



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO
DE FABRICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL SISTEMA SMED
EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ACERO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE
ESCUINTLA, GUATEMALA**

Wilfred Iván Cuc Sosof

Asesorado por el Ph.D. Santos Cuc Morales

Guatemala, mayo de 2022

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO
DE FABRICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL SISTEMA SMED
EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ACERO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE
ESCUINTLA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

WILFRED IVÁN CUC SOSOF
ASESORADO POR EL PH.D. SANTOS CUC MORALES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, MAYO DE 2022

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. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADORA	Ing. Nora Leonor García Tobar
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 PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL SISTEMA SMED EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ACERO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado con fecha 27 de julio de 2021.



Wilfred Iván Cuc Sosof

Ref. EEPFI-0920-2021
Guatemala, 27 de julio de 2021

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: PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL SISTEMA SMED EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ACERO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Wilfred Iván Cuc Sosof** carné número **200715126**, 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, fimo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Atentamente,


Dr. Santos Cuc Morales
Administración Pública y Políticas Públicas
Callejón No. 6307
Mtro. Santos Cuc Morales
Asesor

"Id y Enseñad a Todos"


Mtro. Carlos Humberto Aroche
Coordinador de Maestría
Gestión Industrial – Fin de Semana




Mtro. Edgar Dario Alvarez-Coti
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería





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: **PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL SISTEMA SMED EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ACERO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Wilfred Iván Cuc Sosof, 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



Firmada digitalmente por Cesar Ernesto Urquizu Rodas
Motivo: Ingeniero Industrial
Ubicación: Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería
Mecánica Industrial, USAC
Colegiado 4.272

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

Guatemala, julio de 2021

LNG.DECANATO.OI.364.2022

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 PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN MEDIANTE EL SISTEMA SMED EN UNA PLANTA PROCESADORA DE ACERO UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE ESCUINTLA, GUATEMALA**, presentado por: **Wilfred Iván Cuc Sosof**, después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada ★

Decana

Guatemala, mayo de 2022

AACE/gaoc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por haberme permitido realizar una más de mis metas.
- Mis padres** Santos Cuc y Olga Sosof, por su amor incondicional, su esfuerzo y sacrificio durante toda mi vida estudiantil y por ser mi guía en este camino. Mi eterno agradecimiento.
- Mi esposa** Natalí Vásquez, por su compañía, el amor y cariño brindado, por su paciencia y comprensión en cada momento difícil, el apoyo incondicional y sobre todo por creer siempre en mí.
- Mis hermanos** Werner, William, Wendy Cuc, por su cariño, apoyo y compañía durante todas las etapas de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser la <i>alma mater</i> que me permitió nutrirme de conocimientos y por la que siempre estaré orgulloso de pertenecer.
Facultad de Ingeniería	Por proporcionarme los conocimientos que me han permitido realizar este trabajo de graduación.
Empresa privada	Por haberme brindado la información necesaria para realizar este diseño de investigación.
Mi asesor y padre	Ph.D. Santos Cuc Morales, por haberme guiado durante el trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
3.1. Contexto general	9
3.2. Descripción del problema	10
3.3. Formulación del problema	12
3.3.1. Pregunta central	12
3.3.2. Preguntas auxiliares	12
3.4. Delimitación del problema	12
4. JUSTIFICACIÓN	13
5. OBJETIVOS	15
5.1. General.....	15
5.2. Específicos	15
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN	17
7. MARCO TEÓRICO.....	19

7.1.	Industria del acero.....	19
7.1.1.	Historia	19
7.1.2.	Actualidad.....	21
7.2.	Proceso de fabricación del acero	21
7.2.1.	Reducción	21
7.2.1.1.	Acería	22
7.2.1.1.1.	Fase de fusión.....	22
7.2.1.1.2.	Fase de afino.....	22
7.2.1.1.3.	Colada continua	23
7.2.2.	Laminación	24
7.2.2.1.	Tren de laminación	25
7.3.	Fabricación de materiales de construcción	27
7.4.	Optimización	30
7.5.	Lean Manufacturing.....	31
7.5.1.	Despilfarro	32
7.5.1.1.	Tipos de despilfarros	32
7.5.1.1.1.	Sobreproducción	33
7.5.1.1.2.	Tiempo de espera	33
7.5.1.1.3.	Transporte	33
7.5.1.1.4.	Proceso	33
7.5.1.1.5.	Existencias (stock)	34
7.5.1.1.6.	Movimientos	34
7.5.1.1.7.	Defectos en los productos.....	34
7.6.	SMED.....	35
7.6.1.	Pasos básicos en el procedimiento de preparación	36

7.6.1.1.	Preparación, ajuste post-proceso, comprobación de materiales, herramientas, etc.	37
7.6.1.2.	Montaje y desmontaje de cuchillas, herramientas, etc.	37
7.6.1.3.	Pruebas y ajustes	37
7.6.2.	Etapas conceptuales	38
7.6.2.1.	Etaa preliminar.....	38
7.6.2.2.	Primera etapa: Separación de la preparación interna y externa	38
7.6.2.3.	Segunda etapa: Convertir la preparación interna en externa	39
7.6.2.4.	Tercera etapa: Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación.....	40
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	41
9.	METODOLOGÍA	43
9.1.	Características del estudio	43
9.1.1.	Enfoque	43
9.1.2.	Alcance.....	43
9.1.3.	Diseño	44
9.2.	Unidades de análisis	44
9.3.	Variables.....	44
9.4.	Fases del estudio	47

10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	51
11.	CRONOGRAMA	53
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	55
13.	REFERENCIAS	57
14.	APÉNDICE	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Esquema de solución	18
2.	Palanquilla en su etapa de conformado y posterior corte.....	24
3.	Proceso de conformación mecánica en caliente.....	25
4.	Tren de laminación.	26
5.	Proceso de laminación, formado de espiras.....	27
6.	Operación de trefilado con varias hileras para alambre.....	29
7.	Esquema de aplicación de SMED en el ciclo productivo	36
8.	Pasos en un proceso de preparación de máquinas.....	36
9.	Cronograma.....	53

TABLAS

I.	Operacionalización de variables	44
II.	Presupuesto.....	56

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
\$	Dólar estadounidense
°C	Grados Celsius
G	Grado
h	Horas
=	Igual que
lb	Libra
lb/plg²	Libra por pulgada cuadrada
min	Minutos
%	Porcentaje
plg²	Pulgada cuadrada
Q	Quetzales

GLOSARIO

Acero corrugado	Barras de acero con estrías o resaltos discontinuos que refuerzan la adherencia al concreto.
Acería	Fábrica de acero.
Acero grafilado	Alambre de acero trabajado en frío mediante trefilado.
Cascarilla	Capa delgada de óxido de hierro que cubre la superficie del acero laminado en caliente.
Desbaste	Proceso de rebajar un material hasta un volumen definido.
Decapado	Eliminación de impurezas por medio de un tratamiento superficial.
Escoria	Sustancias formadas por impurezas que flotan en la superficie de los hornos metalúrgicos.
Límite de fluencia	Indica la fuerza a partir de la cual el acero se deformará de forma permanente.
Malla electro soldada	Estructura fabricada de barras de acero grafilado, unidas por soldadura eléctrica y que forman un ángulo de 90° entre sí.

Muda	Término japonés que significa inutilidad o despilfarro.
Output	Resultado final de un proceso productivo.
OEE	Indicador de la Eficiencia Global de los Equipos por sus en inglés.
Prefabricados	Elementos para la construcción ensamblados entre sí en una fábrica distinta a la de su ubicación final.
Palanquilla	Pieza de acero fundido con sección transversal normalmente cuadrada.
Resistencia a la tracción	Indica la fuerza máxima a la que se puede someter un material antes de romperse.
Trefilado	Proceso de estiramiento y reducción del área transversal de un material al pasarlo por un orificio cónico.

RESUMEN

La metodología SMED es una herramienta que se utiliza para optimizar el tiempo de preparación entre lotes de producción, consiste en observar, medir y definir cada actividad como interna o externa. Luego se analiza cada actividad que no aportan valor y se busca eliminarlas o en su defecto reducirlas y pasarlas de actividades internas a actividades externas.

Luego de la aplicación de la herramienta SMED se obtienen resultados positivos los cuales se han evidenciado en diversos proyectos llegando a alcanzar un 70 % de reducción en el tiempo de preparación. Casos como estos se describen dentro de los antecedentes del proyecto a presentar.

En el diseño de investigación a presentar se desarrollará una guía para la aplicación de la herramienta SMED en un proceso de fabricación de materiales para construcción. Para esto se definirán objetivos a alcanzar, como la descripción de la situación actual con lo cual se definirán los tiempos de preparación actuales y que servirá para obtener la mejora esperada al aplicar la propuesta a plantear.

Para el segundo objetivo se busca aplicar la metodología SMED para definir las actividades que no aportan valor al proceso y con esto elaborar una propuesta para reducir el tiempo de preparación entre lotes de producción. En el tercer y último objetivo se realiza una encuesta de satisfacción donde se validarán los procedimientos propuestos luego de aplicar la herramienta SMED.

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo a presentar es una sistematización, considerando que se busca establecer un mecanismo para la optimización de tiempos en el proceso de fabricación de materiales de construcción enfocado en la producción de malla electro soldada al considerarlo como uno de los procesos en los cuales el tiempo de preparación entre un producto y otro son extensos y que afectan directamente en los tiempos de entrega, por lo que al optimizar el tiempo de preparación se tendrá una mayor eficiencia en el proceso productivo mejorando la respuesta a los clientes.

El sistema SMED (Single-Minute Exchange of Die) aplicado en la línea de producción de malla electro soldada, busca mediante el análisis y distribución del trabajo disminuir los mudas, desperdicios o actividades que no agregan valor y así reducir los tiempos de cambio o preparación que cada persona lleva a cabo mientras se desarrolla el montaje de un producto a otro. Luego de la aplicación del sistema SMED se espera la mejora en la eficiencia de la máquina (OEE), con lo que el cliente se verá directamente beneficiado al poderle ofrecer mejores tiempos de respuesta a sus solicitudes de productos y la empresa se beneficiará con la reducción de los costos hora-hombre y hora-máquina.

El esquema de solución que se ensayará en este trabajo constará de seis fases, en la primera se realizará un análisis de la situación actual para conocer a detalle sobre el proceso que conlleva el tiempo de preparación, como segunda fase se presentará el diagnóstico en donde se determinarán los problemas que afectan al proceso de producción. Para la tercera fase se medirán las actividades de preparación, para luego determinar las actividades externas e internas como cuarta fase. En la quinta fase se trabajará en convertir las actividades internas en

externas y para finalizar en la sexta fase se estandarizará el procedimiento creado.

El informe final se dividirá en cuatro capítulos: el primero describe el marco teórico el cual fundamenta problema a tratar por medio de estudios, trabajos de investigación, libros entre otros. En el segundo capítulo se desarrolla la investigación sobre la propuesta del sistema SMED que se aplicaría al proceso de fabricación de malla electro soldada; en el tercer capítulo se presentan los resultados obtenidos de la propuesta a presentar y por último en el cuarto capítulo se dedica a la discusión de los resultados obtenidos en el tercer capítulo.

2. ANTECEDENTES

Los resultados obtenidos en diversas industrias al aplicar la metodología SMED son convincentes para su implementación, tal como se muestra en la investigación denominada “Aplicación de la técnica SMED en el procedimiento de cambio de tintas de la referencia bolsa kraff colanta entera 3c a bolsa kraff amtex tannus 2C” publicada en la revista “Publicaciones e Investigación” donde Pantoja y Castrillón (2017) describe:

Sus datos iniciales de los cinco cambios tomados del 2015 como punto de partida donde esto consumía un promedio por cambio de 127.4min. (...) y que al aplicar la herramienta SMED y separar y estandarizar las actividades internas de las actividades externas se encuentra una reducción del tiempo por cambio de tintas de la referencia bolsa Kraff Colanta Entera 3C a bolsa Kraff Amtex Tannus 2C, de 64 minutos, un 50.6 % con relación al método inicial. (pp. 122-123)

Durante la etapa preliminar de esta implementación exitosa, Pantoja y Castrillón (2017) por medio de una gráfica “muestran la tendencia de las actividades que ocupan el mayor tiempo en el cambio” (pp. 122-123), con esto se facilita la visualización de las actividades que se deber reducir o eliminar. Este tipo de gráficas se tomarán como referencia para la implementación del SMED en el proceso de fabricación de materiales de construcción.

El porcentaje de reducción logrado en la implementación anterior no es un logro aislado al aplicar esta técnica, y esto se soporta con el trabajo publicado en las “Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals

Celaya 2020”, denominado “Implementación del Sistema SMED en los Cambios de Versión en una Estación de Trabajo de Corte” en el cual Medina, Alvarado, Gutiérrez, González y Yáñez (2020) muestran:

Al concluir las etapas de implementación de la metodología SMED se disminuyó el tiempo de cambio de versión en la máquina de corte de 78.65 minutos a un tiempo de 21 minutos, (...) un 73.3 % con respecto al tiempo original que se tenía durante el proceso de cambio de versión. (p. 1516)

Es necesario subrayar el aporte hacia el proyecto a realizar sobre esta última publicación donde se menciona lo importante que es el involucramiento, capacitación y liderazgo de las áreas o departamentos de servicio para lograr el objetivo de mejorar los tiempos de preparación o cambios de versión y así lo evidencia Medina et al. (2020) al mencionar en el documento lo siguiente:

Habiendo terminado lo detallado (...) se realizó una reunión con la gente involucrada en los cambios de versión, es decir, con los operadores, líderes y técnicos. En esta reunión se les explico lo que se había realizado, se les mostro como estaban las bases de datos, ¿cuál era su finalidad?, se les capacitó para que aprendieran a usar las bases de datos principalmente a los técnicos quienes son los que tiene más interacción con ellas. (p.1519)

García (2020) en su investigación denominada “Implementación de la herramienta de manufactura esbelta (SMED) en un departamento de costura, para reducir tiempos muertos” también nos demuestra como la mano de obra es el principal recurso de toda empresa y el responsable del éxito o fracaso de la implementación y lo describe de la siguiente manera:

En esta investigación se determinó que el lead time total por cambio de estilo se redujo de 17,38 a 7,08 horas, equivalente a un 59 % de mejora. Se tomó como parámetro el lead time, ya que es el tiempo total necesario para hacer el cambio de estilo, desde el estilo anterior hasta la finalización de todos los cambios para el nuevo estilo colocado en la línea de producción. Se determinaron las causas que afectaban en el tiempo muerto del estilo entrante. No existía buena coordinación en el departamento de mantenimiento y producción para la realización de ajustes de máquinas previos a un cambio, así como que había desconocimiento técnico del estilo, por lo que las causas de los retrasos en los cambios se debían a factores de mano de obra y método. (p. 102)

Otro caso exitoso en la implementación de la técnica SMED es el descrito en la “Revista de Ingeniería Industrial” en el caso de estudio “Reducción de tiempos de espera en el cambio de modelo mediante la aplicación de la herramienta SMED” en el cual Martínez (2019) detalla el logro obtenido en función de la productividad la cual al inicio de este proyecto fue de 68 % (...), posteriormente como resultado de la aplicación sistemática de la metodología desarrollada, se logró incrementar al 86 % (...).

Esta mejora en los tiempos de preparación tienen una relación directa con el ahorro monetario considerando que se dejaban de fabricar 1500 libras por el tiempo de preparación y así lo describe Martínez (2019) en sus conclusiones afirmando que se obtuvo un impacto monetario significativo, puesto que las 1500 libras retrasadas por turno corresponden a \$692.31 USD (\$1384.62 USD por día), gasto que a partir de la aplicación del proyecto dejó de representar una pérdida para la empresa y el inicio de una filosofía de trabajo orientada a la reducción de desperdicios y la mejora continua de todos sus procesos.

En este último caso en estudio se analiza el valor monetario que representan los resultados obtenidos de la aplicación SMED, información importante que justifica su implementación, algo similar describe Arboleda (2017), con la implementación de la metodología SMED la empresa podrá reducir los tiempos de preparación en el proceso de cambio de moldes de la maquina 2 en un 66.77 % (439 623 unidades/año, aproximadamente), lo que generaría mayor capacidad de respuesta y un aumento de sus utilidades. Igualmente, la empresa obtendría un ahorro de por lo menos \$ 3, 041,000 al año (teniendo en cuenta el salario del presente año), sin olvidar que su costo de producción bajaría por lo menos \$ 1 por unidad, solo considerando la máquina en la que se aplicaría la mejora del proceso.

Tal como se evidencia en los casos descritos, los beneficios directos de la aplicación de la herramienta son la reducción de tiempos, el ahorro y la reducción de costos, de manera indirecta pero no menos importantes se tienen los siguientes beneficios que define Arboleda Zúñiga & Rubiano del Chiaro (2017) como:

- Mayor flexibilidad sin necesidad de mantener grandes inventarios.
- Mayor capacidad de respuesta en el servicio al cliente, en la medida en que puede alcanzar ciclos más cortos en fabricación por la introducción de pequeños lotes de producción.
- Disminución en los tiempos de preparación o alistamiento y tiempos ociosos en las máquinas y los equipos.
- Mejoramiento en el desempeño del indicador de productividad, al incrementarse el output y disminuirse la utilización de los recursos productivos (pág. 115).

Como evidencia a uno de los puntos anteriores donde Arboleda Zúñiga & Rubiano del Chiaro (2017) indica que uno de los beneficios de la aplicación de la metodología SMED es la mayor capacidad de respuesta en el servicio al cliente, en la medida en que puede alcanzar ciclos más cortos en fabricación por la introducción de pequeños lotes de producción. Se encontraron los resultados obtenidos por Mendoza (2020) en su investigación denominada “Aplicación de la metodología SMED para mejorar la productividad del área de impresión del departamento de etiquetas en una industria de productos plásticos agroindustriales” en donde además de obtener un incremento en la productividad, se aumentó la cantidad de órdenes de producción en un mismo periodo y la autora lo detalla de la siguiente manera: Se incrementó la productividad del área al aplicar la metodología SMED reduciendo en un 30.51 % las horas de cambio, esto significa una reducción en el tiempo muerto equivalente a 40.80 días; lo que generó una mayor capacidad de respuesta y aumento en las utilidades, lo cual se demuestra con las 129 órdenes más que se realizan después de implementada la metodología. La información para los resultados se obtuvo del sistema utilizado por el área de impresión para las bitácoras de paro.

Continuando con el proyecto elaborado por Arboleda Zúñiga y Rubiano del Chiaro (2017) en la tercera etapa de la implementación menciona: Si en esta etapa se dispusiera de un equipo de mantenimiento consolidado o, por lo menos, de un operario de planta capacitado que apoyara las demás actividades externas que demoran la operación de cambio de moldes, se reduciría el tiempo que se pierde cuando se espera para continuar la operación de un día a otro, pues sería una operación continua sin tiempo de espera para seguir el proceso de montaje del siguiente molde. Esta parte orienta a tener en cuenta la capacitación de una persona extra de otra área para el apoyo durante el tiempo de preparación con el objetivo de seguir disminuyendo el tiempo de preparación.

SMED como otros tipos de técnicas que corresponden a la filosofía de lean manufacturing, tienen como objetivo mejorar la rentabilidad de la empresa, y cada punto que menciona Arboleda (2017) aporta lo necesario para alcanzar dicho objetivo.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La industria de la construcción con el pasar de los años va buscando nuevas formas de hacer eficiente el uso de sus principales productos, que son el hormigón o concreto y el acero que una vez mezclados aporta su mejor característica para obtener estructuras fuertes y sólidas.

Considerando el contexto del trabajo a presentar, se le dará principal atención al acero para refuerzo de concreto, el cual según Frometa Salas y Delas Magdaleon (2009) “es una aleación de carbono con el hierro, de un contenido de carbono entre 0.1 y 1.9 % y puede tener más aleaciones como el azufre, fósforo, manganeso, silicio” Todos estos elementos le brindan diversas características al material, pero principalmente aportan a la resistencia del acero que técnicamente se conoce como límite de fluencia y resistencia de tracción, propiedades importantes cuando se habla de acero para la construcción.

En el mercado guatemalteco actualmente existe el acero normal y el acero de alta resistencia ambos para refuerzo de concreto, estos se diferencian por su límite de fluencia, el primero resiste hasta 60,000 lb/plg² y el segundo hasta 75,000 lb/plg².

Esta propiedad del acero ha hecho que en las últimas décadas el acero de alta resistencia para refuerzo de concreto haya tenido un auge importante al demostrar que se pueden obtener mejores resultados en un área de acero menor, logrando así una disminución en el peso a utilizar y un ahorro económico

considerable, muestra de esto es el análisis comparativo realizado en el trabajo Uso de varillas de alta resistencia (grado 80) en la construcción de edificios mediante sistemas estructurales duales donde Nieto y Perez (2015) realizan un cuadro comparativo donde se analiza el uso de la varilla de acero corrugada en grado 60 y grado 80 (alta resistencia) en la construcción de un edificio de 5, 7 y 10 pisos, teniendo como resultado un ahorro del 19.60 %, 21.90 % y 33.57 % respecto al costo de la construcción con una varilla de acero corrugada grado 60.

La empresa guatemalteca en estudio se dedica al procesamiento del acero de alta resistencia para refuerzo de concreto y fabricación de armaduras para elementos prefabricados, entre sus productos se encuentran las varillas de acero de alta resistencia, las cuales a su vez forman las armaduras electro soldadas de tipo mallas, joist, columnas, soleras y cimientos.

3.2. Descripción del problema

De los productos que se fabrican en la planta procesadora de acero, el que mayores volúmenes de producción representa es la malla electro soldada con más del 60 % del peso total fabricado mensualmente, además de esto se debe considerar que este producto se comercializa tanto en el mercado local como en el mercado internacional, lo que obliga a tener un nivel de competencia alto, tanto en calidad como en tiempo de entrega.

Sin embargo, en la actualidad el problema principal de la planta de producción es la lentitud en el tiempo de entrega de nuevos pedidos, derivado de los diversos despilfarros o mudas que afectan al proceso de producción, principalmente durante el tiempo de preparación. Ante esta problemática, la empresa debe migrar a un proceso de producción ágil.

Para comprender la situación se debe conocer que el tiempo de fabricación de la malla electro soldada se divide en dos partes, la primera es el tiempo de preparación que da inicio desde el momento en el que sale la última unidad buena del producto anterior y finaliza al fabricar la primera unidad buena de la malla a producir, a partir de este momento inicia la segunda parte que es el tiempo de funcionamiento y finaliza al fabricar la última unidad en buen estado del producto que se está fabricando.

La metodología SMED a aplicar se enfoca en el tiempo de preparación al considerar que este puede reducirse a un tiempo menor a 10 minutos, aunque en algunos casos la aplicación no llega hasta ese valor numérico, se han encontrado casos que llegan a reducir poco más del 70 % del tiempo de preparación inicial como el publicado en las Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2020, denominado Implementación del Sistema SMED en los Cambios de Versión en una Estación de Trabajo de Corte en el cual Medina (2020) muestra que al concluir las etapas de implementación de la metodología SMED se disminuyó un 73.3 % con respecto al tiempo original que se tenía durante el proceso de cambio de versión.

Con estos precedentes se espera una reducción considerable de los tiempos de preparación que actualmente sobrepasan los 180 minutos, equivalentes a un 25 % del tiempo disponible en un turno de 12 horas, y que representan al menos 700 unidades de producto que se dejan de fabricar cada vez que se lleva a cabo un cambio de producto. Esto trae como consecuencia que se consideren lotes grandes de producción para mejorar el rendimiento de la máquina, pero manteniendo un alto stock de productos. Y como principal consecuencia genera clientes inconformes y hasta pérdida de los mismos por los tiempos largos de respuesta ante sus requerimientos.

3.3. Formulación del problema

Para lograr el objetivo de la investigación se encontrarán respuestas a las interrogantes presentadas a continuación.

3.3.1. Pregunta central

¿Cuál es el procedimiento para la optimización del proceso de fabricación de materiales de construcción utilizando el sistema SMED?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es la situación actual del proceso de fabricación de materiales de construcción en la planta procesadora de acero?
- ¿Cuáles son los procesos adecuados para la optimización de los tiempos de preparación para la producción de materiales de construcción adaptados a la herramienta SMED?
- ¿Cómo validar los procedimientos de la herramienta SMED aplicados a los tiempos de preparación?

3.4. Delimitación del problema

El diseño de investigación se realizará en la línea de producción de armaduras electro soldadas de una empresa procesadora de acero ubicada en el departamento de Escuintla, durante el período de marzo del año 2021 a noviembre del año 2021.

4. JUSTIFICACIÓN

El diseño de investigación a presentar se encuentra bajo la línea de investigación Optimización de Operaciones y Procesos de la Maestría en Gestión Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala, al ser una metodología que tiene como objetivo mejorar el tiempo de preparación de un lote de producción hasta un nivel menor a 10 minutos.

El diseño de la propuesta de optimización del proceso de fabricación de materiales de construcción es importante para mejorar los tiempos de respuesta a los clientes ya que en un mercado en donde se compite contra empresas nacionales y extranjeras, no solo la calidad y los precios atraen y mantienen a los clientes, es necesario además ofrecer tiempos de entrega cortos, y para esto se necesita un proceso de producción flexible en el que se puedan fabricar lotes pequeños de manera óptima.

Para lograr que el proceso de producción sea flexible es necesario optimizar el tiempo de preparación para lo cual se utilizará la metodología SMED; al aplicar esta metodología se conocerán las distintas actividades que no generan valor dentro del proceso, para las cuales se buscará la forma de eliminarlas en su totalidad o en su defecto reducirlas al menor tiempo posible.

Luego de la aplicación de la metodología SMED al proceso de producción de mallas electro soldadas, se obtendrá un proceso de preparación estandarizado con una distribución de actividades para disminuir la fatiga por sobrecarga de trabajo durante el tiempo de preparación.

Se conseguirá también la reducción del costo de producción al incrementar la producción en un mismo intervalo de tiempo. Al demostrar los beneficios de la implementación se espera dejar un precedente para la aplicación en otras máquinas que cuenten con un tiempo de preparación considerablemente elevado.

Dentro de los beneficiarios de la aplicación de la metodología se encuentran, la empresa, al tener menos tiempo detenida la máquina por preparación de lotes y así incrementar las unidades producidas durante un período de tiempo, los colaboradores al brindarles herramientas que les faciliten el trabajo, las jefaturas de la planta de producción a quienes se les presentarán las propuestas de implementación con herramientas metodológicas para mantener la optimización del proceso productivo. El investigador obtendrá beneficios intelectuales al obtener la experiencia de la aplicación de una herramienta de Lean Manufacturing que se adapta a cualquier tipo de industria.

5. OBJETIVOS

5.1. General

Optimizar el proceso de fabricación de materiales de construcción mediante la aplicación del sistema SMED en una planta procesadora de acero ubicada en el departamento de Escuintla.

5.2. Específicos

- Diagnosticar la situación actual del proceso de fabricación de materiales de construcción en la planta.
- Desarrollar los procesos para la optimización de los tiempos de preparación para la producción de materiales de construcción adaptados a la herramienta SMED.
- Validar los procedimientos de la herramienta SMED aplicados a los tiempos de preparación.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN

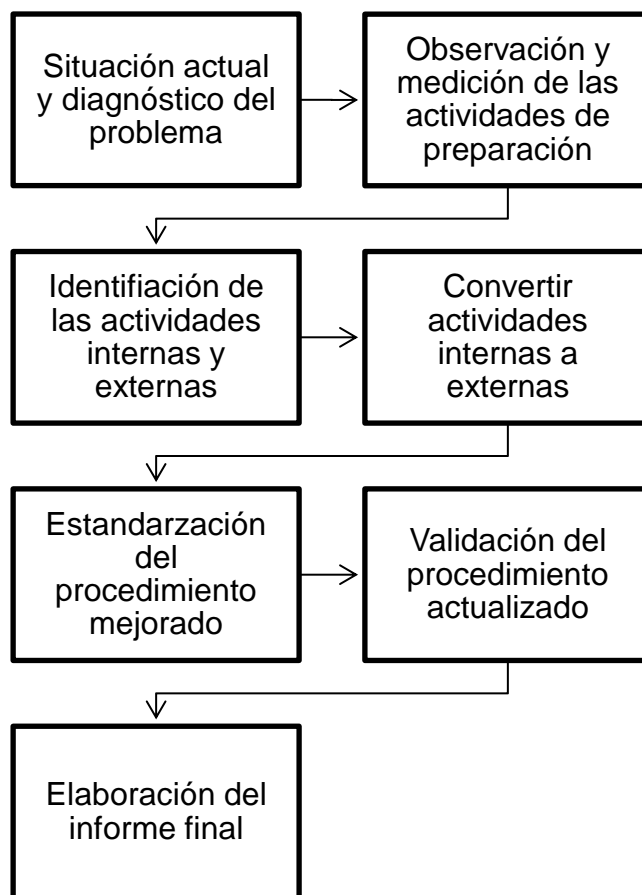
Con el diseño de investigación a realizar se pretende cubrir la necesidad de optimizar el proceso de fabricación de materiales de construcción, y para esto se utilizará la metodología SMED que mediante la identificación de actividades que no agregan valor al proceso de producción se obtendrá una reducción en los tiempos de preparación que actualmente no se tiene estandarizados.

El esquema de solución a realizar constará principalmente de seis fases, iniciando la primera fase con la situación actual y el diagnóstico del problema donde se describirá a detalle las características del proceso al cual se aplicará la metodología SMED para comprender el contexto en el cual se desarrollará la investigación, así también se determinarán las causas que afectan al problema central. En la segunda fase por medio de la observación y medición se registrarán las diversas actividades que intervienen durante el tiempo de preparación.

En la tercera fase se inicia con el desarrollo de la metodología SMED y para esto se deberán clasificar y separar las actividades del tiempo de preparación que suceden mientras la máquina esté trabajando, denominadas externas y las que se realizan hasta que la máquina esté detenida, denominada interna. Al tener clasificadas las actividades se pasa a la fase cuatro en la que se evaluará cada actividad interna con el objetivo de convertirlas en actividades externas. Sin embargo, al tener actividades internas que no se puedan pasar a externas, se realizará un análisis para reducir el tiempo al menor posible.

Luego de haber trabajado en las actividades externas e internas se habrá logrado reducir el tiempo de preparación y será necesario trabajar en la fase cinco que corresponde a estandarizar el nuevo proceso de preparación para que el personal tenga una guía adecuada de la forma correcta de hacer las cosas. Para finalizar, en la sexta fase se realizará una validación del procedimiento estandarizado con el personal responsable de la máquina y los encargados de la planta de producción con el objetivo de obtener su apreciación ante la implementación de la metodología SMED. En la figura 1 se muestra el esquema de solución.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

En este apartado se proporciona información de fuentes bibliográficas para comprender el contexto del diseño de investigación, se abordarán temas de la industria del acero, del proceso de fabricación de materiales de construcción, así como también sobre la metodología SMED aplicable al proceso productivo.

7.1. Industria del acero

Para entender el proceso que lleva la fabricación de los materiales de construcción se iniciará partiendo de la historia del acero.

7.1.1. Historia

La historia del acero se detalla en el libro “El Estado y la globalización en la industria siderúrgica mexicana” donde (Gonzalez Chavez, 2008) menciona:

Los primeros utensilios de hierro descubiertos por los arqueólogos en Egipto datan del año 3.000 a.C., y se sabe que antes de esa época se empleaban adornos de hierro. Adicionalmente, los griegos ya conocían hacia el 1.000 a.C., la técnica para endurecer armas de hierro mediante tratamiento térmico.

Las producidas por los primeros artesanos del hierro, y todas las aleaciones de hierro fabricadas hasta el siglo XIV d.C., se clasificarían en la actualidad como hierro forjado. Es importante destacar que para

producir esas aleaciones se calentaba una masa de mineral de hierro y carbón vegetal en un horno o forja con tiro forzado.

Ese tratamiento reducía el mineral a una masa esponjosa de hierro metálico llena de una escoria formada por impurezas metálicas y cenizas de carbón vegetal. Esta esponja de hierro se retiraba mientras permanecía incandescente y se golpeaba con pesados martillos para expulsar la escoria y soldar el hierro.

El hierro producido en esas condiciones solía contener un 3 % de partículas de escoria y un 0.1 % de otras impurezas. En ocasiones, esta técnica de fabricación producía accidentalmente auténtico acero en lugar de hierro forjado. Los artesanos del hierro aprendieron a fabricar acero calentando, hierro forjado y carbón vegetal en recipientes de arcilla durante varios días, con lo que el hierro absorbía suficiente carbono para convertirse en acero auténtico.

Después del siglo XIV se aumentó el tamaño de los hornos utilizados para la fundición y se incrementó el tiro para forzar el paso de los gases de combustión por la carga o mezcla de materias primas. En estos hornos de mayor tamaño, el mineral de hierro de la parte superior del horno se reducía a hierro metálico y a continuación absorbía más carbono como resultado de los gases que lo atravesaban. El producto de estos hornos era el llamado arrabio, una aleación que se funde a una temperatura menor que el acero o el hierro forjado. El arrabio se refinaba después para fabricar acero. (p. 182)

7.1.2. Actualidad

De acuerdo a Gonzalez Chavez (2008):

La producción moderna de acero emplea altos hornos que son modelos perfeccionados de los usados antiguamente. Desde 1960 empezaron a funcionar hornos más pequeños que empleaban electricidad para también producir acero a partir de chatarra. Sin embargo, las grandes instalaciones de altos hornos y la innovación en las plantas siderúrgicas siguen siendo esenciales para producir acero a partir de mineral de hierro y ambas tecnologías son indispensables en el mundo actual. (p. 183)

7.2. Proceso de fabricación del acero

Este proceso complejo parte de su principal componente, el hierro. Y al pasar por cada uno de los pasos descrito a continuación, va formando la estructura del acero.

7.2.1. Reducción

De acuerdo a Muñoz (2012):

El primer paso para la producción de acero se realiza con la reducción del mineral de hierro en presencia de carbón coque y caliza, generalmente el hierro se presenta en la naturaleza de manera abundante en forma de hidróxidos de hierro; este proceso se lleva a cabo en el Alto Horno y su producto se conoce como arrabio. (p. 22)

7.2.1.1. Acería

Continuando el proceso Muñoz (2012) indica:

El arrabio o la chatarra son los insumos para el siguiente paso, muchas veces se combinan en las acerías estos dos materiales para obtener aceros apropiados para cada aplicación y necesidad de los públicos interesados. Los tipos de acería más usados en el mundo son el convertidor básico al oxígeno y el horno eléctrico. Las siderúrgicas Semi-integradas contemplan un proceso de preparación de chatarra, la cual incluye selección, corte, fragmentación y compactación que busca mejorar la eficiencia de la fusión del acero. (p. 22)

Las siguientes dos fases pertenecen al proceso de acería:

7.2.1.1.1. Fase de fusión

La primera fase es la de fusión donde Muñoz (2012) describe:

En el proceso de fusión, que se realiza por la acción de un arco eléctrico, se agregan otras materias primas como caliza, coque y oxígeno para formar la escoria que elimina las impurezas, obteniendo un acero puro y homogéneo con la calidad requerida. (p.22)

7.2.1.1.2. Fase de afino

Esta segunda fase llamada afino según Muñoz (2012):

Se realiza en el horno cuchara. Inicialmente se reducen los elementos indeseables en la aleación. Y se adicionan ferroaleaciones con contenido de elementos aleantes requeridos de acuerdo al requisito de la especificación de cada tipo de acero como: cromo, níquel, molibdeno, vanadio, titanio, etc. Este proceso se repite hasta conseguir una colada homogénea de acero con las características químicas solicitadas. (p. 23)

Muñoz (2012) Continúa:

Durante el proceso acería, se controla la temperatura, homogeneidad, y se ajusta la composición química mediante el análisis químico de cada colada; este procedimiento se realiza por lo menos tres veces en espectrómetros de rápida interpretación para definir la composición y características de cada colada. (p. 23)

7.2.1.1.3. Colada continua

El proceso final de la acería es la colada continua la cual tiene como resultado la palanquilla (ver figura 2), según Muñoz (2012): “se obtiene a partir del vertido del acero líquido en moldes que poseen refrigeración y agitación controladas, con este mecanismo se obtiene acero en estado sólido y con las características de su macro estructura adecuadas para cada aplicación” (p. 23).

Figura 2. **Palanquilla en su etapa de conformado y posterior corte**



Fuente: Muñoz (2012). *Manual del acero Gerdau Diaco para construcciones sismo resistentes.*

7.2.2. Laminación

Luego de tener la palanquilla Muñoz (2012) nos explica lo siguiente:

Mediante un proceso de laminación en caliente, aproximadamente a 1.100 °C, la palanquilla se transforma en los productos comerciales como las Barras de Refuerzo, Alambrones y Perfiles. La laminación consiste entonces en la conformación mecánica del acero mediante el paso sucesivo a través de rodillos que reducen el tamaño de su sección. Este proceso se lleva a cabo mediante tres etapas: precalentamiento, calentamiento, desbaste, tren intermedio y tren y/o bloque acabador. (p. 24)

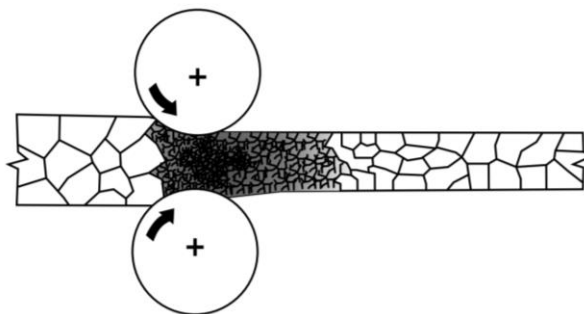
7.2.2.1. Tren de laminación

El siguiente proceso lo describe Muñoz (2012) de la siguiente forma:

El paso a través del tren de laminación permite transformar la palanquilla de sección cuadrada, al pasar por entre pares de rodillos que giran a la misma velocidad, pero en sentido contrario (ver figura 4). Así se reduce la sección transversal y se aumenta la longitud de la barra de acero en cada paso; este proceso aprovecha la propiedad de ductilidad del acero. Es por esto que las propiedades del producto dependerán mucho de la calidad (composición química) del acero que se utilice, así como de las condiciones (temperatura, velocidad, reducciones, acabado) en el proceso de laminación. Este proceso, se puede realizar en frío o en caliente.

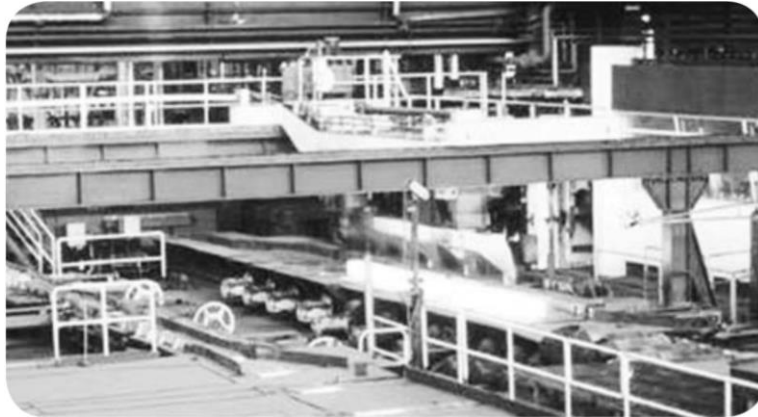
La laminación en caliente aprovecha el aumento de la ductilidad del material directamente proporcional a la temperatura, lo que ayuda al alivio de tensiones durante el proceso de conformación mecánica (ver figura 3). (p. 24)

Figura 3. **Proceso de conformación mecánica en caliente**



Fuente: Muñoz (2012). *Manual del acero Gerdau Diaco para construcciones sismo resistentes.*

Figura 4. **Tren de laminación**



Fuente: Muñoz (2012). *Manual del acero Gerdau Diaco para construcciones sismo resistentes.*

Continuando con el proceso de laminación Muñoz (2012) describe:

En el desbaste se producen las primeras deformaciones a la palanquilla acondicionándola para los siguientes pases, se eliminan asperezas y buena parte de la calamina (capa de óxido superficial). En el tren intermedio se deforma la barra de acero en diferentes tipos de secciones realizando las reducciones necesarias para ajustar la sección final al tipo de perfil y a las tolerancias deseadas. (p. 24)

Para finalizar este proceso Muñoz (2012) menciona:

En el tren de acabado se obtienen secciones uniformes mediante pasos finos que logran el acabado superficial y ajustan las tolerancias deseadas de cada producto.

El bloque acabador está presente en la conformación de alambrones, el bloque acabador consiste en una serie de rodillos que trabajan en una sola unidad cerrada ya que las barras pasan a grandes velocidades y están fabricados con materiales de gran dureza que dan el acabado y tolerancias dimensionales a los alambrones; posteriormente la barra pasa por el formador de espiras que logra espiras continuas que conformarán un rollo (ver figura 5). (p. 25)

Figura 5. **Proceso de laminación, formado de espiras**



Fuente: Muñoz (2012). *Manual del acero Gerdau Diaco para construcciones sismo resistentes.*

7.3. Fabricación de materiales de construcción

Tal como se describe en la sección anterior, el alambón en rollo es el producto final del proceso de laminación. Para la fabricación de materiales de construcción de la planta donde se realizará el estudio, este alambón es

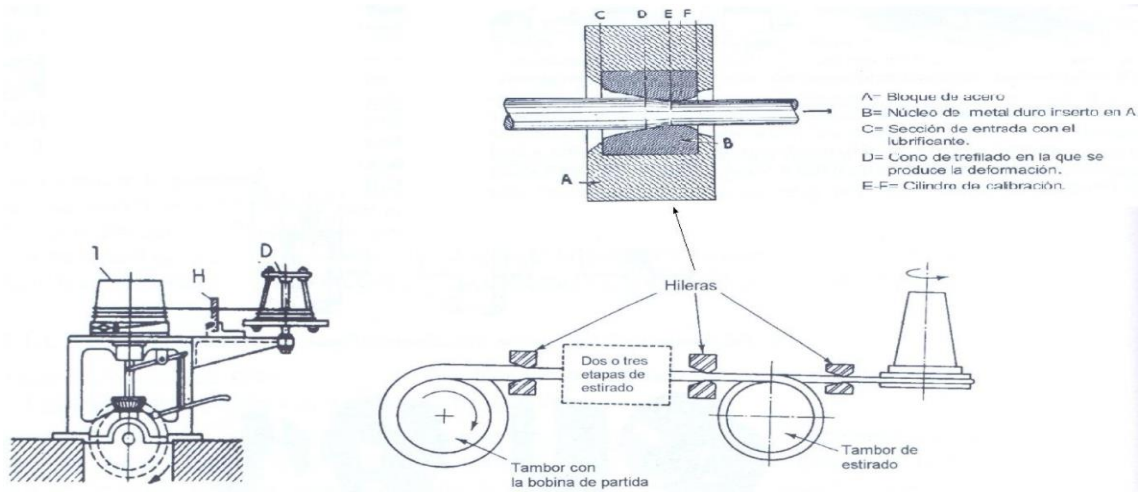
considerado como materia prima principal con el cual se obtiene la siguiente gama de productos que ofrece la planta:

- Alambres trefilados lisos y corrugados G70 y G75
- Barras de acero corrugadas para refuerzo de concreto G75
- Barras de acero lisas para refuerzo de concreto G40
- Mallas electrosoldadas para refuerzo de concreto G70
- Armaduras tipo Joist

Para fabricar estos productos, la materia prima debe pasar por el proceso de trefilado el cual DeGarmo, Black y Kohser (1994) describen como: un proceso continuo que tiene lugar a través de una sucesión de hileras. Se comienza por limpiar de cascarilla la materia prima, consistente en bobinas de material arrollado en caliente, mediante flexión mecánica, o bien por decapado y enjuagado. Una vez limpio el producto pasa luego por un baño de cal, o sufre cualquier otro tratamiento destinado a neutralizar la acidez remanente del decapado, a procurar una protección anticorrosiva y un soporte para el lubricante superficial. Entonces se afila un extremo del material, se introduce éste por una hilera y da comienzo al estirado. (p. 485)

En la siguiente figura Vila, Robero, García y Serrano (2005) esquematiza el proceso de trefilado:

Figura 6. Operación de trefilado con varias hileras para alambre



Fuente: Vila, et al., (2005). *Tecnología mecánica: metrología y procesos de conformado de metales sin arranque de viruta.*

Posterior al trefilado el material pasa al siguiente proceso que es el de electro soldado, en esta parte se forma la armadura joist y la malla electro soldada por medio de soldadura con resistencia eléctrica en cada punto de intersección.

Para efectos de esta investigación el enfoque será en el proceso de fabricación de malla electro soldada, para lo cual se debe conocer que esta se conforma por dos elementos a lo que se le denomina varilla transversal y varilla longitudinal, la primera pasa por un proceso de enderezado y corte para obtener una varilla totalmente recta y a la medida correcta para formar la malla; la segunda varilla proviene directamente del proceso de trefilado.

Al tener ambas varillas se hacen pasar por la máquina de electro soldado donde se les aplica corriente eléctrica en los puntos de unión para formar la malla electro soldada.

La malla electro soldada es de los principales productos de la marca, por lo que el enfoque estará en la optimización de su proceso y para lograrlo se aplicará una herramienta de la metodología Lean Manufacturing, pero antes de conocerla será necesario entender términos fundamentales que se describirán a continuación.

7.4. Optimización

Para comprender el concepto de optimización citamos a Duarte Muñoz, Pantrigo Fernández, y Gallego Carrillo (2007) quienes dicen: “el concepto de optimización se concibe como el proceso de intentar encontrar la mejor solución posible a un problema de optimización, generalmente en un tiempo limitado” (p. 1).

Por otra parte, García Hoz (1981) indica que la optimización “se reduce a la búsqueda de la solución más adecuada para conseguir determinado aprendizaje. Esta búsqueda de la solución más adecuada entre las existentes, la determinación del modo más idóneo para resolver un problema de entre los posibles” (p. 140).

Todos los autores coinciden en que el objetivo de la optimización es encontrar la manera de darle solución a una problemática con las opciones más apropiadas existentes y así obtener los mejores resultados posibles.

Al traer estos conceptos al contexto de la investigación, la solución más apropiada encontrada es la aplicación de la herramienta SMED, esta herramienta es uno de los cimientos de la filosofía Lean Manufacturing que definiremos en los siguientes puntos.

7.5. Lean Manufacturing

Según el autor Socconini (2019):

Lean Manufacturing (manufactura esbelta) es el nombre que recibe el sistema justo a tiempo (just in time) en occidente. También se denomina manufactura de clase mundial y sistema de producción Toyota.

Se puede definir como un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación del desperdicio o exceso, entendiendo como exceso toda aquella actividad que no agrega valor en un proceso, pero sí costo y trabajo. Esta eliminación sistemática se lleva a cabo mediante trabajo con equipos de personas bien organizadas y capacitadas. Debemos entender que Lean Manufacturing es una tarea incansable e ininterrumpida para crear empresas más efectivas, innovadoras y eficientes (Bodek). (p. 20)

Socconini (2019) concluye “El verdadero poder de Lean Manufacturing radica en descubrir continuamente las oportunidades de mejora que esconde toda empresa, pues siempre existirán desperdicios que podrán ser eliminados” (p. 20).

Rajadell Carreras y Sánchez (2010) en su libro Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad menciona:

El Lean Manufacturing tiene por objetivo la eliminación del despilfarro, mediante la utilización de una colección de herramientas (TPM, 5S, SMED, Kanban, Heijunka, Jidoka, etc.) que

se desarrollaron fundamentalmente en Japón. Los pilares del Lean Manufacturing son: la filosofía de la mejora continua, el control total de la calidad, la eliminación del despilfarro, el aprovechamiento de todo el potencial a lo largo de la cadena de valor y la participación de los operarios. (p. 1)

Al analizar los conceptos anteriores, ambos autores coinciden que una razón de ser de Lean Manufacturing es la eliminación del desperdicio o despilfarro, el cual definiremos.

7.5.1. Despilfarro

Según Rajadell y Sanchez (2010):

Se ha definido el despilfarro como todo aquello que no añade valor al producto, o que no es absolutamente esencial para fabricarlo. El valor se añade cuando las materias primas se transforman del estado en que se han recibido en otro estado de un grado superior de acabado que algún cliente está dispuesto a comprar. Cabe señalar que existen actividades necesarias para el sistema o proceso, pero sin valor añadido, y que no contribuyen a comunicar valor al producto o servicio. En este caso, estos despilfarros tendrán que ser asumidos. (p. 19)

7.5.1.1. Tipos de despilfarros

En Lean Manufacturing se han identificados siete tipos de despilfarros que se describe de la siguiente forma:

7.5.1.1.1. Sobreproducción

De acuerdo a Arbulo (2007) en este desperdicio:

Se supone anticipar producto no solicitado aún por el mercado, lo que redundaría en costes de personal, energía y otros relacionados con la producción, como stocks y espacios ocupados innecesariamente. Toyota llegó a la conclusión de que el exceso de producción es uno de los peores despilfarros que se dan con más frecuencia en las fábricas. (p. 26)

7.5.1.1.2. Tiempo de espera

“Está originado por la descoordinación o asincronía entre operaciones que tiene como consecuencia la espera de operarios y materiales” (Arbulo López, 2007, p. 26).

7.5.1.1.3. Transporte

“Una inadecuada distribución en planta puede dar lugar a que los materiales y productos recorran distancias excesivas e innecesarias, lo que puede redundar, además, en un mayor número de manipulaciones de dichos materiales” (Arbulo López, 2007, p. 26).

7.5.1.1.4. Proceso

El desperdicio por proceso lo describe Arbulo (2007) como:

Las actividades que componen los procesos deben alcanzar sus objetivos aplicando los mínimos recursos y el menor tiempo posible. Un método de trabajo inadecuado puede deberse a procesos con consumo innecesario de recursos, a la utilización de métodos insuficientemente eficientes, pérdidas derivadas del deficiente aprovechamiento de las economías de escala, la ausencia de normalización de productos, etc. (p. 27)

7.5.1.1.5. Existencias (stock)

“Es uno de los despilfarros más frecuentes e importantes y fuente indirecta del resto. Supone un coste adicional por el valor del producto, el espacio utilizado, los transportes, la manipulación, etc.” (Arbulo López, 2007, p. 27)

7.5.1.1.6. Movimientos

“Este tipo de despilfarro aparece como consecuencia de distancias excesivas e innecesarias entre los puestos de trabajo que debe ocupar un operario encargado de realizar varias operaciones. Otras situaciones similares son aquellas en que las personas se desplazan en busca de materiales, herramientas, pedidos y papeles” (Arbulo López, 2007, p. 27).

7.5.1.1.7. Defectos en los productos

“Los productos con defectos deben desecharse o reprocesarse, lo cual supone costes adicionales. Además, provoca desajustes en las líneas, como paros o esperas, y actividades que no añaden valor, por ejemplo, la detección de fallos” (Arbulo López, 2007, p. 27).

De acuerdo al análisis que realiza Rajadell Carreras y Sánchez (2010) en su libro “Lean Manufacturing. La evidencia de una necesidad” menciona dentro de sus propuestas de solución a la herramienta SMED, la cual es aplicable para la solución del despilfarro por sobreproducción y tiempo de espera.

Esta herramienta es el objeto de estudio en la presente investigación, por lo que se le dedicarán las siguientes páginas para su descripción.

7.6. SMED

Para entender esta herramienta de Lean Manufacturing, es necesario partir del significado de estas siglas las cuales según (Salado Ortiz, 2015): “proviene de la expresión inglesa Single-Minute Exchange of Dies que podemos traducir como Cambio de herramientas en un único minuto” (p. 301)

Es necesario aclarar según Salado Ortiz (2015) que:

SMED es un conjunto de técnicas que hacen posible llevar a cabo cambios de modelo, de formato, de producción en tiempos reducidos. La expresión literalmente dice un minuto, pero ello es más un ideal, en la mayoría de los casos que una realidad. Es pues, una técnica que puede llevar a cabo drásticas reducciones de tiempo en preparaciones de máquinas (ver figura 7). (p. 301)

Figura 7. **Esquema de aplicación de SMED en el ciclo productivo**



Fuente: Salado Ortiz (2015). *Control de la producción en fabricación mecánica*.

7.6.1. Pasos básicos en el procedimiento de preparación

Shingo (1993) en su libro “Una revolución en la producción: el sistema SMED” considera que el el proceso de preparación tiene una secuencia determinada, no importando el tipo de operación y lo describe en la siguiente figura:

Figura 8. **Pasos en un proceso de preparación de máquinas**

Operación	Proporción del tiempo
Preparación, ajustes post-proceso. y verificación de materiales, herramientas, troqueles, plantillas, calibres, etc	30%
Montar y desmontar herramientas, etc.	5%
Centiar, dimensionar y fijar otras condiciones	15%
Producción de piezas de ensayo y ajustes	50%

Fuente: Shingo (1993). *Una revolución en la producción: el sistema SMED*.

Shingo (1993) describe cada paso de la siguiente manera:

7.6.1.1. Preparación, ajuste post-proceso, comprobación de materiales, herramientas, etc.

Este primer paso sirve para asegurarnos de que todos los componentes y herramientas están donde deben y funcionando correctamente. También se incluye en este paso el período en el cual todos ellos, tras el anterior proceso, se retiran y guardan, se limpia la maquinaria, etc. (Shingo, 1993).

7.6.1.2. Montaje y desmontaje de cuchillas, herramientas, etc.

“Se incluye aquí la retirada de piezas y herramientas después de concluido un lote, y la colocación de las necesarias para el siguiente” (Shingo, 1993).

7.6.1.3. Pruebas y ajustes

En estas etapas, los ajustes se efectúan tras realizar una pieza de prueba. Los ajustes serán tanto más fáciles cuanto mayor sea la precisión de las medidas y calibraciones del aparato anterior.

La frecuencia y duración de las pruebas y ajustes dependen de la habilidad del ingeniero de preparación. La mayor dificultad de una operación del tiempo empleado en las pruebas deriva de los problemas de ajuste. Si queremos facilitar y reducir las pruebas y ajustes, el procedimiento más efectivo es incrementar la precisión de las mediciones y calibraciones realizadas en la etapa precedente (Shingo, 1993).

7.6.2. Etapas conceptuales

Las etapas conceptuales describen cada uno de los pasos a seguir para completar la implementación de la herramienta SMED.

7.6.2.1. Etapa preliminar

Esta etapa denominada Etapa Preliminar, Etapa 0 o Fase 0, es el inicio de la implementación de la herramienta SMED para lo cual Shingo (1993) nos dice que: “Al planificar cómo llevar a la práctica el sistema SMED, se deben estudiar en detalle las condiciones reales de la fábrica” (p. 31).

Para determinar la situación actual de la fábrica Shingo (1993) recomienda:

La grabación en video de la operación de preparación completa. Esto es extremadamente efectivo si el video se muestra a los trabajadores inmediatamente después de terminar la operación. Si se les proporciona la oportunidad de expresar sus opiniones, a menudo aparecerán ideas y matices útiles que en muchas ocasiones se pueden aplicar inmediatamente. (p. 32)

7.6.2.2. Primera etapa: Separación de la preparación interna y externa

Luego de determinar la situación actual Shingo (1993) indica que:

El paso más importante en la realización del sistema SMED es la diferenciación entre la preparación interna y la externa. Si hacemos

un esfuerzo científico para tratar la mayor parte posible de la operación de preparación como externa, el tiempo necesario para la preparación interna -realizada mientras la máquina no funciona- se reducirá usualmente entre un 30 % y un 50 %. El dominar la distinción entre preparación interna y externa es el pasaporte para alcanzar el SMED. (p. 32)

7.6.2.3. Segunda etapa: Convertir la preparación interna en externa

Para esta segunda etapa Shingo (1993) menciona que: “comprende de dos conceptos importantes”:

- Revaluación de operaciones para ver si algunos pasos están erróneamente considerados como internos.
- Búsqueda de formas para convertir esos pasos en externos

Shingo (1993) menciona un ejemplo:

Al citar el precalentado de elementos que anteriormente se calentaba dentro del proceso de preparación, y la conversión del centrado en un procedimiento externo al realizarlo antes de comenzar la producción. Algunas operaciones que ahora se llevan a cabo como preparación interna pueden a menudo ser convertidas en externas al examinar su verdadera función. Es extremadamente importante adoptar nuevos puntos de vista que no estén influenciados por viejas costumbres. (p. 33)

7.6.2.4. Tercera etapa: Perfeccionar todos los aspectos de la operación de preparación

De acuerdo a Shingo (1993) en esta tercer etapa:

Aunque el nivel de los diez minutos se puede alcanzar a veces simplemente convirtiendo la preparación interna en externa, no es así en la mayoría de los casos. Esta es la razón por la cual debemos concentrar esfuerzos para perfeccionar todas y cada una de las operaciones elementales que constituyen las preparaciones interna y externa. Consecuentemente, la tercera etapa necesitará un análisis detallado de cada operación elemental. (p. 33)

Para finalizar Shingo (1993) menciona que las etapas segunda y tercera no necesitan ser llevadas a cabo en ese orden, pudiendo ser prácticamente simultáneas. En el presente texto se han separado para mostrar el hecho de que incorporan dos conceptos diferentes: análisis y realización.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PREGUNTAS ORIENTADORAS

OBJETIVOS

RESUMEN DE MARCO METODOLÓGICO

INTRODUCCIÓN

1. MARCO TEÓRICO

- 1.1 Industria del Acero
 - 1.1.1 Historia
 - 1.1.2 Actualidad
- 1.2 Proceso de fabricación del acero
 - 1.2.1 Reducción
 - 1.2.2 Laminación
- 1.3 Fabricación de materiales de construcción
- 1.4 Optimización
- 1.5 Lean Manufacturing
 - 1.5.1 ¿Qué es Lean Manufacturing?
 - 1.5.2 Despilfarro
- 1.6 SMED
 - 1.6.1 ¿Qué es SMED?
 - 1.6.2 Pasos básicos en el procedimiento de preparación
 - 1.6.3 Etapas conceptuales

2. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN
3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

Se presenta la metodología de la investigación con el objetivo de describir el tipo de estudio, diseño, alcances, variables e indicadores, fases y resultados esperados.

9.1. Características del estudio

De acuerdo a la investigación a realizar se describe el enfoque, alcance y el diseño a aplicar para comprender las características del estudio.

9.1.1. Enfoque

El enfoque del estudio propuesto es Mixto, al considerar que cumple con ser un proceso secuencial y llevar a cabo una serie de etapas cada una precedente de la otra, es deductivo al analizar desde lo general a lo particular, además de utilizar estadística para analizar los datos recabados y así generar conclusiones con base fundamentada. También analiza la realidad objetiva por medio del análisis de causa-efecto.

9.1.2. Alcance

Se define el alcance como descriptivo al considerar que para lograr el objetivo de la investigación se recolectará información de cada variable relacionada al tiempo de preparación para describir sus características, generar mediciones con lo cual se logrará el análisis de la situación actual y así realizar propuestas de optimización del proceso.

9.1.3. Diseño

El diseño adoptado será no experimental, pues el investigador se enfocará en la observación del proceso tal como se presenta de manera natural para posteriormente analizarlo, no busca intervenir directamente en el objeto de investigación para no alterar los resultados. La información del proceso de fabricación de materiales de construcción se analizará en su estado original sin ninguna manipulación; además será transversal pues se estudiarán variables simultáneamente en un período definido con fecha de inicio y fin establecidos.

9.2. Unidades de análisis

La unidad de análisis será el tiempo de preparación del proceso de fabricación de materiales de construcción. El tiempo de preparación está dividido por actividades internas y externas las cuales están incluidas dentro del objeto de estudio.

9.3. Variables

Las variables en estudio se describen a continuación:

Tabla I. **Operacionalización de variables**

Objetivo	Nombre de la variable	Definición teórica	Definición operativa	Indicador
Diagnosticar la situación actual del proceso de fabricación de materiales de construcción en la planta	Diagnóstico de la situación actual	Tiempo que transcurre desde el último artículo de un lote, hasta el primer artículo del siguiente lote.	Medición del tiempo necesario para llevar a cabo las actividades durante el proceso de preparación.	Tiempo promedio de preparación:

Continuación Tabla I

Objetivo	Nombre de la variable	Definición teórica	Definición operativa	Indicador
Diagnosticar la situación actual del proceso de fabricación de materiales de construcción en la planta	Diagnóstico de la situación actual	Actividades del proceso de preparación que se realizan con la máquina detenida.	Describir cada actividad que se realiza con la máquina detenida.	Descripción de Actividades Internas
		Actividades del proceso de preparación que se realizan con la máquina en operación.	Describir cada actividad que se realiza con la máquina en operación.	Descripción de Actividades externas
		Cantidad de personal enfocado en la preparación	Definir la cantidad de participantes.	Número de personas involucradas
		Cantidad de actividades llevadas a cabo durante la preparación	Definir la cantidad de actividades desarrolladas durante la preparación del equipo.	Número de actividades
		Proporción de actividades internas respecto al tiempo total de preparación.	Estimación del tiempo de actividades internas respecto al tiempo total de preparación	% de tiempo de actividades internas
		Proporción de actividades externas respecto al tiempo total de preparación	Estimación del tiempo de actividades externas respecto al tiempo total de preparación	% de tiempo de actividades externas

Continuación Tabla I

Objetivo	Nombre de la variable	Definición teórica	Definición operativa	Indicador
Desarrollar los procesos para la optimización de los tiempos de preparación para la producción de materiales de construcción adaptados a la herramienta SMED	Desarrollo de procesos	Actividades llevadas a cabo durante el proceso de preparación.	Detallar cada actividad interna y externa.	Descripción de actividades internas y externas
		Duración de las actividades internas y externas	Estimación de los nuevos tiempos de preparación.	Tiempos
		Personas encargadas de llevar a cabo las actividades de preparación.	Definir responsables por cada actividad.	Responsables
		Medios por los cuales se obtendrán los resultados de la propuesta.	Establecer formatos para la evaluación de resultados.	Instrumentos de evaluación
		Medición del proceso de optimización en el tiempo de preparación.	Medición objetiva de los resultados obtenidos del proceso de optimización	Indicadores de procesos
		Medición del efecto causado por el desarrollo de la propuesta	Medición objetiva de los resultados obtenidos del efecto causado por la propuesta de optimización.	Indicadores de impacto

Continuación Tabla I

Objetivo	Nombre de la variable	Definición teórica	Definición operativa	Indicador
Validar los procedimientos de la herramienta SMED aplicados a los tiempos de preparación	Validación de procedimientos	Determinar la viabilidad de las propuestas de los procesos para la optimización de los tiempos de preparación con el jefe inmediato	Evaluación de la factibilidad de los procesos para la optimización de los tiempos de preparación	Factibilidad de la propuesta: Adquisición de herramental Modificación de procedimiento
	Satisfacción de la Gerencia de Producción	Cumplimiento de las expectativas sobre el diseño del sistema de optimización.	Evaluación del nivel de satisfacción sobre aspectos generales del diseño de optimización	Costos: Índice de satisfacción de la Gerencia de Producción

Fuente: elaboración propia.

9.4. Fases del estudio

La investigación contará con las siguientes fases de estudio las cuales aportarán hacia la solución de la problemática:

- Fase 1: Revisión documental

En esta primera fase se realizará una revisión documental para enriquecer la metodología por medio de los antecedentes y el marco teórico.

- Fase 2: Diagnóstico de la situación actual

En esta segunda fase será necesario determinar la situación actual del proceso de preparación para la fabricación de materiales de construcción, para lo cual se analizará la información del reporte de paros de producción que se genera en tiempo real hacia una plataforma virtual.

Se realizará además una observación del trabajo llevado a cabo por las dos personas que se asignan durante el tiempo de preparación, esto es para describir detalladamente las actividades necesarias, para lo cual se utilizará el instrumento “Formato de observación y toma de tiempos” que se muestra en el anexo 3 de este documento.

- Fase 3: Desarrollo de la propuesta

Durante la tercera fase se desarrollarán los procesos para la optimización de los tiempos de preparación para la producción de materiales de construcción utilizando la herramienta SMED. Para lograr esto se tomará como base la observación llevada a cabo en la fase dos, con tal información se redefinirá las actividades externas e internas y se asignarán responsabilidades a cada participante en el proceso de preparación con el objetivo de realizar la mayor parte de actividades mientras la máquina esté trabajando.

Para mejorar los resultados se reunirá al equipo de trabajo que estará conformado por un total de cinco personas, dentro de estas se encuentran dos observadores, el operador de la máquina, un ayudante de producción quien es el que trabaja en conjunto con el operador y el investigador, esto será para darles a conocer el objetivo de la observación y medición de tiempos.

- Fase 4: Validación de la propuesta

Durante la cuarta fase se presentará la propuesta de optimización del proceso de preparación al Gerente del área y se realizará una encuesta de satisfacción comprendida de seis preguntas las cuales se enfocan en la percepción del entrevistado para conocer el nivel de satisfacción logrado. Para esto se utilizará la encuesta que se muestra en el anexo 4.

- Fase 5: Elaboración del informe final

En esta quinta y última fase se elaborará el informe final con los resultados obtenidos de la observación y el desarrollo de la propuesta para la optimización del proceso de fabricación de materiales de construcción.

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Para el análisis de la información se utilizarán técnicas de estadística descriptiva e inferencial que se describen a continuación:

Diagrama de causa y efecto: se utilizará el diagrama de Ishikawa para determinar las posibles causas que afectan directamente al proceso de preparación de un lote de producción.

Diagrama de Pareto: el propósito del uso de esta herramienta será identificar los problemas más relevantes que generan la mayor pérdida de tiempo durante el lapso de la preparación del lote de producción.

Diagrama de flujo: se utilizará el diagrama de flujo para representar de una forma secuencial las actividades del proceso de preparación con el objetivo de facilitar la comprensión y analizar de manera individual cada actividad.

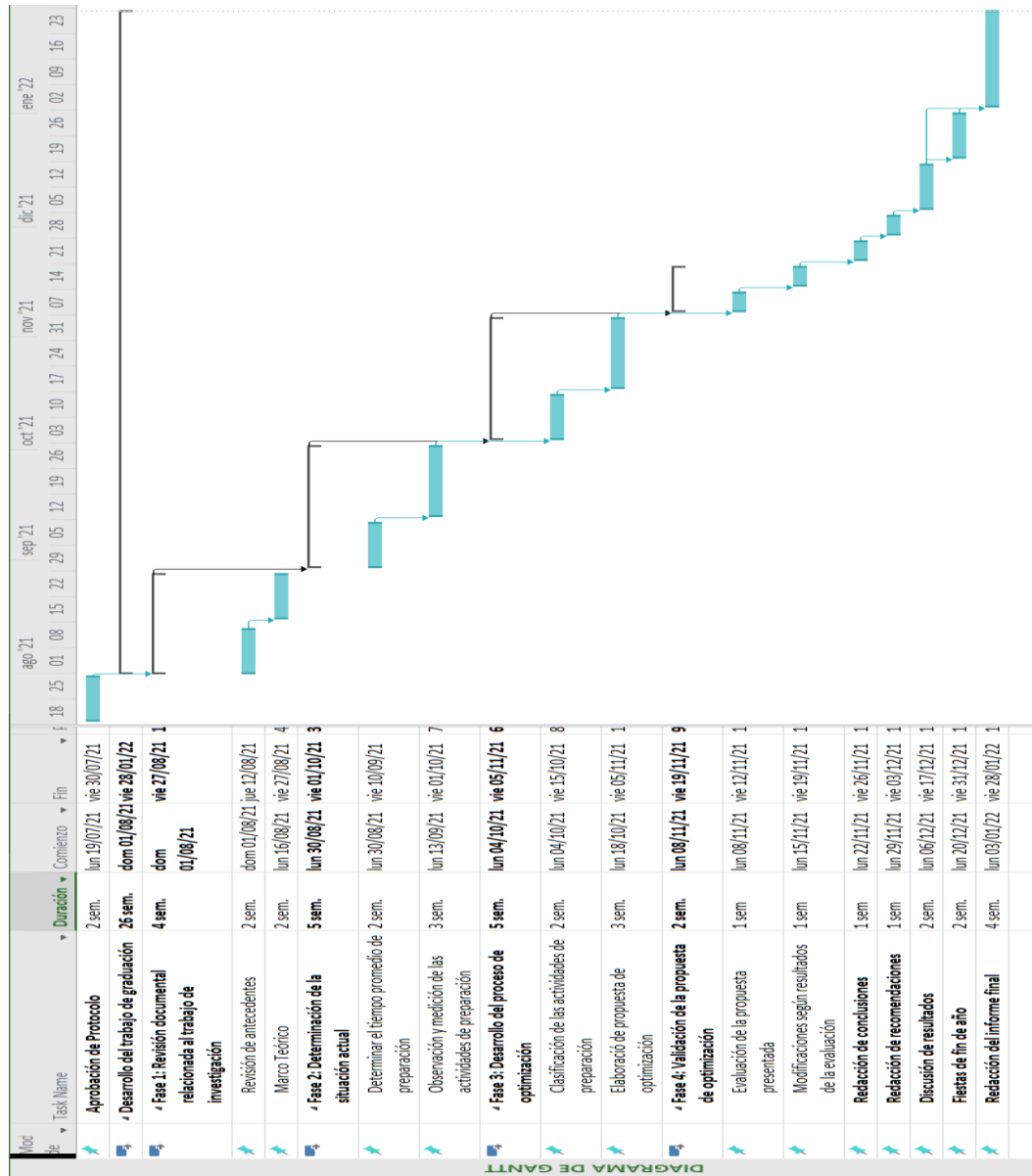
Gráficas de barras: se utilizarán durante el desarrollo de la propuesta para comparar una o más variables con el objetivo de evidenciar mejoras entre la situación inicial y la situación final del proceso.

Observación: se utilizará técnicas de observación a través de video y observación directa para detallar los movimientos realizados por los responsables del proceso de preparación.

Revisión de documentos: el objetivo es recabar información existente del proceso de preparación para conocer la situación actual del proceso a investigar.

11. CRONOGRAMA

Figura 9. Cronograma



Fuente: elaboración propia.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

Para el presente trabajo de investigación se dispondrá de los recursos necesarios para cada una de las fases con los cuales se demuestra la factibilidad del estudio. Se cuenta con la autorización de la empresa para realizar la investigación, así como la disponibilidad de los siguientes recursos:

- Humano: personal operativo para la observación y toma de tiempo de actividades del proceso a evaluar.
- Información: se contará con el acceso a registros históricos del proceso que aportarán al análisis de la situación actual, se adquiere el compromiso de respetar la confidencialidad de la información.
- Equipo e infraestructura: se dispondrá de la infraestructura de la planta de producción para poder movilizarse a cualquier punto de acuerdo a las necesidades de la investigación, de la maquinaria para poder observar y entender el proceso y las partes involucradas y del sistema de informática para obtener gráficos.

Según las necesidades de la investigación se tendrá una inversión económica la cual absorbe el investigador el 100 % de acuerdo al siguiente presupuesto:

Tabla II. Presupuesto

No.	Recurso	Descripción de gasto	Monto	Porcentaje
1	Humano	Tiempo del investigador	Q 12,800.00	70.41 %
2	Humano	Asesor	Q 0.00	0.00 %
3	Material	Resmas de hojas	Q 100.00	0.55 %
4	Material	Impresiones y fotocopias	Q 200.00	1.10 %
5	Material	Cartuchos de tinta	Q 300.00	1.65 %
6	Material	Lápices	Q 30.00	0.17 %
7	Material	Empastado	Q 150.00	0.83 %
8	Tecnológico	Internet móvil	Q 200.00	0.55 %
9	Transporte	Combustible y depreciación de vehículo	Q 2,400.00	13.20 %
10	Alimentación	Alimentación	Q 1,200.00	6.60 %
11	Varios	Imprevistos (5%)	Q 900.00	4.95 %
		Total	Q 18,160.00	100 %

Fuente: elaboración propia.

13. REFERENCIAS

1. Arboleda Zúñiga, J., & Rubiano del Chiaro, F. M. (Julio, 2017). *Modelo propuesto para la implementación de la metodología SMED en una empresa de alimentos* de Santiago de Cali. *Revista de Investigación*, 115. Recuperado de <https://revistas.uamerica.edu.co>
2. Arbulo López, P. R. (2007). *La gestión de costes en lean manufacturing*. España: Netbiblo, S.L. Recuperado de <https://books.google.com.gt>
3. DeGarmo, P., Black, T., & Kohser, R. (1994). *Materiales y procesos de fabricación*. Barcelona: Editorial Reverté, S.A. Recuperado de <https://books.google.com.gt>
4. Duarte Muñoz, A., Pantrigo Fernández, J. J., & Gallego Carrillo, M. (2007). *Metaheurísticas*. Madrid: Dykinson, S.L. Recuperado de <https://books.google.co.cr>
5. Frometa Salas, Z. P., & Delas Magdaleon, F. (2009). *Influencia del carbono en las propiedades del acero para refuerzo de hormigon*. *Tecnología Química*, 60. Recuperado de <https://www.redalyc.org>
6. García Hoz, V. (1981). *La calidad de la educación*. Madrid: Gráficas Nilo. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es>

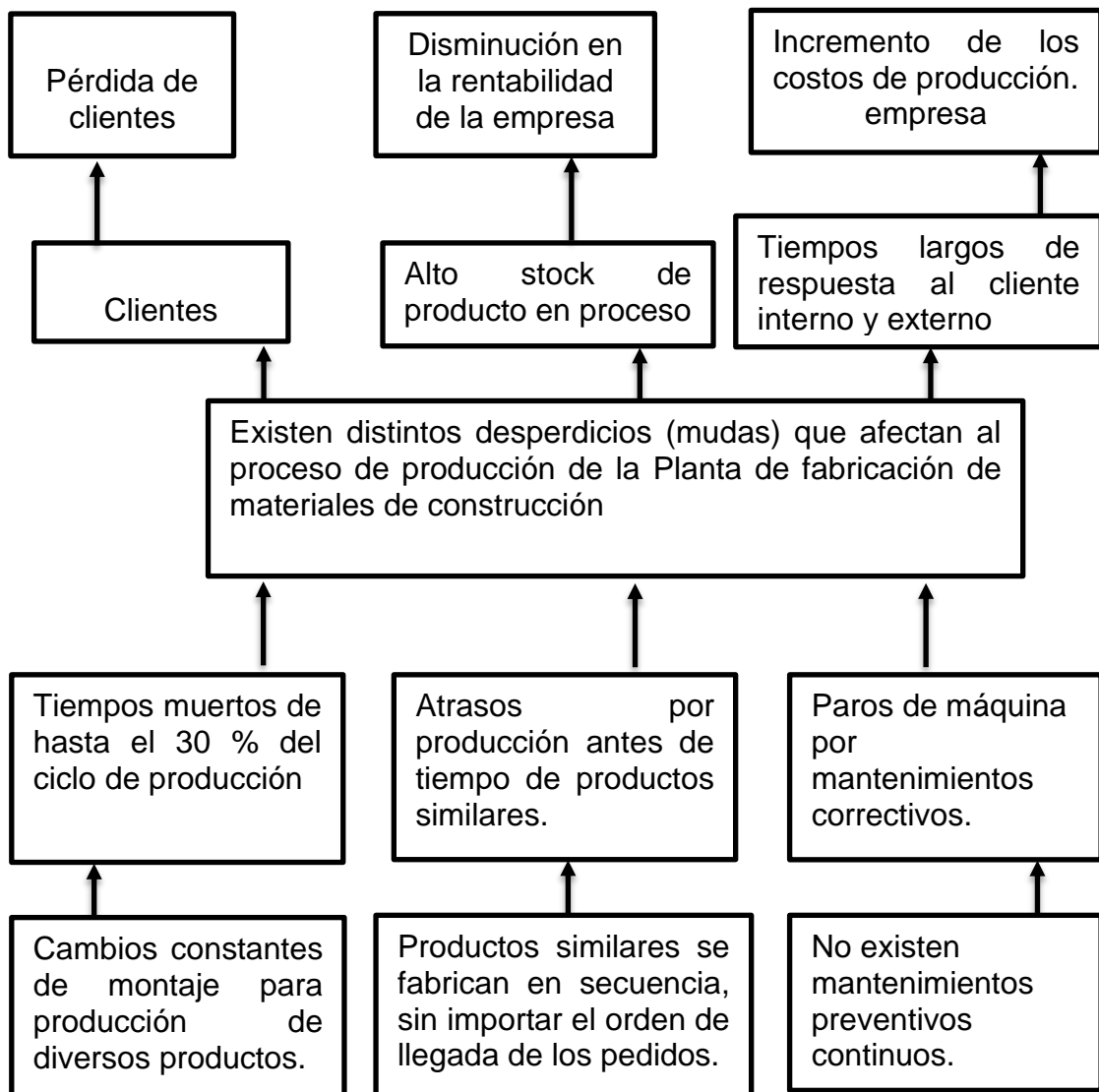
7. García, W. H. (2020). *Implementación de la herramienta de manufactura esbelta (SMED) en un departamento de costura, para reducir tiempos muertos*. Guatemala: Universidad de San Carlos. Recuperado de <https://www.repositorio.usac.edu.gt>
8. Gonzalez Chavez, G. (2008). *El Estado y la globalizacion en la industria siderurgica mexicana*. Mexico: Universidad Autonoma de Mexico. Recuperado de <https://www.revistas.unam.mx>
9. Martínez Hernández, J. C., Cruz Solís, E. J., Garrido Rosado, R., & Santiago Escudero, A. (2019). *Reducción de tiempos de espera en el cambio de modelo mediante la aplicación de la herramienta SMED*. *Revista de Ingeniería Industrial*, 21-29. Recuperado de <https://scholar.google.es>
10. Medina Flores, J. M., Alvarado Almanza, R., Gutiérrez Ángel, L. G., González García, P. R., & Yáñez Contreras, P. (2020). *Implementación del Sistema SMED en los Cambios de Versión en una Estación de Trabajo de Corte*. *Memorias del Congreso Internacional de Investigación Academia Journals Celaya 2020*, 1516. Recuperado de <https://www.researchgate.net>
11. Mendoza, A. A. (2020). *Aplicación de la metodología SMED para mejorar la productividad del área de impresión del departamento de etiquetas en una industria de productos plásticos agroindustriales*. Guatemala: Universidad de San Carlos. Recuperado de <https://www.repositorio.usac.edu.gt>

12. Muñoz, H. A. (2012). *Manual del acero Gerdau Diaco para construcciones sismo resistentes*. Colombia: Zeta IGC. Recuperado de <https://www.gerdaudiaco.com>
13. Nieto, C., & Perez, H. (2015). *Uso de varillas de alta resistencia (grado 80) en la construccion de edificios mediante sistemas estructurales duales*. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Catolica del Ecuador. <https://www.repositorio.puce.edu.ec>
14. Pantoja, F., & Castrillón, J. (2017). *Aplicación de la técnica SMED en el procedimiento de cambio de tintas de la referencia bolsa kraff colanta entera 3C a bolsa kraff amtex tannus 2C*. Publicaciones e Investigación, 122-123. Recuperado de <https://scholar.google.es>
15. Rajadell Carreras, M., & Sánchez, J. L. (2010). *Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de [https:// books.google.com.co](https://books.google.com.co)
16. Salado Ortiz, A. (2015). *Control de la producción en fabricación mecánico*. España: ELEARNING S.L. Recuperado de [https:// books.google.com](https://books.google.com)
17. Shingo, S. (1993). *Una revolución en la producción: el sistema SMED*. Madrid: Centro Reprográfico Neptuno. Recuperado de [https:// books.google.com](https://books.google.com)
18. Socconini, L. (2019). *Lean Manufacturing, paso a paso*. Barcelona: Marge Books. Recuperado de [https:// books.google.com](https://books.google.com)

19. Vila, C., Robero, F., García, B., & Serrano, J. (2005). *Tecnología mecánica: metrología y procesos de conformado de metales sin arranque de viruta*. España: Universitat Jaume I. <https://books.google.com>

14. APÉNDICE

Apéndice 1. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia

Apéndice 2

Matriz de Coherencia

Formulación del problema	Objetivo	VARIABLES	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología
¿Cuál es la situación actual del proceso de fabricación de materiales de construcción en la planta procesadora de acero?	Diagnosticar la situación actual del proceso de fabricación de materiales de construcción en la planta.	TTP= Tiempo total de preparación en un periodo determinado	Tiempo promedio de preparación: (TTP/N)	Recolección de datos	La metodología a utilizar será de tipo mixto al considerar que se tendrá una combinación de métodos cuantitativos y cualitativos. Se utilizarán herramientas investigativas para la situación actual y para la validación de la propuesta, así como herramientas de observación para determinar la propuesta a desarrollar.
		N= Número de preparaciones en un periodo determinado.	DAI0		
		Descripción actividades internas iniciales	DAE0	Se utilizará un formato de observación en el cual se registrarán las actividades, los tiempos y responsables que ejecutarán cada actividad durante el proceso de preparación.	
		Descripción actividades externas iniciales	NP		
		Número de personas involucradas	NA		
		Número de actividades	% actividades internas		
		TAI= Tiempo de actividades internas.	(AI/TP)*100	Para el cálculo de los porcentajes se utilizarán fórmulas matemáticas	
TP= Tiempo de preparación.	% actividades externas				
TAE= Tiempo de actividades internas.	(AE/TP)*100				
¿Cuáles son los procesos adecuados para la optimización de los tiempos de preparación para la producción de materiales de construcción adaptados a la herramienta SMED?	Desarrollar los procesos para la optimización de los tiempos de preparación para la producción de materiales de construcción adaptados a la herramienta SMED.	Descripción actividades internas finales	DAI1 DAE1	Para el desarrollo de la propuesta se elaborarán formatos de chequeo con el objetivo de garantizar que los responsables cumplan con cada actividad asignada.	
		Descripción actividades externas finales	% Cumplimiento		
		AC= Actividades correctas	(AC/TA)*100		
		TA= Total de actividades	% Reducción de tiempo de preparación		
		TPP0= Tiempo promedio de preparación inicia.	$\frac{(TPP0-TP1)*100}{TTP0}$	Para el cálculo de porcentajes se utilizarán fórmulas matemáticas	

Continuación Matriz de Coherencia

Formulación del problema	Objetivo	Variables	Indicadores	Técnicas e instrumentos
¿Cómo validar los procedimientos de la herramienta SMED aplicados a los tiempos de preparación?	Validar los procedimientos de la herramienta SMED aplicados a los tiempos de preparación.	B= Beneficios C= Costos	Relación B/C % Satisfacción	Para la validación de la propuesta se utilizará un formato de evaluación al Gerente del área.

Fuente: elaboración propia

Apéndice 3.

Formato de observación y toma de tiempos



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

FORMATO DE OBSERVACIÓN Y TOMA DE TIEMPOS PARA EL PROCESO DE PREPARACIÓN

Producto (SKU): _____

Fecha: _____

Observador (Código): _____

Hora inicio: _____

Observado (Código): _____

Hora Fin: _____

ACTIVIDAD	TIEMPO DE EJECIÓN		TIPO DE ACTIVIDAD	
	MINUTOS	SEGUNDOS	INTERNAS	EXTERNAS
TOTALES				
TIEMPO TOTAL DE EJECUCIÓN (HORAS)				

Fuente: elaboración propia

Apéndice 4.

Formato de observación y toma de tiempos



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO**

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN

Instrucciones generales: La siguiente encuesta tiene como principal objetivo conocer la satisfacción de Gerente de área. La información obtenida será totalmente confidencial.

Asignar un valor de 1 a 5 de acuerdo a su percepción de satisfacción y al cuadro de referencia.

		Nada satisfecho	Poco satisfecho	Algo satisfecho	Bastante satisfecho	Muy Satisfecho	Cálculos
No.	Preguntas	1	2	3	4	5	
1	Sobre la propuesta de optimización del tiempo de preparación presentada						
2	Sobre el uso de los recursos de la empresa para llevar a cabo la propuesta						
3	Sobre los equipos y herramientas sugeridos por el investigador para mejorar los tiempos de preparación						
4	Con la reducción de tiempo esperada luego de la implementación de la propuesta presentada						
5	Con la reducción de tiempo esperada luego de la implementación de la propuesta presentada						
6	¿Qué tan satisfecho estaría de implementar la metodología en otros procesos?						
	Suma total de puntos						
	Puntos a evaluar (100%)						30
	% de satisfacción (Total de puntos/puntos a evaluar)*100						

Fuente: elaboración propia