



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC,
PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE CORTE DE LÁMINA
LISA DE ACERO GALVANIZADO, EN UNA PLANTA SIDERÚRGICA UBICADA EN
VILLA NUEVA, GUATEMALA**

Berny Ricardo Yach Moreno

Asesorado por el MSc. Ing. Milton Alexander Fuentes Orozco

Guatemala, junio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC,
PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE CORTE DE LÁMINA
LISA DE ACERO GALVANIZADO, EN UNA PLANTA SIDERÚRGICA UBICADA EN
VILLA NUEVA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BERNY RICARDO YACH MORENO

ASESORADO POR EL MSC. ING. MILTON ALEXANDER FUENTES OROZCO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JUNIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Aldo Ozaeta Santiago
EXAMINADOR	Ing. Jose Manuel Moro Blanco
EXAMINADORA	Inga. Milbian Kattina Mendoza Méndez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC,
PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE CORTE DE LÁMINA
LISA DE ACERO GALVANIZADO, EN UNA PLANTA SIDERÚRGICA UBICADA EN
VILLA NUEVA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 24 de febrero de 2020.

Berny Ricardo Yach Moreno

Ref. EEPFI-263-2020
Guatemala, 24 de febrero de 2020

Director
César Ernesto Urquizú Rodas
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
Presente.

Estimado Ing. Urquizú:


Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC, PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE CORTE LÁMINA LISA DE ACERO GALVANIZADO, EN UNA PLANTA SIDERÚRGICA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Berry Ricardo Yach Moreno** carné número **201020772**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión Industrial.


Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular,

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"


Milton Alexander Fuentes Orozco
INGENIERO MECÁNICO
COLEGIADO No. 8189
Asesor


Mtro. Carlos Humberto Aroche Sandoval
Coordinador de Maestría
Gestión Industrial




Mtro. Edgar Darío Álvarez Cortés
Directo
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

EEP-EIMI-022-2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC, PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE CORTE LÁMINA LISA DE ACERO GALVANIZADO, EN UNA PLANTA SIDERÚRGICA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Berny Ricardo Yach Moreno, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
Director

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

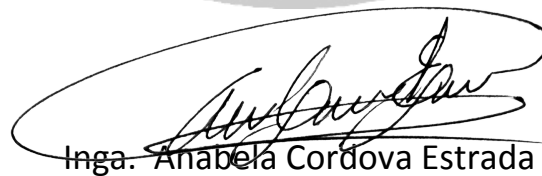


Guatemala, febrero de 2020

DTG. 282.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DMAIC, PARA EL INCREMENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN UNA LÍNEA DE CORTE DE LÁMINA LISA DE ACERO GALVANIZADO, EN UNA PLANTA SIDERÚRGICA UBICADA EN VILLA NUEVA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Berny Ricardo Yach Moreno**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, octubre de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser el creador de todas las cosas buenas y fuente de sabiduría para lograr este objetivo.
Mi padre	Ricardo Yach, por ser un ejemplo de esfuerzo, honestidad y responsabilidad, valores que me forjaron como hombre y profesional.
Mi madre	Ruperta Moreno, por su infinito amor, consejos y oraciones en los momentos más difíciles de mi vida.
Mis hermanos	Johana y Samuel Yach Moreno, por todo su apoyo incondicional.
Mis abuelos	Lorenzo Yach y Abraham Moreno, por todos sus sabios consejos, enseñanzas y sé que desde el cielo continúan cuidándome.
Mis abuelas	Elena Ovalle y Juana Queche, por todo el amor, cuidados y consuelo que me brindaron antes de partir.

Mi familia y amigos

Por ser una parte importante a lo largo de las diferentes etapas de mi vida en las que compartimos preocupaciones, tristezas y alegrías.

AGR ADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por concederme el privilegio de pertenecer y formarme académicamente en esta tricentenaria y gloriosa casa de estudio.
Facultad de Ingeniería	Por el aporte invaluable en mi formación como profesional.
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial	Por haberme brindado los conocimientos específicos en la ingeniería industrial y sus aplicaciones.
Escuela de Estudios de Postgrado	Por el aporte práctico profesional y su compromiso con la mejora continua de sus estudiantes.
Ingeniero	Milton Fuentes, por su asesoramiento y aportes en el planteamiento de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	5
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
3.1. Descripción del problema.....	11
3.2. Formulación del problema.....	12
3.2.1. Pregunta central.....	12
3.2.2. Preguntas de la investigación.....	12
3.3. Delimitación del problema.....	133
3.4. Viabilidad de la investigación.....	13
3.5. Consecuencias de realizar la investigación.....	13
3.5.1. De realizarse.....	13
3.5.2. De no realizarse.....	144
4. JUSTIFICACIÓN.....	15
5. OBJETIVOS.....	17
5.1. General.....	17
5.2. Específicos.....	17

6.	NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	19
6.1.	Revisión documental.....	19
6.2.	Diagnóstico.....	19
6.3.	Análisis.....	20
6.4.	Propuesta.....	20
7.	MARCO TEÓRICO.....	23
7.1.	Siderúrgica.....	23
7.1.1.	Acero.....	23
7.1.2.	Laminación.....	24
7.1.3.	Laminación en frío.....	25
7.1.4.	Laminación en caliente.....	25
7.1.5.	Forjado.....	26
7.1.6.	Fundición.....	27
7.1.7.	Temperatura de fusión.....	27
7.1.8.	Temperatura de colada.....	27
7.1.9.	Metalmecánica.....	27
7.2.	Eficiencia.....	28
7.2.1.	Eficacia.....	29
7.3.	Productividad.....	29
7.4.	Acero galvanizado.....	31
7.4.1.	Aplicaciones del zinc.....	32
7.5.	Procesos de corte y conformado.....	34
7.5.1.	Cizallado.....	34
7.5.2.	Troquelado.....	34
7.5.3.	Doblado.....	34
7.6.	Metodología DMAIC.....	35
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO.....	37

9.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	39
9.1.	Enfoque	39
9.2.	Diseño	39
9.3.	Tipo	39
9.4.	Alcance.....	40
9.5.	Variables e indicadores	40
9.6.	Fases de la investigación.....	41
9.7.	Población y muestra	43
9.7.1.	Población	43
9.7.2.	Muestra.....	43
9.8.	Técnicas, metodología.....	44
9.9.	Resultados esperados	44
10.	TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	47
10.1.	Métodos empíricos	47
10.2.	Métodos cuantitativos	47
11.	CRONOGRAMA.....	49
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	51
12.1.	Recursos humanos.....	51
12.2.	Recursos físicos	51
12.3.	Recursos financieros	52
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
14.	APÉNDICES	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	21
2.	Ejemplo pieza realizada por forjado	26
3.	Cálculo de productividad	311
4.	Distribución del consumo de cinc para usos industriales.....	33
5.	Cronograma de actividades	49

TABLAS

I.	Variables y sus indicadores.....	41
II.	Recursos humanos	51
III.	Recursos físicos	52
IV.	Recursos financieros.....	53

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
%	Porcentaje
Q	Quetzales

GLOSARIO

Acero galvanizado	Acero revestido de una delgada capa de zinc para hacerlo resistente a la corrosión en partes automotrices sumergidas, tarros de basura, estanques de almacenamiento o alambres para cercados.
Anchos	Dimensiones laterales del perfil de acero laminado, a diferencia de la longitud o el espesor (grosor). Si el ancho del plano de acero no es controlado durante el laminado, se deben recortar los bordes.
Chatarra	Material ferroso (que contiene hierro) que por lo general es refundido y vaciado para formar acero nuevo. Las acerías integradas utilizan chatarra en un porcentaje de hasta 25 % de la alimentación de su horno al oxígeno.
Decapado	Proceso por el cual se limpia un rollo de acero de óxido, polvo y aceite de modo de preparar el metal para algún proceso ulterior.
Galvanización en caliente	Se pasa el acero a través de un baño de revestimiento de zinc derretido, seguido de una corriente de aire que controla el grosor del acabado de zinc.

Escoria	Impurezas en el hierro fundido. Se puede agregar material fundente como la caliza para fomentar la reunión de elementos no deseados y formar la escoria.
Espesor	Corresponde al grosor de la plancha de acero. El acero de mejor calidad posee un espesor consistente para evitar los puntos débiles o las deformaciones.
Laminador Tandem	Es un tipo de laminador que imprime a la lámina de acero una mayor resistencia, una superficie pareja y uniforme y un menor espesor.
Metal caliente	Nombre del hierro fundido producido en el alto horno. Prosigue hacia la acería al oxígeno como material fundido o es moldeado como arrabio.
Mineral de hierro	Mineral que contiene suficiente hierro para ser una fuente comercialmente viable del elemento para uso en acería. A excepción de fragmentos de meteoritos encontrados en la tierra, el hierro no es un elemento libre; más bien se encuentra atrapado en la corteza de la tierra en forma oxidada.
Rollos de acero	Son láminas de acero que han sido enrolladas. Un planchón, una vez laminado en un laminador de planos en caliente y enrollado, tiene una longitud superior a 400 metros; los rollos constituyen la forma

más eficaz de almacenar y transportar el acero laminado.

RESUMEN

El planteamiento de la investigación que se presenta, acontece en una línea de corte transversal de acero galvanizado, en la que se busca incrementar los valores de productividad para cumplir con los requerimientos en abastecimiento de inventario, así como el aprovechamiento de los recursos empleados en la operación.

La estrategia propuesta para lograr el incremento en la productividad es la aplicación de la metodología DMAIC. La cual por medio de sus cinco pasos dentro del ciclo de análisis permite lograr una correcta definición del problema a través de las mediciones y análisis de datos de forma estadística, generando alternativas de solución efectivas en un proceso continuo de análisis.

De esta forma, al detectar y eliminar actividades que afectan la eficiencia operativa de la línea de producción de lámina lisa, se obtendrá un proceso bajo control y por lo tanto eficiente en el uso de los recursos físicos y humanos, para determinar la implementación satisfactoria del método se plantea un análisis estadístico de las condiciones iniciales y finales a la aplicación de la metodología DMAIC. Determinando finalmente si existe un aumento significativo en los valores de productividad de la línea de corte transversal.

Estos son los puntos propuestos en el diseño de investigación, que busca la solución sistemática de un problema que surge dentro de las necesidades de eficiencia operacional en una industria siderúrgica.

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del presente trabajo de investigación es una sistematización y se centra en el análisis y la aplicación de la metodología DMAIC dentro de los procedimientos de una línea de corte transversal de lámina lisa galvanizada para el incremento en los valores de productividad; la identificación de las causas principales permite aplicar mejoras y controles basado en un diagnóstico inicial a los procesos actuales y así determinar el curso de acción para las acciones que mejor aporten a la productividad del proceso.

El problema principal presentado es que los valores de productividad y eficiencia que entrega la línea no son coherentes con los valores estándar definidos por las especificaciones técnicas de la misma; genera así desviaciones negativas de hasta un 40 % entre la producción real y la planificada; por lo tanto es necesario determinar una solución que permita aumentar la productividad de la línea basada en el mejoramiento de los procedimientos actuales de la operación.

Se espera, como resultado de la investigación, el incremento en los valores de productividad y eficiencia presentados por la línea en cada turno de producción con la aplicación de los cinco pasos de la metodología en los procedimientos operativos y de apoyo; así mismo, mitigar el impacto negativo en el abastecimiento de inventarios de producto terminado y la optimización en el uso de recursos al reducir los tiempos de trabajo extraordinario requeridos para el cumplimiento del plan de producción.

La relevancia de realizar la investigación radica en los cambios presentados en el mercado siderúrgico de Guatemala en los últimos diez años con la incursión a nivel mundial de China como productor de acero; el aumento en la oferta externa de productos siderúrgicos a un menor precio que los productores locales hace de vital importancia que los niveles de producción sean óptimos y los costos asociados sean disminuidos; es necesario optimizar las líneas de producción y las operaciones para lograr una mayor productividad dentro del mercado local.

La metodología DMAIC a través de sus cinco pasos ejecutados de forma ordenada permite la definición correcta de un problema específico para que el enfoque de las mediciones y el análisis de la situación actual se realicen en la dirección correcta para obtener así los planes de acción y estrategias que deben implementarse para dar paso a una solución efectiva de problema inicialmente planteado. La presente investigación busca su aplicación dentro de los procedimientos operativos y métodos de trabajo utilizados para incrementar la productividad de la línea seleccionada para el estudio.

El primer capítulo del informe final corresponde a la teoría relacionada con la industria siderúrgica, los procesos de transformación del acero galvanizado, la metodología DMAIC y los pasos para la correcta aplicación en procesos productivos.

El segundo capítulo comprende el desarrollo de la investigación aplicado a los procedimientos y métodos de trabajo de la línea de corte; se analizarán los datos recolectados y se plantearán las propuestas de solución que deben implementarse para mejorar la productividad de la línea.

El tercer capítulo corresponde a la presentación de los resultados obtenidos de la implementación de las propuestas de mejora, el cuarto capítulo se discutirán

los resultados al evaluar el nivel de impacto en la productividad de la línea de corte.

2. ANTECEDENTES

La metodología DMAIC surge como una filosofía de trabajo desarrollada por Motorola en los años ochenta con el objetivo de reducir los defectos presentados en la producción de equipos electrónicos. El éxito en su aplicación motivó a otras industrias de manufactura la implementación en sus procesos. Desde su creación la metodología seleccionada ha sido aplicada en diferentes industrias de productos y servicios para la mejora en sus procesos y reducción de defectos. En los antecedentes de su aplicación se pueden mencionar:

Con relación a los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología enfocada a proyectos de desarrollo minero, Castillo (2013) concluye en su investigación:

La capacidad de la metodología DMAIC para mejorar el desempeño de los proyectos es altamente efectiva si se seleccionan de forma correcta los indicadores de procesos ya que estos muestran de forma significativa en el análisis estadístico las mejoras en la capacidad real de producción, la confiabilidad de las operaciones y la productividad. (p. 59).

El aporte de la investigación de Castillo es la importancia de seleccionar de forma correcta los indicadores en los cuales se basará el análisis y poder entender los cambios en la productividad al aplicar la metodología.

Por tal razón conocer el entorno de las operaciones se vuelve la piedra angular para la aplicación de la metodología DMAIC, Castillo (2013) menciona:

Con el fin de identificar el contexto en el cual se desempeñan los distintos casos de estudio y diagnosticar las necesidades que se requieren, se realizaron distintas actividades de evaluación inicial. Las actividades que se incluyen en el diagnóstico y el levantamiento general de la información son: Revisión de documentos y antecedentes, Sesiones con distintos involucrados, Talleres iniciales, Entrevistas y Visitas a terreno (p. 49).

Lo anterior aporta al trabajo de investigación los factores de peso dentro de la operación para realizar un diagnóstico acertado; se menciona la importancia de analizar la documentación y considerar a todos los involucrados en la operación.

De la importancia de la correcta definición del problema que desea resolverse aplicando la metodología, Oña y Arcos (2014) concluyen en su investigación:

Un proyecto DMAIC debe tener un problema claramente definido, este problema debe ser parte de un proceso con inicio y fin claro, financieramente debe ser posible medirlo y el equipo debe ser capaz de finalizarlo en 4 a 6 meses.

El criterio más importante para seleccionar un proyecto DMAIC son los relacionados con los costos de no calidad, todos aquellos costos que se derivan de generar un producto defectuoso (p.135).

Lo anterior aporta al trabajo de investigación el rango de tiempo recomendado para la implementación de un proyecto DMAIC, para fines de la investigación se tomará un periodo de tiempo correspondiente a tres meses.

En lo relacionado a la fase de análisis del problema y las herramientas utilizadas, Oña y Arcos (2014) mencionan:

El objetivo de esta fase es la de identificar las causas raíz del problema, además de entender cómo y porqué se origina la desviación buscando siempre llegar hasta las causas más profundas. La información de este análisis da evidencias de las fuentes de variación y desempeño insatisfactorio, el cual es de gran utilidad para la mejora del proceso. En el análisis (...) puede utilizar herramientas como la lluvia de ideas, diagrama Ishikawa, 5 porqués. (p.28).

Lo anterior aporta herramientas de análisis de información cuantitativa para determinar las causas principales a nivel operativo del problema de productividad analizado.

Las variables que se analizaran dentro de la investigación deben ser seleccionadas de forma correcta para que los datos recolectados sean representativos al problema; Aguirre (2010) explica:

Generalmente en la industria las variables más estudiadas y a las que más seguimiento se hace es a las continuas debido a la facilidad de medición y comparación con un estándar determinado. Por esta razón, es aconsejable comenzar con variables discretas en la determinación de una solución ya que, por ser poco tenidas en cuenta, son casi siempre las causantes de los problemas. (p. 37).

El aporte de Aguirre es la consideración del tipo de variables que deben seleccionarse para realizar la recolección de datos y el análisis correspondiente, para determinar la causa raíz del problema y plantear soluciones eficientes.

Los resultados en la aplicación de la metodología DMAIC se extienden en todo tipo de industrias y procesos. En lo relacionado a la industria siderúrgica, Pérez (2003) concluye en los resultados de su investigación:

El planteamiento que propone la metodología DMAIC para la resolución de los problemas llevó a medir el desempeño del proceso, analizar las causas que ocasionan este desempeño, buscar la mejora para las causas verificadas y establecer los controles necesarios para mantener la mejora.

La reducción del 88% de los defectos planteados en el desempeño inicial, lo cual contribuye a un aumento del 20% del volumen de producción da el beneficio real del análisis.

Con la validación de la efectividad de las soluciones se termina el proceso del proyecto de mejora, dado que los resultados alcanzan y superan los objetivos inicialmente planteados.

El aporte de Pérez al trabajo de investigación es la definición y sistematización de los controles necesarios para mantener las mejoras obtenidas con la aplicación de la metodología posterior a la finalización del proyecto.

Finalmente, Choez (2014) resalta los factores de peso que afectan la eficiencia en el proceso de corte de láminas de acero:

La investigación a realizarse en el área de corte, justifica la necesidad de reducir tiempos improductivos, que son ocasionados por varios motivos entre las cuales está la falta de acero, mal manejo de materiales, reduciendo la eficiencia en el proceso, siendo este el primordial, que abastece de materia prima al resto de procesos.

Cada operación del proceso requiere materiales a tiempo en un punto en particular, el eficaz manejo de materiales se asegura de que los materiales serán entregados en el momento y lugar adecuado, así como, la cantidad correcta, para cumplir con la producción diaria sin mayores retrasos (p. 40).

Lo anterior aporta factores internos en la operación que afectan la eficiencia de un proceso de transformación de acero y que serán considerados en el desarrollo de la investigación tomando como principal enfoque el abastecimiento de acero a la línea de producción.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La desviación en los registros de producción que afectan la eficiencia de la línea impacta de forma negativa en la productividad lo que genera atrasos en la producción de pedidos para clientes finales y abastecimiento de inventarios.

3.1. Descripción del problema

En el año 2018 la empresa siderúrgica adquiere una nueva línea de corte transversal para lámina lisa que cumple con los requerimientos de seguridad industrial bajo normativa internacional. Con la nueva línea se duplica la capacidad de producción para cortes transversales; la especificación técnica ofrecida por el fabricante es de 7.5 toneladas por hora; en los primeros tres meses de operación, la tasa de producción de la línea fue de 4 toneladas por hora que representa una desviación del 40 % en las toneladas de producción esperadas en cada turno de trabajo donde la línea de producción fue programada. La desviación presentada fue aceptada, considerando la curva de aprendizaje de los operadores con el equipo nuevo.

Para marzo de 2019, la tasa promedio de producción actual es de 5.25 toneladas por hora, lo que representa una desviación de 30 % en el volumen de producción esperado; el incumplimiento impacta de forma negativa en los costos de la organización debido a los recursos empleados de forma extraordinaria para solventar las necesidades generadas desde el área de planificación para cumplir con los días de cobertura de inventario.

Los atrasos de producción representan asignación de horas extraordinarias de forma adicional a las planificadas para la línea de forma mensual; así mismo, se generan atrasos en los despachos de producto terminado a clientes finales que requieren cumplimiento de sus pedidos en tiempo, calidad, cantidad y con las especificaciones técnicas solicitadas.

3.2. Formulación del problema

A continuación, se formulan las preguntas de la investigación.

3.2.1. Pregunta central

¿Cómo la aplicación de la metodología DMAIC de procesos aporta al incremento de la productividad en una línea de corte de lámina lisa galvanizada?

3.2.2. Preguntas de la investigación

- ¿Cuál es el método de trabajo actual de línea de corte y los factores de proceso que impactan en los resultados de productividad?
- ¿Cómo la metodología DMAIC puede aplicarse al método operativo de trabajo de corte de lámina lisa galvanizada para incrementar los valores actuales de eficiencia y productividad?
- ¿La aplicación de la metodología DMAIC en los procesos actuales permite el incremento de la productividad de la línea?

3.3. Delimitación del problema

La investigación se realizará en el área de producción de perfiles y rolado en una línea de corte liso transversal, dentro de la planta siderúrgica ubicada en Villa Nueva, Guatemala, en el periodo comprendido entre junio y diciembre de 2020.

3.4. Viabilidad de la investigación

El problema analizado depende de factores del proceso interno que pueden ser mejorados por medio de la metodología planteada en la presente investigación, los recursos necesarios para la recolección y el análisis de datos están disponibles en el sistema interno de la organización y no dependen del investigador.

En cuanto a los recursos financieros necesarios para desarrollar la investigación se cuenta con la capacidad para solventar los costos presentados.

3.5. Consecuencias de realizar la investigación

A continuación, se describen las consecuencias de realizar la investigación.

3.5.1. De realizarse

Se identificarán las posibles alternativas de solución que aporten al incremento de la productividad en la línea de corte de lámina lisa y se tomará como base para el desarrollo de investigaciones posteriores en las diferentes líneas de producción instaladas en la planta siderúrgica.

3.5.2. De no realizarse

Se continuarán presentando las desviaciones en los valores de productividad y no se cumplirá con el estándar de proceso establecido como objetivo estratégico de la compañía; además, la baja productividad se verá reflejada en los niveles de inventario y el cumplimiento en la entrega con clientes finales.

4. JUSTIFICACIÓN

La línea de investigación con la que se relaciona el siguiente trabajo es la optimización de operaciones y normalización de los procesos de la Maestría en Gestión Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala, debido a la necesidad de aumentar la productividad y eficiencia en la línea de corte de lámina lisa para que los niveles de producción sean adecuados a la capacidad instalada y la reducción de costos por tiempos no productivos por parte de operadores y equipos auxiliares.

El trabajo de investigación es de mayor importancia porque busca aportar soluciones que puedan mejorar la productividad operativa generada por el proceso, que impacte de forma positiva en los niveles de producción entregados la planificación para satisfacer las demandas de producto final a tiempo en bodegas de clientes finales y subsidiarias de la compañía. Así mismo, aportará mejoras al método operativo de trabajo que ayudarán a optimizar los recursos empleados y reducir costos de operación

Los beneficios que podrá obtener la empresa siderúrgica con esta investigación son optimización en el uso de recursos materiales y humanos y la entrega en productos en tiempo, calidad y especificaciones técnicas solicitada por los clientes finales; el cumplimiento de estos requerimientos ayuda a generar un factor de diferenciación dentro del mercado siderúrgico el cual es cada día más complejo y con mayor número de competidores debido a los altos niveles de exportación de acero galvanizado provenientes de China.

La motivación del investigador de desarrollar el presente trabajo de investigación es el interés de aportar en la empresa siderúrgica mejoras a los procesos productivos que ayuden a incrementar las ventajas competitivas de la organización y el uso eficiente del capital de trabajo.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Aplicar la metodología DMAIC para el análisis de las desviaciones en valores de eficiencia y productividad en una línea de corte de lámina lisa galvanizada.

5.2. Específicos

- Analizar el método operativo de trabajo actual y su interacción con los factores tanto internos como externos del área de trabajo.
- Implementar la metodología DMAIC al método operativo de trabajo para optimizar las tareas realizadas por los operadores de la línea.
- Verificar si las diferencias en los valores de eficiencia y productividad son positivas, posterior a la implementación de la metodología DMAIC.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

En la presente sección se especifican, las herramientas de análisis y técnicas de estadística descriptiva que se aplicarán en cada una de las fases de la metodología de la investigación.

6.1. Revisión documental

Se realizará una revisión documental enfocada a los procedimientos operativos y métodos de trabajo que se encuentran establecidos para la línea de corte; también, se verificarán las especificaciones técnicas entregadas por el fabricante para determinar la capacidad real de producción del equipo.

El análisis de procedimientos operativos es necesario para tener un panorama de las actividades descritas a nivel documental para contrastarlas cuando se realicen las observaciones en campo.

6.2. Diagnóstico

Aplicación del análisis de Pareto para determinar las causas principales que afectan a las variables críticas del proceso y que provocan las desviaciones en los valores de productividad y eficiencia de la línea de producción.

También, se aplicará un análisis de la capacidad del proceso CP para determinar si este se encuentra dentro de los valores estándar que sirven como referencia para medir el desempeño de la línea.

En esta fase, también, es necesario realizar observación directa al proceso de producción para listar de forma preliminar las actividades realizadas en la operación y los tiempos asociados a cada una de ellas aplicando un estudio de tiempos y movimientos.

6.3. Análisis

Se aplicará un diagrama de correlación para analizar el comportamiento de las variables de estudio dentro del proceso a lo largo del tiempo y definir una o varias tendencias que afectan al proceso.

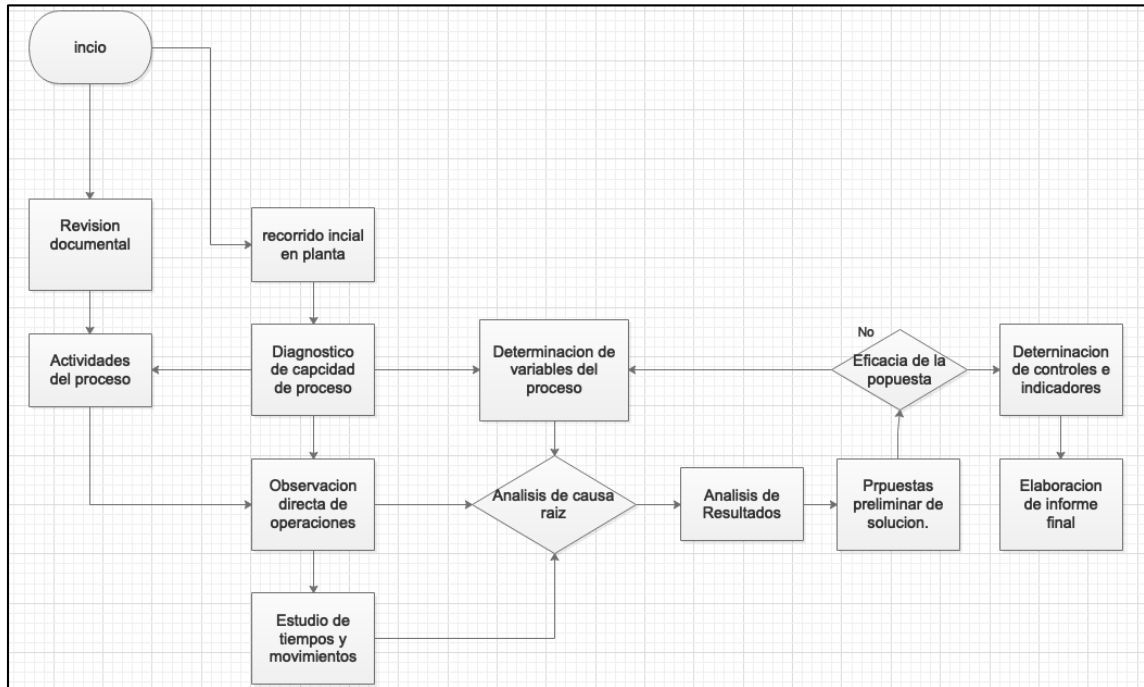
Se aplicará la herramienta de calidad de los 5 porqué, para determinar las causas raíz de los principales problemas detectados dentro del proceso y así plantear las propuestas de solución que pueden ser a nivel operativo o de proceso y que den solución al problema principal planteado en la investigación

6.4. Propuesta

Se planteará como primer paso de la solución cambios en los métodos operativos de trabajo realizados por los operadores de área, con el objetivo de disminuir tiempos muertos y actividades innecesarias o redundantes en la operación; esto basado en la optimización de los procesos y el flujo de materiales dentro de la planta.

La segunda etapa de la propuesta de solución basada en los análisis estadísticos realizados, se planteará un ordenamiento en la planificación de la producción basado en los cambios operativos que deben realizarse en las modificaciones de producto y medida, para reducir los tiempos de interrupción generados por los distintos cambios solicitados en la planificación diaria.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

7.1. Siderúrgica

Acerca de la siderúrgica, sus diferentes tipos de productos semielaborados y aplicaciones finales, Arrieta (2010) menciona:

La cadena siderúrgica comprende la obtención del acero, la fabricación de artículos de acería laminados en caliente como las barras, varillas, láminas y alambión (utilizados en obras de infraestructura), artículos laminados en frío (utilizados en metalmecánica para la fabricación de electrodomésticos), planos revestidos (utilizados para la fabricación de cubiertas y envases) y tubería con costura. Estos productos son obtenidos a través de procesos de fundición, laminación y forjado, entre otros. La industria siderurgia se caracteriza por la existencia de altos costos fijos. Por tanto altas economías de escala, alta inversión de capital, requerimiento de personal capacitado y con alto nivel de calificación e impacto ambiental del proceso de producción. (p. 7).

7.1.1. Acero

Según la definición proporcionada por la Asociación Latinoamericana del Acero, Alacero (2003), el acero es una aleación de hierro con una cantidad de carbono que puede variar entre 0,03% y 1,075% en peso de su composición, dependiendo del grado.

El acero no es lo mismo que hierro. Y ambos materiales no deben confundirse. El hierro es un metal relativamente duro y tenaz, con diámetro atómico (dA) de 2,48 Å, con temperatura de fusión de 1535 °C y punto de ebullición 2740 °C.

La diferencia principal entre el hierro y el acero se halla en el porcentaje de carbono: el acero es hierro con un porcentaje de carbono de entre el 0,03% y el 1,075%.

El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas, sobre todo su resistencia.

7.1.2. Laminación

La definición del proceso de laminación de acero según la investigación de Castañeda (1999).

Es un proceso de conformación de los metales por compresión directa, efectuado al hacer pasar a la pieza de metal entre dos rodillos (cilindros), que giran uno en sentido contrario al otro, y durante el cual se deben de dar los fenómenos de reducción del espesor, alargamiento longitudinal y ensanchamiento lateral de la pieza que se trabaja. Todas estas características se obtienen también en la foija, por ello se dice también que la laminación es un proceso de foija continua. (p. 7).

7.1.3. Laminación en frío

Acerca del proceso de laminación en frío del acero en su investigación, Franco (2012) explica:

El laminado en frío es usado para producir láminas y cintas con una superior superficie de terminado y con tolerancias en dimensiones. Además, el endurecimiento por deformación resultante del endurecimiento en frío podría ser usado para dar un aumento en la resistencia.

El proceso básicamente consiste en la reducción en espesor del material laminado en caliente y que antes de entrar al molino en frío, pasa por una línea de decapado con ácido clorhídrico con la finalidad de eliminar la capa de óxido superficial resultado del trabajado en caliente. (p. 40).

7.1.4. Laminación en caliente

El proceso de laminación en caliente es uno de los principales procesos para la reducción del acero a tamaños adecuados para su manejo, procesamiento y transporte, acerca de los principios de operación, Franco (2012) explica:

El proceso de laminación en caliente generalmente se describe como trabajar un material por encima de su temperatura de recristalización, generalmente a una temperatura que es aproximadamente $0.6T_m$ (siendo T_m la temperatura absoluta de fusión del acero). El material se deforma a altas velocidades de deformación. En consecuencia de las condiciones de temperatura y velocidad de deformación, el proceso de laminación se lleva a

cabo de tal manera que el fenómeno de recristalización se realiza simultáneamente con la deformación. (p. 40).

7.1.5. Forjado

La definición del proceso de forja aplicada en industria siderúrgica, según Bonnemezón (2016) establece:

Se trata de un proceso de fabricación intermedio, que tiene por objeto conformar una geometría próxima a la pieza final, que se obtendrá por mecanizado. Su empleo tiene particular importancia cuando se trata de una pieza de seguridad, ya sea para el sector automotriz, ferroviario, minero, o petrolero. El proceso de forjado se realiza en caliente, para facilitar la fluidez del material a conformar. (p.19).

Figura 2. Ejemplo pieza realizada por forjado



Fuente: Bonnemezón, G. (2016). *Instituto de Actualización Empresarial ADIMRA*. Recuperado de <http://www.adimra.org.ar/iaea/docente/alfredo-bonnemez-n-32>

7.1.6. Fundición

Es uno de los procesos principales en la cadena de valor para la producción de acero, “fundir un metal significa transformarlo del estado sólido en que se encuentra al estado líquido. Esto se consigue sometiendo el metal a una elevada temperatura, la cual varía según el tipo de metal” (Bonato, 2018, p. 17).

7.1.7. Temperatura de fusión

Es el valor de temperatura en el que el o los materiales que componen la fundición comienzan la transición a su primer fase líquida, “es el punto justo en el cual el metal comienza a fundirse, es decir, a transformarse del estado sólido al líquido, así, por ejemplo el punto de fusión del aluminio es 660° C”. (Bonato, 2018, p. 17).

7.1.8. Temperatura de colada

Bonato (2018) indica:

Es un exceso de temperatura que se le da al metal para contrarrestar el enfriamiento que se produce cuando se lo saca del horno. La temperatura de colada debe ser siempre superior a la de fusión y en el caso del aluminio debe ser superior los 660°C e inferior a 800°C (p.17).

7.1.9. Metalmecánica

El contexto de la industria metalmecánica se extiende en toda la cadena de valor desde la extracción del mineral hasta los procesos finales, Lozano y Delgado (2015) explican:

La industria metalmecánica es una rama específica del sector manufacturero que se dedica a la transformación mecánica y física del metal en sus fases primarias (metales ferrosos y no ferrosos), modificando así su forma o naturaleza con el fin de generar productos que se destinen a alimentar otros procesos industriales, aplicaciones en maquinarias, equipos y herramientas, y a consumo directo en forma de bienes durables. (p. 9).

7.2. Eficiencia

En una primera definición del termino se puede mencionar que “es una medida del grado de utilización de la mano de obra y materias primas, puede ser expresado como una relación de tiempo o cantidades producidas”. (Carro y González 2012, p. 42).

En relación al concepto de eficiencia, Montero (2013) la define en su investigación como:

La eficiencia está referida a la disponibilidad para realizar una labor o conjunto de tareas con muy poco gasto de tiempo, los niveles de eficacia están conjugados con las ratios que muestran el tiempo empleado en la ejecución de las tareas y/o trabajos asignados. (p. 80).

Así mismo, Casas (2008) explica:

Eficiencia viene a hacer las cualidades de proponer alguien o de algo para conseguir un objetivo determinado. La eficiencia es lograr el objetivo

realizado por parte de la organización con el menor costo con el menor recurso financiero, humano, tiempo. (p. 2).

7.2.1. Eficacia

Prokopenko (1989):

Es el resultado logrado en comparación con el resultado posible. La eficacia se define como la medida en que se alcanzan las metas. Con todo, surge la dificultad de que el numerador y el denominador para efectuar comparaciones de la eficacia puedan ser completamente diferentes, al reflejar características específicas como las estructuras organizativas y las metas políticas, sociales y económicas del país o del sector de que se trate. (p. 21).

7.3. Productividad

En relación al concepto de productividad, Prokopenko, J. (1989) establece en su investigación:

Según una definición general, la productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción o servicios y los recursos utilizados para obtenerla. Así pues, la productividad se define como el uso eficiente de recurso, trabajo, capital, tierra, materiales, energía, e información en la producción de diversos bienes y servicios. (p. 3).

Por otra parte, Cuya (2017) define en su investigación define el concepto de productividad como:

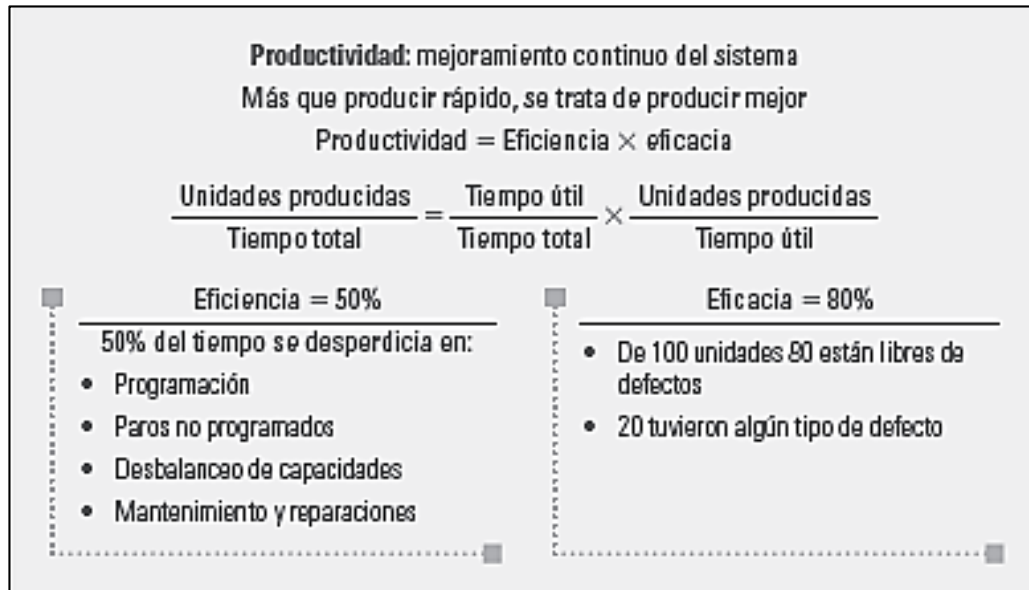
La productividad tiene que ver con los resultados que se obtienen en un proceso o un sistema, por lo que incrementar la productividad es lograr mejores resultados considerando los recursos empleados para generarlos. En general, la productividad se mide por el cociente formado por los resultados logrados y los recursos empleados. Los resultados logrados pueden medirse en unidades producidas, en piezas vendidas o en utilidades, mientras que los recursos empleados pueden cuantificarse por número de trabajadores, tiempo total empleado, horas máquina, entre otros. (p. 15).

Finalmente, Mercado (2017) en su investigación define el concepto de productividad como:

Productividad puede definirse como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. En la fabricación, la productividad sirve para evaluar el rendimiento de los talleres, las máquinas, los equipos de trabajo y los empleados. Asimismo, productividad en términos de empleados es sinónimo de rendimiento.

En un enfoque sistemático decimos que algo o alguien productivo cuando con una cantidad de recursos (insumos) en un periodo de tiempo dado obtiene el máximo de productos. La productividad en las máquinas y equipos está dada como parte de sus características técnicas. (p. 38).

Figura 3. Cálculo de productividad



Fuente: Gutiérrez, L. H. (2010). *TIC y productividad en las industrias de servicios en Colombia*.

7.4. Acero galvanizado

En relación a los descubrimientos científicos que dieron inicio a los procesos de galvanización, Coiras (2006) resume en su investigación:

La galvanización toma su nombre de Luigi Galvani (1737-1798), uno de los primeros científicos interesados en la electricidad. La galvanización se denomina de esta manera porque cuando el zinc y el acero se ponen en contacto mutuo en un medio húmedo se produce una diferencia de potencial eléctrico. Si el recubrimiento de zinc, que aísla al acero del contacto con el ambiente, se daña en algún punto, esta diferencia de potencial dará lugar a una pila de corrosión en la que el zinc constituirá el ánodo de la pila y el acero el cátodo. En estas circunstancias el zinc se oxidará, mientras que el acero permanecerá inalterado. (p. 26).

El principal proceso siderúrgico para la producción de acero galvanizado es de inmersión en caliente para facilitar la adherencia del zinc que se encuentra en el punto de fusión, Oviedo (2012) explica:

Los galvanizados en caliente son recubrimientos que se aplican por inmersión de la pieza de acero en el zinc fundido o en sus aleaciones, ya sea en forma continua o en un proceso por lotes. El proceso de galvanizado por inmersión en caliente es uno de los métodos más utilizados para la protección del acero contra la corrosión, estos recubrimientos tienen muy buena adherencia al metal base debido a la formación del enlace metálico entre el metal base y el zinc. Estos recubrimientos consisten en capas de interfases que contienen una serie de compuestos intermetálicos, que son frágiles y por lo tanto de baja ductilidad. El procedimiento de galvanización es sencillo, pero los procesos metalúrgicos que tienen lugar durante el mismo son bastante complejos. (p. 2).

7.4.1. Aplicaciones del zinc

Martínez (2000) explica los orígenes del zinc metálico y sus aplicaciones en diferentes periodos de tiempo.

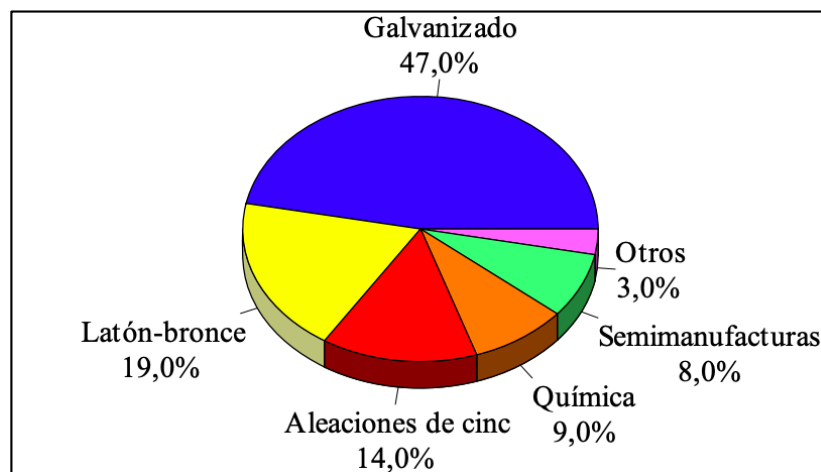
Fue conocido probablemente por los pueblos antiguos. De hecho, hay referencias que parecen hablar del cinc, al que Strabos llamaba plata falsa, en Misia (Grecia), donde se encontraron depósitos de blenda y otros sulfuros. También se hallaron algunos objetos de cinc en diferentes lugares: una estatuilla en Transylvania y un frontal de fuente en las ruinas de Pompeya. Hay referencias romanas del 200 a. de C. en las que se puede probar el uso del latón por los romanos e incluso, en los tiempos de

Augusto, se describe un procedimiento para fabricar latón reduciendo lentamente óxido de cinc en un crisol lleno de chatarra de cobre. (p. 40).

En relación con el uso del cinc para recubrimiento de acero y otras aplicaciones, Martínez (2000) plantea la siguiente distribución:

Prácticamente la mitad del metal se usa en galvanización y en el recubrimiento del acero por las distintas tecnologías que incluyen el uso de aleaciones mixtas cinc-aluminio. A continuación se sitúa la fabricación de latones y bronce; después los compuestos químicos y los semimanufacturados. En cuanto a los usos finales del cinc, la construcción consume el 45 %, el transporte un 25 %, maquinaria y equipo un 11 %, infraestructuras públicas un 10 % y baterías eléctricas y otros el 9 % restante. (p. 56).

Figura 4. **Distribución del consumo de cinc para usos industriales**



Fuente: Lead and Zinc Study Group. (2004). *Monthly bulletin of the International Lead and Zinc Study Group.*

7.5. Procesos de corte y conformado

Algunas de las aplicaciones finales del acero requieren de transformaciones en su forma y longitud sin alterar sus propiedades mecánicas; estos distintos procesos son denominados de corte y conformados; se pueden clasificar en cuatro grupos principales.

7.5.1. Cizallado

Garavito (2008) define este proceso como, “la operación de corte de láminas que consiste en disminuir la lámina a un menor tamaño. Para hacerlo el metal es sometido a dos bordes cortantes de forma transversal”. (p .8).

7.5.2. Troquelado

Garavito (2008) explica las diferencias de operación, en:

...el troquelado se cortan láminas sometiéndolas a esfuerzos cortantes, desarrollados entre un punzón y una matriz, se diferencia del cizallado ya que este último solo disminuye el tamaño de lámina sin darle forma alguna. El producto terminado del troquelado puede ser la lámina perforada o las piezas recortadas. (p. 9).

7.5.3. Doblado

Para Garavito (2008):

El doblado de metales es la deformación de láminas alrededor de un determinado ángulo. Los ángulos pueden ser clasificados como abiertos (si

son mayores a 90 grados), cerrados (menores a 90°) o rectos. Durante la operación, las fibras externas del material están en tensión, mientras que las interiores están en compresión. El doblado no produce cambios significativos en el espesor de la lámina metálica. (p. 12).

7.6. Metodología DMAIC

En los antecedentes relacionados con el tema de investigación relativo a la aplicación de la metodología DMAIC en procesos productivos, Varas (2010) menciona:

El proceso comienza con un cambio radical de actitud. La dirección debe ser consciente de que la mejora continua ya no es suficiente para alcanzar los objetivos estratégicos, financieros y operativos. La mejora radical es necesaria para reducir con rapidez los desperdicios crónicos.

Los proyectos son seleccionados en función de los beneficios. La empresa Seis Sigma aporta una metodología de mejora basada en un esquema denominado DMAIC: Definir los problemas y situaciones a mejorar, Medir para obtener la información y los datos, Analizar la información recolectada, Implementar y emprender mejoras en los procesos y, finalmente, Controlar o rediseñar los procesos o productos existentes. (p. 9-10).

Así mismo, Castillo y Navarro (2013), la define en su investigación aplicada a manufactura de acero galvanizado:

La metodología DMAIC consiste en cinco pasos que son necesarios para definir y mejorar procesos. Para esto, también, se utilizarán las herramientas y técnicas de *lean manufacturing* y *Six Sigma* para reducir desperdicios y defectos.

- Definir: consiste en la definición del problema o la selección del proyecto con la finalidad de entender la situación actual y definir objetivos. Además se selecciona el equipo.
- Medir: consiste en la definición y descripción del proceso. Además, se hace una evaluación de los sistemas de medición.
- Analizar: consiste en la determinación de las variables significativas por medio de estudios como el diseño de experimentos. Además, se hace una evaluación de la estabilidad y capacidad del proceso.
- Mejorar: consiste en la optimización del proceso. Si el proceso no es capaz, se deberá optimizar para reducir su variación. Además, se debe realizar la validación de la mejora a través de una medición actual de la capacidad.
- Controlar: consiste en controlar y dar seguimiento al proceso. Una vez que el proceso es capaz, se deberán buscar mejores condiciones de operación, materiales, procedimientos, entre otros, que conduzcan a un mejor desempeño del proceso.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN V

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Siderúrgica

1.1.1 Acero

1.1.2 Laminación

1.1.2.1 Laminación en frío

1.1.2.2 Laminación en calientes

1.1.3 Forjado

1.1.4 Fundición

1.1.4.1 Temperatura de fusión

1.1.4.2 Temperatura de colada

1.1.5 Metalmecánica

1.2 Eficiencia

1.2.1 Eficacia

1.3 Productividad

1.4 Acero galvanizado

- 1.4.1 Aplicaciones del zinc
 - 1.5 Procesos de corte y conformado
 - 1.5.1 Cizallado
 - 1.5.2 Troquelado
 - 1.5.3 Metodología DMAIC
- 2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
- 3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
- 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍAS Y REFERENCIAS

ANEXOS

9. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo de la investigación es necesario definir la metodología que se aplicara. En esta sección se define el enfoque, el diseño, tipo de estudio, el alcance, las variables, los indicadores, las fases y los resultados esperados de la investigación.

9.1. Enfoque

Se define como enfoque mixto por tener elementos del proceso que no pueden ser cuantificados y que serán obtenidos por medio de la observación directa, así como información histórica de variables del proceso que será analizada.

9.2. Diseño

El diseño de la investigación es no experimental porque durante su desarrollo no se realizarán ensayos en laboratorio y no se modificarán variables del proceso analizado. Se basa en la observación directa y la recolección de datos de la capacidad del proceso, los métodos de trabajo y las actividades operativas.

9.3. Tipo

Se define como transversal y retrospectivo por las siguientes razones: la información analizada será recolectada de los registros históricos y actuales de la organización en relación a los niveles de producción almacenados en la base

de datos del sistema SAP. Adicional, se aplicará observación directa a las actividades realizadas por el personal operativo y todas las incidencias que se interrelacionan con el proceso de producción.

9.4. Alcance

El alcance de tipo descriptivo porque se analizan las variables del proceso que contribuyen al cálculo de la eficiencia y productividad de la línea, así como los indicadores de eficacia operacional declarados para el proceso de producción.

9.5. Variables e indicadores

A continuación, se presentan la definición de las variables y los indicadores que serán objeto de análisis en el presente trabajo de investigación.

Tabla I. Variables y sus indicadores

Nombre de la Variable	Tipo	Indicador	Técnica	Método de Recopilación									
Numero de actividades operativas	Cuantitativa	Distancia recorrida por actividad $\sum \text{Distancia recorrida de operacion } x \text{ actividad}$	Observacion Directa	Análisis de recorrido									
	Cuantitativa	tiempo de ocio del operador Tocio Op = (T total - T ope. línea)	Observacion Directa	Análisis hombre-maquina.									
	Cuantitativa	tiempo de operación. $\sum \text{Tiempo de línea en operacion } x \text{ turno}$	Observacion Directa	Diagrama de operaciones.									
	Cuantitativa	tiempo de ocio de la línea Tocio L = T operacion - T interrupciones.	Observacion Directa	Análisis hombre-maquina.									
Utilización de la línea	Cuantitativo / Independiente	tiempo de interrupciones $\sum T \text{ registro de interrupciones}$	tablas y graficos excel	Base de datos sistema SAP									
	Cuantitativo / Independiente	tiempo de producción $\sum T \text{ registrados de producción}$	tablas y graficos excel	Base de datos sistema SAP									
	Cuantitativo / Dependiente	% de utilización. $Td = T \text{ total} - T \text{ interrupciones}$ $\%util = \frac{T \text{ producción}}{T \text{ disponible}} \times 100$	tablas y graficos excel	Base de datos sistema SAP									
Eficiencia de la línea	Cuantitativo / Independiente	productividad real por mes $prod \text{ Real} = \frac{Tn \text{ producción}}{\text{Tiempo registrado}(\text{horas})}$	tablas y graficos excel	Base de datos sistema SAP									
	Cuantitativo / Independiente	Eficiencia por mes $Efi = \frac{Prod \text{ Real}}{Prod \text{ Std}} \times 100$	<table border="0"> <tr> <td>Eficiencia real</td> <td>Criterio.</td> </tr> <tr> <td><80%</td> <td>No aceptal 🚫</td> </tr> <tr> <td>80% < efi < 93 %</td> <td>Aceptable 🟡</td> </tr> <tr> <td>>93 %</td> <td>Optima 🟢</td> </tr> </table>	Eficiencia real	Criterio.	<80%	No aceptal 🚫	80% < efi < 93 %	Aceptable 🟡	>93 %	Optima 🟢	tablas y graficos excel	Base de datos sistema SAP
			Eficiencia real	Criterio.									
	<80%	No aceptal 🚫											
80% < efi < 93 %	Aceptable 🟡												
>93 %	Optima 🟢												
tablas y graficos excel	Base de datos sistema SAP												
Cuantitativo / Dependiente	%variación de eficiencia (3 meses post- implementación) $\% Var = Efi_{n+1} - Efi_n$	tablas y graficos excel	Base de datos sistema SAP										

Fuente: elaboración propia.

9.6. Fases de la investigación

Para el desarrollo de la investigación se divide en las siguientes fases con actividades subsecuentes para su finalización.

- Fase 1

Corresponden a la revisión documental en donde se analiza la documentación de las operaciones declaradas para la línea de corte, se tomarán en cuenta los procedimientos operativos y los métodos de trabajo aplicados al área de trabajo, también se revisarán las especificaciones técnicas que fueron entregadas por el fabricante para la línea de producción.

- Fase 2

Para obtener un diagnóstico correcto es necesaria la recolección de datos de forma directa en el área de operación, el número de operaciones realizadas y el tiempo de ejecución para completarlas serán obtenidas por medio del diagrama de flujo de operaciones (anexo 2).

El tiempo de operación y de interrupciones operativas de la línea serán analizadas por medio de un diagrama hombre máquina (anexo 1). Para priorizar el análisis en las actividades que restan un mayor tiempo operativo a la línea.

Para completar esta fase es necesario realizar la recolección de datos y observación directa en un periodo de 8 semanas para medir todas las variantes de producto, materias primas y el total de operadores involucrados en la operación.

- Fase 3

Se aplicará el análisis estadístico para determinar las variaciones presentadas dentro del proceso y determinar su relación con las diferentes actividades operativas y el flujo de materiales en el área de trabajo.

- Fase 4

Basado en el análisis se presentarán alternativas de solución orientados a dos enfoques: el primero el ordenamiento y la optimización en el uso de la capacidad de la línea; el segundo, el mejoramiento de los procedimientos operativos.

Para verificar el impacto de las mejoras en la productividad se analizará el indicador de eficiencia en un periodo de tres meses después de la implementación de las alternativas de mejora, para medir el porcentaje de variación obtenido.

- Fase 5

Se elaborará el informe final con los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología al proceso de corte, los cambios realizados y las recomendaciones planteadas para mantener los cambios positivos en la productividad.

9.7. Población y muestra

A continuación, se hace una breve descripción de la población y la muestra.

9.7.1. Población

Debido a que la línea de producción seleccionada para el análisis es de reciente adquisición, el número de operadores capacitados para el uso correcto del equipo es de 4 y se apoyan en 4 ayudantes para completar las tareas de puesta en marcha y operación distribuidas en 2 turnos de producción.

9.7.2. Muestra

Según lo establecido en el inciso anterior y por el tiempo de duración de la investigación, se debe tomar en cuenta la totalidad del personal involucrado en la operación.

$$n = N$$

Donde:

- N = tamaño de la población
- n = tamaño de la muestra

$$n = 8$$

El tamaño de la muestra para la investigación es de 8 personas que representa el 100 % de la población analizada.

9.8. Técnicas, metodología

- Observación directa
- Entrevistas a operadores y ayudantes
- Histogramas
- Estudio de tiempos y movimientos de las operaciones
- Análisis de Pareto
- Análisis de Ishikawa
- Técnica de los 5 por qué
- Análisis estadístico
- Gráficos de control
- Capacidad del proceso

9.9. Resultados esperados

Los resultados esperados al aplicar la metodología descrita es identificar las causas principales que afectan la productividad de la línea; se espera mediante el análisis realizado plantear las soluciones que aporten a los procedimientos y

la planificación de la producción las acciones, planes y estrategias necesarias para incrementar la productividad de la línea de corte.

10. TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Para el desarrollo de la investigación se utilizarán métodos empíricos y cuantitativos para la obtención de datos.

10.1. Métodos empíricos

Permiten la recolección de datos e información empírica, es decir, la obtención de datos por medio de:

- Observación directa del proceso
- Entrevistas con personal operativo

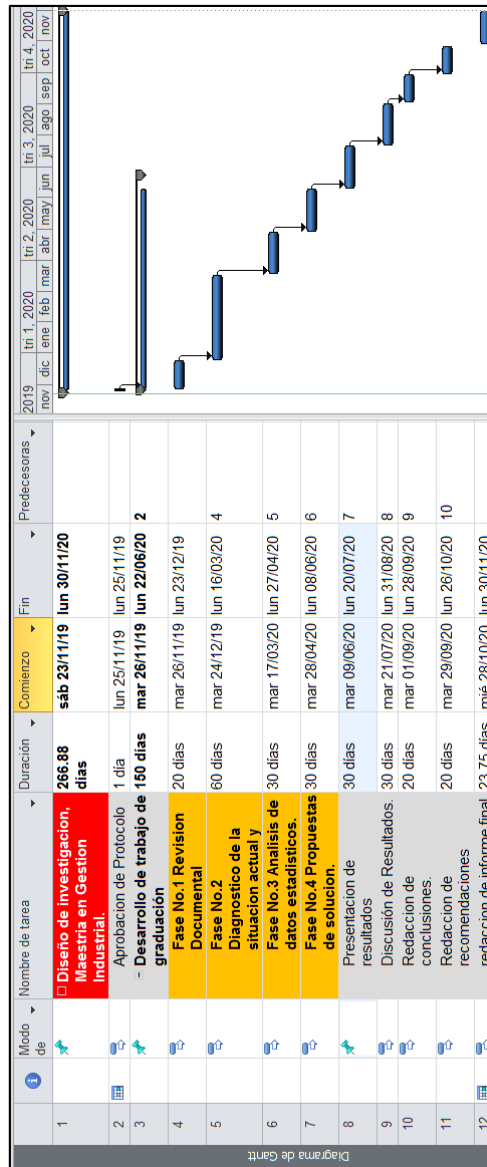
10.2. Métodos cuantitativos

La obtención de datos cuantitativos implica el uso de datos históricos extraídos del sistema informático de la organización para analizar la información desde el enfoque estadístico, la recolección de datos por medio de histograma, análisis causa - raíz, estudio de tiempos y movimientos, análisis de tendencias y gráficos de control.

La información recopilada con los métodos descritos será tabulada y analizada en Microsoft Excel 2016, utilizando herramientas de Solver, análisis de tendencias, gráficos y tablas dinámicas. Se tabularán los datos, previo a las implementaciones de mejora y luego se compararán con los datos obtenidos como resultado de su aplicación.

11. CRONOGRAMA

Figura 5. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

12.1. Recursos humanos

A continuación, se listan las necesidades de personal para el desarrollo de la investigación y las actividades que deben realizar.

Tabla II. Recursos humanos

Cantidad	Puesto	Actividades
2	operadores nivel 1	Puesta en marcha Operación de línea en turnos asignados
2	Ayudantes de operación	Apoyo en tareas auxiliares de preparación Ajustes de operación
1	practicante universitario	Recopilación y toma de datos
1	supervisor de operaciones	Revisión del plan diario de producción
1	Analista de investigación	Selección de muestras de producto Coordinación de actividades Análisis de datos

Fuente: elaboración propia.

12.2. Recursos físicos

Son los elementos necesarios para realizar la investigación y que sirven de apoyo para las diferentes actividades realizadas en su transcurso.

Tabla III. **Recursos físicos**

Cantidad	Descripción
2	Tablillas de anotaciones
5	Cajas de lapiceros
5	Cajas de marcador permanente
5	Cajas de resaltador de texto
5	Resmas de 500 hojas bond tamaño carta
1	Cámara fotográfica
1	Cronometro digital
5	Cartuchos para impresora laser
5	Calculadoras de bolsillo
1	Computadora de escritorio

Fuente: elaboración propia.

12.3. Recursos financieros

Se muestran los recursos necesarios y el costo asociado requerido durante el desarrollo de la investigación y los porcentajes de participación de cada monto sobre el costo total.

Tabla IV. Recursos financieros

No	Descripción	Unidades	Precio unitario	Precio total	Porcentaje
1	Analista de investigación	1	Q 10 000,00	Q 10 000,00	70%
2	Asesor de investigación	5	Q 500,00	Q 2 500,00	17%
3	Tablillas de anotaciones	2	Q 50,00	Q 100,00	1%
4	cajas de lapiceros	5	Q 20,00	Q 100,00	1%
5	cajas de marcador permanente	5	Q 25,00	Q 125,00	1%
6	cajas de resaltador de texto	5	Q 30,00	Q 150,00	1%
7	Resmas de 500 hojas bond tamaño carta	5	Q 25,00	Q 125,00	1%
8	Cronometro digital	1	Q 200,00	Q 200,00	1%
9	Cartuchos para impresora laser	5	Q 150,00	Q 750,00	5%
10	Calculadoras de bolsillo	5	Q 50,00	Q 250,00	2%
Total				Q 14 300,00	100%

Fuente: elaboración propia.

El trabajo de investigación será financiado por el investigador en un 100 %.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Acero, A. L. (2003). *Relación siderúrgica América Latina*. México: ILAFA.
2. Aguirre Alvarado, A. M. (2010). *Aplicación de metodología seis sigma para mejorar la capacidad de proceso de la variable nivelación vertical en la aplicación de pintura (fondos) de una ensambladora de vehículos*. (Tesis de Maestría) Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
3. Alderete, M. V., y Gutiérrez, L. H. (2012). *TIC y productividad en las industrias de servicios en Colombia*. Colombia: Lecturas de Economía.
4. Arrieta, L. (2010). *Comercialización de chatarra ferrosa en Cartagena*. (Artículo). Colombia: Universidad Tecnológica de Bolívar.
5. Barahona Castillo, L., y Navarro Infante, J. (2013). *Mejora del proceso de galvanizado en una empresa manufacturera de alambres de acero aplicando la metodología Lean Six Sigma*. (Tesis de Maestría). Universidad Católica de Perú. Perú.
6. Carro, R., y González Gómez, D. A. (2012). *Productividad y competitividad*. Recuperado de <http://nulan.mdp.edu.ar/1607/>
7. Casas Rivas, H. (2008). *Ética y transparencia institucional eficiencia*. Recuperado de <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00531532/document>

8. Castillo Ruedlinger, G. A. (2013). *Implementación de metodologías lean en desarrollo minero*. Recuperado de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/4939>
9. Coiras Mancera, M. D. P. (2006). *Ampliación de una planta galvanizadora por inmersión en caliente en discontinuo*. Recuperado de <https://rodin.uca.es/xmlui/handle/10498/6548>
10. Cuya López, K. L. (2017). *Aplicación de la metodología DMAIC para mejorar la productividad en el proceso de impresión de publicidad de la empresa LVC contratistas generales SAC, SJL, 2017*. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/10364>
11. Garavito, J. (2008). *Conformado de metales*. (Protocolo curso de Materiales). Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia.
12. Ghoetz, W. C. (2014). *Mejoramiento de la eficiencia en el proceso de corte de láminas de acero en Mabe-Ecuador S.A.* (Tesis de licenciatura). Universidad de Guayaquil, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/4624>
13. Intelángelo, R., y Bonato, A. (2019). *9201-19 TALLER Fundición y Moldeo*. Recuperado de <https://rephip.unr.edu.ar/bitstream/handle/2133/14246/9201-19%20TALLER%20Fundici%C3%B3n%20y%20Moldeo.pdf?sequence=2>
14. Lozano Macías, A. E., y Delgado Calderón, K. A. (2015). *Análisis de la cadena de suministros de las empresas del sector metalmeccánico de la ciudad de Guayaquil y su incidencia en la competitividad en*

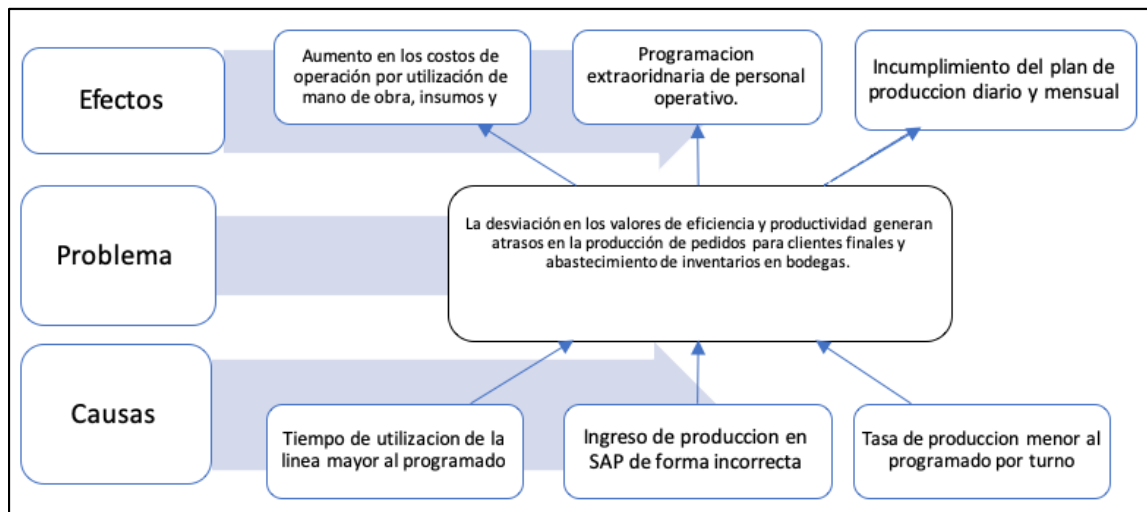
los mercados de la comunidad Andina de Naciones. (Tesis de licenciatura). Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.

15. Mercado Vega, C. A. (2017). *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.* (Tesis de Pregrado). Universidad de César Vallejo. Perú.
16. Montero, J. y Días, A. (2013). *Modelo para medición de la eficiencia real de producción y administración integrada de información de planta beneficio.* Bogotá, Colombia: Cenipalma.
17. Mora, C. (2013). *Propuesta de mejora de procesos de control de calidad en la fabricación de tubos de acero estructurales en una empresa metalmecánica.* Recuperado de <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/315000>
18. Oña Paucar, V. P., y Arcos Guerrero, J. A. (2014). *Análisis de la metodología DMAIC como un modelo de mejora continua para el sector productivo de las PYMES de alimentos en la provincia de pichincha entre 2008-2012.* (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
19. Oviedo, Y. R. (2012). *Estructura y caracterización de los recubrimientos galvanizados por inmersión en caliente, sobre aceros.* Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4208401>
20. Prokopenko, J. (1989). *La gestión de la productividad.* Ginebra, Suiza: Oficina Internacional del Trabajo.

21. Servín Castañeda, R. (1999). *Caracterización y análisis de rodillos de laminación en caliente y frío*. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
22. Silva Franco, D. (2012). *Laminación en caliente y en frío de aceros al silicio para aplicaciones eléctricas*. (Tesis de Doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
23. Varas Acuña, C. A. (2010). *Aplicación de metodología DMAIC para la mejora de procesos y reducción de pérdidas en las etapas de fabricación de chocolate*. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/111645>
24. Vega, M., y Aldeir, C. (2017). *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*. (Tesis de Pregrado). Universidad de César Vallejo. Perú.
25. Zaldaña Mejía, R. G. (2015). *Incremento de la productividad del proceso de troquelado de papel y cartón, en una empresa litográfica bajo la metodología Cero Defectos*. (Tesis de Doctorado). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. Árbol del problema



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Tema	Título	Problema	Pregunta central	Preguntas secundarias	Objetivo general	Objetivos específicos
Eficiencia y productividad en procesos en líneas de producción de acero.	Diseño de investigación aplicación de la metodología DMAIC, para el incremento de la productividad en una línea de corte de lámina lisa de acero galvanizado, en una planta siderúrgica ubicada en Villa Nueva, Guatemala	La desviación en los valores de eficiencia y productividad generan atrasos en la producción de pedidos para clientes finales y abastecimiento de inventarios.	¿Cómo aplicar la metodología DMAIC de procesos para el incremento de la eficiencia y productividad en una línea de corte de lámina lisa galvanizada?	¿Cuáles es el método de trabajo actual y los factores considerados para su elaboración?	Aplicar la metodología DMAIC para el análisis de las desviaciones en valores de eficiencia y productividad en una línea de corte de lámina lisa galvanizada	Analizar el método operativo de trabajo actual y su interacción con los factores tanto internos como externos del área de trabajo.
				Como la metodología DMAIC puede aplicarse al método operativo de trabajo de corte de lámina lisa galvanizada, para incrementar los valores actuales de eficiencia y productividad?		Implementar la metodología DMAIC al método operativo de trabajo para optimizar las tareas realizadas por los operadores de la línea.
				La aplicación de la metodología DMAIC permite identificar elementos dentro del proceso que afectan la eficiencia y productividad de la línea de producción.		Verificar si las diferencias en los valores de eficiencia y productividad son positivas, posterior a la implementación de la metodología DMAIC.

Fuente: elaboración propia.

