



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

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE
PERFILES A TRAVÉS DE LA DISMINUCIÓN DE LA PÉRDIDA METÁLICA PARA LA
INDUSTRIA METALMECÁNICA**

Pablo Anthony David Salazar Córdova

Asesorado por el Ing. Oscar Orlando Sapón Rodríguez

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE
PERFILES A TRAVÉS DE LA DISMINUCIÓN DE LA PÉRDIDA METÁLICA PARA LA
INDUSTRIA METALMECÁNICA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PABLO ANTHONY DAVID SALAZAR CÓRDOVA
ASESORADO POR EL ING. OSCAR ORLANDO SAPÓN RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
EXAMINADOR	Ing. César Augusto Akú Castillo
EXAMINADORA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas
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:

**PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE
PERFILES A TRAVÉS DE LA DISMINUCIÓN DE LA PÉRDIDA METÁLICA PARA LA
INDUSTRIA METALMECÁNICA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha febrero de 2011.



Pablo Anthony David Salazar Córdova

Guatemala, 24 de septiembre de 2011

Ingeniero César Ernesto Urquizú Rodas
Director de Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Director:

Respetuosamente me dirijo a usted con el propósito de informarle que, luego de haber revisado el trabajo de graduación titulado: **"PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE PERFILES A TRAVÉS DE LA DISMINUCIÓN DE LA PÉRDIDA METÁLICA PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA"** el cual fue presentado por el estudiante **Pablo Anthony David Salazar Córdova** y, después de haberle realizado las correcciones pertinentes considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto hago de su conocimiento que, en mi opinión, dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser sometido a discusión en su Examen General Público y recomiendo su aprobación para el efecto.

Atentamente



ING. OSCAR ORLANDO SAPÓN RODRÍGUEZ
MECÁNICO INDUSTRIAL
Col. 6775

Ing. Oscar Orlando Sapón Rodríguez
Colegiado No. 6775
ASESOR



REF.REV.EMI.164.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE PERFILES A TRAVÉS DE LA DISMINUCIÓN DE LA PÉRDIDA METÁLICA PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Anthony David Salazar Córdova**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Renaldo Biron Alvarado'.

Renaldo Biron Alvarado
INGENIERO INDUSTRIAL
REGISTRO No. 5977

Ing. Renaldo Biron Alvarado
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2011

/mgp



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 Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE PERFILES A TRAVÉS DE LA DISMINUCIÓN DE LA PÉRDIDA METALICA PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Anthony David Salazar Córdova**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Ing. Cesar Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, noviembre de 2011.

/mgp



DTG. 520.2011.

El Decano 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: **PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN DE PERFILES A TRAVÉS DE LA DISMINUCIÓN DE LA PÉRDIDA METÁLICA PARA LA INDUSTRIA METALMECÁNICA**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Anthony David Salazar Córdova**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 22 de noviembre de 2011.

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Fuente de amor eterno que me dio la vida y toda bendición que me rodea.
Mis padres	Rony Salazar Barrios y Orfa Córdova de Salazar, con gratitud por su amor incondicional y por enseñarme en la vida el camino a seguir para alcanzar mis sueños.
Mis abuelas	Susana Barrios de Salazar y Evangelina Quiroa, por brindarme siempre su cariño y amor.
Mis hermanas	Ivette Alejandra, Andrea Maribel e Ivonne Elizabeth, por todo su cariño y apoyo.
Mi novia	Zully Gálvez, por su amor, apoyo y confianza durante este tiempo que hemos compartido.
Mi familia	Tíos y primos, en especial a mi tía Nívea, a todos con aprecio.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi asesor Ing. Oscar Orlando Sapón Rodríguez, por compartir sus conocimientos y experiencia en la elaboración de este trabajo.

Mi amigo Ing. Luis Sánchez, por su asesoría en la investigación que permitió realizar este trabajo.

Mis amigos Del Grupo Evangélico Universitario, por los momentos que hemos compartido, en los que me han brindado su amistad y apoyo.

La empresa Aceros de Guatemala S.A.

La Universidad de San Carlos de Guatemala

La Facultad de Ingeniería

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Historia de la empresa	1
1.2. Compromisos de la empresa	2
1.2.1. Visión	3
1.2.2. Misión.....	3
1.3. Estructura organizacional.....	3
1.3.1. Junta directiva	4
1.3.2. Administración general.....	4
1.3.3. Organización de cada planta.....	4
1.3.3.1. Gerencia administrativa.....	5
1.3.3.2. Gerencia de producción	5
1.4. Tipos de producto que comercializa la empresa.....	5
1.5. Ubicación	7
1.6. Composición química y características del acero	8
1.6.1. Introducción al hierro fundido	10
1.7. Laminación de perfiles de acero	12
1.8. Acero laminado	13
1.9. Palanquilla o lingote de acero	14

1.9.1.	Fabricación de lingote de acero	15
2.	SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE LAMINACIÓN.....	17
2.1.	Condición actual	17
2.1.1.	Tipos de perfiles.....	18
2.1.1.1.	Angulares.....	18
2.1.1.2.	Cuadrados	20
2.1.1.3.	Planos.....	22
2.1.1.4.	Lisos	22
2.1.2.	Diagrama de flujo de operaciones del proceso de laminación.....	24
2.1.2.1.	Horno	29
2.1.2.2.	Desbaste.....	30
2.1.2.3.	Rodillos del tren intermedio	30
2.1.2.4.	Rodillos del tren continuo.....	31
2.1.2.5.	Cama de enfriamiento.....	32
2.1.2.6.	Corte	33
2.1.2.7.	Enderezado y atado.....	33
2.1.3.	Descripción del proceso de laminación.....	37
2.1.4.	Distribución de maquinaria y personal en planta	37
2.2.	Eficiencia	39
2.2.1.	Pérdida metálica	39
2.2.2.	Rendimiento metálico	42
2.2.3.	Utilización	42
2.2.3.1.	Tiempo calendario (C)	44
2.2.3.2.	Causas externas (E)	44
2.2.3.3.	Tiempo libre (L).....	44
2.2.3.4.	Tiempo programado total (PT).....	45

2.2.3.5.	Tiempo programado para producción (PP)	45
2.2.3.6.	Paradas programadas (P)	46
2.2.3.7.	Interrupciones (I)	46
2.2.3.8.	Quiebra de ritmo (R)	46
2.2.3.9.	Tiempo útil (U).....	47
2.2.4.	Energía de recalentamiento	48
2.3.	Diagrama de <i>Ishikawa</i>	49
2.4.	Análisis de paretto.....	49
2.5.	Análisis estadístico de la pérdida metálica actual	50
3.	PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN	55
3.1.	Mejoramiento de la eficiencia a través de la disminución de la pérdida metálica	55
3.2.	Análisis de longitud óptima de lingote de acero	55
3.3.	Minimización de pérdidas por cortes en los extremos del lingote	58
3.4.	Minimización de pérdidas por longitud corta del perfile laminado	59
3.5.	Estandarización de nuevas velocidades de laminación	61
3.6.	Cambio de sistema de frenado en la cama de enfriamiento	64
3.7.	Cálculo del peso de la cama de enfriamiento	64
3.8.	Diseño de espacio físico del transportador en área de desbaste	65
3.9.	Análisis financiero	67
3.9.1.	Flujo neto de fondos.....	68
3.9.2.	Tasa interna de rentabilidad (TIR).....	72
3.9.2.1.	Costo del método actual.....	73

3.9.2.2.	Costo del método propuesto	74
3.9.2.3.	Ahorro	74
3.9.3.	Valor actual neto (VAN)	75
3.9.4.	Relación beneficio costo (RBC)	75
3.10.	Desarrollo sostenible	76
3.11.	Beneficios, ventajas y limitantes del método	77
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	79
4.1.	Objetivo.....	79
4.2.	Meta.....	79
4.3.	Indicadores	79
4.4.	Secuencia de actividades para la implementación del proyecto de mejora de eficiencia de la planta de laminación de perfiles	80
4.4.1.	Implementación de sistema de frenado por <i>clutch</i> en la cama de enfriamiento.....	84
4.4.2.	Cambio de los motores de laminación	84
4.4.3.	Ampliación del espacio físico del transportador del lingote de acero	85
5.	MEJORA CONTINUA.....	87
5.1.	Análisis de la mejora continua	87
5.1.1.	Modelo propuesto	87
5.2.	Ficha técnica de control de pérdida metálica.....	88
5.3.	Índice de recuperación de pérdida metálica	89
6.	IMPACTO AMBIENTAL.....	93
6.1.	Impactos ambientales potenciales.....	93
6.2.	Informe del análisis de calidad del aire	95

6.2.1.	Medidas de mitigación del informe del análisis de calidad del aire	95
6.3.	Desechos	97
6.3.1.	Desechos sólidos	97
6.3.2.	Desechos líquidos	97
6.3.3.	Reducción de los desechos	97
6.4.	Medidas de mitigación	98
6.4.1.	Control de la contaminación atmosférica	98
6.4.2.	Control de la calidad del agua	99
CONCLUSIONES		101
RECOMENDACIONES		103
BIBLIOGRAFÍA		105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estructura organizacional de la Corporación Aceros de Guatemala	4
2.	Alambre producido en Aceros de Guatemala.....	6
3.	Clavos producidos en Aceros de Guatemala	6
4.	Perfiles producidos en Aceros de Guatemala	7
5.	Ubicación geográfica de la Planta de Laminación de Perfiles de Aceros de Guatemala.....	8
6.	Diagrama de fases del sistema hierro-carbono	11
7.	Lingote de acero.....	14
8.	Diagrama del proceso de producción de lingote de acero.....	16
9.	Laminación en caliente.....	18
10.	Perfil angular de base B, altura H y espesor e	19
11.	Perfil cuadrado laminado en acero	21
12.	Perfil plano o hembra	22
13.	Perfil redondo liso.....	23
14.	Diagrama de flujo de operaciones del proceso de laminación	25
15.	Horno BENDOTTI	29
16.	Área de desbaste	30
17.	Rodillos del tren intermedio	31
18.	Rodillos del tren continuo	32
19.	Esquema de un rodillo de laminación.....	32
20.	Cama de enfriamiento	33
21.	Cizalla.....	34
22.	Área de enderezado.....	34

23.	Sección de atado de perfil.....	35
24.	Proceso de laminación de perfiles	36
25.	Diagrama operativo de la planta de laminación de perfiles.....	38
26.	Distribución de maquinaria y personal en planta	40
27.	Pérdida metálica	41
28.	Rendimiento metálico.....	43
29.	Utilización de la planta de laminación	47
30.	Energía de recalentamiento	48
31.	Diagrama de <i>Ishikawa</i> (Causa-Efecto)	51
32.	Causas principales que originan la pérdida metálica	52
33.	Utilización de las medidas de lingote	54
34.	Cortes realizados al lingote de acero.....	59
35.	Perfiles cortos y unión de perfiles	60
36.	Esquema de los motores de laminación	62
37.	Área del transportador, mesas fija y móvil	67
38.	Modelo de mejora continua.....	89

TABLAS

I.	Especificaciones físicas del perfil angular.....	20
II.	Especificaciones físicas del perfil cuadrado.....	21
III.	Especificaciones físicas del perfil plano.....	23
IV.	Especificaciones físicas del perfil redondo liso	24
V.	Tiempos considerados en el "control de tiempos"	43
VI.	Principales causas que ocasionan la pérdida metálica.....	50
VII.	Pérdidas metálicas porcentuales de acuerdo a cada área analizada	53
VIII.	Porcentajes de longitudes actuales de los lingotes de acero utilizados en la planta de laminación de Aceros de Guatemala.....	54
IX.	Longitudes óptimas del lingote para los diferentes perfiles.....	57

X.	Velocidades de laminación.....	63
XI.	Peso de la cama de enfriamiento. Planta de laminación de perfiles, Aceros de Guatemala.....	66
XII.	Gastos del proyecto de implementación de lingote de 4 metros	69
XIII.	Ingresos y egresos del proyecto	71
XIV.	Flujo neto de fondos del análisis financiero.....	72
XV.	Secuencia de actividades para la implementación del proyecto de mejora de eficiencia de la planta de laminación de perfiles	80
XVI.	Ficha técnica de control de pérdidas metálicas. Planta de laminación de perfiles, Aceros de Guatemala	90
XVII.	Partículas menores de diez micras. Planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.....	95
XVIII.	Concentración de partículas en el aire	96

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
E	Causas externas
Fe ₃ C	Cementita
r	Costo de oportunidad
cm ²	Centímetros cuadrados
cm ³	Centímetros cúbicos
cv-50	Cizalla o cuchilla de corte
\$	Dólar estadounidense
V _{Ft}	Flujo neto de fondos
°C	Grados centígrados
gr/cm ³	Gramos por centímetro cúbico
HP	<i>Horse power</i> o caballos de fuerza
I	Interrupciones
I ₀	Inversión inicial
kg	Kilogramos
kg/m ³	Kilogramos por metro cúbico
kg/TM	Kilogramos por tonelada
kwh	Kilowatt por hora
LF	<i>Ladle Furnace</i>
m	Metros
m/s	Metros por segundo
mm	Milímetros
P	Paradas programadas
%	Porcentaje

"	Pulgadas
R	Quiebra de ritmo
rpm	Revoluciones por minuto
C	Tiempo calendario
L	Tiempo libre
PP	Tiempo programado para producción
PT	Tiempo programado total
U	Tiempo útil

GLOSARIO

Acritud	Deformación mecánica de un material que se produce a temperaturas relativamente bajas.
Aleación	Sustancia con propiedades metálicas y compuesta por dos o más elementos químicos de los cuales por lo menos uno es metal.
Austenita	Forma de ordenamiento diferente de los átomos de hierro y carbono.
Buckle	Incremento de la longitud del lingote de acero debido a la presión ejercida por las operaciones de laminación.
Cementita	Contenido más duro del acero, con un contenido fijo de carbono de 6,67%.
Cizalla	Herramienta que se utiliza para cortar metal.
Coque	Combustible destilado que es casi carbono puro.
Descascarilla	Eliminación de la cascarilla o capa externa del material.
Electric Arc Furnace	Arco eléctrico de horno donde se funde el acero.

Embriague o <i>clutch</i>	Pieza mecánica presente en máquinas motorizadas que permite transmitir la potencia del motor.
Estándar de producción horaria	Tiempo estándar establecido para producir los perfiles laminados.
<i>Ladle Furnace</i>	Horno de cuchara para verter el acero fundido.
Laminación	Proceso de deformación volumétrica donde se reduce el espesor inicial del material trabajado mediante las fuerzas de compresión que ejercen dos rodillos sobre la pieza o material de trabajo.
Lingote	Producto de acero que se fabrica en sección cuadrada para producir los distintos perfiles a través del proceso de laminación.
Máquina de colada continua	Máquina que da forma al lingote de acero al entrar el material líquido en una cavidad o molde dejando que se solidifique.
Proceso siderúrgico	Serie de pasos consecutivos que llevarán desde una materia prima como el mineral de hierro y el carbón de coque, hasta un producto final como el acero.
Relación Beneficio Costo (RBC)	Método de evaluación de proyectos en que se expresa la razón de los ingresos obtenidos respecto de los gastos realizados.

Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)	Tasa de interés a la cual el Valor Actual Neto es igual a cero y es utilizada como indicador de la rentabilidad económica del proyecto.
Tren de laminación	Instalación de la industria siderúrgica que permite, mediante un proceso de laminación en caliente, la obtención de acero en forma de barras de sección ovalada o cilíndrica en general.
Valor Anual Neto o Valor Presente Neto (VAN o VPN)	Método de evaluación financiero, el cual consiste en trasladar el flujo de efectivo a un valor estimado en el tiempo presente.

RESUMEN

El propósito de este trabajo es presentar una propuesta de mejoramiento de la eficiencia del proceso de laminación de perfiles de acero que proporcione una mejor utilización de los recursos de materia prima, tiempo, energía y otros, a través de la disminución de los desperdicios generados de material empleado durante el proceso, como consecuencia inherente de la fabricación de los perfiles laminados.

Se inicia con una introducción a la empresa donde se realizó la investigación: Aceros de Guatemala, a la industria metalmecánica y su importancia en el desarrollo y beneficios que genera para la sociedad, así como la descripción, características principales y aplicaciones de uno de los materiales más importantes para esta industria en particular: el acero. Además se describen los procesos de producción de la palanquilla de acero que es la materia prima que se utiliza para fabricar los perfiles.

Posteriormente se presenta el estado actual de la empresa y del proceso, detallando cada una de las estaciones de trabajo y los tipos de perfiles producidos con sus respectivas especificaciones técnicas. A continuación se analizan los indicadores que determinan la eficiencia del proceso y se realiza una propuesta para mejora del mismo a través de la reducción de la pérdida metálica que es la que mayor influencia tiene según el análisis estadístico desarrollado.

Se presenta la metodología de implementación de la propuesta siguiendo la secuencia establecida de las actividades necesarias para llevar a cabo el

proyecto así como un estudio financiero, donde se evalúa la factibilidad económica y un estudio técnico donde se determina el ahorro de material que proporcionará el proyecto de mejora.

En seguida un modelo de seguimiento para la mejora continua de la calidad del proceso que permita garantizar que los objetivos de productividad y calidad se mantengan dentro de los estándares establecidos para el control de la pérdida metálica.

Para finalizar se presenta un estudio de impacto ambiental de la elaboración de perfiles laminados donde se proponen también las medidas de mitigación consideradas para minimizar estos efectos sobre el ambiente y la salud de los trabajadores de la empresa.

OBJETIVOS

General

Presentar una propuesta de mejora al proceso de producción de perfiles laminados en acero en la empresa Aceros de Guatemala, a través de la disminución de pérdidas del material empleado para su fabricación.

Específicos

1. Describir el proceso de laminación de perfiles de acero.
2. Evaluar mediante un análisis financiero la factibilidad económica del proyecto de reducción de la pérdida metálica.
3. Determinar el beneficio obtenido en ahorro del material al implementar el proyecto de mejora de la eficiencia de laminación.
4. Implementar medidas de mitigación del impacto ambiental que genera el proceso de producción de perfiles para mejorar las condiciones laborales así como el mejor aprovechamiento de los recursos necesarios.
5. Realizar un análisis técnico que permita determinar los cambios e implementaciones requeridas tanto de maquinaria y equipo además de las consideraciones financieras que estas actividades requieren para el proyecto de mejora de la eficiencia de laminación.

6. Desarrollar un planteamiento sistemático del proceso siderúrgico de transformación del acero en perfiles laminados para la industria metalmeccánica que sirva de base para futuros estudios e investigaciones.

INTRODUCCIÓN

La industria siderúrgica ha experimentado un crecimiento constante durante los últimos años que evidencia de manera concreta la importancia del aporte que ésta realiza al desarrollo económico nacional, al proveer de materia prima crítica al sector de la construcción y a otros segmentos industriales.

Un componente importante de esta industria lo conforma la línea dedicada a la producción de perfiles laminados de acero, ya que es en este proceso en donde se fabrican una variedad de productos destinados principalmente a la industria de herrería y otras áreas de construcción. Este proceso usa como insumos lingotes de acero, que deben ser cortados y laminados siguiendo normas previamente establecidas, que muchas veces, debido a la variedad de tipos y tamaños de los perfiles fabricados, generan desperdicios por las colas que resultan como producto de las medidas de corte que se utilizan.

Esta situación genera pérdida de eficiencia en el aprovechamiento del material, ya que aunque el material sobrante puede reciclarse, ocasiona que se produzcan pérdidas en factores como tiempo, energía, costos de traslado y costos de operación.

En este estudio se plantea como objetivo reducir las pérdidas de material e incrementar la eficiencia en el proceso de laminación con el planteamiento de la propuesta de modificación de las dimensiones físicas de los lingotes utilizados, analizando además la factibilidad económica y tecnológica de llevar a cabo el proyecto de mejora de la eficiencia del proceso.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Historia de la empresa

Gracias a la visión a partir de una pequeña máquina para fabricar clavos se inicia en 1953 la historia de la Corporación Aceros de Guatemala. La primera empresa fundada para la producción de clavos, rápidamente se amplía hacia otros productos de acero como grapas, alambre espigado y varilla para construcción.

En 1971 con el objeto de hacer la producción más competitiva la Corporación se amplía con una planta galvanizadora de alambre y lámina. Así como dos hornos de arco eléctrico para la fabricación de lingote de acero. Para 1979 la fábrica de laminación se duplica para producir varilla de construcción lo que llevaría a la corporación a ocupar un lugar importante en el mercado. En 1982 se amplía la red de distribución a mayoreo y detalle. Años más tarde, en 1987 la Corporación adquiere INTUPERSA, Industria de Tubos y Perfiles, la cual se dedica a la fabricación de tubería industrial, cañería galvanizada, cañería negra y costaneras.

Buscando una mayor eficiencia en la fabricación de los diferentes productos se crea SIDEGUA, Siderúrgica de Guatemala; uno de los proyectos más importantes en la historia de la industria del acero en Centro América. Esta inicia operaciones en 1994 llevando a cabo el proceso de fabricación de lingote de acero desde la recolección de chatarra y empleando los métodos más avanzados en tecnología y cuidado del medio ambiente. Es así como al contar la Corporación con su propia materia prima, es capaz de alcanzar una mayor productividad. Simultáneamente, con el fin de satisfacer los

requerimientos de energía eléctrica, se inicia en 1995 la construcción del Centro de Energía Escuintla.

Este no solo garantizará el suministro de energía eléctrica a las empresas de la Corporación, sino además venderá al Sistema Nacional, contribuyendo así a proporcionar herramientas para que Guatemala y Centro América tengan la energía necesaria para aceptar los retos que este nuevo mundo les plantea. Igualmente en 1995 la Corporación adquiere Indeta, empresa dedicada a la fabricación de varillas de construcción, alambres, clavos y otros productos. Basados en el creciente mercado de la construcción, el cual constituye uno de los de mayor crecimiento en la economía del país, la Corporación Aceros de Guatemala ha desarrollado sus diferentes productos satisfaciendo parte importante del mercado de Guatemala y Centro América.

Gracias al suministro de la Corporación Aceros de Guatemala y los nuevos procesos de reingeniería de producción y mercadeo podrán acelerarse los planes de expansión a otros mercados. De esta forma lo que en un inicio era un proyecto, es hoy una realidad que por medio de productos de calidad y costos competitivos a nivel mundial, contribuye a la construcción de una Guatemala integrada a la globalización. (Aceros de Guatemala. Manual de Inducción a la Corporación Aceros de Guatemala).

1.2. Compromisos de la empresa

La Corporación Aceros de Guatemala tiene una planificación estratégica la cual se basa en los siguientes aspectos:

1.2.1. Visión

Obtener el liderazgo total en Guatemala y Centroamérica en nuestras líneas de productos, y lograr una participación importante en nuevos mercados tales como el sur de México, El Caribe, norte y Sudamérica. Surtir desde nuestro moderno parque industrial en Escuintla y otras instalaciones usando la más alta tecnología, nuestros productos básicos de acero y nuevos productos afines y verticalmente integrados por medio de nuestra red de distribución amplia y ágil que abarca todos los mercados que cubrimos.

Tener una empresa altamente profesional, rentable y respetada que fortalece su competitividad por medio de alianzas estratégicas con las empresas más dinámicas y prestigiosas del sector. (Corporación Aceros de Guatemala)

1.2.2. Misión

La misión de la Corporación es dedicarse a la investigación, compra, producción, financiamiento y distribución de productos básicos de acero y productos afines para la construcción, en Centroamérica, el Sur de México y Panamá, con miras a la expansión hacia América del Sur, México, el Caribe y los Estados Unidos. (Corporación Aceros de Guatemala)

1.3. Estructura organizacional

La empresa Aceros de Guatemala está organizada de la siguiente forma:

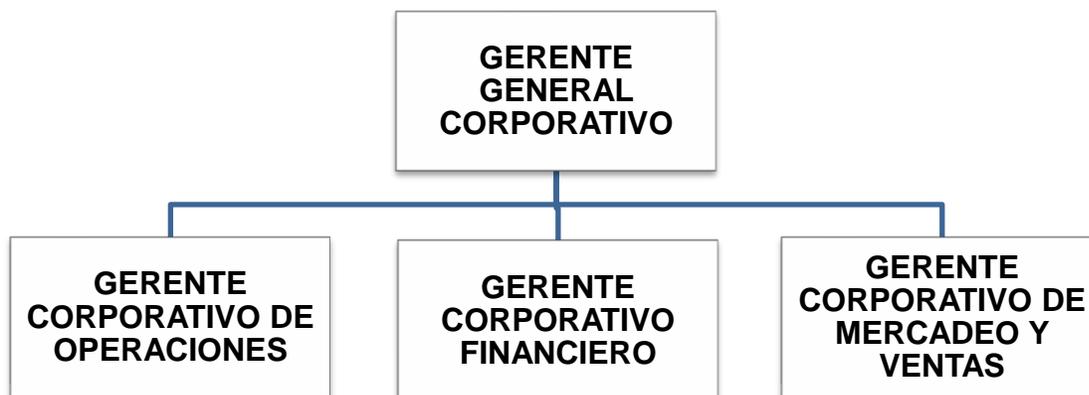
1.3.1. Junta directiva

Formada por los propietarios y principales ejecutivos de la Corporación.

1.3.2. Administración general

Su función principal es la administración y control de los bienes de la empresa. Está formada de la siguiente manera: (ver figura 1).

Figura 1. Estructura organizacional de la Corporación Aceros de Guatemala



Fuente: gerencia administrativa de la Corporación Aceros de Guatemala.

1.3.3. Organización de cada planta

Las plantas productivas están organizadas de la siguiente forma:

1.3.3.1. Gerencia administrativa

Es la encargada de la administración y control de los bienes de la empresa en cada planta de producción, su función es mantener el orden en todas las operaciones normales de cada empresa.

1.3.3.2. Gerencia de producción

Este departamento es el encargado de toda la producción en cada una de las plantas, su función básica es velar que la producción cumpla con los programas de mercadeo y ventas corporativos, así mismo que el producto tenga la calidad requerida.

1.4. Tipos de productos que comercializa la empresa

Aceros de Guatemala S.A., es una empresa fabricante de aceros. En concreto, produce y comercializa:

- Alambres
 - Amarre
 - Galvanizado
 - Espigado
 - Trefilado

Figura 2. **Alambre producido en Aceros de Guatemala**



Fuente: productos de Aceros de Guatemala.

- Clavos
 - Para lámina
 - Para madera

Figura 3. **Clavos producidos en Aceros de Guatemala**



Fuente: productos de Aceros de Guatemala.

- Perfiles
 - Angulares
 - Cuadrados
 - Planos
 - Lisos

Figura 4. **Perfiles producidos en Aceros de Guatemala**

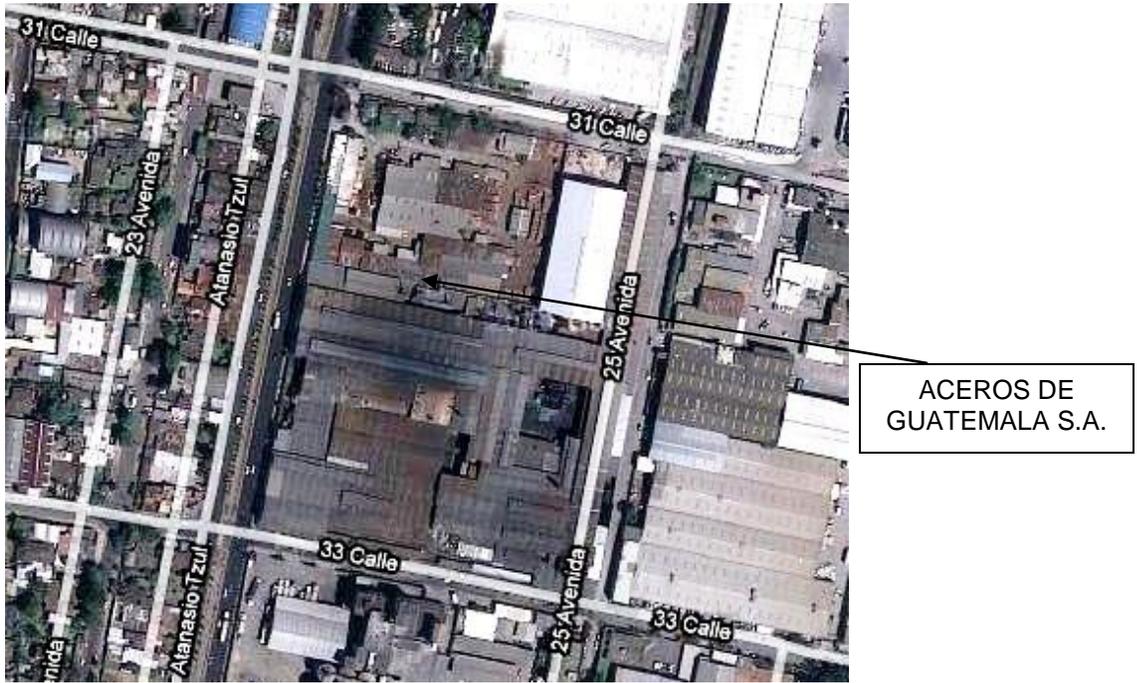


Fuente: productos de Aceros de Guatemala.

1.5. Ubicación

En un entorno geográfico tradicionalmente centrado en la producción y transformación del acero, se dispone de una planta de laminación en caliente para la producción de perfiles y de naves que sirven como almacenes del *stock* para el producto terminado. La Planta de Laminación de Perfiles se encuentra ubicada en la Ciudad de Guatemala, específicamente en la 33 Calle 24-65 Zona 12 (ver figura 5).

Figura 5. **Ubicación geográfica de la Planta de Laminación de Perfiles de Aceros de Guatemala**



Fuente: Googlemaps. 2001 Google Imágenes. *DigitalGlobe*.

1.6. Composición química y características del acero

El acero es una aleación de hierro y carbono, que conserva las características metálicas del primero, pero con propiedades notablemente mejoradas gracias a la adición del segundo y de otros elementos metálicos y no metálicos. Donde el carbono no supera el 2,1% en peso de la composición de la aleación, alcanzando normalmente porcentajes entre el 0,2% y el 0,3%. Porcentajes mayores que el 2,0% de carbono dan lugar a las fundiciones,

aleaciones que al ser quebradizas y no poderse forjar —a diferencia de los aceros—, se moldean.

Los aceros son las aleaciones más utilizadas en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y obras públicas, habiendo contribuido al alto nivel de desarrollo tecnológico de las sociedades industrializadas. A continuación se citan algunas propiedades genéricas del acero utilizado para la fabricación de lingotes de los que se obtienen los perfiles laminados:

- La densidad media es de 7 850 kg/m³.
- En función de la temperatura el acero se puede contraer, dilatar o fundir.
- El punto de fusión del acero depende del tipo de aleación y los porcentajes de elementos aleantes. El de su componente principal: el hierro, es de alrededor de 1 510 °C en estado puro (sin alear), sin embargo el acero presenta frecuentemente temperaturas de fusión de alrededor de 1 375 °C, y en general la temperatura necesaria para la fusión aumenta a medida que se aumenta el porcentaje de carbono y de otros aleantes.
- El punto de ebullición es de alrededor de 3 000 °C.
- Material muy tenaz, especialmente en alguna de las aleaciones usadas para fabricar herramientas.
- Relativamente dúctil.
- Maleable.
- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.
- La dureza del acero varía entre la del hierro y la que se puede lograr mediante su aleación u otros procedimientos térmicos o químicos entre los cuales quizá el más conocido sea el templado del acero, aplicable a aceros con alto contenido en carbono, que permite cuando es superficial, conservar un núcleo tenaz en la pieza que evite fracturas frágiles.

- Se puede soldar con facilidad.
- La corrosión es la mayor desventaja del acero ya que el hierro se oxida con gran facilidad incrementando su volumen y provocando grietas superficiales que posibilitan el progreso de la oxidación hasta que se consume la pieza por completo. Tradicionalmente los aceros se han venido protegiendo mediante tratamientos superficiales diversos.
- Posee una alta conductividad eléctrica. (Rugui S.L. Pol. Ind. Acero laminado).

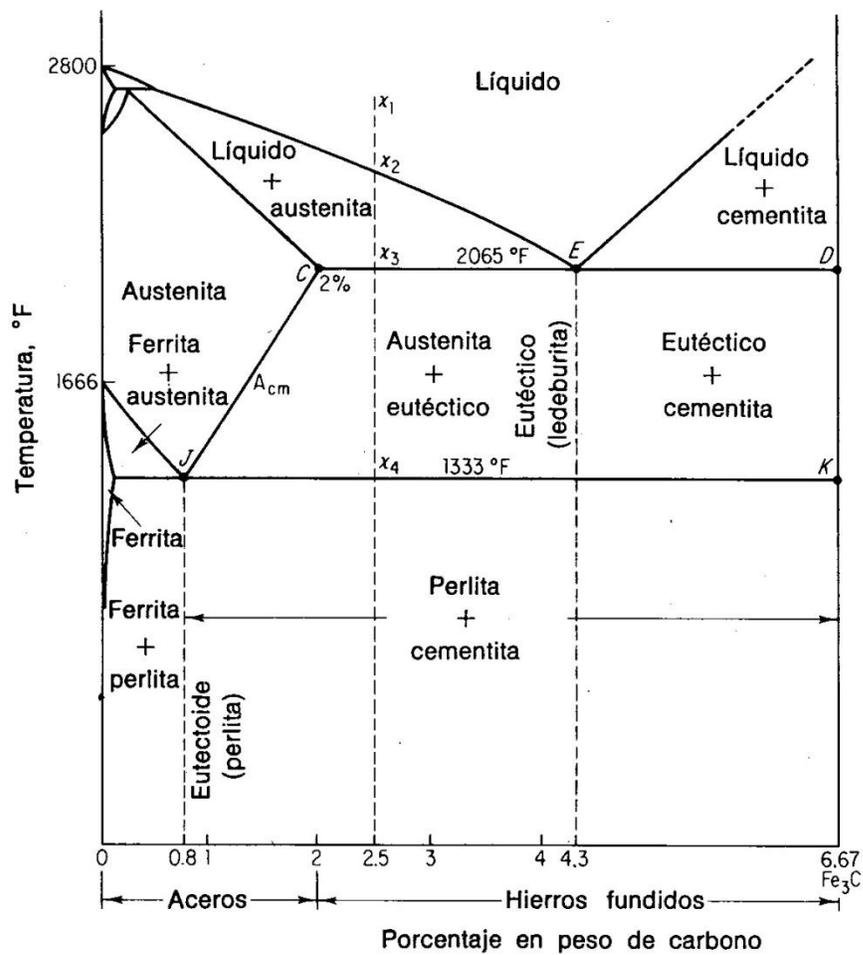
1.6.1. Introducción al hierro fundido

El hierro fundido es una aleación de hierro y carbono, en la que la proporción de este último elemento se encuentre entre 2 y 6,67%. El alto contenido de carbono es el responsable de la gran fragilidad del material, por lo cual no se suelen utilizar en la industria hierros fundidos de más de 4% de contenido de carbono. Desde el punto de vista industrial, la importancia del hierro se debe a las propiedades que adquiere al ser aleado con el carbono. El carbono se puede encontrar en el hierro de las siguientes formas:

- Disuelto en hierro gamma, formando una solución sólida denominada austenita.
- Disuelto en hierro alfa en muy pequeñas proporciones.
- Combinado con el hierro, formando un compuesto denominado cementita (Fe_3C).
- Libre formando láminas o nódulos de grafito (Avner, Sydney. Introducción a la metalurgia física).

Los cambios de estado del hierro y el acero se verifican cuando los cambios de temperatura son lentos, según se representa en el diagrama hierro-carbono (ver figura 6).

Figura 6. Diagrama de fases del sistema hierro-carbono



Fuente: Sydney Avner. Introducción a la Metalurgia Física, p. 422.

Mediante la variación de la velocidad en los calentamientos y enfriamientos del acero se pueden obtener determinadas estructuras y con ello variar considerablemente las propiedades de los aceros y las piezas fabricadas con este material.

Los objetivos que se logran con los tratamientos térmicos son:

- Lograr una estructura de menor dureza y mayor maquinabilidad.
- Eliminar tensiones internas para evitar deformaciones después del mecanizado.
- Eliminar la acritud originada por el trabajo en frío.
- Conseguir una estructura más homogénea.
- Obtener máxima dureza y resistencia. (Avner, Sydney. Introducción a la metalurgia física).

1.7. Laminación de perfiles de acero

Este proceso busca transformar lingotes de acero en productos de diferentes formas, que pueden ser varillas de construcción, perfiles y alambión. Esta transformación se realiza por medio de cilindros de laminación, que son los que ejercen fuerzas de compresión sobre el material caliente que ha sido calentado hasta 1 150 °C, lo que origina expansión del lingote en volumen que es restringido por los canales que se maquinan en los cilindros.

La laminación en caliente sucede luego de sufrir varios pasos de deformación, donde el endurecimiento del material por efecto del trabajo mecánico o acritud, es contrarrestado con un ablandamiento térmico del mismo.

Para obtener los productos, finalmente se procede al enfriado al aire y luego al corte conforme a las longitudes deseadas.

1.8. Acero laminado

El acero que sale del horno alto de colada de la siderurgia es convertido en acero bruto fundido en lingotes de gran peso y tamaño que posteriormente hay que laminar para poder convertir el acero en los múltiples tipos de perfiles comerciales que existen de acuerdo al uso que vaya a darse del mismo. El proceso de laminado consiste en calentar previamente los lingotes de acero fundido a una temperatura que permita la deformación del lingote por un proceso de dilatación térmica y desbaste que se produce en una cadena de cilindros a presión llamado tren de laminación.

Estas barras se someten a una temperatura aproximada de 1 250° C en el horno de recalentamiento para garantizar su maleabilidad. Acto seguido, la palanquilla o lingote pasa por un área de desbaste donde se descascarilla y se libra de impurezas. Una vez efectuado este proceso, entra en un proceso totalmente automatizado en el cual es reconducida por un camino de rodillos hacia una caseta de rodillos reversibles donde la barra empieza a tomar unas dimensiones y una longitud más aproximada al perfil a laminar.

El perfil se desplaza por un camino de rodillos hacia la placa de enfriamiento, donde la aplicación de agua hace que el perfil disminuya hasta la temperatura óptima, pasando a la zona de enderezado, donde se consigue la rectitud óptima del perfil antes de continuar el proceso. Ya enderezados, los perfiles son cortados a las medidas pertinentes y finalmente son empacados.

1.9. Palanquilla o lingote de acero

La palanquilla es un producto elaborado en sección cuadrada, cortado en tramos longitudinales determinados para ser transformado por proceso de laminación en caliente en otros productos como: barras corrugadas, barras lisas, alambrión y perfiles entre otros. Sus características principales son las siguientes:

- Barra de área transversal cuadrada de 10 cm^2
- Peso de 76 kg por metro

Tiene longitudes diferentes, dependiendo del tipo de producto que se requiera de él, siendo éstas: 2,00, 2,05 y 2,14 metros.

Figura 7. **Lingote de acero**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

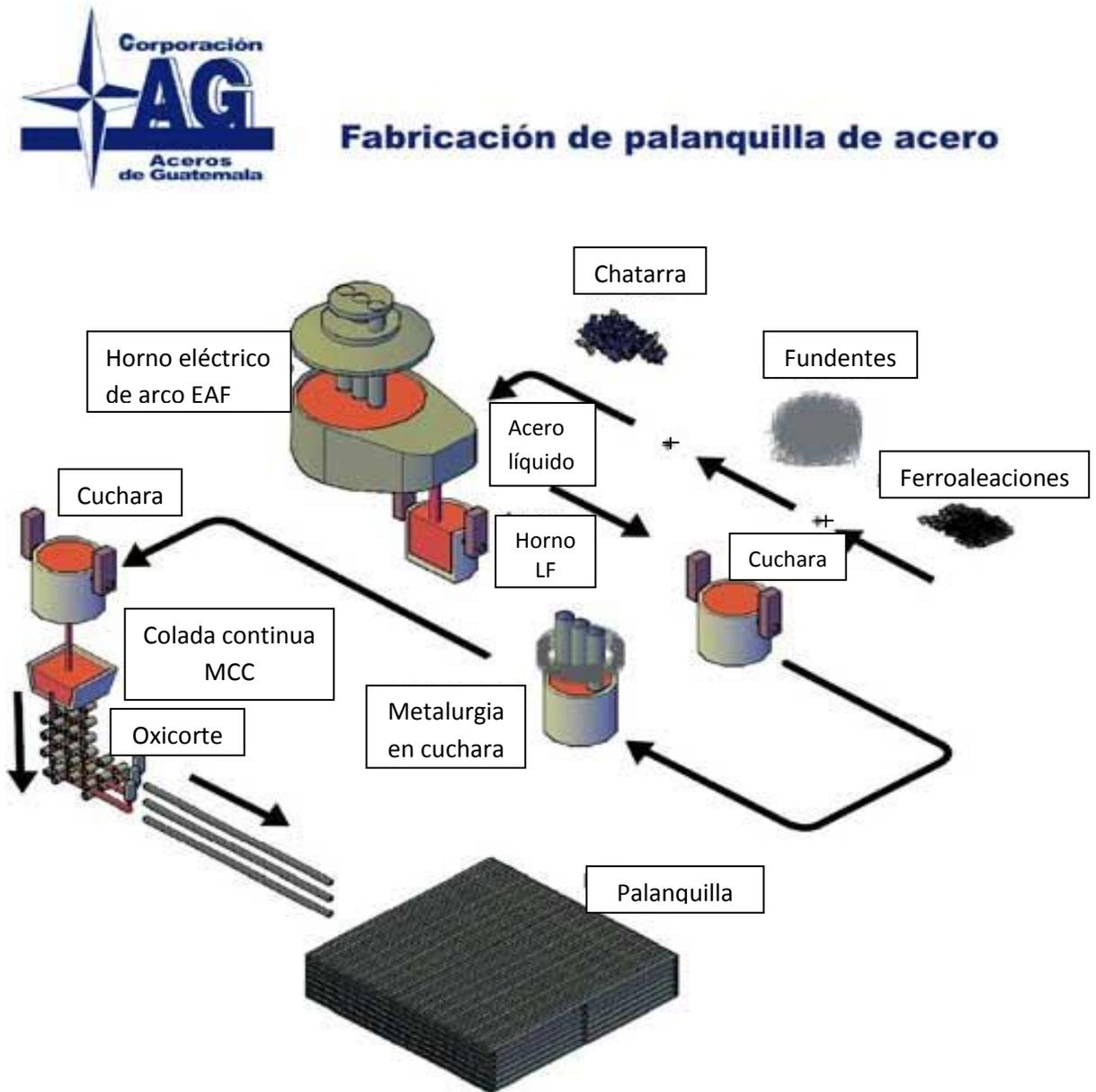
1.9.1. Fabricación de lingote de acero

La fabricación del lingote comienza a partir de la clasificación de chatarra ferrosa de acuerdo a su densidad y composición química. La misma es posteriormente cargada en cestas en donde se le agrega cal, coque (combustible obtenido de la destilación de la roca sedimentaria orgánica, un tipo de carbón mineral que contiene entre un 45 y un 85% de carbono calentada a temperaturas muy altas en hornos cerrados y a la cual añaden calcita para mejorar su combustión) y escorias sintéticas. Estas cestas son vaciadas en un horno EAF (*Electric Arc Furnace*), el cual funde la chatarra y le eleva la temperatura.

Al alcanzar 1 600°C se traslada el acero líquido al horno LF (*Ladle Furnace*) donde se da el proceso de refinamiento, ajustando todos los elementos químicos acorde a la composición requerida.

La etapa siguiente es llamada colada continua, el cual es un proceso siderúrgico en el que el acero es vertido directamente en un molde de fondo desplazable cuya sección transversal tiene la forma geométrica del producto que se desea fabricar, en este caso la palanquilla. Posteriormente, el acero líquido es procesado en la máquina de colada continua (MCC), convirtiéndose en lingotes de acero sólido, los cuales se enderezan y cortan a la medida requerida para el proceso de laminación. Finalmente los lingotes son enviados a patios abiertos para su enfriamiento y posterior traslado a las plantas de laminación. (Construmática. Artículo en línea: Proceso de fabricación a partir de chatarra).

Figura 8. Diagrama del proceso de producción de lingote de acero



Fuente: Aceros de Guatemala: fabricación de palanquilla de acero.

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROCESO DE LAMINACIÓN

2.1. Condición actual

La laminación de perfiles es un proceso primario en el que se emplean rangos de deformación plásticos del acero tanto por encima como por debajo de su recristalización a fin de prepararlo para trabajos adicionales o para fabricación. El metal prensado en el área pequeña de los rodillos laminadores se mueve en sentido longitudinal y extendiéndose muy poco en lo ancho. Se puede ayudar algunas veces a este trabajo de compresión si se mantiene una considerable deformación por tracción en la dirección de la laminación.

Por lo general se precalienta un lingote de acero para la etapa preliminar de la laminación. El lingote pasa progresivamente en rápida sucesión por una serie de laminadores calientes. Este sistema de producción requiere un control preciso para que cada bastidor o eje de rodillos funcione con bastante más rapidez que el precedente a fin de compensar el alargamiento que ha ocurrido en el metal.

La laminación de perfiles estructurales suele ser en caliente, con contornos de paso por los rodillos diseñados para distribuir el desplazamiento del metal en una serie de pasos que moldean el material para lograr la forma del perfil deseado.

Figura 9. **Laminación en caliente**



Fuente: planta de laminación de Aceros de Guatemala.

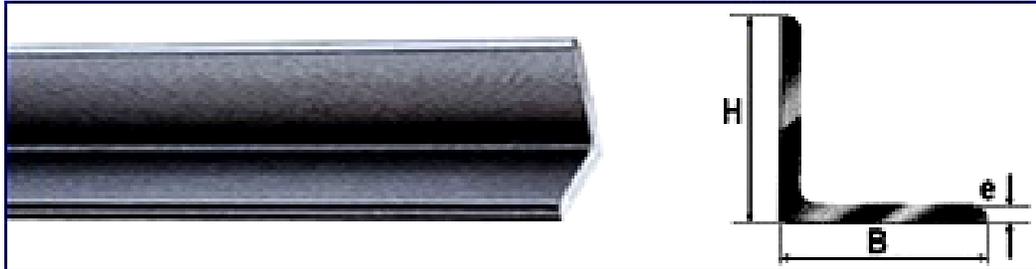
2.1.1. Tipos de perfiles

En la empresa Aceros de Guatemala se fabrican los siguientes perfiles laminados:

2.1.1.1. Angulares

Los perfiles angulares se suelen utilizar principalmente en el sector de las estructuras metálicas y de acero para la construcción, así como para el sector de la fabricación de maquinaria.

Figura 10. **Perfil angular de base B, altura H y espesor e**



Fuente: ficha técnica control de calidad de Aceros de Guatemala.
Especificaciones Técnicas-Perfiles.

Este tipo de perfil es laminado en caliente, cuya sección tiene forma de "L", sus lados son iguales y forman un ángulo de 90° entre sí. Este perfil después de ser laminado es enderezado en frío mediante el proceso de la sección de rodillos de enderezado de la planta de laminación, los cuales se encargan de ejercer presión sobre el perfil con el objetivo de corregir torceduras o defectos físicos.

Los ángulos estructurales o perfiles angulares se aplican en la construcción de estructuras metálicas livianas y pesadas, donde las partes van unidas por soldadura o apernadas y son capaces de soportar esfuerzos dinámicos. También son utilizados en estructuras remachadas, atornilladas o soldadas.

Tabla I. **Especificaciones físicas del perfil angular**

Perfil Angular			
Descripción Ala x Espesor	Medidas (mm) nominales		Libras por unidad
	Ala	Espesor	
3/4" x 1/8"	19	3,2	11,77
1" x 1/8"	285,4	3,2	16,00
1" x 3/16	25,4	4,7	22,71
1 1/4" x 1/8"	31,7	3,2	21,1
1 1/4" x 3/16"	31,7	4,7	28,63
1 1/2" x 1/8"	38,1	3,2	24,77
1 1/2" x 3/16"	38,1	4,7	33,78
1 1/2" x 1/4"	38,1	6,4	44,40
2" x 1/8"	50,8	3,2	31,21
2" x 3/16"	50,8	4,7	44,01
2" x 1/4"	50,8	6,4	59,14

Fuente: ficha técnica control de calidad de Aceros de Guatemala.
Especificaciones Técnicas-Perfiles.

2.1.1.2. Cuadrados

Se denomina cuadrado al producto suministrado en forma recta cuya sección recta transversal constante es cuadrada. El uso estructural es poco

frecuente, dadas las dificultades de conexión, pero es posible en estructuras livianas. Se utiliza acero cuadrado como elemento de tracción y como perfil de relleno.

Figura 11. **Perfil cuadrado laminado en acero**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Tabla II. **Especificaciones físicas del perfil cuadrado**

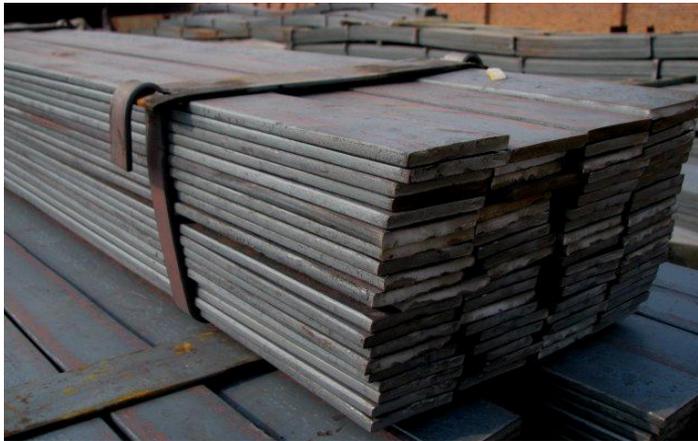
Perfil Cuadrado		
Designación	Medida mm	Libras por unidad
3/8"	9,5	9,10
1/2"	12,7	16,19

Fuente: ficha técnica control de calidad Aceros de Guatemala.
Especificaciones Técnicas-Perfiles.

2.1.1.3. Planos

Los perfiles planos conocidos también como “hembras” son perfiles con sección transversal rectangular (ver figura 12), su principal uso es para estructuras donde se requiere una capacidad de soporte de carga alta.

Figura 12. **Perfil plano o hembra**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Las especificaciones técnicas de estos perfiles se detallan en la tabla III.

2.1.1.4. Lisos

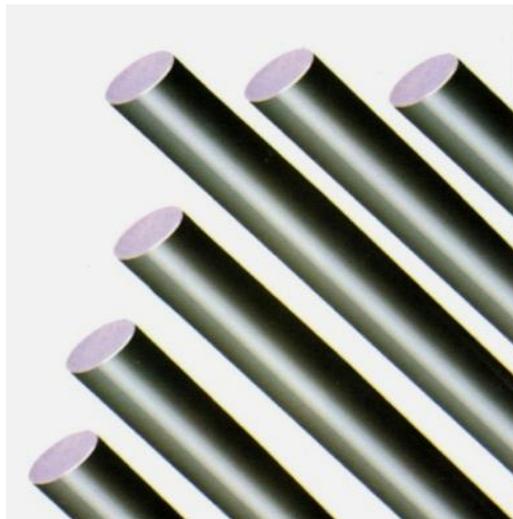
Por lo general, este tipo de perfiles es utilizado para la fabricación de eslabones, estribos y otros trabajos de herrería, tiene sección transversal redonda de diferentes medidas (ver figura 13). La tipología específica de este material es la construcción metálica ligera y sus aplicaciones directas de tracción.

Tabla III. **Especificaciones físicas del perfil plano**

Descripción	Medidas (mm)		Libras por unidad
	Ala	Espesor	
1" x 1/8"	12,7	3,2	3,58
1" x 3/16"	19,0	3,2	6,55
1" x 1/4"	25,4	3,2	8,60

Fuente: ficha técnica control de calidad Aceros de Guatemala.
Especificaciones Técnicas Pérfiles.

Figura 13. **Perfil redondo liso**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Tabla IV. **Especificaciones físicas del perfil redondo liso**

Diámetro Nominal	Medida mm	Libras por unidad	
		6 m	9 m
3/8"	9,3	7,23	10,85
1/2"	12,5	12,88	19,32
5/8"	15,6	20,62	30,32
3/4"	18,8	29,68	44,11

Fuente: ficha técnica control de calidad Aceros de Guatemala.
Especificaciones Técnicas-Perfiles.

2.1.2. Diagrama de flujo de operaciones del proceso de laminación

La materia prima para la fabricación de perfiles es la palanquilla de acero. La palanquilla es cortada a diferentes medidas y luego es almacenada en el patio de enfriamiento o bien, es trasladada al horno de recalentamiento (marca Bendotti) para fabricar perfiles o varilla corrugada. El horno de recalentamiento tiene un deshornamiento frontal, funciona a base de *Bunker C* y aire. Su función principal es elevar la temperatura de 600 °C que trae la palanquilla desde la colada continua hasta 1 150 °C.

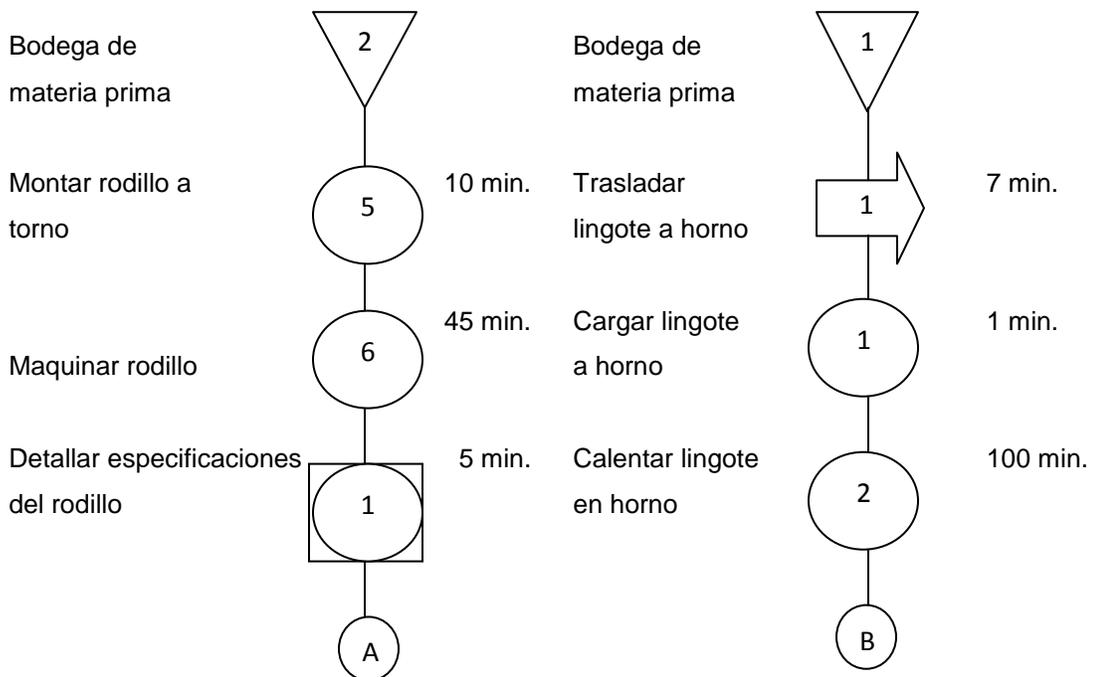
Una vez recalentada la palanquilla, es trasladada al tren de desbaste, que es una caja de laminación que consta de una pareja de cilindros que giran en sentido contrario, uno respecto del otro; sometiéndose a un proceso de conformación mecánica que reduce el área de la palanquilla de 100 x 100 mm a

30 x 30 mm. Seguidamente, pasa por el tren intermedio reduciendo el material de 30 x 30 mm a diferentes medidas que a su vez se siguen reduciendo en el tren acabador hasta llegar a la variedad de medidas y formas según se tenga la programación de producción de perfiles (angulares desde ¾" hasta 2", cuadrados de 3/8" y ½", hembras hasta de 1" y redondo lisos hasta ¾").

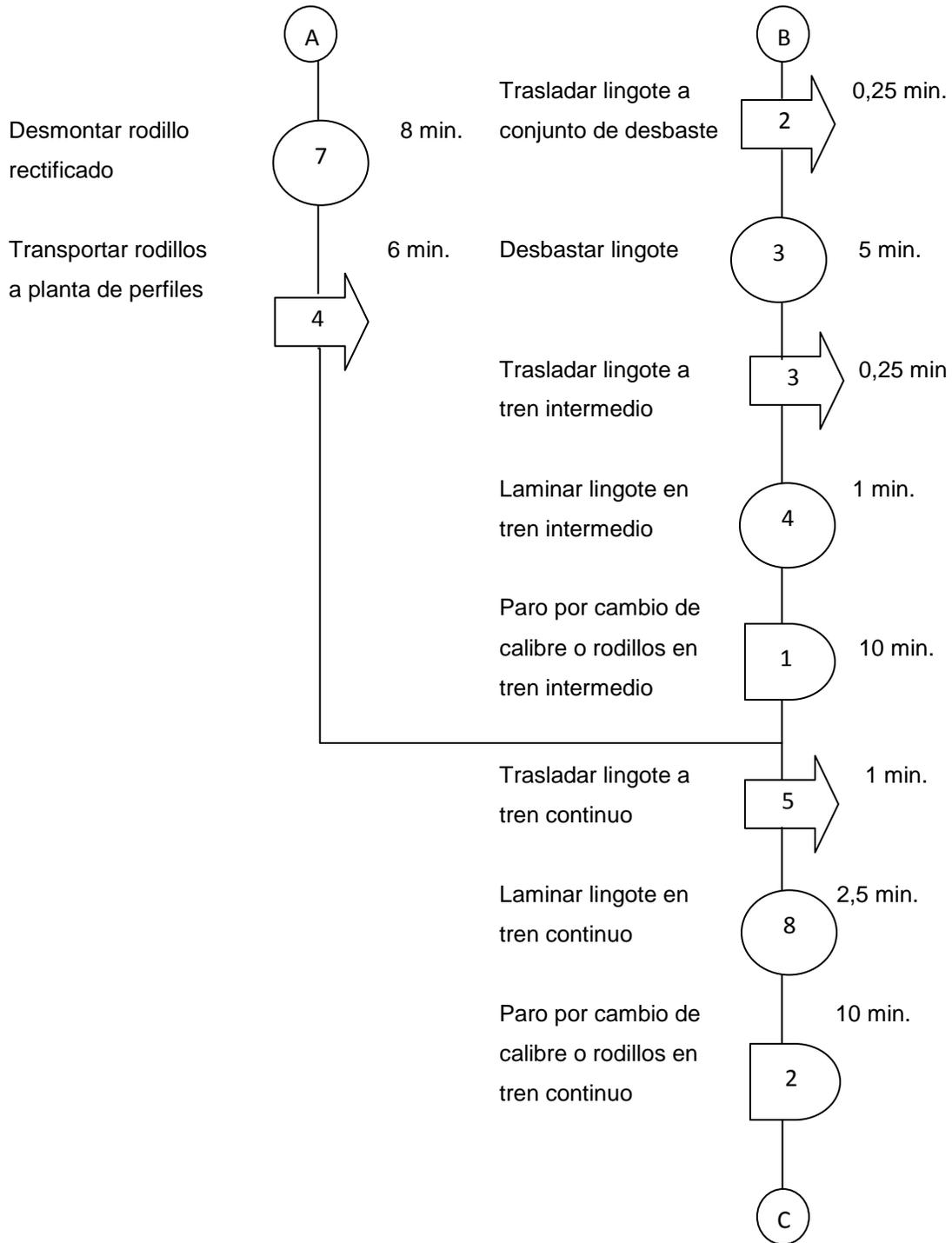
El perfil pasa a la cama de enfriamiento y después pasa para ser cortado a seis y/o nueve metros de longitud según se requiera. Por último, pasa a empaque y son almacenados en la bodega de producto terminado. El proceso de laminación es del tipo de producción en línea, donde el lingote pasa por las diferentes estaciones descritas en el diagrama de flujo.

Figura 14. **Diagrama de flujo de operaciones del proceso de laminación**

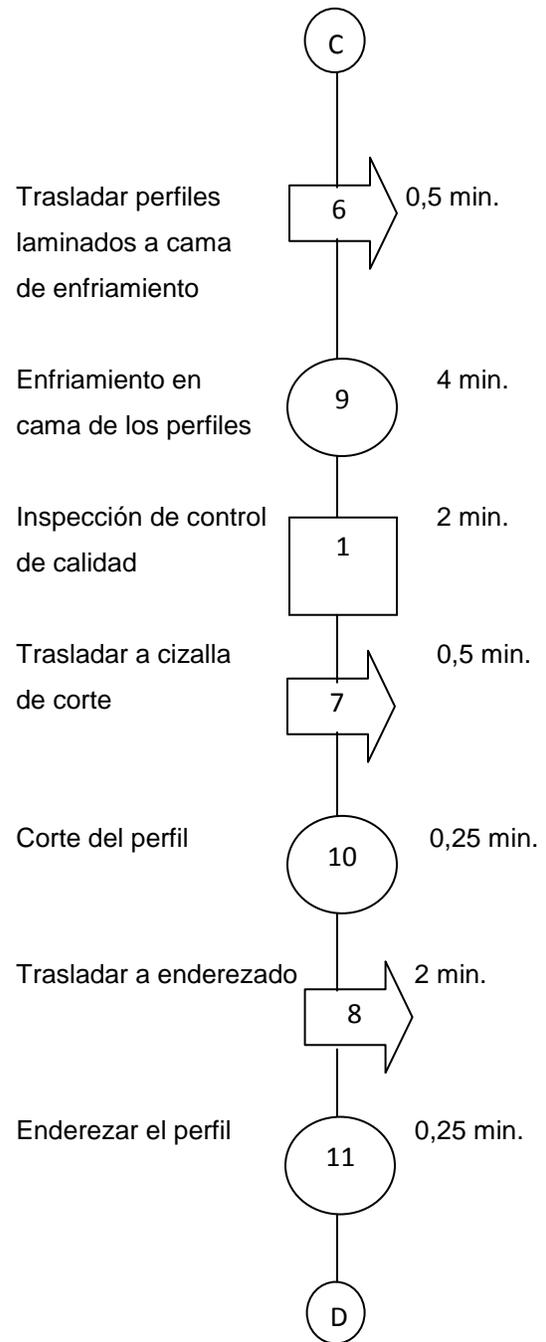
DIAGRAMA DE FLUJO DE OPERACIONES DE PROCESO		
Aceros de Guatemala S.A	Método Actual	
Planta de Laminación de Perfiles	Elaborado por Pablo Salazar	Producto "X"



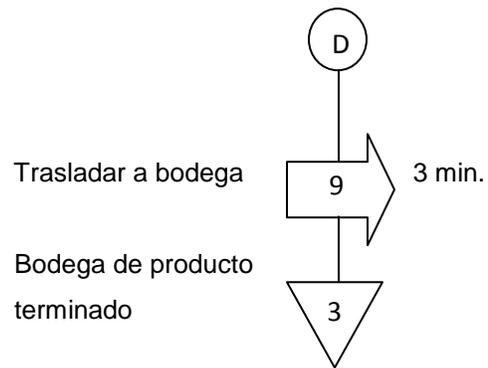
Continuación figura 14.

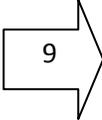


Continuación figura 14.



Continuación figura 14.



RESUMEN		
Operación		177 minutos
Inspección		2 minutos
Operación e inspección		5 minutos
Transporte		15,5 minutos
Demora		20 minutos
Almacenaje		
TOTAL		219,5 minutos

Fuente: elaboración propia.

2.1.2.1. Horno

Horno BENDOTTI (ver figura 15) de capacidad para producción de 12 toneladas por hora, se encarga del calentamiento de planchales a 1 275 °C. Aquí ingresan los lingotes o planchales de hierro para ser procesados. El combustible utilizado es bunker. Existen lingotes de diferentes medidas según la necesidad del producto, siendo estas:

- Lingotes de 2,0 metros
- Lingotes de 2,05 metros
- Lingotes de 2,14 metros

Figura 15. Horno BENDOTTI



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

2.1.2.2. Desbaste

El objetivo de esta fase es reducir el diámetro o grosor del lingote a la vez que se aumenta su longitud para poder procesarlo. Esto se logra a través de molinos de laminación capaces de ejercer presiones suficientemente altas para desbastar el lingote (ver figura 16).

Figura 16. Área de desbaste



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

2.1.2.3. Rodillos del tren intermedio

Estos rodillos se encargan de dirigir y dar la forma al lingote procesado, son el punto de conexión hacia los rodillos de laminación. Está formado por 3 pases. Cada pase se refiere a un par de rodillos que son la etapa inicial por la que debe pasar el perfil laminado.

Figura 17. **Rodillos del tren intermedio**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

2.1.2.4. Rodillos del tren continuo

Son los rodillos laminadores, estos se encargan de reducir el diámetro del hierro hasta la medida comercializada y de dar la forma al lingote según el tipo de producto. Cuenta con 6 pases, siendo el último el más importante pues es el motor o molino acabador y por consiguiente el que más cargas soporta. Al final existe una cizalla que corta los perfiles en medidas de 18 metros (ver figura 18).

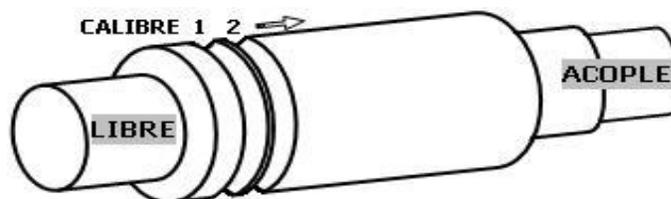
En la figura 19 se muestra un esquema de la forma de los rodillos de donde se puede apreciar de mejor forma la disposición de los calibres por donde pasa el hierro al momento de ser laminado. Estos calibres se encargan de darle las diferentes formas al hierro para cada uno de los productos y medidas descritos anteriormente.

Figura 18. **Rodillos del tren continuo**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Figura 19. **Esquema de un rodillo de laminación**



Fuente: ficha técnica control de calidad Aceros de Guatemala.

2.1.2.5. Cama de enfriamiento

Su función consiste en transportar los perfiles hacia la sección de corte, agrupándolos según el producto. En esta sección, el perfil es enfriado desde su temperatura de laminado hasta alcanzar una más baja para poder ser cortado.

Figura 20. **Cama de enfriamiento**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

2.1.2.6. Corte

Esta estación procede a cortar los perfiles en grupos de 6 o 9 metros de largo, según la necesidad del producto. La máquina que se encarga del corte de los perfiles se llama cizalla y está formada por cuchillas de metal que ejercen presión sobre las piezas a cortar (ver figura 21).

2.1.2.7. Enderezado y atado

En enderezado se procede a la rectificación final de los perfiles y a empacarlos en grupos de 10 unidades (ver figura 22). Con esto se termina el proceso y son llevados a la bodega de producto terminado (ver figura 23).

Figura 21. **Cizalla**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Figura 22. **Área de enderezado**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Figura 23. **Sección de atado de perfil**



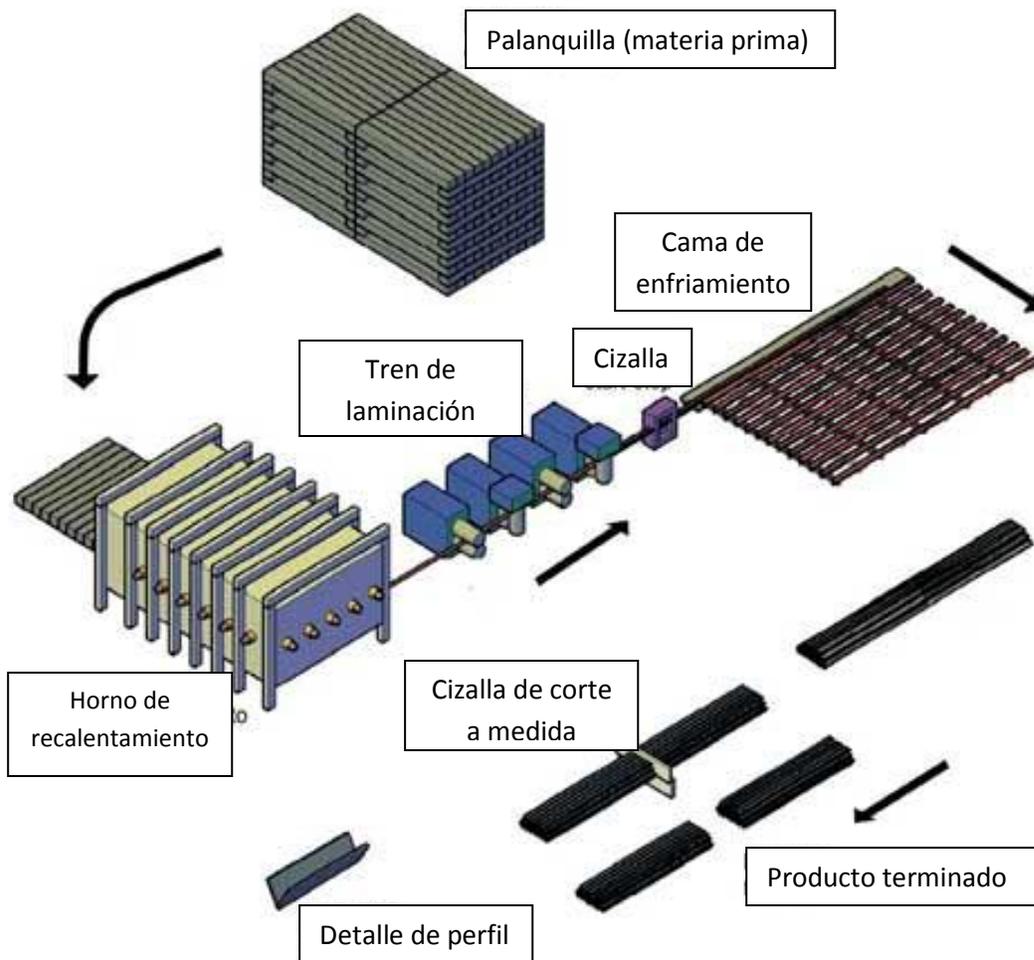
Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Todo el proceso anteriormente descrito es el que conforma las estaciones o etapas por las cuales deben pasar los perfiles de acero para poder ser laminados. A continuación se muestra en la figura 24 el proceso de laminación de perfiles representando la disposición física de la maquinaria y equipo detallado.

Figura 24. Proceso de laminación de perfiles



Laminación de perfiles



Fuente: ficha técnica de Aceros de Guatemala: laminación de perfiles.

2.1.3. Descripción del proceso de laminación

En la figura 25 se describen los factores que integran el proceso de laminación en la planta de perfiles y cómo éstos están relacionados entre sí. Cada uno de ellos se agrupa en las principales categorías descritas:

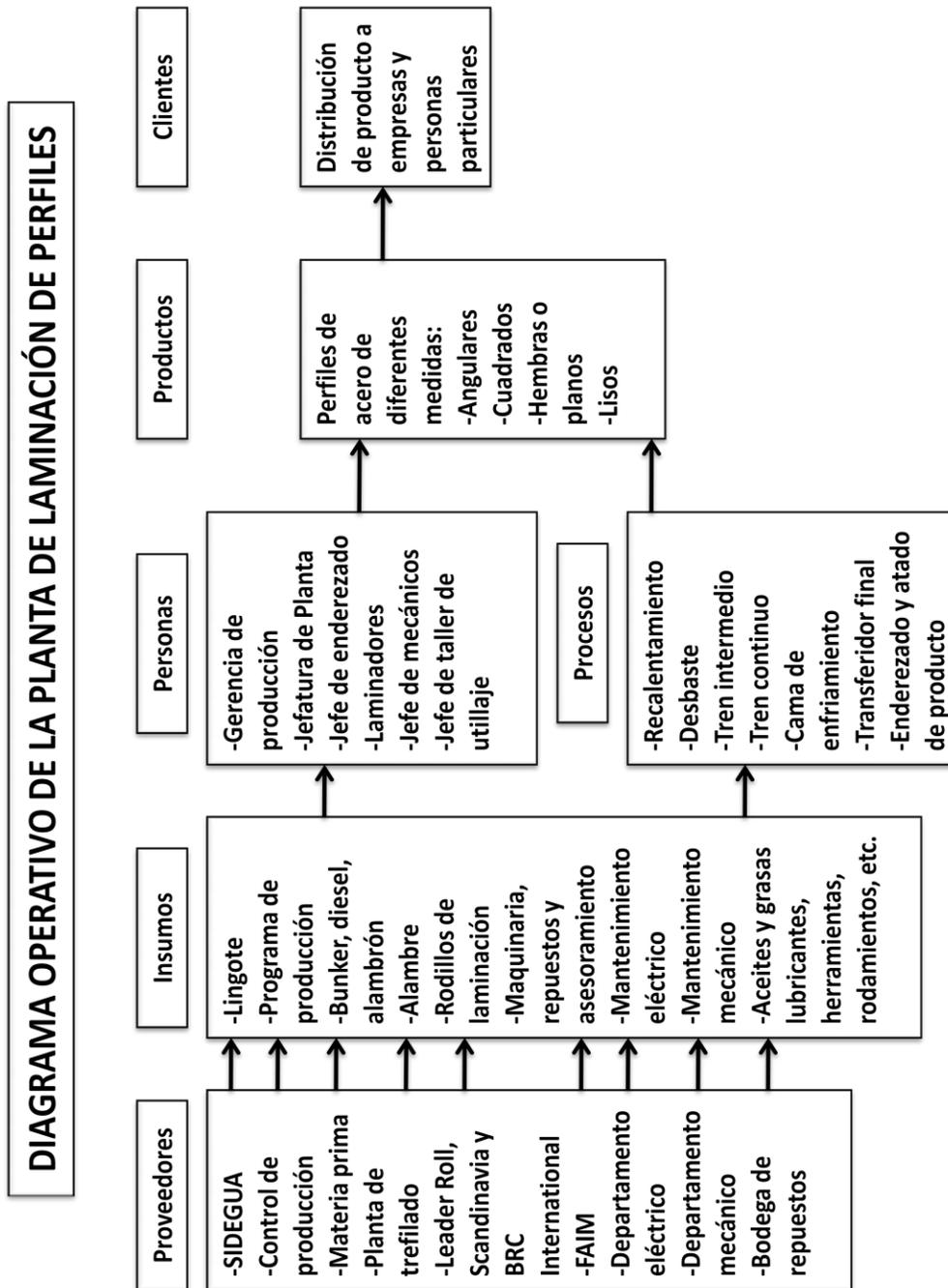
- Proveedores: son quienes proveen a la planta de los materiales y servicios necesarios para el proceso de laminación.
- Insumos: son todos los recursos o entradas del proceso.
- Procesos y personas: describe las fases del proceso de laminación y las personas que tienen a su cargo el desarrollo del mismo.
- Productos: se refiere a las salidas obtenidas del sistema, describe los bienes o tipos de productos que se elaboran, en este caso los perfiles definiendo sus especificaciones o medidas.
- Clientes: son quienes requieren o demandan los productos obtenidos.

2.1.4. Distribución de maquinaria y personal en planta

La distribución del equipo, maquinaria y personal en la planta de laminación de perfiles se describe en la figura 26. En ella se presentan las etapas del proceso de laminación, iniciando desde el calentamiento del lingote en el horno, esta etapa se refiere al inicio del proceso de laminación donde la palanquilla de acero es recalentada hasta lograr la temperatura adecuada para poder ser laminada aproximadamente de 1 150 °C.

Después es llevada al área de desbaste, donde a través de unos rodillos que ejercen presión sobre el material se reduce el diámetro de la palanquilla produciendo un incremento en su longitud.

Figura 25. Diagrama operativo de la planta de laminación de perfiles



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Posteriormente se transfiere al tren de rodillos de laminación, los cuales dependiendo del tipo de perfil que se está produciendo se encargan de darle forma y dimensión a la palanquilla mediante los diferentes calibres que poseen, éstos calibres o canales por los que pasa el acero se encuentran distribuidos a lo largo de la superficie de los rodillos.

Al final se encuentra la cama de enfriamiento que se encarga de trasladar los perfiles hasta la etapa de corte y enderezado donde son empacados para su posterior comercialización. En la figura 26 también se indican dónde están ubicados los operarios de acuerdo al puesto o función que desempeñan.

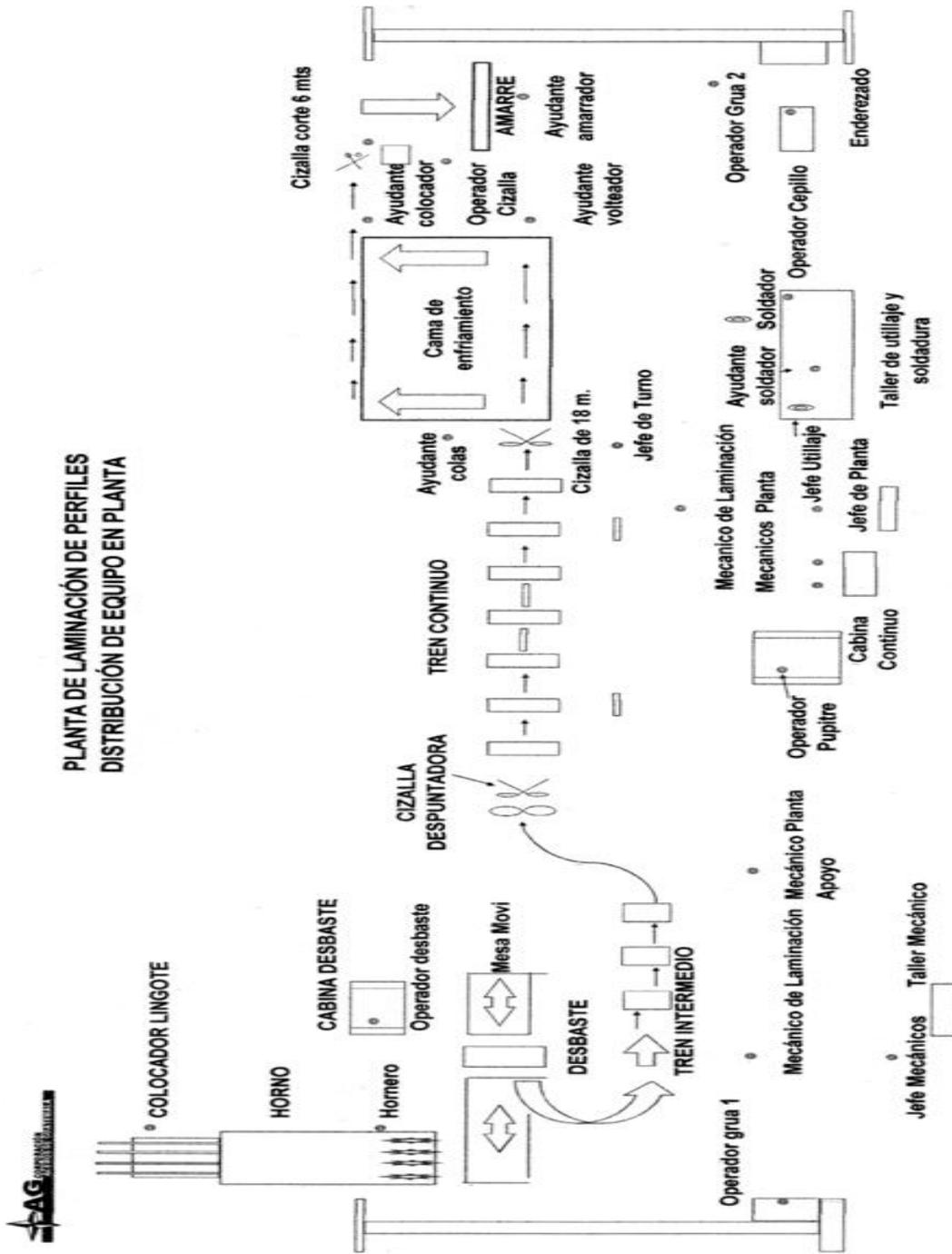
2.2. Eficiencia

La eficiencia de la planta de laminación de perfiles está determinada por una serie de indicadores, los cuales hacen referencia al aprovechamiento de los insumos utilizados y necesarios que deben emplearse en el proceso de laminación. A continuación se describen estos parámetros y cómo los mismos influyen de manera directa a establecer la eficiencia general del proceso.

2.2.1. Pérdida metálica

Este indicador mide las pérdidas metálicas ocurridas en el proceso productivo de laminación por tonelada de acero producida. Las pérdidas metálicas abarcan todas las pérdidas en el proceso (chatarras generadas en el laminador, despuntes en tijeras de corte en frío y en caliente, y barras cortas), las pérdidas de calidad (chatarra generada por calidad) y producto no conforme.

Figura 26. Distribución de maquinaria y personal en planta

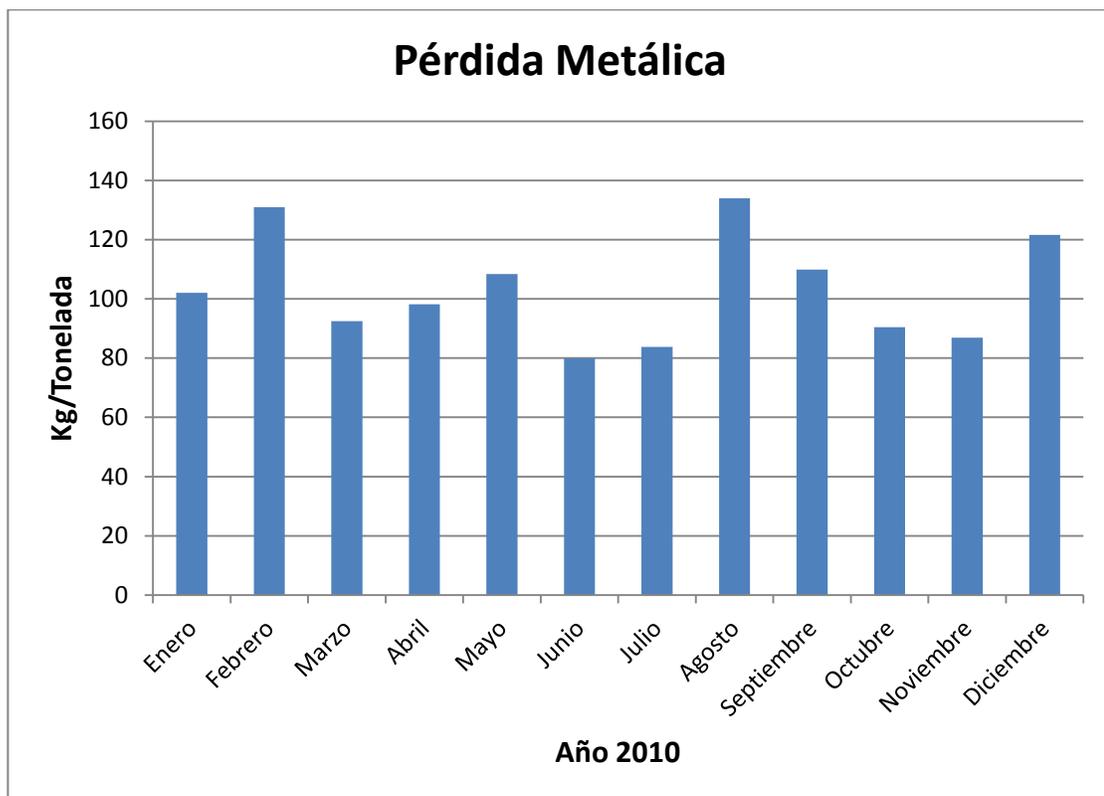


Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

La unidad de medición para la pérdida metálica se determina en kg/TM, es decir el peso en kilogramos de material perdido durante el proceso de laminación respecto a las toneladas producidas de producto en buenas condiciones. Su relación es la siguiente:

$$PM = \frac{\text{total de pérdidas metálicas (kg)}}{\text{producción total (toneladas)}}$$

Figura 27. **Pérdida metálica**



Fuente: elaboración propia.

En promedio la pérdida metálica actual para el proceso de laminación se encuentra en aproximadamente 100 kg/TM al mes.

2.2.2. Rendimiento metálico

El rendimiento metálico mide el porcentaje de empleo del acero efectivamente transformado en perfiles laminados buenos (ver figura 28). La producción corresponde a las cantidades confirmadas en las órdenes de producción, eso es a la producción de perfiles laminados buenos. La chatarra se descuenta del total de producción. El peso de los lingotes o palanquillas utilizadas para el proceso de laminación normalmente se obtiene del peso nominal de las mismas. Su relación es la siguiente:

$$RM = \frac{\text{producción total (toneladas)}}{\text{peso total de lingotes empleados (toneladas)}} \times 100$$

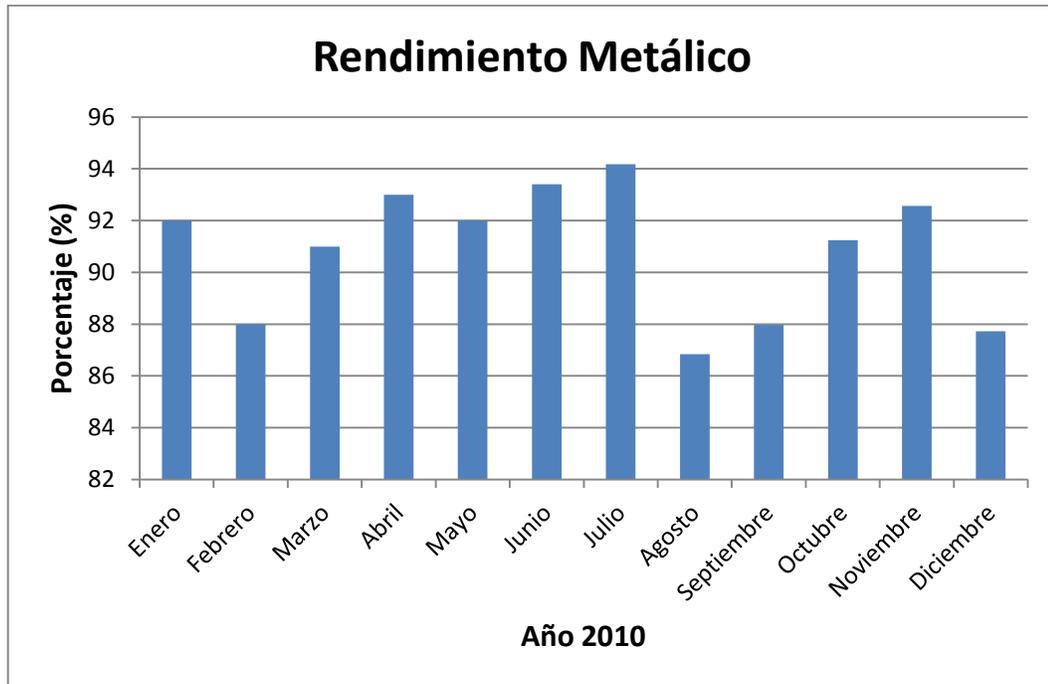
2.2.3. Utilización

Este indicador mide el porcentaje de utilización del equipo durante un período de producción determinado (normalmente establecido en un mes).

$$\text{Utilización} = \frac{\text{tiempo útil}}{\text{tiempo programado total}} \times 100$$

La utilización se fija en base a un estudio de tiempos, comparando el resultado del período de estudio con el tiempo previsto para producción. Para estimar la utilización de la planta de laminación de perfiles se determinan los tiempos correspondientes descritos en la tabla V.

Figura 28. Rendimiento metálico



Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Tiempos considerados en el "control de tiempos"**

Tiempo calendario (C)					
Tiempo programado total (PT)				Causas externas	Tiempo libre
Tiempo programado p/producción (PP)			Paradas		
Tiempo útil (U)	Quiebra ritmo (R)	Interrupción(I)	(P)	(E)	(L)

Fuente: control de tiempos (Walter Ries) 2008, p.7.

2.2.3.1. Tiempo calendario (C)

Es el período calendario considerado en horas, eso es, los días del mes multiplicados por 24 horas.

Por ejemplo, para un mes de 30 días, se tiene: $30 \times 24 = 720$ horas.

2.2.3.2. Causas externas (E)

Son las horas paradas debido a motivos que no están bajo la gestión de la unidad industrial, como por ejemplo fallo de energía eléctrica por responsabilidad de la concesionaria, falta de gas natural por responsabilidad del proveedor, paros, fenómenos naturales como inundaciones, huracanes, etc. No son Causas Externas, las paradas de equipos debidas a:

- La falta de materia prima
- Problemas de movimiento y manoseo de materiales y/o materias-primas
- Problemas de utilidades (falta de agua, gas natural, aire comprimido, etc.)

2.2.3.3. Tiempo libre (L)

Son las horas en que el equipo, aunque apto para operar, no fue utilizado en la producción por decisión de la empresa, y no se realizó cualquier actividad operacional o de mantenimiento. Son considerados como Tiempo Libre:

- Falta de programación (falta de mercado)
- Reuniones o fiestas en que la empresa decide parar la producción
- Las horas pico de energía eléctrica cuando no utilizadas en paradas programadas (ejemplo: mantenimiento, cambios) o para producción

- Las horas de grandes reformas
- Las paradas anuales de mantenimiento
- Las paradas para implantación de inversiones
- El período de teste en frío de un nuevo equipo
- El tiempo vinculado al desarrollo de nuevos productos y mejora de los procesos.

Cuando se utiliza el Tiempo Libre para actividades generales, que no consumirían tiempo útil de operación, como limpieza predial y pintura, realizadas principalmente con objetivo de ocupar la mano de obra disponible, estas horas deben seguir siendo contabilizadas como Tiempo Libre. Las horas de mantenimiento de la temperatura en equipos y utilidades durante los meses de invierno (anticongelamiento), sin que haya producción en el período, se consideran como Tiempo Libre. También se considera Tiempo Libre el tiempo de espera en el cambio de turno o del horario de pico en la acería.

2.2.3.4. Tiempo programado total (PT)

Son las horas programadas para la producción y para las paradas programadas. Es decir este tiempo se define de la siguiente manera:

Tiempo programado total = Tiempo calendario - Causas externas - Tiempo libre

2.2.3.5. Tiempo programado para producción (PP)

Son las horas del Tiempo Programado Total, programadas para producción.

Tiempo programado para producción = Tiempo programado – Paradas

2.2.3.6. Paradas programadas (P)

Son caracterizadas por su previsibilidad, es decir, la programación anticipada y/o sistemática. Son las horas de parada previstas, programadas, para mantenimiento, cambios, etc., necesarias al buen funcionamiento del equipo. Para una parada sea considerada como programada, ella debe ser definida con una antelación mínima de 24 horas.

2.2.3.7. Interrupciones (I)

Son las paradas que interrumpen la operación de la línea de forma imprevista. Lo que caracteriza una interrupción es el hecho de que la línea estaba operando y para por un motivo imprevisto. Las interrupciones pueden ser operacionales o de mantenimiento, cambios de canales, guías, cilindros y cajas, cuando no son planeadas con antelación, son consideradas interrupciones operacionales.

2.2.3.8. Quiebra de ritmo (R)

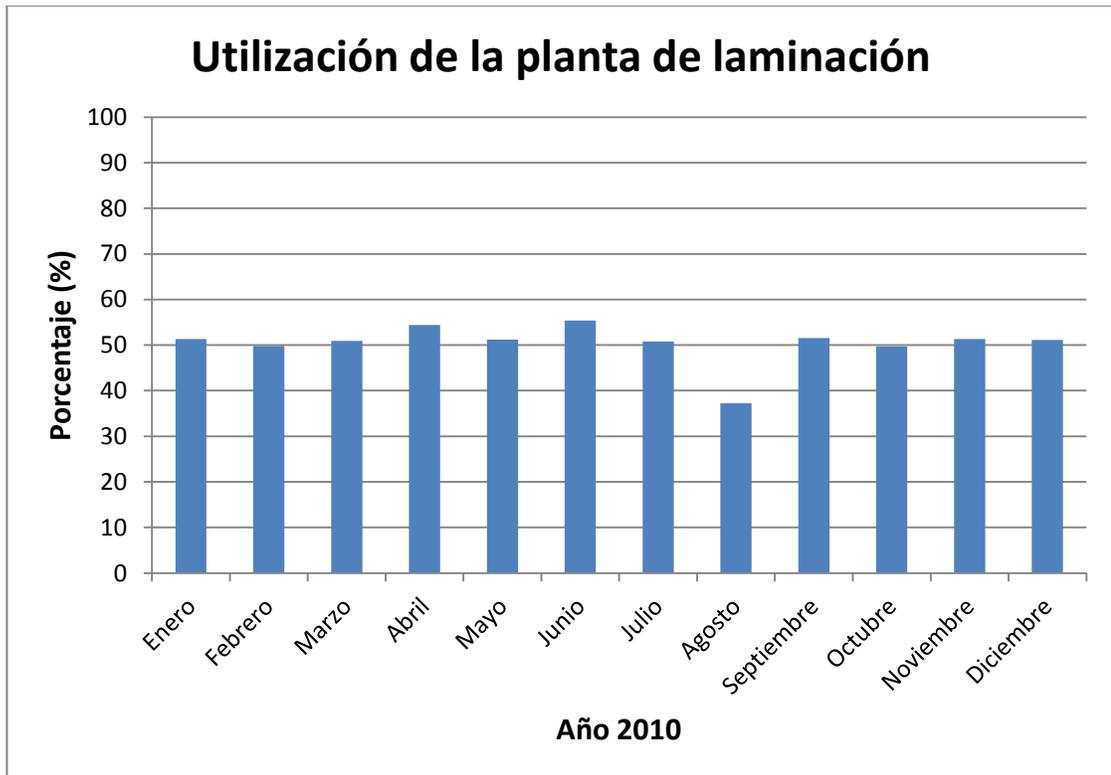
La quiebra de ritmo es caracterizada por una operación del equipo a bajo o arriba del Estándar de Producción Horaria (EPH). Las quiebras de ritmo positivas significan que se opera con un ritmo menor que el estándar y a las quiebras de ritmo negativas ocurren cuando el estándar es ultrapasado. En este caso, un nuevo Estándar de Producción Horaria (EPH) debe ser establecido. Con el nuevo estándar, la quiebra de ritmo deberá dejar de ser negativa.

2.2.3.9. Tiempo útil (U)

Son las horas en que el equipo opera sin interrupciones y en su ritmo y producción horaria estándares. El tiempo útil es obtenido por la división de la producción real obtenida en el Tiempo Programado para Producción por el Estándar de Producción Horaria (EPH).

$$U = \frac{\text{producción real}}{\text{EPH}}$$

Figura 29. Utilización de la planta de laminación



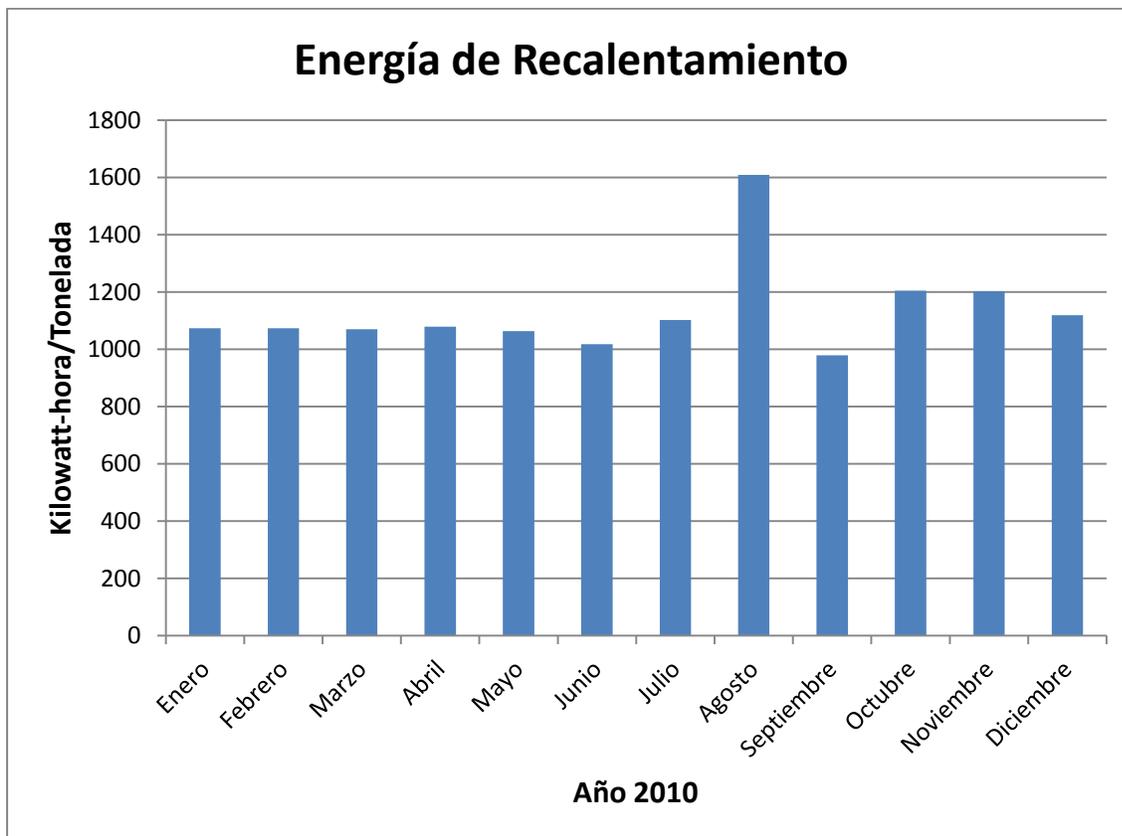
Fuente: elaboración propia.

2.2.4. Energía de recalentamiento

Mide la energía total empleada en el recalentamiento de planchillas o lingotes de acero para la producción de perfiles en un período establecido (normalmente un mes). Se relaciona de la siguiente manera:

$$ER = \frac{\text{consumo de combustibles empleados (kwh)}}{\text{producción real (toneladas)}}$$

Figura 30. **Energía de recalentamiento**



Fuente: elaboración propia.

2.3. Diagrama de *Ishikawa*

Con el propósito de mejorar la eficiencia de la planta de laminación de perfiles, se analizan las principales causas que afectan al indicador de pérdida metálica (ver figura 31). Este es el principal indicador de la eficiencia de laminación, puesto que describe los desperdicios generados durante el proceso debido al no aprovechamiento óptimo de la materia prima. Se determinaron las causas y sub-causas del problema mediante una encuesta realizada a los operadores y mecánicos de la planta de laminación de perfiles, dando como resultado las siguientes exposiciones:

- Método
- Maquinaria
- Mano de obra
- Medio ambiente
- Medición
- Materia prima

2.4. Análisis de Pareto

Para proponer la mejor solución al problema planteado, se estudia la incidencia de las causas sobre la alta pérdida metálica con el objetivo de actuar sobre aquellas que representen un mayor índice de generación de desperdicios. Según los datos analizados de un total de 96 kg/TM de pérdida metálica en un mes de producción se obtienen los siguientes resultados:

Tabla VI. **Principales causas que ocasionan la pérdida metálica**

Causa	Frecuencia	Porcentaje
Medición	75	78,125%
Maquinaria	9	9,375%
Materia prima	5	5,21%
Mano de obra	3	3,125%
Método	3	3,125%
Medio ambiente	1	1,042%
TOTAL	96	100%

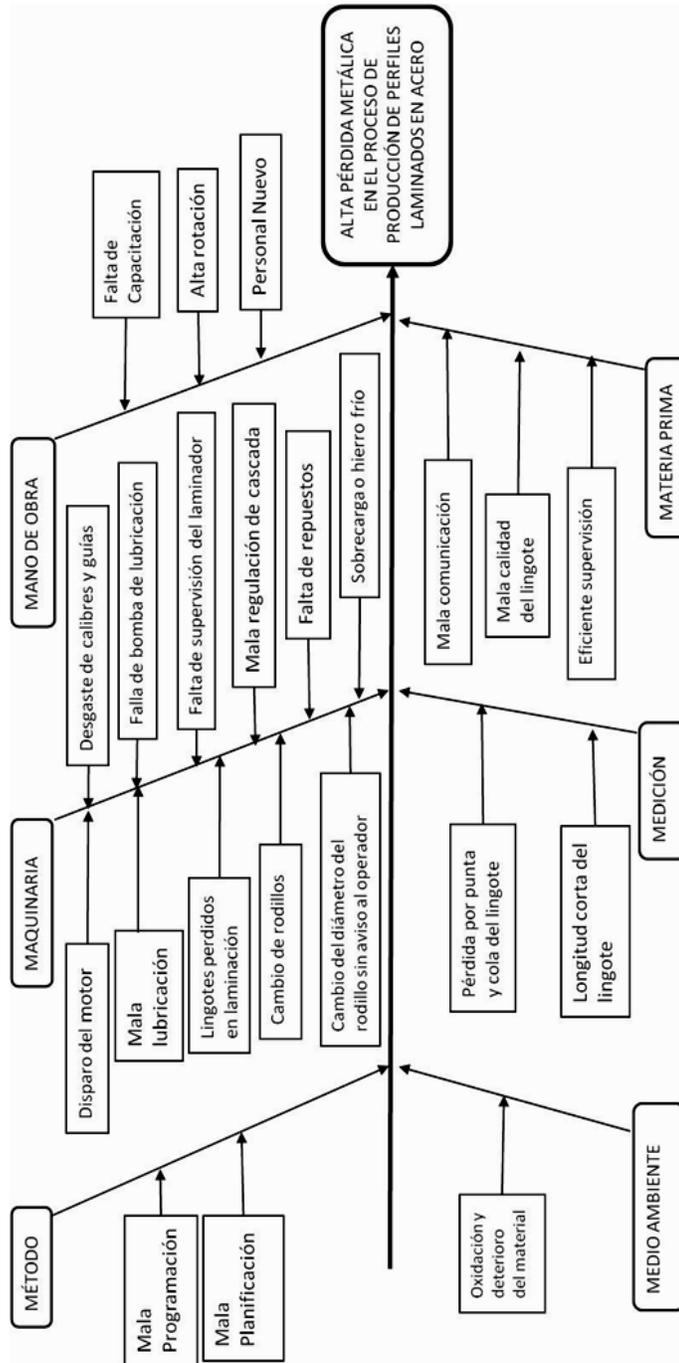
Fuente: investigación de campo en planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala. Octubre 2010. (Ver figura 32).

2.5. Análisis estadístico de la pérdida metálica actual

Como se estudió anteriormente, la pérdida metálica indica la cantidad de material perdido por cada tonelada de producto conforme a los estándares de producción y en condiciones de poder ser comercializado. La cizalla cv-50 es la que reporta el porcentaje más grande del total de toda la pérdida metálica según los siguientes datos. Debido a que se corta de diferentes medidas desde 20 a 45 cm aproximadamente.

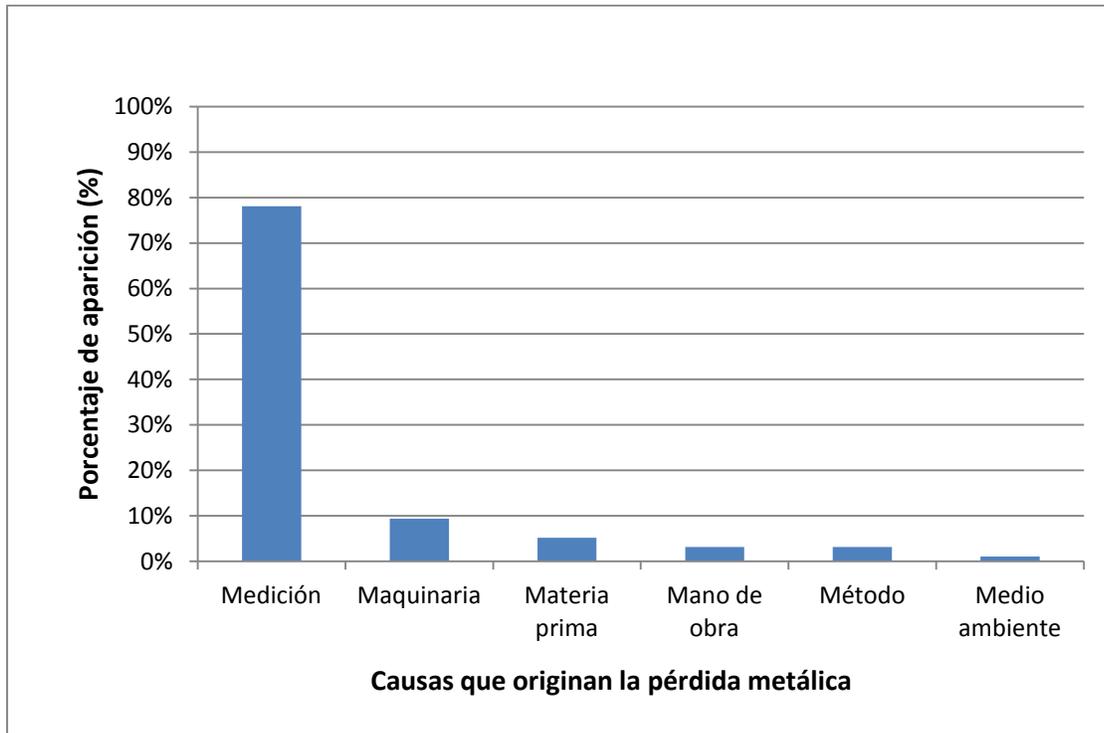
En la tabla VII se desglosan todas las pérdidas metálicas por área y sus respectivos porcentajes.

Figura 31. Diagrama de *Ishikawa* (Causa-Efecto)



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

Figura 32. **Causas principales que originan la pérdida metálica**



Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla VII, los mayores porcentajes de pérdida metálica se encuentran en los cortes realizados a los lingotes y en la longitud corta de los mismos. Los valores de lingotes perdidos y producto no conforme son inherentes al proceso de laminación por lo que estos valores permanecerán constantes, ya que no es posible modificarlos debido a la naturaleza de los mismos, pero si se tendrá un control para monitorear y evitar que se incrementen de manera considerable, sin embargo durante los años que la planta de laminación ha estado operando no se han observado cambios significativos según datos de registros de producción.

Tabla VII. **Pérdidas metálicas porcentuales de acuerdo a cada área analizada**

	PERDIDAS POR AREA EN %				TOTAL PERDIDA METALICA %
	Cortes	Lingotes perdidos	Longitud corta	Producto no conforme	
Febrero	25,6	9,1	60,1	5,2	100
Marzo	25,9	10,0	59,0	5,1	100
Abril	22,8	9,7	62,1	5,4	100
Mayo	25,9	11,8	57,3	5,0	100
Junio	26,6	12,3	56,3	4,9	100

Fuente: datos de producción de la planta de laminación de perfiles, Aceros de Guatemala.
Año 2010.

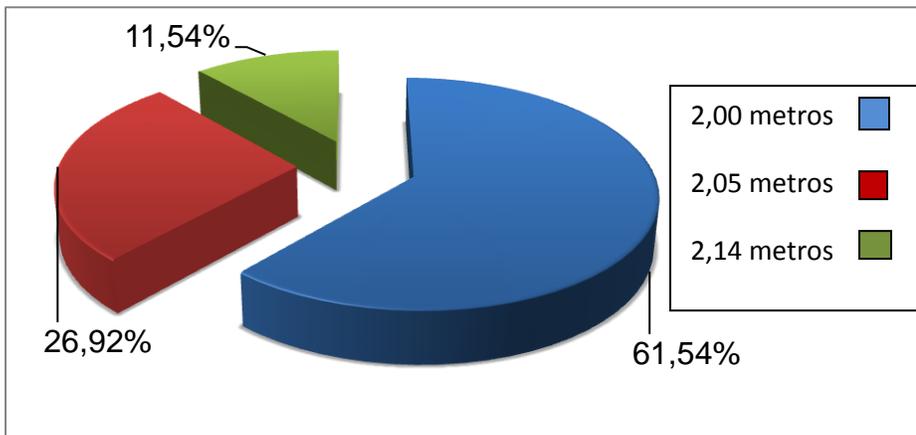
Los porcentajes comprendidos dentro de los lingotes perdidos se refieren a ciertos casos, cuando los lingotes en el momento que son procesados ocurren fallas que producen que este se trabe en los rodillos de laminación y ya no puede ser procesado sino que es cortado y desechado como chatarra. Las causas de estas trabas son diversas, siendo las principales: desgastes en los rodillos, que el lingote se enfríe o sea irregular en sus extremos o bien una velocidad de laminación no adecuada. Los porcentajes de producto no conforme corresponden a criterios de control de calidad, cuando ya los lingotes son transformados en perfiles pero estos no cumplen con los estándares establecidos, entonces son desechados como chatarra.

Tabla VIII. **Porcentajes de longitudes actuales de los lingotes de acero utilizados en la planta de laminación de Aceros de Guatemala**

Medida de lingote actual	Porcentaje de utilización
2,00 metros	61,54%
2,05 metros	26,92%
2,14 metros	11,54%

Fuente: elaboración propia.

Figura 33. **Utilización de las medidas de lingote**



Fuente: elaboración propia.

3. PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE LAMINACIÓN

3.1. Mejoramiento de la eficiencia a través de la disminución de la pérdida metálica

A partir del análisis anterior se determina que la principal causa de la pérdida metálica es la medida del lingote utilizado. Esta causa genera aproximadamente 78% de material perdido (ver figura 32), con lo cual es prioridad corregirla para disminuir considerablemente este efecto negativo sobre la producción.

En base a un estudio técnico realizado, se propone como proyecto de mejora el cambio en la longitud de lingote utilizado para la laminación de perfiles de acero, con esto se espera reducir el porcentaje de pérdidas ocasionadas por desperdicio de material, ya que al laminar un lingote más grande se reduce la cantidad de material perdido dentro del proceso.

3.2. Análisis de longitud óptima de lingote de acero

Para la producción de perfiles laminados se utilizan actualmente tres diferentes medidas o longitudes de lingote de acero, cada una de ellas corresponde a la medida que produce la menor pérdida metálica actual. Estas medidas se especifican en la tabla VIII, con sus respectivas proporciones en la figura 33.

Para mejorar la eficiencia de la planta de laminación se propone a través de la implementación del uso de lingotes de 4 metros, reducir las pérdidas de material por medición y longitud corta del lingote. Con el propósito de optimizar el proceso de producción reduciendo al máximo la pérdida metálica ocasionada dentro de la laminación de los perfiles, se analiza introducir el proyecto de cambio de medida del lingote utilizado a las siguientes medidas, en base a un estudio realizado donde se establecieron y agruparon los diferentes perfiles, dando como resultado la distribución de las medidas observadas en la tabla IX.

Las nuevas medidas que se proponen para el uso del nuevo lingote para el proyecto mejoramiento de eficiencia del proceso de laminación de perfiles a través de disminución de pérdida metálica son en concreto las siguientes:

- Lingote de 4,00 metros
- Lingote de 4,05 metros
- Lingote de 4,14 metros

Con las medidas anteriores se reducirá la pérdida metálica gracias al aprovechamiento de la materia prima bajo las condiciones del proceso de laminación que se describen a continuación.

Tabla IX. **Longitudes óptimas del lingote para los diferentes perfiles**

Perfil laminado	Longitud óptima del lingote
Cuadrado 1/2"	Medida exacta 4,00 metros. Rango 3,99 a 4,04
Angular 2"x3/16"	
Angular 1 1/2"x1/4"	
Angular 1 1/2"x3/16"	
Angular 1 1/4"x1/8"	
Angular 1"x3/16"	
Angular 2"x1/4"	
Angular 3/4"x1/8"	
Hembra 1" X 3/16"	
Angular 1 1/2"x1/8"	
Angular 1"x1/8"	
Hembra 1" X 1/8"	
Liso 5/8"	
Angular 1"x1/4"	
Liso 3/8"	
Angular 1 1/2"x1/8"	Medida exacta 4,05 metros. Rango 4,04 a 4,10
Cuadrado 3/8"	
Hembra 1" X 3/16"	
Hembra 1" X 1/4"	
Angular 2"x1/8"	
Angular 1 1/4"x1/4"	
Liso 1/2"	
Angular 1 1/4"x3/16"	Medida exacta 4,14 metros. Rango 4,10 a 4,14
Angular 1"x1/8"	
Liso 3/4"	

Fuente: elaboración propia.

3.3. Minimización de pérdidas por cortes en los extremos del lingote

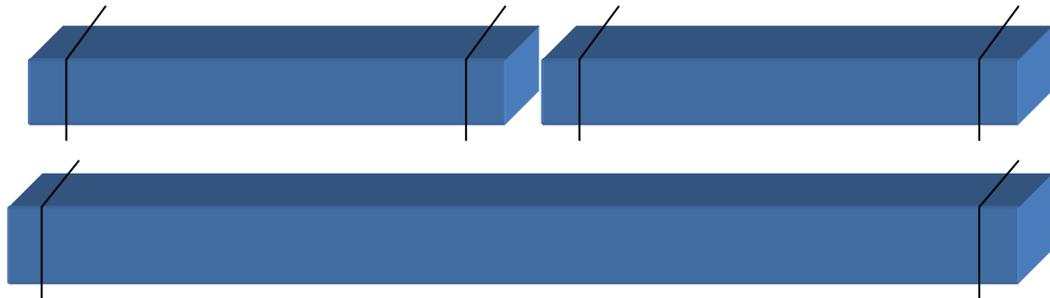
Dentro del proceso de laminación las condiciones bajo las cuales es necesario que se encuentren los lingotes de acero para poder ser procesados requieren que se encuentre a una temperatura adecuada con el fin de tener un producto acorde a los estándares de calidad establecidos dentro de la empresa.

La temperatura al salir el lingote del horno se encuentra alrededor de los 1 150 °C. Una vez que entra en contacto con el ambiente tiende a enfriarse principalmente en los extremos de la barra, por lo que es necesario realizar una serie de cortes a estos extremos para evitar el enfriamiento del hierro. Además debido a los procesos de laminación, los extremos del lingote se vuelven irregulares y esto causa que al momento de pasar por los rodillos de laminación exista riesgo de que se traben y no se conduzcan por los canales adecuadamente.

Esto no solamente genera pérdidas de material, pues el lingote una vez que se traba ya no puede procesarse y es desechado como chatarra, sino además presenta riesgos de que pueda ocurrir un accidente laboral. Los cortes que se realizan son de aproximadamente 30 a 45 centímetros en cada uno de los extremos.

Con el objetivo de reducir las pérdidas de material ocasionadas por estos cortes, se presenta la propuesta de aumentar las dimensiones de longitud de los lingotes de acero procesados, pues si del estándar actual que es de 2,00 metros se procesan lingotes de 4,00 metros, teóricamente estas pérdidas se reducen a la mitad tomando en cuenta que ya no se harían cortes en ambos extremos cada dos metros sino cada cuatro metros.

Figura 34. **Cortes realizados al lingote de acero**



Fuente: elaboración propia.

La figura 34 ejemplifica los cortes que se hacen a los lingotes, al tener lingotes de 2 metros que son los que actualmente se procesan, se pierden 4 extremos; mientras que si se procesan lingotes de 4 metros puede notarse que solamente se perderán 2 extremos. Estos cortes se realizan 2 veces: en la entrada del tren de laminación continuo (cizalla CV-50) y a la entrada del perfil a la cama de enfriamiento (corte a 18 metros de longitud).

3.4. Minimización de pérdidas por longitud corta del perfil laminado

En el área de la cama de enfriamiento se encuentra una sección de corte previo a que el lingote llegue a esta cama transportadora. Este corte se encarga de dividir el lingote que ya ha sido laminado en perfiles de 18 metros de longitud. Posteriormente la cama de enfriamiento se encarga de transportar estos perfiles al área de corte final donde son cortados a medida de 6 metros.

Dependiendo del tipo de producto que se esté laminando, se forman residuos de material de distintas dimensiones, algunos de 2, 3 o hasta 3,5 metros de longitud. Estos “perfiles cortos” son desechados como chatarra pues

no alcanzan la medida estándar requerida para su comercialización que es de 6 o 9 metros dependiendo del producto.

Con el objetivo de reducir al mínimo estas pérdidas de material, que representan pérdidas económicas para la empresa, se propone la utilización de un lingote de acero de medidas más grandes, pues esto permitirá aprovechar un mayor porcentaje de materia prima. Al aumentar las dimensiones del lingote de acero se logrará que los perfiles cortos que llegan al menos a 3 metros de longitud desaparezcan al unirse al otro perfil corto de la barra adicional en el caso de que la medida del lingote se duplique (de 2 a 4 metros).

Esto permitirá una disminución de la pérdida metálica considerable y se reflejará en un incremento en la eficiencia y productividad de la planta de laminación, debido a la reducción de costos generada por la mayor utilización del acero representado en los lingotes procesados.

Figura 35. **Perfiles cortos y unión de perfiles**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 35 se observa el ejemplo del beneficio de utilizar lingotes más grandes. En el primer caso se obtienen 3,5 perfiles de un lingote de 2 metros que fue laminado, mientras que en el segundo caso si se duplica el tamaño del lingote es decir ahora a 4 metros de longitud, el perfil corto se “uniría” con el otro perfil que resultaría del residuo de material de la barra adicional, se duplicaría el número de perfiles obtenidos pues esta relación es directamente proporcional entre el largo del lingote y los perfiles que se obtienen de él. Con esta medida se disminuirá la pérdida metálica por los perfiles cortos.

3.5. Estandarización de nuevas velocidades de laminación

La capacidad de la planta de laminación actualmente se encuentra en 2 900 toneladas de producto terminado al mes. Para lograr alcanzar este nivel se requiere un ritmo de producción suficientemente alto para garantizar el manejo adecuado del acero en el proceso de laminado ya que si se mantiene demasiado tiempo en espera de ser procesado el lingote este se enfría y pierde las condiciones necesarias para poder moldearse a través de los rodillos de laminación.

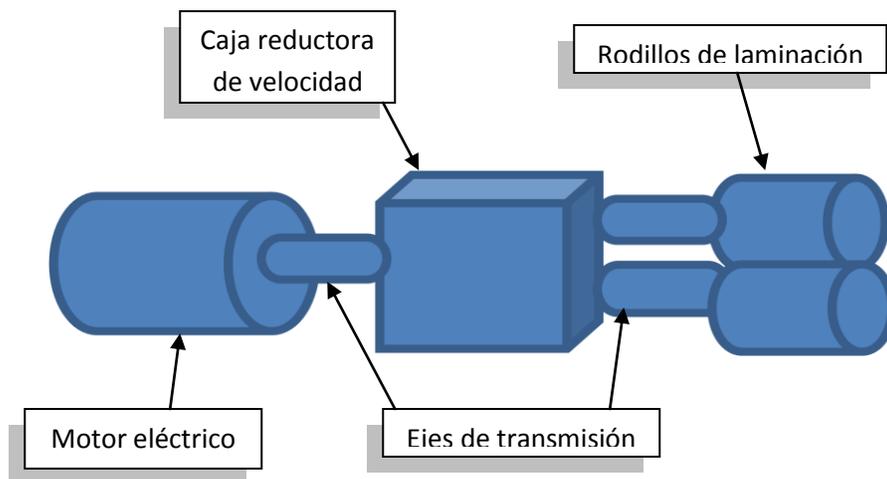
Es por ello que para lograr implementar una mejora a través del cambio de las dimensiones físicas de longitud del lingote es necesario rediseñar las velocidades a las que trabajan los rodillos de los trenes intermedio y continuo con el fin de asegurar que el lingote sea laminado suficientemente rápido para evitar su enfriamiento.

Actualmente la velocidad de laminación cuando el lingote sale de los rodillos del tren de laminación se encuentra en alrededor de 5 a 5,4 m/s, pero se determinó mediante especificaciones técnicas y ensayos de la empresa que

para lograr conservar la temperatura adecuada en el momento de implementar un lingote de 4,00 metros, esta velocidad deberá de ser al menos de 7,3 m/s aproximadamente. Lo que sugiere un aumento de casi 2 m/s en la salida del tren de laminación. Estas velocidades se determinaron en base al producto más delgado que se lamina que es el perfil cuadrado de 3/8 de pulgada.

Cada par de rodillos que constituyen los trenes intermedio y continuo está formado por un motor eléctrico, una caja reductora de velocidad, un par de ejes de transmisión y los rodillos propiamente dichos. Esto se ejemplifica en la figura 36.

Figura 36. **Esquema de los motores de laminación**



Fuente: elaboración propia.

La transmisión de potencia se da desde el motor a través del eje, la caja reductora se encarga de adecuar esta velocidad a la velocidad de laminación requerida para el proceso mediante una relación de velocidades, esta potencia

se transmite a través de los ejes hacia los rodillos que al girar conducen y moldean el lingote que pasa a través de ellos.

Como puede observarse en la tabla X, para lograr una velocidad de salida del tren de laminación de 7,24 metros por segundo, son necesarias velocidades en los motores 6 y 7 mayores a las capacidades que estos pueden ofrecer, por ello es necesario un rediseño de la línea de producción con medidas que se desarrollarán donde principalmente se evalúa el cambio de estos motores por unos de mayor potencia. Para lograr la velocidad requerida es necesario contar con las velocidades de laminación en los rodillos de las fases de desbaste, tren intermedio y tren continuo especificadas en la tabla X.

Tabla X. **Velocidades de laminación**

Fase	Potencia actual	Potencia requerida	Relación de reducción	Velocidad actual (m/s)	Velocidad requerida (m/s)
Desbaste	1 000 rpm	850 rpm	5,86	2,90	2,82
Motor 6	900 rpm	1 055 rpm	15	1,19	1,23
Motor 7	900 rpm	925 rpm	9,40	1,45	1,60
Motor 8	1 250 rpm	1 130 rpm	9,40	2,65	2,39
Motor 9	1 600 rpm	1 000 rpm	4,8	4,27	2,68
Motor 1	1 600 rpm	1 240 rpm	6,25	4,29	3,14
Motor 2	1 600 rpm	1 300 rpm	5	5,36	3,53
Motor 3	1 600 rpm	1 500 rpm	5	5,36	5,03
Motor 4	1 600 rpm	1 260 rpm	3	8,94	5,75
Motor 5	1 600 rpm	1 370 rpm	3	8,94	7,24

Fuente: elaboración propia.

3.6. Cambio de sistema de frenado en la cama de enfriamiento

Una de las principales limitantes para implementar el proyecto de utilización del lingote de 4 metros es la capacidad de la cama de enfriamiento. Actualmente esta banda transportadora trabaja mediante un sistema de frenado por fricción por lo que para mover los perfiles laminados hacia el área de corte, debe realizar un ciclo intermitente donde a través de un motor se transmite potencia mediante un eje a los peines o guías que forman la cama. Este ciclo es un giro completo que mueve los contrapesos de los ejes y que se detiene al finalizar un período completo para volver a iniciar el siguiente ciclo cuando el siguiente perfil se ha acomodado en las guías para poder ser transportado.

Con el propósito de agilizar este proceso y poder incrementar la eficiencia de la planta se propone como alternativa de mejora el cambio del sistema de frenado por fricción a un sistema de frenado por *clutch*, lo que permitirá que el eje y el contrapeso que mueven las guías de la cama se encuentre en movimiento constante y que se detenga para esperar el acomodamiento de los perfiles en la cama mediante el sistema de *clutch*. Con esto se logrará elevar la velocidad de laminación y facilitará el proceso de transformación de los lingotes en perfiles terminados.

3.7. Cálculo del peso de la cama de enfriamiento

Para poder implementar un sistema de frenado por *clutch*, es necesario determinar el peso de la cama de enfriamiento, pues se debe evaluar si el eje es capaz de soportar la torsión que el nuevo sistema implicaría. Para determinar el peso de la cama se realizó un estudio donde se incluyeron todas las partes físicas que la conforman analizando el volumen de las mismas y

relacionando cada pieza con la densidad específica del acero que es el material con que están formadas.

El peso de la cama de enfriamiento es de 16,84 toneladas (ver tabla XI). El eje actual tiene dimensiones de 11 centímetros de diámetro y 16 metros de largo. La capacidad nominal del eje de transmisión del sistema de frenado que se implementará se estima en 18 toneladas con un diámetro de 8,5 centímetros y un largo de 28 metros. Por lo que se concluye que el proyecto es viable dadas las condiciones del peso de la cama de enfriamiento en comparación con el nuevo sistema de frenado. Los resultados obtenidos se detallan en la tabla XI. (La densidad aparente del acero es $7,85 \text{ gr/cm}^3$).

3.8. Diseño de espacio físico del transportador en área de desbaste

El transportador se conoce a la máquina que descarga los lingotes del horno y los lleva hacia el área de desbaste donde son sometidos a presión para disminuir su diámetro y a la vez aumentar el largo para poder ser laminados.

Esta máquina está compuesta principalmente de dos partes: la mesa móvil y la mesa fija. La primera se refiere a una plataforma donde se descarga el lingote y es conducido mediante unos canales o guías que lo llevan hasta el área de desbaste. Esta mesa móvil mueve los lingotes mediante unos rodillos transportándolos hacia el desbaste donde debe pasar 7 veces por los rodillos de la máquina para lograr el diámetro y largo adecuado.

Tabla XI. **Peso de la cama de enfriamiento. Planta de laminación de perfiles, Aceros de Guatemala**

Pieza o parte	Cantidad	Volumen (cm³)	Peso (toneladas)
Viga doble	8	282 740	2,22
Viga sencilla	6	133 200	1,05
Viga excéntrica	32	57 424	0,45
Plancha entre viga sencilla y excéntrica	80	103 345,44	0,81
Plancha entre viga doble y excéntrica	48	185 592	1,46
Contrapeso	8	186 576	1,46
Peines	60	345 870	2,79
Peinetas	60	230 157	2,1
Ejes de transmisión	2	304 106,88	2,39
Excéntricas	12	71 623,78	0,56
Peso del producto	10	-	1,55
Total			16,84

Fuente: elaboración propia.

La mesa fija la compone una estructura que está formada por una plataforma de metal diseñada para contener y guiar el lingote una vez que sale del desbaste hacia los rodillos de laminación del tren intermedio. Ambas están diseñadas de manera que puedan contener al lingote una vez que éste se ha estirado por efecto de la presión del desbaste hasta alcanzar un largo de aproximadamente 20 metros.

Todo lo anterior fue establecido para fabricar perfiles a partir de lingotes de 2 metros de longitud, pero para poder procesar un lingote de 4 metros éstas

dimensiones físicas ya no son suficientes, pues el estiramiento del lingote se duplicaría por lo que no sería posible contenerlo con las condiciones actuales del transportador. Por ello esto presenta otra limitante para el proyecto que será analizada en el siguiente capítulo donde se propondrá una solución que facilite la implementación del uso del lingote de 4 metros de longitud.

Figura 37. **Área del transportador, mesas fija y móvil**



Fuente: planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala.

3.9. Análisis financiero

Se realizó un análisis financiero para determinar la factibilidad económica del proyecto y evaluar la utilidad que representa. Se determinaron los gastos necesarios y los beneficios que se obtendrán. Se puede observar que la inversión inicial del proyecto se encuentra en Q201 100,16 donde fueron incluidos los gastos de cambio de sistema de frenado en la cama de

enfriamiento, el cambio de los motores del tren de laminación y la ampliación del espacio del transportador. Cada uno de estos rubros con sus respectivas inversiones de mano de obra, materiales y gastos indirectos (ver tabla XII).

3.9.1. Flujo neto de fondos

Se estima que al implementar la utilización del lingote de longitud mayor (4 metros aproximadamente) se obtendrá un ahorro de 12 kilogramos de materia prima (acero) por cada tonelada de producto terminado como consecuencia de la disminución de la pérdida metálica. El costo de una tonelada de acero para la empresa es de \$500. Así al producir la planta de laminación de perfiles 3 000 toneladas al mes se obtendrán los siguientes beneficios:

$$12 \frac{\text{kg}}{\text{TM}} \times 3\,000 \frac{\text{TM}}{\text{mes}} = 36\,000 \text{ kg} = 36 \text{ TM}$$

$$36 \text{ TM} \times \$500 = \$18\,000,00/\text{mes}$$

Se puede observar que el ahorro total en materia prima es de \$18 000 al mes. Esto constituye los beneficios que implicará la implementación del proyecto. Aproximadamente en quetzales representa un ahorro de Q140 400 al mes. A continuación se presenta la proyección de los ingresos y egresos para los primeros 6 meses de implementación del proyecto (ver tabla XIII).

Tabla XII. **Gastos del proyecto de implementación de lingote de 4 metros**

	No. de personas	Días trabajados	Sueldo ordinario	Sueldo extra	Total
Cambio de sistema de frenado en cama de enfriamiento					
Mano de obra directa	12	15	Q70,00	Q52,50	Q22 050,00
Materiales	Cantidad	Costo unitario			
Eje Cold Roll de 1 1/2"	52,5 pies	Q55,20			Q2 898,00
Acoples tipo estrella	10 unidades	Q48,70			Q487,00
Vigas tipo U 4"x2"x6m	8 unidades	Q1 160,00			Q9 280,00
Chumacera 211 Rotula	32 unidades	Q391,27			Q12 520,64
Lamina negra 1/2"	12 unidades	Q1 605,80			Q19 269,60
Gastos indirectos	Cantidad	Costo unitario			
Grasa lubricante Shell EP2	2 unidades	Q54,20			Q108,40
Wipe	10 libras	Q1,55			Q15,50
TOTAL					Q66 629,14
Cambio de los motores de tren de laminación					
Mano de obra directa	10	10	Q70,00	Q52,20	Q12 220,00
Materiales	Cantidad	Costo unitario			
Viga tipo U 4"x2"x6m	4 unidades	Q1 160,00			Q4 640,00
Eje Cold Roll 25 mm	10 pies	Q42,50			Q425,00
Acoples tipo estrella	4 unidades	Q48,70			Q194,80
Gastos indirectos	Cantidad	Costo unitario			
Electrodo 7018	50 libras	Q8,33			Q416,50
Wipe	10 libras	Q1,55			Q15,50
TOTAL					Q17 911,80
Ampliación de espacio del transportador de mesa fija y móvil en planta de laminación					
Mano de obra directa	20	12	Q70,00	Q52,50	Q29 400,00
Materiales	Cantidad	Costo unitario			
Cadenas para sproket	16 metros	Q23,28			Q372,48
Sproket de 16 dientes	24 unidades	Q57,50			Q1 380,00

Continuación tabla XII.

Materiales	Cantidad	Costo unitario			
Lamina negra 1/2"	12 unidades	Q1 605,92			Q19 271,04
Lamina negra 3/8"	10 unidades	Q1 485,19			Q14 851,90
Electrodo 7018	100 libras	Q8,33			Q833,00
Eje Cold Roll 25 mm	25 pies	Q42,50			Q1 062,50
Rodillos	16 unidades	Q3 085,80			Q49 372,80
Gastos indirectos	Cantidad	Costo unitario			
Wipe	10 libras	Q1,55			Q15,50
TOTAL					Q116 559,22
COSTO TOTAL					Q201 100,16

Fuente: bodega de repuestos de Aceros de Guatemala. Adaptada por Pablo Salazar.

Los ingresos están basados en el ahorro representado por la disminución de la pérdida metálica. Los egresos están conformados por: la inversión inicial que está dada por los gastos del proyecto anteriormente descritos, los costos de mantenimiento con los principales materiales y herramientas que se requieren para realizar esa tarea y finalmente los costos de administración (ver tabla XIII). *Estos costos de administración son estimados como un promedio para pagos de los encargados de la administración del proyecto, ya que por políticas de la empresa los datos reales no pueden ser publicados. Al realizar el flujo neto de fondos, es decir la diferencia total entre los ingresos y egresos, se obtuvieron los resultados descritos en la tabla XIV.

Tabla XIII. Ingresos y egresos del proyecto

DESCRIPCION	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
Ahorro	Q0,00	Q140 400,00				
Inversión inicial	Q201 100,00					
COSTOS DE MANTENIMIENTO						
Grasa	Q0,00	Q2 280,00				
Acoples	Q0,00	Q480,00		Q480,00		Q960,00
Chumaceras	Q0,00		Q1 950,00			
Wipe	Q0,00	Q15,50	Q15,50	Q15,50	Q15,50	Q15,50
Electrodo	Q0,00	Q416,50	Q416,50	Q416,50	Q416,50	Q416,50
Cadenas	Q0,00	Q372,00			Q372,00	
Rodillos	Q0,00			Q1 085,00		Q1 085,00
Ejes de cilindros	Q0,00	Q1 062,65			Q1 062,65	
TOTAL	Q0,00	Q4 626,65	Q4 662,00	Q4 277,00	Q4 146,65	Q4 757,00
COSTOS DE ADMINISTRACIÓN *						
Ing. de mantenimiento mecánico	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00
Ing. de producción	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00
Ing. de mantenimiento eléctrico	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00	Q6 000,00
TOTAL	Q18 000,00	Q18 000,00	Q18 000,00	Q18 000,00	Q18 000,00	Q18 000,00
COSTOS TOTALES	Q219 100,00	Q22 626,65	Q22 662,00	Q22 277,00	Q22 146,65	Q22 757,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. **Flujo neto de fondos del análisis financiero**

FLUJO DE EFECTIVO					
MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6
-Q219 100,00	Q117 773,35	Q117 738,00	Q118 123,00	Q118 253,35	Q117 643,00

Fuente: elaboración propia.

Para analizar la rentabilidad del proyecto se utilizaron los siguientes indicadores.

3.9.2. Tasa interna de rentabilidad (TIR)

La tasa interna de retorno o tasa interna de rentabilidad (TIR), está definida como la tasa de interés con la cual el valor actual neto o valor presente neto (VAN o VPN) es igual a cero. El VAN o VPN es calculado a partir del flujo de caja, trasladando todas las cantidades futuras al presente. Es un indicador de la rentabilidad del proyecto, a mayor TIR, mayor rentabilidad. (Córdova, Diego. Tasa interna de retorno y valor actual neto en las finanzas de la empresa moderna). Para el cálculo de la TIR se procede de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_{Ft}}{(1+TIR)^t} - I_0 = 0$$

$$VAN = \frac{-Q219\ 100 + Q117\ 773 + Q117\ 738 + Q118\ 123 + Q118\ 253 + Q117\ 643}{(1+TIR)^6}$$

Donde V_{ft} es el flujo neto de fondos en el período t (ver tabla XIV), en este caso se analizó el flujo para los primeros 6 meses de implementación del proyecto, I_0 corresponde a la inversión inicial de Q.219 100,00 y t representa el tiempo o períodos que componen el flujo de efectivo. Al despejar la TIR y realizar los cálculos anteriores se definió que este tiene un valor de 46 por ciento.

La TIR o tasa de rendimiento interno, es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión. El criterio general para saber si es conveniente realizar el proyecto es el siguiente:

Si $TIR \geq r \rightarrow$ Se aceptará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida (el costo de oportunidad).

Si $TIR < r \rightarrow$ Se rechazará el proyecto. La razón es que el proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

El costo de oportunidad está representado por r . Para este caso, la rentabilidad mínima requerida fue establecida en un 12 por ciento, de acuerdo a la siguiente estimación:

3.9.2.1. Costo del método actual

Se tiene una producción promedio actual de 3 000 toneladas al mes, con una pérdida metálica promedio de 102 kg/tonelada.

$$3\ 000\text{TM} \times 102 \frac{\text{kg}}{\text{TM}} = 306\ 000\ \text{kg} = 306\text{TM}$$

$$306\text{TM} \times \$500 = \$153\ 000$$

3.9.2.2. Costo del método propuesto

Se tiene una producción promedio actual de 3000 toneladas al mes, con una pérdida metálica promedio de 90 kg/tonelada (un ahorro de 12 kg/tonelada respecto al método actual, ver punto 3.9.1).

$$3\ 000\text{TM} \times 90 \frac{\text{kg}}{\text{TM}} = 270\ 000\text{kg} = 270\text{TM}$$

$$270\text{TM} \times \$500 = \$135\ 000$$

3.9.2.3. Ahorro

La diferencia entre el método actual y el propuesto refleja los \$18 000 del flujo neto de fondos y el costo de oportunidad está dado por la diferencia o ahorro en toneladas de material y esta tasa corresponde al costo de oportunidad r .

$$r = \frac{306\ \text{TM} - 270\ \text{TM}}{306\ \text{TM}} = 11,76\% \sim 12\%$$

De aquí se concluye que r tiene un valor de aproximadamente 12 por ciento que servirá para el cálculo de la TIR antes descrita.

Dado que la TIR calculada de 46 por ciento es mayor al costo de oportunidad de 12 por ciento se concluye que el proyecto es conveniente, viable y rentable por lo que se comprueba su beneficio en la implementación.

3.9.3. Valor actual neto (VAN)

El VAN (Valor Actual Neto), es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto. (Wikipedia. Artículo: Valor Actual Neto. Consultado febrero de 2011). El VAN se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

$$VAN = \frac{-Q219\ 100 + Q117\ 773 + Q117\ 738 + Q118\ 123 + Q118\ 253 + Q117\ 643}{(1+0.12)^6} - Q219\ 100$$

Donde V_t representa los flujos de caja en cada periodo t (en este caso de 6 meses), I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión. El tipo de interés es k . Para este caso, se utilizará el coste de oportunidad antes determinado del 12 por ciento. Para el proyecto analizado en VAN resultó ser de Q.183 837,81 con un costo de oportunidad de 12 por ciento.

3.9.4. Relación beneficio costo (RBC)

También llamado índice de rendimiento. En un método de Evaluación de Proyectos, que se basa en el del Valor Presente, y que consiste en dividir el Valor Presente de los Ingresos entre el Valor Presente de los egresos. Si este índice es mayor que 1 se acepta el proyecto; si es inferior que 1 no se acepta, ya que significa que la Rentabilidad del proyecto es inferior al Costo del Capital.

$$RBC = \frac{Q140\ 400 + Q140\ 400 + Q140\ 400 + Q140\ 400 + Q140\ 400}{Q219\ 100 + Q22\ 626 + Q22\ 662 + Q22\ 277 + Q22\ 146 + Q22\ 757} = Q2,12$$

El análisis de la relación de beneficio/costo representa que por cada quetzal invertido se obtendrá un beneficio de dos quetzales. Esto indica que el proyecto es rentable y se recupera un porcentaje bastante alto de utilidad.

3.10. Desarrollo sostenible

El desarrollo sostenible es un tipo de desarrollo que responde a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras de responder a las suyas, lo que significa, procurar que el crecimiento actual no ponga en riesgo las posibilidades de crecimiento de las generaciones futuras. El desarrollo sostenible consta de tres vertientes, la económica, la social y la medioambiental, que deben abordarse políticamente de forma equilibrada.

La justificación del desarrollo sostenible proviene tanto del hecho de tener unos recursos naturales limitados susceptibles de agotarse, como del hecho de que una creciente actividad económica sin más criterio que el económico produce graves problemas medioambientales que pueden llegar a ser irreversibles. Los límites de los recursos naturales sugieren tres reglas básicas en relación con los ritmos de desarrollo sostenibles:

- Ningún recurso renovable deberá utilizarse a un ritmo superior al de su generación.
- Ningún contaminante deberá producirse a un ritmo superior al que pueda ser reciclado, neutralizado o absorbido por el medio ambiente.

- Ningún recurso no renovable deberá aprovecharse a mayor velocidad de la necesaria para sustituirlo por un recurso renovable utilizado de manera sostenible.

El proyecto de mejora de la eficiencia de laminación de perfiles se apegará a un modelo de desarrollo sostenible, considerando la utilización de los recursos de una forma eficiente, adecuada y que represente un beneficio tanto a la industria como a la sociedad.

3.11. Beneficios, ventajas y limitantes del método

Entre las principales ventajas que se percibirán como resultado de la implementación del proyecto se encuentran la reducción de costos asociados al proceso de laminación, la disminución de material desechado como chatarra lo que se refleja en un aumento mensurable de la eficiencia de la planta, ahorro de energía como consecuencia de un mayor rendimiento metálico, menos desgaste de la maquinaria considerando el menor uso empleado para conseguir laminar mayor cantidad de perfiles con menos lingotes utilizados.

Como desventajas se encuentran la adaptación y resistencia al cambio por parte de los operadores debido al incremento de la longitud del lingote para el proceso lo que se traduce en nuevas condiciones de laminación, por lo que es recomendable capacitar al personal de planta y mecánicos para que se faciliten las operaciones y conozcan los cambios del proceso. Otra desventaja importante a considerar es que se debe reestructurar el almacenaje así como el transporte de los lingotes del área de bodega al área de horno, al ser estos más grandes representan una mayor dificultad de movilizarlos.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Objetivo

Reducir los costos asociados a la producción de perfiles laminados a través de la disminución de la pérdida metálica, relacionada como indicador directo de la eficiencia de la planta de laminación de perfiles de la Corporación Aceros de Guatemala.

4.2. Meta

Aumentar la eficiencia de la planta de laminación de perfiles a través de la utilización de un lingote de acero más grande para el proceso productivo. Se espera obtener un ahorro de aproximadamente 25 kg de materia prima (acero) por cada tonelada de producto procesado. Esto se verá traducido en un beneficio económico para la empresa de alrededor de \$18 000,00 al mes (ver sección 3.9.1).

4.3. Indicadores

Para tener un control de la implementación del proyecto en cuanto a los resultados de la eficiencia de laminación se llevará un control de los indicadores de pérdida metálica considerando las principales contribuciones al incremento de la misma y las medidas de mitigación descritas, la disminución de la pérdida metálica a través de la implementación del lingote de 4 metros para reducir los

porcentajes en cortes de los extremos y en longitud corta del perfil. Estos indicadores serán la pérdida metálica y el índice de recuperación de material (ver sección 5.3).

4.4. Secuencia de actividades para la implementación del proyecto de mejora de eficiencia de la planta de laminación de perfiles

Con el objetivo de materializar la planificación de las actividades del proyecto de mejora de la eficiencia del proceso de laminación, es necesario desarrollar el plan de acción para lograr la implementación del proyecto. Este plan de acción se detalla a continuación.

Tabla XV. **Secuencia de actividades para la implementación del proyecto de mejora de eficiencia de la planta de laminación de perfiles**

ACTIVIDAD	RESPONSABLE	TIEMPO	LUGAR
1. Cambio del sistema de frenado	Ingeniero de mantenimiento mecánico e ingeniero de producción	15 días	Área de cama de enfriamiento de la planta de laminación
Desmontar sistema de <i>clutch</i> de la planta de barras	Ingeniero de mantenimiento mecánico y asistente de mantenimiento	2 días	Planta de barras de Aceros de Guatemala
Trasladar sistema de <i>clutch</i> hacia la planta de perfiles	Ingeniero de mantenimiento mecánico y operario de máquina	1 día	Planta de laminación de perfiles

Continuación tabla XV.

Ajustar los acoples de los ejes de la cama de enfriamiento	Ingenieros de mantenimiento mecánico, de producción y soldador	1 día	Cama de enfriamiento de laminación de perfiles
Implementar sistema de frenado por <i>clutch</i>	Ingeniero de mantenimiento mecánico	5 días	Cama de enfriamiento de laminación de perfiles
Mantenimiento a ejes, acoples y soportes	Asistente de mantenimiento	2 días	Cama de enfriamiento de laminación de perfiles
Cimentación y colocación de vigas de soporte	Ingeniero de producción y personal de obra civil	3 días	Cama de enfriamiento de laminación de perfiles
Pruebas y verificación del funcionamiento del sistema de frenado	Ingenieros de producción, mantenimiento eléctrico y mecánico	1 día	Cama de enfriamiento de laminación de perfiles
2. Cambio de motores del tren de laminación	Ingenieros de producción, mantenimiento mecánico y eléctrico	10 días	Tren intermedio de laminación de la planta de perfiles

Continuación tabla XV.

Desmontar motores de la planta de barras	Ingeniero de mantenimiento mecánico	2 días	Planta de barras de Aceros de Guatemala
Trasladar motores hacia la planta de perfiles	Operador de montacargas	1 día	Planta de laminación de perfiles
Desmontar motores del tren del laminación	Ingeniero de mantenimiento mecánico	2 días	Tren intermedio de planta de perfiles
Ajustar las bases de la cimentación de los motores	Ingeniero de producción, personal de obra civil	1 día	Tren intermedio de planta de perfiles
Montar los motores	Ingeniero de mantenimiento mecánico, ingeniero de mantenimiento eléctrico	2 días	Tren intermedio de planta de perfiles
Ajustar los ejes a los motores	Ingeniero de mantenimiento mecánico	1 día	Tren intermedio de planta de perfiles
Mantenimiento de los acoples de los ejes	Asistente de mantenimiento	1 día	Tren intermedio de planta de perfiles

Continuación tabla XV.

3. Ampliación del transportador de lingote de acero	Ingenieros de producción y mantenimiento mecánico, personal de obra civil	12 días	Área del horno
Cimentación del área del transportador	Ingeniero de producción y personal de obra civil	5 días	Área de transportador de lingote
Colocación de lámina para nueva área	Ingeniero de producción y soldador	2 días	Área de mesa fija y mesa móvil
Colocación de rodillos transportadores	Ingeniero de mantenimiento mecánico	3 días	Área de transportador de lingote
Ajuste de cadenas	Ingeniero de mantenimiento mecánico	1 día	Área de transportador de lingote
Lubricación de rodillos, cadenas y ajuste de acoples	Asistente de mantenimiento mecánico	1 día	Área de transportador de lingote

Fuente: elaboración propia.

4.4.1. Implementación de sistema de frenado por *clutch* en la cama de enfriamiento

Para poder transportar los perfiles laminados a la sección de corte, la cama de enfriamiento cuenta con un sistema de transmisión de potencia por fricción. Este transmite la potencia generada por el motor de la banda transportadora a través del eje que conecta hacia los contrapesos que mueven las guías o peines donde se acomodan los perfiles.

Con el objetivo de mejorar la transmisión de potencia para facilitar el arranque y mejorar la velocidad de los motores de la cama de enfriamiento se necesitará cambiar el sistema de frenado actual para aumentar la velocidad requerida para procesar un lingote de 4 metros. Para ello se determinó la capacidad de soporte de torsión de los ejes transmisores calculando el peso de la cama de enfriamiento que deben ser capaces de soportar, este peso según se analizó en la sección 3.7.

4.4.2. Cambio de los motores de laminación

Se presenta la alternativa del cambio de los motores eléctricos No. 6 y 7 de los rodillos del tren intermedio de la planta de laminación de perfiles que tienen capacidades de 900 rpm (revoluciones por minuto) cada uno por los motores eléctricos No. 9 y 11 de la planta de barras de la misma empresa. Esta planta de barras actualmente no se encuentra el funcionamiento ya que la producción fue trasladada de la planta de la zona 12 de la ciudad capital a la planta de INDETA. Los motores en cuestión tienen capacidades para generar 1 250 y 1 500 rpm respectivamente, cumpliendo los requerimientos de laminación del nuevo proyecto. Ambos motores, tanto los actuales como los que se van a implementar tienen una potencia de 336 kilowatt que

aproximadamente equivale a 450 HP. El costo de trasladar estos motores está detallado en el análisis financiero (ver tabla XII).

4.4.3. Ampliación del espacio físico del transportador del lingote de acero

El incremento de longitud del lingote por los esfuerzos y presiones al mismo donde se reduce su diámetro para poder ser laminado es demasiado grande para procesar un lingote de 4 metros de longitud y el transportador no tiene capacidad para contener este estiramiento en las condiciones actuales de las mesas fija y móvil.

Como resultado se presentó en el análisis financiero (ver tabla XII) la propuesta de una ampliación en las mesas fija y móvil para lograr contar con las dimensiones necesarias, esta ampliación será de 8 metros en cada una de las mesas, lo que formará un buckle (estiramiento del lingote) hasta de 30 metros de longitud para los perfiles más delgados, en este caso el perfil cuadrado de $\frac{3}{4}$ de pulgada. Esta ampliación estará a cargo de la sección de obra civil, donde se detallaron anteriormente en el estudio financiero los insumos y el costo de este trabajo.

5. MEJORA CONTINUA

5.1. Análisis de la mejora continua

El Proceso de mejora continua es un concepto que sirve para mejorar los productos, servicios y procesos. Cuando hay crecimiento y desarrollo en una organización o comunidad, es necesaria la identificación de todos los procesos y el análisis mensurable de cada paso llevado a cabo. Algunas de las herramientas utilizadas incluyen las acciones correctivas, preventivas y el análisis de la satisfacción en los miembros o clientes. Se trata de la forma más efectiva de mejora de la calidad y la eficiencia en las organizaciones.

5.1.1. Modelo propuesto

El modelo propuesto para la mejora continua del proceso de laminación de perfiles presentado en la figura 38 refiere cuatro elementos fundamentales para seguimiento y control de la eficiencia de la planta de laminación. Estos son:

- **Planificar:** se desarrollará una planificación mensual que contenga los aspectos de producción como los tipos de perfiles a laminar, el tiempo programado, la cantidad de producto y los programas de mantenimiento preventivo y correctivo. Estará a cargo de la gerencia administrativa y de producción. Desarrollado por el gerente de producción en conjunto con el Jefe de planta de laminación y los departamentos aledaños: mantenimiento mecánico y mantenimiento eléctrico.

- Hacer: se refiere a la realización del producto. Estará a cargo de los laminadores, mecánicos de planta y operadores de maquinaria. Se desarrollará en el área de laminación de perfiles de la empresa Aceros de Guatemala.
- Verificar: el proceso de verificación contendrá los aspectos establecidos como estándares de calidad de los productos así como las condiciones en que se desarrolla la laminación. Dentro de los primeros se encuentran las medidas de los lingotes y perfiles, que se encuentren dentro del rango permisible, el peso y aspectos físicos como color, brillo y textura. Estará a cargo del departamento de control de calidad. El segundo aspecto se refiere a las condiciones de operación de la maquinaria, mantenimiento, lubricación entre otros. Estarán encargados de esto los departamentos de mantenimiento industrial y la gerencia de producción.
- Actuar: hace referencia a la mejora continua a través del control del proceso y medición de los indicadores de eficiencia principalmente relacionados a la pérdida metálica. Estará a cargo de la jefatura de planta de laminación en conjunto con los encargados de laminación.

5.2. Ficha técnica de control de pérdida metálica

Para llevar un control adecuado de los resultados de la pérdida metálica que permita dar seguimiento y corrección al proceso de laminación, se presenta la siguiente ficha técnica para el control de este indicador (ver tabla XVI).

Figura 37. **Modelo de mejora continua**



Fuente: *Six Colonies Company*. Blog Spot.

5.3. Índice de recuperación de pérdida metálica

Se refiere al porcentaje estimado de recuperación de las pérdidas definidas anteriormente como producto de la aplicación del método propuesto. Se define de la siguiente manera:

$$\text{IRP} = \frac{\text{pérdida metálica actual} - \text{pérdida metálica de la nueva propuesta}}{\text{pérdida metálica actual}}$$

$$\text{IRP} = \frac{102 \frac{\text{kg}}{\text{TM}} - 90 \frac{\text{kg}}{\text{TM}}}{102 \frac{\text{kg}}{\text{TM}}} = 11,76\%$$

Tabla XVI. **Ficha técnica de control de pérdidas metálicas. Planta de laminación de perfiles, Aceros de Guatemala**

		PLANTA DE LAMINACIÓN DE PERFILES
Fecha:	_____	Producto: _____
Pérdida metálica por corte		<input type="text"/>
Pérdida metálica por longitud corta		<input type="text"/>
Pérdida metálica por lingotes perdidos		<input type="text"/>
Pérdida metálica por producto no conforme		<input type="text"/>
TOTAL DE PERDIDAS		<input type="text"/>
Encargado:	_____	
Observaciones:	_____	

	_____ Jefe de Planta de Laminación	

Fuente: elaboración propia.

Los datos anteriores corresponden a los determinados en las secciones 3.9.2.1. y 3.9.2.2. para la pérdida metálica actual y propuesta respectivamente. Se estima un porcentaje de recuperación de material como consecuencia de la disminución de la pérdida metálica aproximadamente de 12%. Se llevará un control de este índice mes a mes para garantizar que no fluctúe significativamente.

6. IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental producido por la laminación de perfiles es considerable, sin embargo se verá mitigado por el hecho de la reducción de material empleado para la fabricación de los perfiles de acero. Al lograr un proceso más eficiente se genera una menor cantidad de energía utilizada, esto beneficia el nivel de impacto ambiental produciendo también menos chatarra como desperdicios.

La fabricación de hierro y acero implica una serie de procesos complejos, mediante los cuales, el mineral de hierro se extrae para producir productos de acero, empleando coque y piedra caliza. Los procesos de conversión siguen los siguientes pasos:

- Producción de coque del carbón, y recuperación de los subproductos
- Preparación del mineral
- Producción de hierro
- Producción de acero
- Fundición, laminación y acabado

6.1. Impactos ambientales potenciales

La industria de acero es una de las más importantes en los países desarrollados y los que están en vías de desarrollo. En los últimos, esta industria, a menudo, constituye la piedra angular de todo el sector industrial. Su impacto económico tiene gran importancia, como fuente de trabajo, y como

proveedor de los productos básicos requeridos por muchas otras industrias: construcción, maquinaria y equipos, fabricación de vehículos de transporte y ferrocarriles.

Durante la fabricación de hierro y acero se producen grandes cantidades de aguas servidas y emisiones atmosféricas. Si no es manejada adecuadamente, puede causar mucha degradación de la tierra, del agua y del aire.

Se realizó un estudio detallando el impacto que produce la planta de laminación de perfiles principalmente en la contaminación del aire y se estudiaron medidas de mitigación que reduzcan estos impactos, los cuales se deben considerar en el momento de la implementación del proyecto de mejora de la eficiencia del proceso para que no se incrementen.

A continuación se desarrolla el análisis de dicho estudio realizado en conjunto con la empresa Mediciones Ambientales para la planta de laminación de la Corporación Aceros de Guatemala, S.A.

El objetivo de realizar el estudio es determinar si el equipo que actualmente se está utilizando es el correcto y bajo qué parámetros se está midiendo la contaminación atmosférica así como normalizar las certificaciones emitidas y tomar las medidas de mitigación necesarias.

6.2. Informe del análisis de calidad del aire

En la tabla XVI se detalla el análisis de las partículas de suspensión en el aire producidas por la contaminación de la planta de laminación de perfiles. El estudio fue patrocinado por DAVECO S.A.

Tabla XVII. **Partículas menores de diez micras. Planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala**

Descripción	Partículas menores de 10 micras (PM-10)
Fecha de inicio	27/05/2010
Fecha de finalización	27/05/2010
Tiempo de muestreo (horas)	8 horas
Peso inicial del filtro (gr.)	2,7487
Peso final del filtro (gr.)	2,9768
Caudal de aire (m ³)	542
Concentración (m/m ³)	420
Temperatura mínima °C	21,6
Temperatura máxima °C	24,7
% de humedad máxima	60
% de humedad mínima	54

Fuente: *Code of Federal Regulations*. USEPA. Apéndice 3, parte 50, capítulo 1.

6.2.1. Medidas de mitigación del informe del análisis de calidad del aire

La concentración encontrada de partículas de óxido de magnesio, óxido de hierro, polvos y humos de zinc en las partículas totales medidas fue de 420 milímetros sobre metros cúbicos en total.

Tabla XVIII. **Concentración de partículas en el aire**

Partículas	IDLH	UO	TLV	Concentración general encontrada
Óxido de magnesio			10 m/m ³	420 m/m ³
Óxido de hierro, polvos y humos			5 m/m ³	
			5 m/m ³	
Humos zinc	2 500 m/m ³			

Fuente: informe del análisis de calidad del aire. Realizado por DAVECO, S.A.

Adaptado por Pablo Salazar.

El óxido de magnesio, óxido de hierro, polvos y humos no tiene documentación IDLH (Concentración considerada inmediatamente peligrosa para la vida o salud), mientras que los humos de zinc marca que a los 2 500 m/m³ ya se considera IDLH. Con respecto al UO (umbral del olor) no se presenta ninguna concentración que pueda tener un olor, esto no quiere decir que no sea peligroso o dañino para la salud, ya que mientras menos se miren las partículas menor es el tamaño de las mismas y más fácil de respirarlas. Tal como lo indica la tabla TLV (Valores umbral límite) son de 10 m/m³, 5 m/m³ y 5 m/m³ respectivamente. Por lo que la concentración encontrada sobrepasa a la recomendada.

Como recomendación se sugiere utilizar equipo de protección personal del tipo mascarilla de carbón activo (2 097, 6 001 ó 6 003) por olores y partículas en suspensión.

6.3. Desechos

Para el adecuado manejo de desechos de la planta de laminación de perfiles de Aceros de Guatemala, se propone la clasificación y tratamientos siguientes con el objetivo de minimizar los efectos que estos producen sobre el ambiente y la salud de las personas.

6.3.1. Desechos sólidos

La planta de laminación de perfiles produce grandes cantidades de desechos sólidos, como escoria de horno alto, que puede ser utilizada para producir ciertos tipos de cemento, si se granula correctamente. La escoria básica, otro desecho sólido, se emplea como fertilizante, y se produce al utilizar los minerales de hierro que poseen un alto contenido de fósforo. Estos desechos pueden ser parcialmente reciclados.

6.3.2. Desechos líquidos

Los solventes y ácidos que se utilizan para limpiar el acero son, potencialmente, peligrosos, y deben ser manejados, almacenados y eliminados como tal. Se debe tomar las medidas adecuadas para recolectar, almacenar y despachar estos productos. Es necesario monitorear las fugas de líquidos y gases.

6.3.3. Reducción de los desechos

Si no se toman las medidas apropiadas, la contaminación atmosférica puede convertirse en un problema muy serio. Será necesario estudiar formas de reducir la contaminación atmosférica, mediante el uso de equipos especiales

que eliminaran el polvo seco, para separar los gases y recuperar los químicos valiosos, y remover los contaminantes tóxicos y recolectar los gases que contienen monóxido de carbono e hidrógeno, a fin de utilizarlos como combustibles secundarios en la planta, o para producir otros químicos (como metanol y amoníaco). Estas medidas pueden reducir la contaminación atmosférica y aumentar la eficiencia energética.

Se emplean grandes cantidades de agua en el proceso de laminación. Es necesario contar con sistemas de tratamiento de aguas servidas. Debido al alto contenido de sólidos de las aguas negras que se emplean para lavar los gases, es necesario incluir amplias instalaciones de coagulación y asentamiento.

Para que las prácticas de almacenamiento de líquidos sean adecuadas, puede ser necesario utilizar tanques de doble pared o diques; asimismo, hay que tener sistemas de detección de fugas, tanto para líquidos, como gases, así como tanques y tuberías.

6.4. Medidas de mitigación

Existe una amplia selección de procesos y equipos para controlar la contaminación. El mejor método de control y el equipo idóneo, dependerán del volumen y composición de los contaminantes que deben ser recuperados o descargados al medio ambiente.

6.4.1. Control de la contaminación atmosférica

Algunas de las alternativas que pueden emplearse para controlar la contaminación atmosférica son las siguientes:

- Precipitadores electrostáticos
- Tipos de ciclones
- Conversión adecuada de los polvos en pelotillas
- Enfriadores de gases, lavadores de “ventura”, y separadores
- Lavado de los gases de escape
- Equipos para recuperar amoniaco, benceno y sulfuro de hidrógeno
- Filtros de bolsa
- Recuperación y reciclaje de monóxido de carbono
- Recuperación del calor residual.

6.4.2. Control de la calidad del agua

Para mantener un correcto control de la calidad del agua empleada en el proceso de laminación que proporcione estándares adecuados, se recomiendan las siguientes acciones:

- Neutralización de los efluentes ácidos y alcalinos
- Sedimentación en los espesadores
- Filtración de los sólidos suspendidos residuales
- Separadores de aceite y agua
- Control del contenido orgánico mediante tratamiento con carbón activo
- Intercambio iónico para controlar los metales
- Osmosis invertida para controlar los metales
- Reutilización, reciclaje o evaporación del agua, empleando el calor residual.

CONCLUSIONES

1. El proceso de laminación de perfiles de acero consta de las siguientes etapas principales: recalentamiento en horno, proceso de desbaste, laminación en trenes intermedio y continuo, enfriamiento del metal, corte a la medida estándar, enderezado y atado del producto terminado.
2. A través de la implementación del proyecto de mejora de la eficiencia de laminación de perfiles en la empresa Aceros de Guatemala se estima que se obtendrá un ahorro aproximado de \$18 000 al mes en un período de recuperación de la inversión a partir del tercer mes de funcionamiento de la propuesta.
3. Como resultado del proyecto de mejora de la eficiencia de laminación de perfiles se obtendrá un ahorro aproximado de 12% del material empleado (acero) para la fabricación de los perfiles, esto representa 36 TM/mes (la diferencia de la pérdida actual 306 TM/mes y la pérdida propuesta de 270 TM/mes).
4. Como medida de protección para los trabajadores que operan en la planta de laminación de perfiles se determinó en base al estudio de la calidad del aire que se deben usar mascarillas de carbón activo por olores y partículas en suspensión para evitar enfermedades ocupacionales.
5. Los cambios principales que se deben realizar en distribución de la maquinaria y equipo así como la implementación de equipos más

potentes son: implementación de un sistema de frenado por *clutch* en la cama de enfriamiento, cambio de los motores de laminación del tren intermedio con una potencia equivalente a 450 HP y ampliación del espacio físico del transportador del lingote de acero.

6. El desarrollo del presente trabajo de investigación detalla los principios básicos del proceso de laminación de perfiles, desde la obtención de materia prima hasta transformarla en los productos terminados así como las características del acero y sus principales funciones como elemento base para la industria metalmeccánica que permite lograr un aprovechamiento eficiente de sus propiedades y características en el empleo industrial de este material.

RECOMENDACIONES

1. Motivar a la industria guatemalteca a promover en sus actividades la reducción de residuos y la protección al medio ambiente.
2. A la empresa Aceros de Guatemala estudiar y analizar los resultados de la presente investigación para considerar introducir el uso una palanquilla o lingote de acero de longitudes mayores en la producción de perfiles laminados. Así como implementar dentro de sus procesos la metodología que se presenta como seguimiento o mejora continua al proceso de laminación.
3. Se recomienda el uso de otras herramientas de calidad, como los gráficos de control, que pueden ser de gran utilidad para analizar las causas de variación en el proceso de laminación.
4. Se debe establecer un programa de capacitación a los empleados que actualmente laboran en la empresa para que al implementar el nuevo sistema de producción se sientan identificados con el mismo y no exista resistencia al cambio, motivándolos con las mejoras que traerá la propuesta presentada en esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aceros de Guatemala. *Laminación de perfiles* [en línea]. [ref. 10 de marzo 2011]. Disponible en web:
www.acerosdeguatemala.com/procesos-de-produccion/proceso-de-laminacion-de-perfiles.
2. _____. *Manual de Inducción a la Corporación Aceros de Guatemala*. Guatemala: 2006. 11 p.
3. AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER, Theodore. *Manual del Ingeniero Mecánico*. 9a ed. México: McGraw Hill, 2003. 1 290 p.
4. AVNER, Sydney. *Introducción a la metalurgia física*. 2a ed. México: McGraw Hill, 1988. 694 p.
5. CONSTRUMÁTICA. *Proceso de fabricación del acero a partir de chatarra* [en línea]. [ref. 20 de noviembre 2010]. Disponible en web:
www.construmatica.com/construpedia/Proceso_de_Fabricaci%C3%B3n_del_Acero_a_Partir_de_Chatarra.
6. CÓRDOVA CITALÁN, Diego Darío. *Tasa interna de retorno y valor actual neto en las finanzas de la empresa moderna*. Tesis Auditoría. Facultad de Ciencias Económicas, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1996. 96 p.

7. GIL LEMUS, Danilo José. *Control estadístico de calidad en la elaboración de piezas de hierro fundido*. Trabajo de graduación de Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004. 77 p.
8. HIGGINS, Raymond A. *Ingeniería Metalúrgica Tomo 2: Tecnología de los procesos metalúrgicos*. México: Continental, 1963. 493 p.
9. ROSENQUIST, Terkel. *Fundamentos de metalurgia extractiva*. 2a ed. México: McGraw Hill, 1987. 564 p.
10. RUGUI S.L. Pol. Ind. *Fabricantes de acero laminado* [en línea]. [ref. 22 de febrero 2011]. Disponible en web:
www.rugui.com/es/fabricantes-acero-laminado.php.