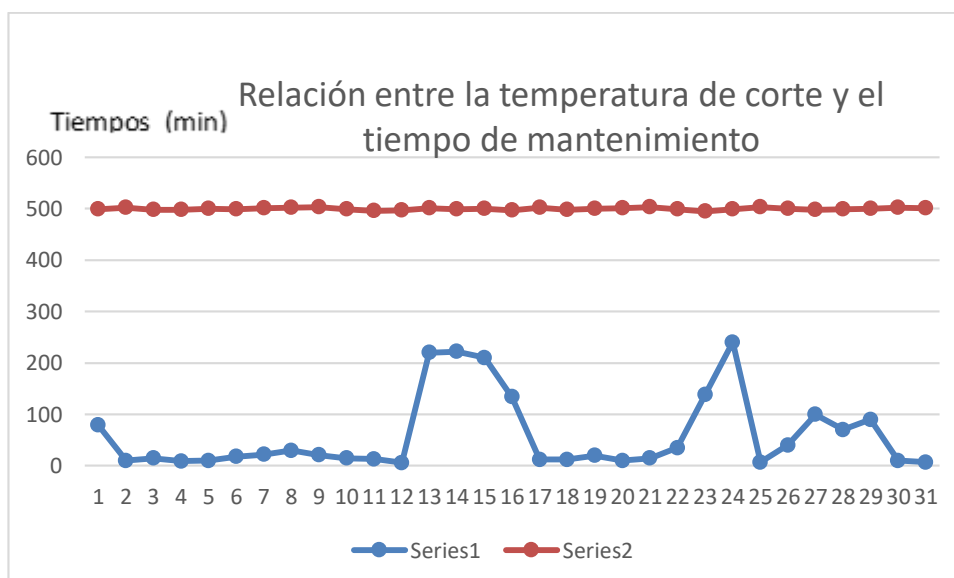


Figura 2.10. Relación entre el tiempo de mantenimiento y la temperatura

Fuente: Datos de tiempos de mantenimiento y temperatura. RE:P:010 2021

Los responsables de monitorear los tiempos de demora:

- Llenar manualmente los registros de producto en cada parada por distintos mantenimientos.
- Tomar muestras de temperaturas cada 30 minutos durante las fechas indicadas para análisis de la data
- En caso de detectar temperaturas y tiempos no adecuados:
 - o Tiempos de mantenimiento por corte con cizalla superiores al límite de especificación 70 minutos comunicar a los operadores de extrusión y mantenimiento para que verifique las condiciones de proceso para que detecte y corrija la causa que lo originó.
 - o Temperaturas fuera de los rangos permitidos para el proceso: Realizar el respectivo comunicado a los compañeros que operan en diferentes turnos y a los de mantenimiento para que tengan conocimiento de la falla encontrada en la extrusora.

Temperatura de plasticidad mayor a 500°C en la etapa extrusión.

En la verificación en sitio realizada entre el 20 de diciembre de 2021 y el 15 de enero del 2022, se observó que el termómetro ubicado en la salida de la etapa de extrusión no señaló temperaturas mayores a 504°C. Por tanto, no es una causa que genere los daños en las cizallas de butts.

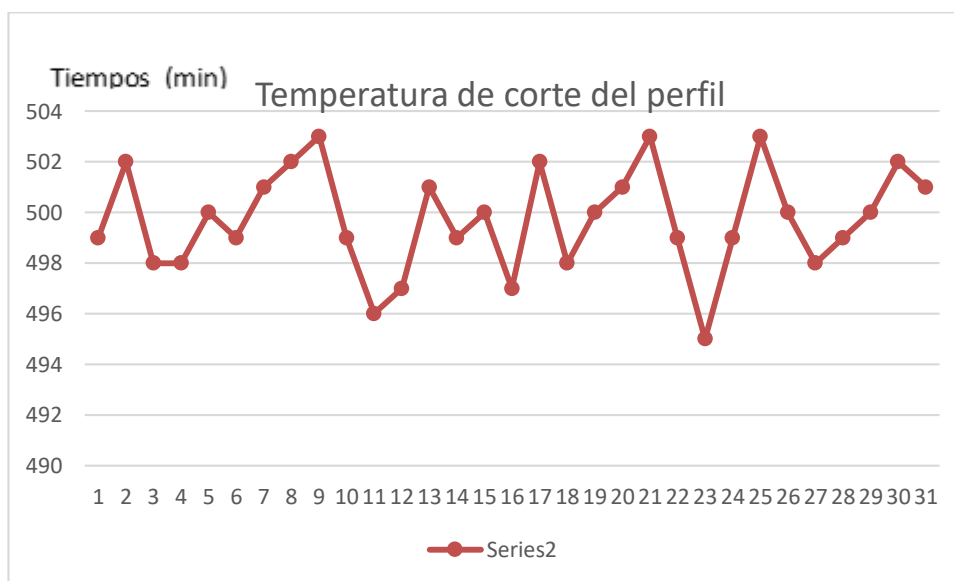


Figura 2.11. Temperatura en el proceso de corte de perfil

Fuente: Datos de tiempos de mantenimiento y temperatura. RE:P:010 2021

Daños en el transductor de posición

En los datos registrados entre las fechas 20 de diciembre de 2021 y 15 de enero de 2022 se observa que el tiempo empleado para este mantenimiento es elevado pero que al verificar en los registros de años pasados y preguntar al personal de mantenimiento, no es algo que ocurre con frecuencia en la fábrica, más bien es un daño que se produce por el tiempo de uso del equipo.

Reprocesar perfiles con producto fuera de especificación o cortes defectuosos

En la verificación en sitio realizada entre el 20 de diciembre de 2021 y el 15 de enero del 2022, se observó que se cumple con lo establecido en los procedimientos de calidad controlando de forma visual los parámetros establecidos:

Fallas en las superficies de los perfiles
Imperfecciones en el acabado del producto
Medidas no adecuadas del producto

Tiempos de mantenimientos por diferentes causas en el corte de cizalla de buts

En la verificación en sitio realizada entre el 20 de diciembre de 2021 y el 15 de enero del 2022, se observó los diferentes tiempos registrados para cada actividad de mantenimiento en el corte con cizalla de butls para el cual se tomarán diferentes medidas en el desarrollo de este proyecto



Figura 2.12. Tiempos de mantenimientos por diferentes causas

Fuente: Datos de tiempos de . RE:P:010 cortes con cizalla 2021

Tabla 15.
Matriz de verificación de causas de los
tiempos de mantenimiento

Matriz de verificación de causas					
Posibles causas	¿Cómo vamos a Verificar?	Responsable	Lugar	Fecha	¿El resultado es una causa?
Sensores de botador dañado	Control visual	Operador	Máquina extrusora	20 de diciembre 2021 al 15 de enero 2022	SI
NO baja la cizalla de bults	Control visual	Jefe de mantenimiento	Máquina extrusora	20 de diciembre 2021 al 15 de enero 2022	NO
Daños en las cuchillas	Control visual	Mantenimiento	Máquina extrusora	20 de diciembre 2021 al 15 de enero 2022	NO
Relación la temperatura y el tiempo de mantenimiento	Diagrama de cajas, elaboración de resumen gráfico y prueba de hipótesis para la varianza del tiempo promedio	Jefe de producción	Máquina extrusora	20 de diciembre 2021 al 15 de enero 2022	SI
Temperatura de plasticidad mayor a 500°C en la etapa extrusión.	Elaboración de resumen gráfico para la temperatura promedio	Operador	Máquina extrusora	20 de diciembre 2021 al 15 de enero 2022	SI

Daños en el transductor de posición	Reparación	Mantenimiento	Máquina extrusora	20 de diciembre 2021 al 15 de enero 2022	NO
Reprocesar perfiles con producto fuera de especificación	Inspección visual	Jefe de Calidad	Empaque de billets	20 de diciembre 2021 al 15 de enero 2022	NO considerado para el tiempo de mantenimiento

Fuente: Autor

2.4. Implementar

En la fase de mejora, el equipo trata de determinar la relación causa-efecto (relación matemática entre las variables de entrada y la variable de respuesta que interese), para predecir, mejorar y optimizar el funcionamiento del proceso. Por último, se determina el rango operacional de los parámetros o variables de entrada del proceso. (Mercado Vega-Cristopher, 2016)

En esta sección se implementará soluciones que ataquen a la causa raíz del incumplimiento del indicador de utilización. En las cuales se pueden usar herramientas como: Técnicas analíticas, pruebas piloto, Plan de acción de implementación de mejoras

Las acciones a realizar para solucionar las causas de demoras en el mantenimiento por corte con cizalla de bults son:

Tiempos de mantenimientos fuera de rangos de especificación

- Establecer rango de operación para los mantenimientos en las cizallas de bults (22 a 70 minutos).
- Realizar los mantenimientos preventivos integrales en las paradas programadas a realizarse 2 veces mensuales desde enero de 2022.
- Controlar nuevas condiciones de operación y observar desviaciones desde diciembre del 2021 a enero 2022.
- Realizar diagrama de cajas con los resultados obtenidos. (Tabla 16 Plan de acción para la implementación de mejoras)

Temperaturas de perfiles superiores a 500 °c

- Establecer rango de operación para el flujo de vapor cada 30 minutos o controlar el tiempo de calentamiento de la extrusora.
- Realizar el mantenimiento completo de los sensores de temperatura usados para evitar lecturas no adecuadas de la temperatura de extrusión.
- Controlar las nuevas condiciones de operación desde diciembre del 2021 a enero 2022.
- Realizar un resumen gráfico con los resultados obtenidos. (Tabla 16 Plan de acción para la implementación de mejoras).

Sensores de botador

- Limpieza de todos los sensores de la cizalla cada 15 días.
- Mantener en bodega un sensor de botador para cambiarlo cada 6 meses.

Tabla 16.

Plan de acción para la implementación de mejoras para evitar demoras en el mantenimiento de la cizalla de butts

Acciones a realizar	Implementación		Responsable
	dic-20	Ene-15	
1.- Tiempos de mantenimientos fuera de rangos de especificación			
Establecer como rango de operación 20 a 70 minutos para el mantenimiento de cizalla de butts			Jefe de producción
Realizar mantenimiento de cizallas			Jefe de mantenimiento
Controlar condiciones en el proceso de extrusión			
Diagrama de cajas para comparar el antes-después			Jefe de producción
2.- Temperaturas de perfiles superiores a 500 °c			
Establecer como rango de operación 495 a 505 °c			Jefe de producción
Realizar mantenimiento a los sensores de temperatura			Jefe de mantenimiento
Realizar mantenimiento preventivo a motor, reductor y variador de velocidad de la bomba de desplazamiento positivo			Jefe de mantenimiento
Controlar condiciones de temperaturas en la extrusión de modo visual			Jefe de producción
3.- Cambio de sensores de la cizalla			Jefe de mantenimiento
Limpieza cada 15 días y reemplazo mantener en stock un repuesto cada 6 meses, si fue cambiado se compra uno nuevo.			Jefe de mantenimiento
Registro tiempos de mantenimientos			

Fuente: Autor

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS DEL PROYECTO

3.1. Comparación de las antes y después a las mejoras implementadas en el proceso

3.1.1. Estandarizar tiempos de mantenimiento preventivo

Al realizar en análisis de los datos e implementar las mejoras como el aumentar los tiempos de parada preventiva a 45 minutos para revisar y corregir todos los daños que se originan en la extrusora en el parámetro corte con cizalla y en otros a considerar en casos posteriores. Se puede analizar incluso si el mantenimiento fijo de 45 minutos en primera instancia quincenal y luego mensual se lo puede hacer los días sábados ya que la planta funciona de lunes a viernes en sus 3 turnos, así se evita parar la producción por daños en la cizalla de butts.

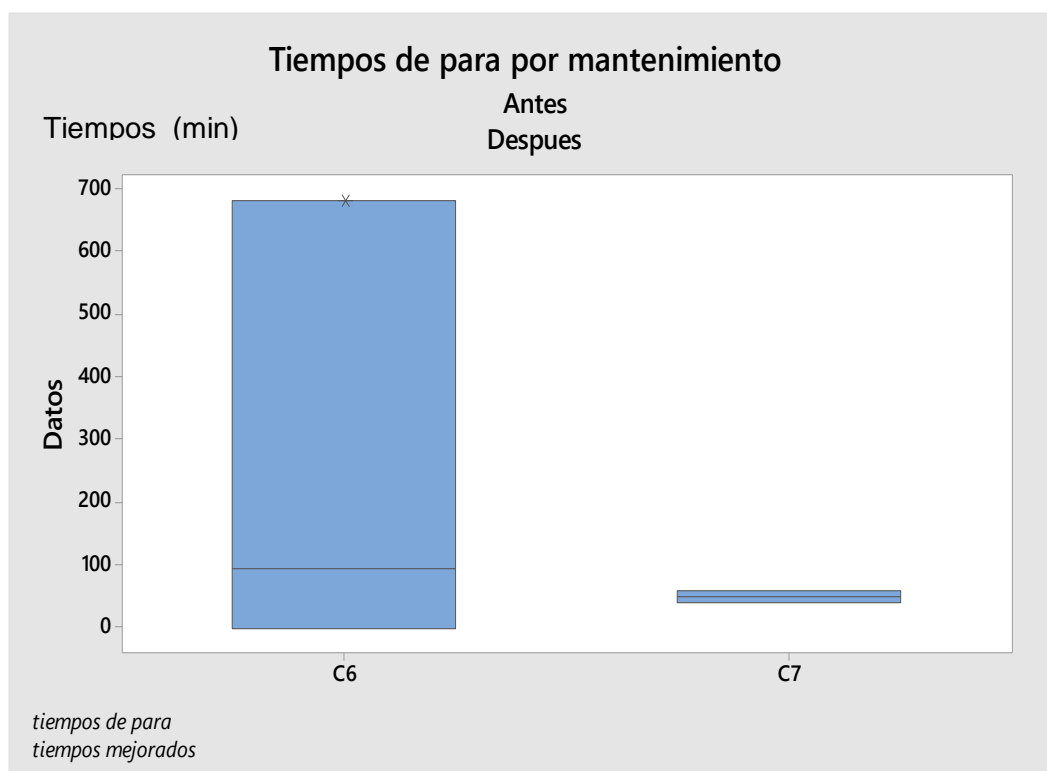


Figura 3.1. Gráfica de caja de tiempos de mantenimiento (antes y después)

Fuente: Autor

La figura 3.1 muestra que, en el periodo del 1 de diciembre 2021 a 17 de enero 2022 la variabilidad por los tiempos de paradas por mantenimiento en el corte con cizalla de butts se reduce y que se puede emplear tiempos promedios para hacer el mantenimiento completo inclusive designando el día sábado para a actividad neta de mantenimiento en ciertas tareas.

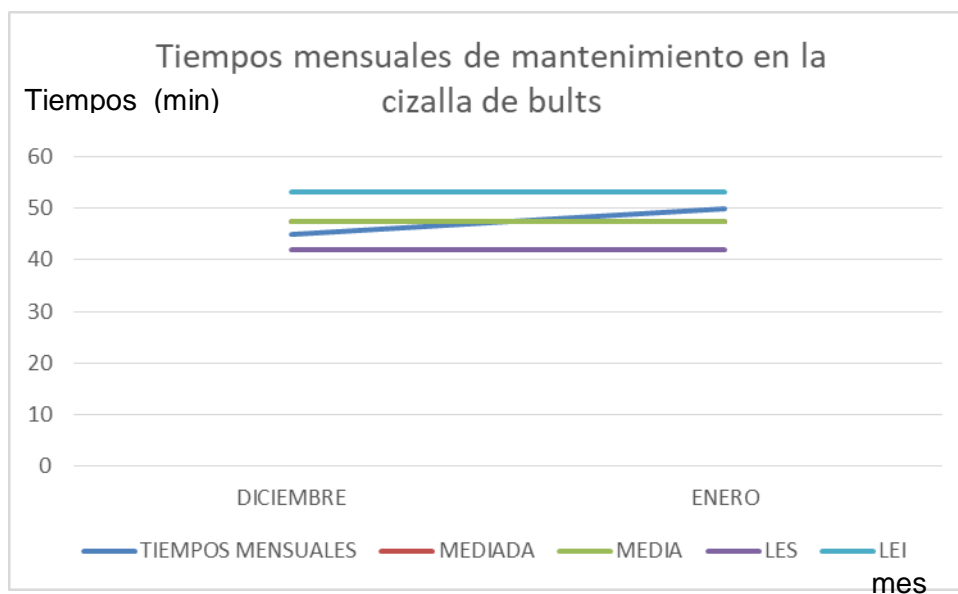


Figura 3.2. Gráfica de control tiempos de mantenimientos mensuales en el corte con cizalla de bults luego de la mejora

Fuente: Autor

3.1.2. Temperaturas al momento del corte con cizalla de bults

La temperatura podría influenciar en el corte del billet de aluminio y este a su vez dañar la cizalla, debido a esto y por todo el análisis realizado se ubicó un termómetro externo que ayude a controlar la temperatura el cual debe registrarse en 500°C .

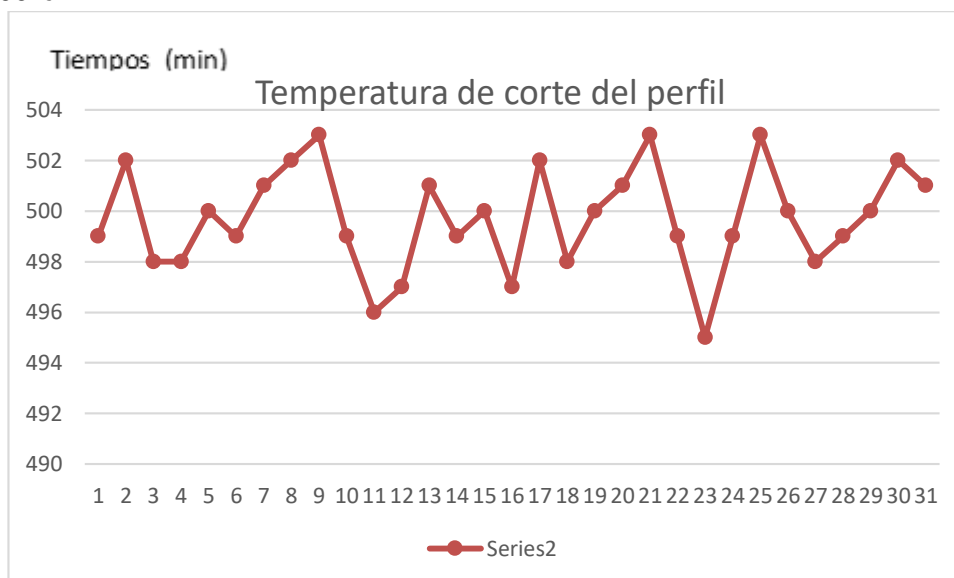


Figura 3.3. Temperatura en el corte con cizalla de bults

Fuente: Datos de tiempos de mantenimiento y temperatura. RE:P:010 2021

En la figura 3.3 se muestra los resultados obtenidos en el termómetro externo el cual presenta variaciones similares a las de la máquina, que al tratarse de valores extremos podrían ser fallas de lectura o de precisión del operador al momento de la toma de la lectura. Además la temperatura es muy elevada para las variaciones vistas en las mediciones por lo que se puede decir que no es un efecto para el daño de la cizalla.

3.1.3. Daños en el sensor de botador

En sensor del botador es un objeto al cual no se le brinda el adecuado mantenimiento, en el lapso del 1 de diciembre de 2021 al 18 de enero de 2022 se ve en la tabla 17 que cada 15 días presenta inconvenientes y debido a esto se puede revisar cada 15 días además de tener en stock un sensor en caso de daño evitar esperas en el tiempo de compra.

Tabla 17.
Tiempos de mantenimientos en la cizalla de butts

Registros de tiempos de mantenimiento en la cizalla de butts		
FECHA	Causa de mantenimiento	tiempo en minutos
miércoles, 1 de diciembre de 2021	se daña cilindro del botador	70
jueves, 16 de diciembre de 2021	se daña cilindro del botador	90
viernes, 17 de diciembre de 2021	fuge de aire botador	10
viernes, 17 de diciembre de 2021	dañado botador	7
sábado, 18 de diciembre de 2021	dañado botador	65
sábado, 18 de diciembre de 2021	cambio cilindro del botador	12
domingo, 19 de diciembre de 2021	no cae el butt se dobla tocho y se forma flash	10
viernes, 24 de diciembre de 2021	no baja botador	10
lunes, 27 de diciembre de 2021	no funciona (falla sensor del botador)	20
sábado, 1 de enero de 2022	falla botador	12
lunes, 3 de enero de 2022	se rompe elje del cilindro del botador	30
jueves, 6 de enero de 2022	roto perno del cilindro de la seguridad de la cizalla	40
jueves, 6 de enero de 2022	falla seguridad	10
viernes, 7 de enero de 2022	falla sensor de la seguridad	10
miércoles, 12 de enero de 2022	no baja	11
viernes, 14 de enero de 2022	falla sensor de la seguridad de la cizalla	8
viernes, 14 de enero de 2022	corte defectuoso se queda el butt y choca con casetera	13
viernes, 14 de enero de 2022	cambio de cuchilla	14
domingo, 16 de enero de 2022	no baja	9
lunes, 17 de enero de 2022	roto botador	45

Fuente: Datos de tiempos de mantenimiento RE:P:010 2021

3.1.4. Mantenimiento en la cizalla de butts

Al implementar las mejoras para reducir la variabilidad de los tiempos de mantenimiento se estandariza los tiempos de mantenimientos de las diferentes actividades realizadas en la cizalla de butts obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 18.

Prueba de igualdad de varianzas de los tiempos de mantenimiento en la cizalla de bulbs

Prueba de igualdad de varianzas para el periodo 2021

Método

Hipótesis Nula Todas las varianzas son iguales

Hipótesis alterna Por lo menos una varianza es diferente

Nivel de significancia $\alpha = 0,05$

Intervalos de confianza de Bonferroni para desviaciones estándar

Muestra	N	Desv.Est.	IC
C7	9	23,114	(4,4341; 170)
C8	9	101,028	(61,9012; 233)
C9	9	81,206	(15,4209; 605)
C10	8	40,295	(18,8670; 128)
C11	7	22,490	(3,9065; 208)
C12	3	24,090	(0,0053; 903152)

Nivel de confianza individual = 99,1667%

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Comparaciones múltiples	—	0,000
Levene	1,84	0,127

Muestra	
18 de ene-30 de mar	C7
30 de mar- 11 de junio	C8
12 de junio -11 de sep	C9
11 de sept-17 de nov	C10
18 de nov- 6 de dic	C11
6 de dic-15 de ene	C12

Fuente: Datos de tiempos de mantenimiento RE:P:010 2021

En la tabla 18 al obtener un valor p de cero se rechaza la hipótesis nula y se concluye que las varianzas son diferentes pero que según los datos si se obtiene un valor bajo en la variabilidad, esto puede darse porque no se ha tomado una cantidad adecuada de tiempos luego de la implementación y porque se le esta asignando mucho tiempo quincenal propuesto para la actividad el cual fue de 45 minutos.

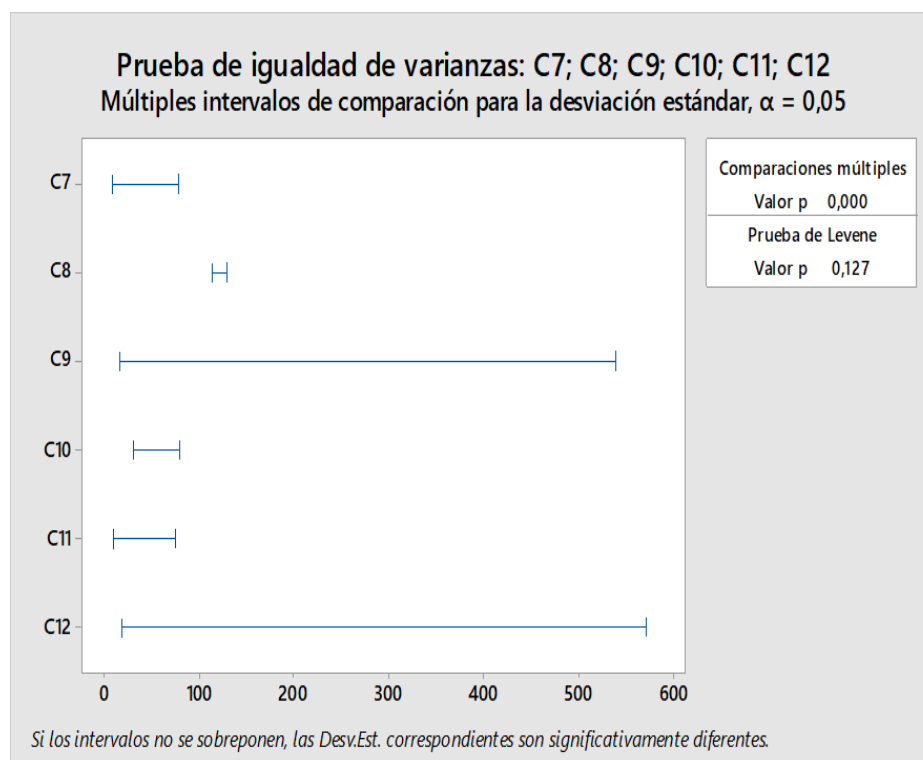


Figura 3.4. Prueba de varianzas de los tiempos de mantenimiento en el corte con cizalla de bults

Fuente: Datos de tiempos de mantenimiento de la cizalla de bults. RE:P:010 2021

En la figura 3.4 se observa que las variaciones de los tiempos de mantenimiento entre el 30 de marzo y el 11 de septiembre son muy elevadas a diferencia de los otros meses en el cual se hacen paradas por mantenimientos leves o cortos que pueden ser planificados mediante una para programada de mayor tiempo quincenal.

Es decir al implementar la mejora se ve mayor tiempo pero se cumple con los parámetros del mantenimiento preventivo en 2 o 3 paradas al mes.

En el problema enfocado declarado presentó que el proceso registra el 77,08% de producto terminado fuera de especificación en el parámetro mantenimiento en el corte con cizalla de butts en la etapa de extrusión de perfiles de aluminio con una frecuencia de 21 paradas por mantenimiento. Es por eso que, en el Diagrama de Pareto muestra los resultados de la implementación de acuerdo al objetivo del proyecto.

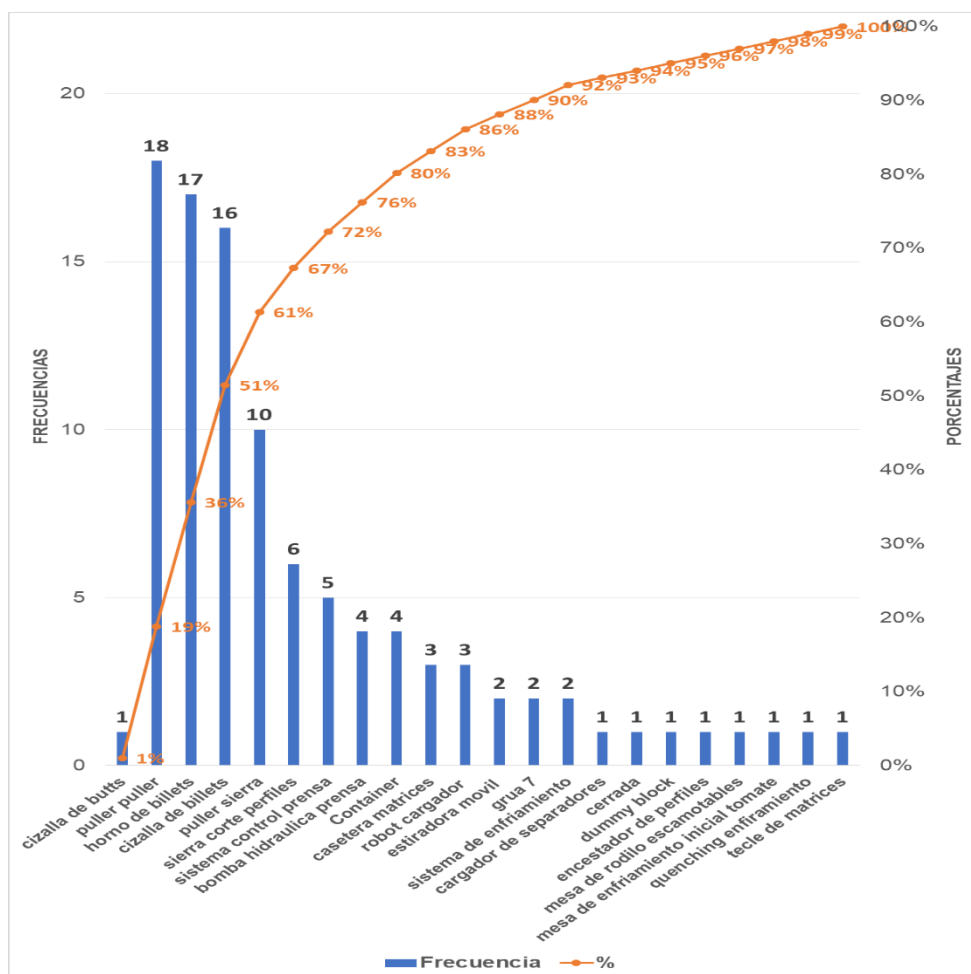


Figura 3.5. Diagrama de Pareto – Resultados de tiempos de mantenimiento

Fuente: Autor

Si analizamos el Diagrama de Pareto se observa que ahora existirá 1 sola parada y ya no 21 como había al inicio el cual representaba el 21% del tiempo promedio de paradas al día el cual es de 3 horas con 52 minutos. Es decir que por mantenimiento en las cizallas de butts se paraba un promedio de 48 minutos con demasiada variabilidad, ahora se establece que habrá 1 parada de 45 minutos en promedio al mes para el mantenimiento preventivo. Además se vio en la figura 3,4 que se deja mucha holgura en los tiempos de mantenimiento como para realizar las actividades encomendadas, es decir el tiempo se puede reducir aún más y realizar paradas preventivas que tarden entre 25 y 30 minutos semanales.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se describen las conclusiones y recomendaciones encontradas en el desarrollo del proyecto.

4.1. CONCLUSIONES

1. Con la implementación de las mejoras se aumenta el porcentaje de utilización de la máquina en un 1.2 %, al analizar de forma detallada y enfocar el problema a una de las causas de mayor afectación que se evidencia en el diagrama de Pareto es el corte con cizalla de bults, Además hay demoras en el puller puller, horno de billets y corte con cizalla en el mantenimiento, en esta ocasión nos enfocamos en el corte con cizalla pero aún se pueden tomar acciones para los otros factores que influyen en las demoras en el mantenimiento

2. La importancia de este proyecto es disminuir tiempo de producción el cual tiene un impacto en los costos, por lo tanto si se analiza el costo de la tonelada de billet el cual es de 2900 USD y el tiempo de producción empleado en procesarla que es una hora, es suficiente para concluir que por cada hora de tiempo reducida en el día o en la semana se puede procesar una tonelada de producto.

3. Con la compra oportuna de repuestos como lo son el sensor del botador en el corte con cizalla se puede evitar que la máquina este en para hasta que se compre un nuevo sensor, esto una vez que se identificó las diferentes causas de las paradas en el mantenimiento

4.2. RECOMENDACIONES

1. Las mejoras requieren más tiempo para ser implementadas por lo que se recomienda continuar con los demás parámetros observados en el diagrama de Pareto el cual también representaban altos tiempos de mantenimiento en el proceso de extrusión.

2. Establecer objetivos adecuados o reales que sean alcanzables al aplicar las mejoras, es decir que no se tome en cuenta porcentajes promedio como referencias ya que existe otros parámetros como lo son la moda y la mediana el cual pueden representar con mayor precisión un efecto para estudio

3. Mantener otras personas capacitadas en la operación de mantenimiento en la extrusión de perfiles de aluminio, debido a que, en ocasiones el personal se enferma y es necesario poder cubrir los puestos en caso de ausentismo.

4. Se recomienda revisar los instructivos de operación y procedimientos de forma periódica identificando además las debilidades de cada operador en el puesto de trabajo en el que se desempeña.

BIBLIOGRAFÍA

MERCADO VEGA, CRISTOPHER. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE PINTURAS EN LA EMPRESA PERUPAINT SAC, VILLA EL SALVADOR - LIMA, - 2017. Páginas 46 - 55.

Shankar R. (2009) Process Improvement Using Six Sigma: A DMAIC Guide. Milwaukee, USA: American Society for Quality. Quality Press.

Garza Ríos, Rosario C. González Sánchez, Caridad N. Rodríguez González, Ernesto L. Hernández Asco, Caridad M. Aplicación de la metodología DMAIC de Seis Sigma con simulación discreta y técnicas multicriterio REVISTA DE METODOS CUANTITATIVOS PARA LA ECONOMIA Y LA EMPRESA (22). Páginas 19–35. Diciembre de 2016 .

Pande, P. S., Neuman, R. P. & Cavanagh, R. R. (2001). Las claves prácticas de Seis Sigma. Madrid: McGraw Hill.

Douglas C. Montgomery. (2008). Introducción to Statistical Quality Control. Wiley; Edición: 6.

Balanceo de líneas utilizando herramientas de manufactura esbelta. Revista El Buzón de Pacioli, Número Especial 74, Octubre 2011

ANEXOS

ANEXO 1. ANÁLISIS DEL MODO EFECTO Y FALLA – AMEF

PROCESO DE PREPARACIÓN, EXTRUSIÓN, ANODIZADO Y ALMACENAMIENTO

Función del proceso	OPERACIÓN	Modo potencial de falla	Efecto de la falla	Sev.	Causa de la falla	Ocurrencia	Control de prevención de la falla	Detección	RPN
Preparación de extrusora	Poner funcionamiento la extrusora	No funciona la cizalla de bults	No corta la cizalla	5	Falta de energía eléctrica	2	Revisión panel eléctrico.	1	10
				5	No funciona mesa vasculante	1	Tener un repuesto disponible	4	20
				5	se remuerde cuchilla dañada	1	Mantener stock de cuchillas en bodega	2	10
				5	no baja la cizalla	4	Ajustar y limpiar filos de la cizalla	2	40
				5	No funciona sensor de vibracion que detecta el butt	1	Calibrar periodicamente y mantener repuesto en stock	2	10
				5	Se daña transductor posición	1	Mantener repuesto en stock	2	10
				5	no cae el butt se dobla tocho y se forma flash	1	Realizar el arreglo pertinente	1	5

				5	no funciona (falla sensor del botador)	3	Mantener stock en bodega	3	45
				5	falla sensor de la seguridad	1	Mantener el stock según especificaciones de la máquina	1	5
				5	corte defectuoso se queda el butt y choca con casetera	1	Realizar los arreglos pertinentes	1	5
	Apertura de admisión de temperatura	Fuga de vapor por fallas	No ingresa temperatura a la extrusora	3	Empaque en malestado	1	Operador	1	3
	Temperatura de extrusora	Falla de equipo	Mal precalentamiento	5	Daño de termómetro	2	Operador	3	30
	Corte con cizallas	Filos en mal estado	Cortes no adecuados	4	Filos dañados	2	Operador	1	8
	Anodizado	Escasez de electrolitos	Pulida inadecuada	4	Poca materia prima	2	Operador	1	8
	Almacenamiento	Espacios pequeños	Indisponibilidad de espacio	3	Mal ubicación de producto	2	Operador	1	6

Fuente: Autor