



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

**PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA
REDONDA, EN LA LÍNEA YODER 35-2, ENFOCADO EN LA ETAPA DE ALIMENTACIÓN DE
MATERIA PRIMA, FORMADO Y CORTE, DE LA INDUSTRIA DE TUBOS Y PERFILES S.A**

Alvaro Alejandro Morales Gomez

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, junio de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA
REDONDA, EN LA LÍNEA YODER 35-2, ENFOCADO EN LA ETAPA DE ALIMENTACIÓN DE
MATERIA PRIMA, FORMADO Y CORTE, DE LA INDUSTRIA DE TUBOS Y PERFILES S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ALVARO ALEJANDRO MORALES GOMEZ
ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, JUNIO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga
EXAMINADOR	Ing. Herbert Samuel Figueroa Avendaño
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Véliz Padilla
SECRETARIO	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 PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA REDONDA, EN LA LÍNEA YODER 35-2, ENFOCADO EN LA ETAPA DE ALIMENTACIÓN DE MATERIA PRIMA, FORMADO Y CORTE, DE LA INDUSTRIA DE TUBOS Y PERFILES S.A.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 9 de agosto de 2018.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Alvaro Alejandro Morales Gomez', written over a horizontal line.

Alvaro Alejandro Morales Gomez



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.E.I.M.293.2019

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA REDONDA, EN LA LÍNEA YODER 35-2, ENFOCADO EN LA ETAPA DE ALIMENTACIÓN DE MATERIA PRIMA, FORMADO Y CORTE, DE LA INDUSTRIA DE TUBOS Y PERFILES S.A.** presentado por el estudiante **Alvaro Alejandro Morales Gomez**, CUI **2913974090101** y Reg. Académico No. **201403778** recomienda su aprobación.

"Id y Enseñad a todos"


Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador Área Complementaria
Escuela de Ingeniería Mecánica



Guatemala, noviembre 2019



USAC

TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Mecánica

Ref.EIM.102.2020

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor-Supervisor y del Director de la Unidad de EPS, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA REDONDA, EN LA LÍNEA YODER 35-2, ENFOCADO EN LA ETAPA DE ALIMENTACIÓN DE MATERIA RPIMA, FORMADO Y CORTE, DE LA INDUSTRIA DE TUBOS Y PERFILES S.A.**, del estudiante **Alvaro Alejandro Morales Gomez**, DPI **2913974090101** , Reg. Académico **201403778** y luego de haberlo revisado en su totalidad, procede a la autorización del mismo.

"Id y Enseñad a Todos"



Vo.Bo. Ing.

Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica

Guatemala, julio de 2020

/aej



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189101 - 24189102

DTG. 144.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PROPUESTA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE PRODUCCIÓN DE TUBERÍA REDONDA, EN LA LÍNEA YODER 35-2, ENFOCADO EN LA ETAPA DE ALIMENTACIÓN DE MATERIA PRIMA, FORMADO Y CORTE, DE LA INDUSTRIA DE TUBOS Y PERFILES S.A.**, presentado por el estudiante universitario: **Alvaro Alejandro Morales Gomez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:


Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, julio de 2020

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por ser mi principal mentor, quien me dio la fortaleza para sobrellevar todas las adversidades durante mi carrera y además por darme la sabiduría para tomar las decisiones correctas sobre mi futuro.

Mis padres

Erick Morales y Claudia Gómez de Morales, por ser los motores de mi vida y apoyarme en cada uno de los momentos de mi carrera. Por demostrarme principalmente que cuando uno se propone metas y lucha por alcanzarlas la satisfacción de lograrlas es aún mejor.

Mi abuela

Elva Amparo Herrera, por ser un pilar importante desde mi niñez y darme su amor incondicional.

Mi hermana

Shirley Morales, por acompañarme durante esta etapa de mi vida, con sus consejos y enseñanzas.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser un pilar en mi formación como profesional y por hacerme sentir orgulloso de tan prestigiosa casa de estudios.
Facultad de Ingeniería	Por ser el pilar más importante de mi perfil profesional.
Mis amigos	Por acompañarme y hacer inolvidable esta etapa de mi vida.
Industria de tubos y perfiles S.A.	Por abrirme sus puertas para realizar mi trabajo de graduación y poner en práctica mis conocimientos adquiridos durante la carrera.
Ing. Carlos Pérez	Por su asesoría para este trabajo de graduación.
Ing. José Sánchez	Por su conocimiento y por apoyarme en este trabajo de graduación.
Ing. Fredy Figueroa	Por darme el apoyo y los materiales necesarios para realizar mi trabajo.
Melky Sandoval	Por acompañarme en mi trabajo de campo.

1.4.	Características y estándares actuales de tubería producida....	16
1.5.	Mapa del proceso actual	18
2.	METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN EN LA LÍNEA YODER 35-2	21
2.1.	Materia prima	21
2.1.1.	Lámina rolada en frío	21
2.1.2.	Lámina rolada en caliente	22
2.1.3.	Lámina galvanizada	24
2.2.	Normas y grados de fabricación de materia prima.....	25
2.2.1.	Norma SAE 1008	25
2.2.2.	Norma JIS G3141.....	25
2.2.3.	Grado SPHT1.....	26
2.3.	Proceso de formación de tubería	26
2.3.1.	Corte de lámina	27
2.3.1.1.	Colocado de bobina	28
2.3.1.2.	Desembobinador	28
2.3.1.3.	Prealineadores para corte	28
2.3.1.4.	Postalineadores de tiras cortadas	29
2.3.1.5.	Embobinador de tiras cortadas.....	29
2.3.2.	Alimentación de materia prima	31
2.3.2.1.	Acumulador y halador de tiras.....	31
2.3.2.2.	Pegado de cinta por soldadura MIG/MAG	33
2.3.3.	Formado de tubo.....	35
2.3.3.1.	Torres de formado Yoder	35
2.3.3.2.	Soldadura HF	36
2.3.3.3.	Sistema de lubricación	37
2.3.3.4.	Rectificado.....	38
2.3.4.	Codificación de tubería.....	39

2.3.5.	Sistema de corte de tubería.....	40
2.3.5.1.	Carro de corte.....	41
2.3.5.2.	Corte por guillotina.....	42
2.3.6.	Normas de producción de cañería.....	43
2.3.6.1.	Norma BS1387-1985 para tubería ligera y mediana	43
2.3.6.2.	Norma ASTM A53-07 para tubería cédula 40	44
2.4.	Maquinaria involucrada.....	46
2.4.1.	Maquinaria y equipo mecánico	47
2.4.2.	Maquinaria y equipo eléctrico	53
2.5.	Características de tubería producida	58
2.5.1.	Cañería industrial (tubería redonda)	58
2.5.2.	Tubo cuadrado mecánico	60
2.6.	Plano de línea de producción	61
3.	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	63
3.1.	Mejora en pegacintas de lámina.....	63
3.1.1.	Soldadura TIG	64
3.1.1.1.	Descripción del proceso	65
3.1.1.2.	Recomendaciones de utilización	67
3.1.2.	Cotización y selección de soldadura tipo TIG	73
3.1.3.	Proceso de instalación y adaptación a la línea	76
3.2.	Propuesta de reingeniería en las líneas de formado	79
3.2.1.	Proceso para redistribución e instalación de las torres de formado	80
3.2.2.	Implementación de un sistema de corriente alterna de alta eficiencia	81
3.3.	Modificación en proceso de corte	92

3.3.1.	Descripción de tecnología actual utilizada en carros de corte	93
3.3.2.	Cotización y selección de carro de corte	97
3.3.3.	Plano de distribución	101
3.3.4.	Proceso de instalación de nuevo carro de corte....	101
3.3.5.	Cimientos y anclaje de carro de corte	103
3.3.6.	Calibración y puesta a punto del carro de corte	105
4.	FIABILIDAD DE LA PROPUESTA	107
4.1.	Análisis de rentabilidad	107
4.2.	Análisis de costos.....	109
4.2.1.	Costos fijos.....	109
4.2.2.	Costos variables.....	110
4.2.3.	Análisis costo/beneficio	110
4.2.3.1.	Factores de costo contra beneficio.....	117
4.2.3.2.	Punto de equilibrio.....	118
4.2.3.3.	Periodo de devolución.....	119
4.2.3.4.	Valor presente neto	119
4.2.3.5.	Tasa interna de retorno	120
4.3.	Depreciaciones	121
4.4.	Riesgos	122
5.	SEGUIMIENTO A TRAVÉS DE LA MEJORA CONTINUA	127
5.1.1.	Calibración de carro de corte	127
5.1.1.1.	Calibración de elementos mecánicos.	128
5.1.1.2.	Calibración de elementos eléctricos...	129
5.1.2.	Calibración de componentes en torres de formado	129
5.1.3.	Calibración de componentes en soldadora TIG	131

5.2.	Consideraciones para fallos de equipos	132
5.2.1.	Fallas de tipo mecánico	133
5.2.2.	Fallas de tipo eléctrico	134
5.3.	Mantenimiento de equipo	135
5.3.1.	Planificación de mantenimiento	135
5.3.2.	Formato para control de mantenimiento	137
CONCLUSIONES		141
RECOMENDACIONES		143
BIBLIOGRAFÍA		145
ANEXOS		147

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Estibado de tuberías en bodegas de despacho	5
2.	Mapa de proceso de formado de tubería, Intupersa	19
3.	Lámina rolada en frío	22
4.	Lámina rolada en caliente	23
5.	Lámina galvanizada	24
6.	Proceso de corte de lámina.....	27
7.	Embobinador de tiras cortadas	30
8.	Acumulador de tiras	32
9.	Carro halador de tiras.....	33
10.	Torres de formado, Yoder 35-2	36
11.	Soldadura de alta frecuencia (HF).....	37
12.	Rectificado de tubería	39
13.	Codificador electrónico de tubería.....	40
14.	Carro de corte hidráulico, línea Yoder 35-2.....	41
15.	Guillotina de acción neumática	42
16.	Especificaciones de norma BS1387-1985.....	44
17.	Tipos y grados de norma ASTM A53	46
18.	Caja reductora de líneas de formado	51
19.	Ejes de transmisión con juntas de tipo cardan	52
20.	Motor eléctrico de corriente directa, líneas de formado.....	55
21.	Interruptores de límite de carro de corte hidráulico	57
22.	Plano de línea de producción.....	62
23.	Cordón de soldadura con gas protector argón	68

24.	Concentración de calor según tipo de conexión	70
25.	Reubicación de rodos guía y cabeza turca	81
26.	Tarifa eléctrica de media tensión, octubre de 2018	83
27.	Frame norma NEMA vs IE	90
28.	Brida o <i>flange</i>	91
29.	Carro de corte A100 CS.....	99
30.	Plano de distribución de carro de corte Kent	101
31.	Perno de anclaje para máquina de corte	104
32.	Parámetros de puesta a punto de carro de corte.....	106
33.	Estándares de calibración para velocidad de producción	130

TABLAS

I.	Tiempo promedio de pegado de cinta.....	2
II.	Porcentaje de utilización, línea Yoder 35-2.....	7
III.	Indicador de pérdida metálica, Yoder 35-1	9
IV.	Indicador de interrupciones operacionales, Yoder 35-2.....	11
V.	Porcentaje de interrupciones por mantenimiento, Yoder 35-2	13
VI.	Comparación EPH general, Yoder 35-1 vs. Yoder 35-2	16
VII.	Especificaciones de tubería de lámina negra	17
VIII.	Especificaciones de tubería galvanizada	18
IX.	Especificaciones de tubería industrial cuadrada.....	18
X.	Composición química de aceros grado SPHT-1	26
XI.	Espesores producidos por tubería redonda 1" de diámetro.....	59
XII.	Espesores producidos por tubería redonda 1 ¼" de diámetro.....	59
XIII.	Espesores producidos por tubería redonda 1 ½" de diámetro.....	59
XIV.	Espesores producidos por tubería redonda 2" de diámetro.....	60
XV.	Espesores producidos por tubería redonda 4" de diámetro.....	60
XVI.	Espesores de tubería cuadrada producida	61

XVII.	Ventajas y aplicaciones de la soldadura TIG	66
XVIII.	Normalizado de electrodos de tungsteno	71
XIX.	Diámetros de electrodo de tungsteno 2 % respecto a corriente DCEN	72
XX.	Espesores de chapa según intensidad de corriente DCEN.....	73
XXI.	Características de material.....	74
XXII.	Velocidades de molino	74
XXIII.	Cotización de soldadora TIG automatizada	75
XXIV.	Costos y términos.....	75
XXV.	Cronograma de actividades	77
XXVI.	Datos técnicos de motor de torres de formado	83
XXVII.	Valores reales de potencia eléctrica de motor de formado	84
XXVIII.	Datos técnicos de motor de torres de rectificado	85
XXIX.	Valores reales de potencia eléctrica de motor de rectificado	85
XXX.	Resumen de datos obtenidos, motores eléctricos actuales	86
XXXI.	Comparación de mantenimiento entre un motor de corriente continua y un motor de corriente alterna	87
XXXII.	Desglose de costos para motores de alimentación	91
XXXIII.	Comparación de sierras de trabajo en frío con sierras a fricción	93
XXXIV.	Especificaciones técnicas	98
XXXV.	TMáquina de corte seleccionada	99
XXXVI.	Características específicas del equipo	100
XXXVII.	Costos y términos.....	100
XXXVIII.	Cronograma de actividades de carro de corte	103
XXXIX.	Productividad estimada.....	108
XL.	Detalle de inversión inicial.....	111
XLI.	Costos de operación	112
XLII.	Cálculo de interés	115
XLIII.	Desglose de egresos anuales	115

XLIV.	Flujo de caja	116
XLV.	Valor presente neto para ingresos y egresos del proyecto	117
XLVI.	Análisis cualitativo de los riesgos.....	124
XLVII.	Cuantificación de los riesgos	125
XLVIII.	Parámetros mecánicos de calibración	128
XLIX.	Parámetros de calibración en montaje.....	128
L.	Parámetros de calibración eléctrica	129
LI.	Parámetros eléctricos y neumáticos de soldadora ME	131
LII.	Parámetros iniciales	132
LIII.	Fallas de tipo mecánico generales segmentadas por equipo	133
LIV.	Verificación de mantenimiento de pegacintas.....	137
LV.	Verificación de mantenimiento de torres de formado.....	138
LVI.	Verificación de mantenimiento de carro de corte	139

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Amp	Amperios
AC	Corriente alterna
DC	Corriente directa
DCEM	Corriente directa al electrodo negativo en soldadura
Ef	Eficiencia nominal
EPH	Estandar de producción horaria
CFM	Flujo en pies cúbicos por minuto
ipm	Flujo en pulgadas por minuto
°C	Grados Celsius
Max	Máximo
m	Metros
mm	Milímetros
Min	Minutos
%	Porcentaje
HP	Potencia nominal entregada por los motores
GTAW	Proceso de soldadura por gases inertes
Pt	Producción total
Pulg	Pulgadas
Q	Quetzal
B/C	Relación beneficio/costo
Kg/t	Relación de kilogramos por toneladas producidas
Kwh	Relación de kilowatts por hora
TCT	Sierras con coberturas de carburo de tungsteno

HF	Soldadura de alta frecuencia
MAG	Soldadura de metales por gases activos
MIG	Soldadura de metales por gases inactivos
TIG	Soldadura de tungsteno con gases inertes
TIR	Tasa interna de retorno
TMAR	Tasa mínima atractiva de retorno
TM	Toneladas métricas
U	Utilización
VPN	Valor Presente Neto
I	Variable de corriente
V	Voltios
VAC	Voltios en corriente alterna

GLOSARIO

Acero	Mezcla del mineral hierro con carbono y otros aleantes para mejorar sus propiedades mecánicas en aplicaciones puntuales.
ASTM	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
Caballaje	Potencia que puede entregar un elemento a partir de energía mecánica.
Cimentación	Conjunto de elementos estructurales de un equipo que permiten transmitir cargas al suelo donde este se instalará.
CREE	Comisión General de Energía Eléctrica.
Consumible	Insumos que forman parte de un proceso cumpliendo una función primordial pero con tiempos de vida establecidos según su uso.
Cuello de botella	Fase más lenta de una cadena productiva que afecta un rendimiento general.
Eficiencia mecánica	Se refiere al trabajo mecánico entregado respecto a la energía invertida para este trabajo.

EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala.
Energía	Capacidad que tiene la materia para poder ejercer una función determinada.
Flejado	Materia prima utilizada en la industria como una herramienta para la sujeción de cargas o como elemento de fijación
Frecuencia	Magnitud física que permite medir un suceso periódico.
Gases activos	Gases que son capaces de combinarse con otros elementos para producir mejores propiedades en el proceso donde se vean involucrados.
Gases inertes	Gases nobles que tienen la propiedad de no combinarse con ningún otro elemento químico.
ISO	Norma establecida por la Organización Internacional de Normalización.
ISR	Impuesto Sobre la Renta de un bien.
JIS	Norma industrial japonesa para aceros.
Laminado en caliente	Proceso al que es sometido un acero en su fabricación por encima de los 926 grados centígrados

para evitar su cristalización y mejorar su maleabilidad en el formado.

Laminado en frío

Proceso de fabricación del acero a temperatura ambiente permitiendo su recristalización y aumentando propiedades mecánicas como su dureza.

Mecanismo

Conjunto de elementos mecánicos que a través de recepción de energía permiten transformarla para entregar un trabajo.

Montaje

Colocación o instalación de elementos y/o equipos en un lugar designado.

NEMA

Asociación de Manufacturación Eléctrica en Motores.

SAE

Norma de la sociedad Americana de Ingenieros Automotrices.

Soldadura

Fusión de dos o más piezas mediante el uso de calor.

SPHT

Normativa para aceros rolados en caliente.

Towtractor

Equipo móvil eléctrico que permite trasladar por suelo cargas de hasta 28 toneladas.

RESUMEN

La mejora continua y el aumento de eficiencia en cualquier proceso productivo que se desarrolle dentro de la empresa es un objetivo claro y a largo plazo que se busca implementar mediante la mejora de procesos y el aumento de producción de materia final, pero teniendo como referencia la reducción de costos sin afectar el correcto desempeño de la línea de producción.

Actualmente la línea de producción para tubería redonda y cuadrada estructural Yoder 35-2, es la que presenta el menor indicador de producción con relación a las otras cinco líneas de producción que forman parte de la planta, por lo tanto tras un estudio de indicadores se concluyó que esta línea representaba el cuello de botella para el panorama de producción general en la línea, sin embargo, dentro de la misma se encontraron secciones en las cuales el tiempo muerto por paros en producción contribuían a la disminución de la relación de producción en tubos/hora para la línea en estudio.

Luego de realizar un estudio y evaluación de cada uno de los indicadores de producción por un plazo aproximado de cuatro meses, se planteó una propuesta de mejora que permitirá aumentar la producción en la línea, sustituyendo maquinaria obsoleta en la sección de alimentación de materia prima, formado y corte. Con ello se puede lograr el aumento de producción deseado tomando como punto de referencia una de sus líneas similares denominada como Yoder 35-1.

Como un punto de análisis paralelo se realizó un estudio económico para determinar la viabilidad de este proyecto, y con valores estimados se determinó

que el proyecto era completamente viable hasta un plazo mínimo de seis meses, y que incluso podría reducirse el impacto económico de la inversión inicial si se seccionaba la implementación de la propuesta por plazos, ejecutándola en las secciones donde se detectaba la mejora en calidad de urgencia.

OBJETIVOS

General

Determinar, mediante un análisis técnico y financiero, la propuesta para una mejora en eficiencia de producción de la línea Yoder 35-2 de cañería industrial en la empresa, Industria de Tubos y Perfiles S.A.

Específicos

1. Determinar el estado actual en la línea Yoder 35-2.
2. Analizar y detallar el proceso de formado de tubería redonda en la línea de producción Yoder 35-2.
3. Demostrar empíricamente un aumento de la eficiencia en la línea de producción Yoder 35-2 con base en la propuesta planteada.
4. Demostrar la fiabilidad del proyecto mediante un análisis financiero arraigado a los elementos propuestos para la mejora de eficiencia en la línea Yoder 35-2.
5. Plantear los aspectos necesarios para el desarrollo de la mejora continua en la línea de producción.

INTRODUCCIÓN

Toda industria hoy en día tiene como uno de sus objetivos específicos principales, dentro de su plan estratégico, ser una industria competitiva en el mercado en donde se encuentre integrada, para ello las industrias buscan metodologías, procesos y técnicas de innovación para incrementar la eficiencia y productividad de sus líneas de producción, reduciendo costos pero manteniendo la calidad de sus productos. Industria de Tubos y Perfiles S.A. es una empresa que se dedica a la producción de tubería negra, galvanizada, cañería industrial y perfiles, como costanera utilizando bobinas de entre 5 y 10 toneladas de lámina caliente SAE 1008 y lámina fría con grado SHPT 1 como materia prima.

El formado de cañería en esta empresa se realiza mediante cuatro etapas principales por la línea de producción marca Yoder adquirida en 1987, la cual consta de la etapa de corte de rollos de lámina, cuyo ancho depende del producto que se vaya a fábrica. Luego las tiras pasan por una embobinadora para formar nuevos rollos de lámina más delgados, pero de similar tonelaje, los extremos de estos nuevos rollos de lámina se unen mediante un proceso de soldadura oxi-acetilénica para producir una sola tira que se coloca en un acumulador que alimenta las torres de formación.

En estas torres la tira se va redondeando por medio de varios rodillos hasta que finalmente adquiere su forma y es soldada por medio de una máquina soldadora ERW, para así unir la orilla de la lámina. Para mantener el diámetro del tubo este pasa por una etapa de rectificado para finalmente pasar al carrito de corte, el cual determina el largo del tubo siendo este estandarizado

por el departamento de producción de la empresa. Este proceso de formado se ha realizado por más de 30 años, por su antigüedad y debido a la alta demanda de producción que se genera hoy en día, se ha creado una ineficiencia considerable y una reducción de utilización dentro de esta línea de producción, especialmente en la etapa de corte de cañería y la etapa de unión y acumulado de tiras para la alimentación de materia prima a las torres de formado, aumentando los costos de producción y la pérdida metálica en la línea.

En el presente trabajo de graduación se pretende realizar un análisis técnico y empírico de la mano de obra, con un análisis financiero para establecer una propuesta que le permita a la empresa Industria de Tubos y Perfiles S.A. mejorar la eficiencia de producción en la línea Yoder 35-2 de tubería redonda, manteniendo sus estándares de calidad.

1. PANORAMA ACTUAL DE PRODUCCIÓN EN LA LÍNEA YODER 35-2

1.1. Ritmos y estados de producción actuales

La producción de tubería para la línea Yoder 35-2 es programada y gestionada por el departamento de producción de la planta. De igual manera este departamento es el encargado de estandarizar los tiempos de producción, los cuales van ligados a las velocidades de las torres de formado y rectificado, así como los tiempos en las secciones de alimentación de materia prima y el corte de tubería terminada para las longitudes establecidas por el departamento de control de calidad.

Los ritmos de producción se ven afectados directamente por los conocidos cuellos de botella dentro de la planta. Si se habla en términos generales esta línea es la que se identifica con este concepto dentro de la misma, ya que la maquinaria es tan antigua y obsoleta que no permite una producción constante y se ve afectada por diversos fallos y deficiencias tanto mecánicas como eléctricas. Por otro lado, si se hace énfasis dentro de la línea de producción el principal cuello de botella se encuentra desde el punto del pegacintas en la sección de alimentación de materia prima hasta las torres de formado, en donde las velocidades en los molinos de formado no son lo suficientemente rápidas para mantener un índice de producción como el de su similar la formadora Yoder 35-1.

1.1.1. Pegado de cinta

El pegado de cinta se realiza actualmente con el método de soldadura por arco eléctrico, en el cual el tiempo de pegado de la cinta depende directamente de los espesores de la lámina, por ende cuando la lámina es demasiado gruesa se tiene que realizar una soldadura minuciosa y precisa por parte del operador de turno, para que exista una correcta penetración del material fundido y así asegurar que el extremo final de la cinta que se encuentra ingresando a las torres de formado y el extremo inicial de la cinta que proviene de los acumuladores no se van a despegar durante el proceso de formado

Esta línea cuenta con un método halador de tiras, el cual se describirá con mayor detalle más adelante, que estira la lámina hasta el final de la línea a una longitud aproximada de 50 metros para entrar al área de torres formadoras, este es el tiempo en el cual el operador debe ser capaz de unir los dos extremos de las cintas evitando una soldadura deficiente que puedan generar accidentes a los operarios, daños materiales y paros no programados en la línea de producción.

Tabla I. **Tiempo promedio de pegado de cinta**

Yoder 35-1	Yoder 35-2
2,5 min	5,2 min

Fuente: elaboración propia

1.1.2. Formado de tubería

La planta hoy en día continúa utilizando las torres de formado marca Yoder desde el año 1987, para la producción de tubería redonda y tubería

estructural cuadrada, aunque dicha línea de producción ha modificado la sección de soldadura con una soldadora de alta frecuencia esta sigue siendo una de las líneas con maquinaria más antigua de la planta, generando así muchas complicaciones e ineficiencia por la alta demanda de producción.

Debido a su antigüedad y lo obsoleto de los repuestos, las velocidades programadas para los motores eléctricos de corriente directa transmiten su potencia a las cajas reductoras y estas a los ejes cardan, y las torres de formado no pueden ser sobre revolucionadas. Si la velocidad aumenta en las torres de formado se genera desbalance y un aumento considerable de temperatura tanto en los motores como en las cajas reductoras dando lugar a fallas mecánicas, eléctricas e incluso el paro de producción total en la línea. Por lo tanto, los tiempos de formado de tubería son bastante lentos en comparación con las otras 4 líneas de producción de tubería dentro de la planta.

1.1.3. Corte de tubería

En la línea de producción se cuenta con un carro de corte marca Siemens accionado por un sistema de bombeo hidráulico y una guillotina de corte, debido a la antigüedad de la línea, la guillotina es utilizada para el corte de tubería con diámetros mayores a 2 pulgadas y espesores cédula 40, tanto para tubería redonda como para tubería cuadrada. El carro de corte no es capaz de cortar tuberías que sean mayores a las dimensiones mencionadas con anterioridad, ya que las cuchillas que utiliza el cilindro hidráulico principal son de un espesor delgado, lo que no permite la correcta penetración de las cuchillas en el tubo y generan imperfecciones en las secciones de corte de las tuberías producidas

Actualmente el carro de corte de la línea posee fallos que se han hecho periódicos en los últimos años, fallos que se subdividen en mecánicos cuando

existen pérdidas de presión en el sistema hidráulico o componentes mecánicos de la línea, y eléctricos cuando existen fallos en los componentes eléctricos y electrónicos de las máquinas, generando irregularidades en el acabado final del producto.

1.1.4. Estibado de tubería

El estibado de tubería se realiza en dos formas específicas que dependen directamente de la geometría de la tubería y de las dimensiones. Luego que las tuberías finalizan el proceso de formado se van apilando con la ayuda de dos operadores a la plataforma halada por un *Towtractor*, transporte que se encarga de trasladar las redadas de tubería a las diferentes bodegas de estibado dentro de la planta.

Las tuberías de geometría redonda son apiladas por los operarios de tal forma que la redada forme un hexágono, por otro lado las tuberías cuadradas son apiladas de tal forma que la redada mantenga una forma cuadrada o rectangular, dependiendo de la geometría del tubo. Cada una de las redadas finalizadas es agrupada y fijada por un sistema de flejado y grapas de acero que aseguran el producto finalizado en el centro y los extremos, de tal manera que el producto terminado sea seguro para su manipulación. Por último, cuando las redadas han sido flejadas y la plataforma del *Towtractor* se encuentra llena, estas redadas son reubicadas en las distintas bodegas para su despacho final al comprador.

Figura 1. **Estibado de tuberías en bodegas de despacho**



Fuente: Industria de tubos y perfiles S.A. *Estado de tuberías.*

<https://www.novex.com.gt/catalogo/1601/Perfiles-y-tubos-industriales.html>. Consulta: 6 de septiembre de 2018.

1.2. Indicadores de producción

Dentro de la planta los indicadores de producción permiten llevar un control sobre qué tan eficiente está siendo la producción a pequeña y gran escala, es decir a nivel semanal y mensual, y de este modo refleja la eficiencia con la que están siendo aprovechados los recursos generales y humanos de la planta de producción. Actualmente la planta se enfoca en cuatro indicadores para llevar un control sobre la producción, los cuales se detallarán a continuación.

1.2.1. Utilización

Es un indicador que permite determinar la eficiencia en la que una línea de producción opera dentro del tiempo de producción programado, aprovechando al máximo los recursos que utiliza la misma para su correcto desempeño tomando como apoyo el tiempo útil de trabajo, el cual se define como las horas

en las cuales un equipo opera sin interrupciones y a su ritmo de trabajo estandarizado

La línea Yoder 35-2 presenta uno de los porcentajes más bajos de utilización dentro de la planta, dicho porcentaje se aleja mucho de su similar de producción la línea Yoder 35-1, la cual a pesar de producir cañería con diámetros y espesores mayores el porcentaje de utilización es por encima del promedio estandarizado por el departamento de producción de la planta. La principal deficiencia en el indicador de utilización para línea en estudio son los paros producidos por fallos en el carrito de corte, ineficiencia en el sistema de pegado de cintas, la mala distribución de los molinos de formado y las bajas velocidades de rotación en los mismos por la utilización de sistemas de motores eléctricos de corriente eléctrica de baja eficiencia.

El porcentaje de utilización se calcula utilizando fórmulas matemáticas procedentes del texto *Control de tiempos*, de Walter Ries:

$$\text{Utilizacion (\%)} = \frac{\text{Tiempo útil (U)}}{\text{tiempo programado total (PT)}}$$

Donde:

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

Y:

$$PT = \text{hrs. calendario} - \text{hrs c. e.} - \text{hrs tl.}$$

De donde se deduce que:

Hrs. calendario: días del mes * 24 horas de trabajo.

Hrs. C.e.: horas por causa externa (paro de producción por causas externas a la empresa).

Hrstl.: horas de tiempo libre planificadas por la empresa.

En la siguiente tabla se muestra la tendencia que se presentó durante el último año calendario hasta el mes de marzo del presente año para esta línea, todo porcentaje que esté por debajo de lo planificado, que fue estandarizado con el 60 % por parte del departamento de tecnología y gestión de la planta, se considera como una utilización deficiente, por ende se identifica con un color rojizo si este no superó el valor planificado.

Tabla II. **Porcentaje de utilización, línea Yoder 35-2**

Indicador de utilización Yoder 35-2		
Fecha	Planificado	Real
03/2018	60 %	49,48 %
04/2018	60 %	51,18 %
05/2018	60 %	53,04 %
06/2018	60 %	50,09 %
07/2018	60 %	46,02 %
08/2018	60 %	46,13 %
09/2018	60 %	43,73 %
10/2018	60 %	46,46 %
11/2018	60 %	38,27 %
12/2018	60 %	54,73 %
01/2019	60 %	51,95 %
02/2019	60 %	56,56 %
03/2019	60 %	49,23 %

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que todos los indicadores que se muestran en la tabla anterior han estado fuera de lo planificado, estos bajos porcentajes de

utilización se deben principalmente al aumento de las interrupciones de producción en la línea.

1.2.2. Pérdida metálica

Cada línea de producción genera desechos provenientes de la producción de tubería que son considerados como pérdida metálica, este es un indicador que se mide en (kg/t) y define los kilogramos de materia desechada en la línea por cada tonelada de buen producto terminado. Para mantener un control de este indicador, al final el día todo este material de pérdida es colocado en una balanza para llevar un registro de su peso y así obtener una sumatoria total al final del mes para saber cuánto fue su acumulado y a partir de ello realizar representaciones gráficas para realizar un estudio y determinar cuáles son las causas de los puntos deficientes durante todo el mes e incluso en el año. Se considera como pérdida metálica a:

- Merma
- Rebaba
- Tubo abierto
- Tira defectuosa
- Tubo irregular (no cumple con los estándares de producción)

El indicador de pérdida metálica se mide de forma individual para cada una de las líneas de producción dentro de la planta, de igual forma que el indicador de utilización se plantea una cantidad de pérdida metálica para cada una de las líneas, buscando su disminución para cada uno de los periodos de producción. En la siguiente tabla se muestra la tendencia de pérdida metálica para el año calendario medido desde marzo de 2017 hasta marzo de 2018.

Cabe mencionar que mientras el valor se encuentre por debajo de la cantidad planificada el indicador se toma como un indicador positivo:

Tabla III. **Indicador de pérdida metálica, Yoder 35-1**

Pérdida metálica en Yoder 35-2		
Fecha	Planificado (kg/t)	Real (kg/t)
03/2018	40,00	36,95
04/2018	40,00	35,84
05/2018	40,00	43,73
06/2018	40,00	42,13
07/2018	40,00	40,21
08/2018	40,00	34,92
09/2018	40,00	59,41
10/2018	40,00	56,83
11/2018	40,00	55,31
12/2018	40,00	188,28
01/2019	38,00	58,91
02/2019	38,00	40,89
03/2019	38,00	39,67

Fuente: elaboración propia.

1.2.3. **Producción de línea (TM)**

Durante el mes es necesario cumplir con metas establecidas por el departamento de producción, metas que van acompañadas de medidas predictivas que permiten lograr los objetivos de cada una de las líneas de producción. Este indicador se mide en toneladas métricas y representa únicamente la producción de tubería en buen estado y que cumple con los estándares de control de calidad para poder ser distribuida al mercado nacional y centroamericano.

En los últimos años la producción en la línea Yoder 35-2 no se ha visto afectada con respecto a este indicador, a pesar de los distintos problemas que

se presentan, esto se debe a que se conoce que esta línea es considerada el cuello de botella de la planta y por ende la demanda no es tan considerable como lo es para las otras líneas, pero de cierta manera la ineficiencia de productividad en la misma sí afecta el entorno general de producción. Por otro lado, los defectos en el carro de corte y en la guillotina limitan un poco la producción para el tubo estructural cuadrado y el tubo industrial redondo con diámetros mayores a 2 pulgadas, solucionando este problema se podría compensar el trabajo de su similar la línea Yoder 35-1 en caso esta llegara a fallar o se aumente la demanda de tubería con las características anteriormente mencionadas.

1.2.4. Interrupciones operacionales

Un aspecto muy importante que permite determinar cómo fue el funcionamiento de la línea de producción durante un tiempo determinado es el porcentaje de interrupciones operacionales. No toda interrupción operacional puede ser por un fallo eléctrico o mecánico en la máquina, ya que los molinos de formado en la línea Yoder 35-2, como las formadoras de toda la planta, tienen periodos de tiempo planificados dentro de la producción para cambiar los rodos que permiten ondular la lámina para dar forma a la tubería en este proceso. Los principales problemas de interrupciones en la producción para la línea de estudio se ven reflejados en los paros por mantenimiento mecánico y mantenimiento eléctrico.

Es importante aclarar que los problemas presentes en la sección de alimentación de materia prima conocida como pegacintas no se consideran parte de las interrupciones por mantenimiento, ya que estas son simplemente interrupciones operacionales imprevistas que se generan por deficiencia del operador encargado de la soldadura de unión de las cintas. Este problema

ocasiona que la lámina que está siendo estirada se enrede en el sistema halador de cintas y es cuando debe intervenir rápidamente el cuerpo de técnicos de la línea para solucionar el problema y que el paro operacional no se prolongue a una mayor cantidad de minutos o incluso horas

El indicador de interrupciones operacionales, al igual que el indicador de utilización, se mide de forma porcentual y por medio de una fórmula empírica denotada a continuación:

$$Interrupciones Op = \frac{Horas\ de\ interrupción}{Horas\ de\ producción\ programadas} * 100$$

A continuación se muestra una tabla con la tendencia de las interrupciones operacionales medidas en año calendario desde marzo de 2017 hasta marzo de 2018:

Tabla IV. **Indicador de interrupciones operacionales, Yoder 35-2**

Interrupciones operacionales Yoder 35-2		
Fecha	Planificado	Real
03/2018	15 %	13 %
04/2018	15 %	14 %
05/2018	15 %	6 %
06/2018	15 %	14 %
07/2018	15 %	19 %
08/2018	15 %	22 %
09/2018	15 %	14 %
10/2018	15 %	11 %
11/2018	15 %	21 %
12/2018	15 %	33 %
01/2019	12 %	12 %
02/2019	12 %	19 %
03/2019	12 %	26 %

Fuente: elaboración propia.

Para el presente año se observa que la meta de interrupciones operacionales se redujo en un 3 % de lo planteado el año anterior. De igual manera se identifican los meses con mayor porcentaje de interrupciones operacionales en rojo, indicando que existe deficiencia en el mes establecido debido a fallos en la maquinaria.

1.2.4.1. Interrupciones por mantenimiento mecánico

Cualquier periodo en el que se realice un paro en la producción de la línea para mantenimiento correctivo o preventivo se conoce dentro de la planta como interrupciones por mantenimiento planificado o no planificado, en el caso del mantenimiento correctivo estas interrupciones por fallas mecánicas se realizan principalmente para:

- Rectificado de los rodos onduladores de lámina.
- Rectificado en rodos guía de eje vertical.
- Rectificado de cuchillas.
- Rectificado de guillotina.
- Bajo nivel de aceite que genera sobrecalentamiento en caja reductora producto de fugas en los acoples.
- Variaciones de presión en el sistema de bombeo hidráulico para el carro de corte y para el sistema de lubricación de la línea.

Las interrupciones mecánicas como indicador presentaron un aumento en los últimos años, ya que la mayoría de interrupciones se dan por problemas en el desgaste de cuchillas y baja presión en el eje hidráulico principal del carro de corte, ocasionando deformaciones visibles en la tubería producida y para evitar

el aumento de la pérdida metálica se deben aplicar medidas correctivas inmediatas parando la producción por periodos considerables.

1.2.4.2. Interrupciones por mantenimiento eléctrico

Toda instalación eléctrica, sin importar si es del tipo domiciliar o industrial, es susceptible de generar fallas, dentro de la línea de producción Yoder 35-2 existen instalaciones eléctricas que generan fallos por cortocircuitos debido al deterioro del cableado, consecuencia de la humedad del ambiente y del mal mantenimiento. Los principales fallos eléctricos en la línea son los siguientes:

- Deficiencia en el variador de velocidad del motor eléctrico que alimenta los molinos de formación y rectificado.
- Deficiencia de corte por cortocircuito en electroválvula que controla el suministro hidráulico para el accionamiento de los cilindros de las cuchillas.
- Deficiencia en los sensores de final de carrera del carrito de corte.

Tabla V. **Porcentaje de interrupciones por mantenimiento, Yoder 35-2**

Interrupciones por mantenimiento Yoder 35-2			
Fecha	Interrupciones por mantenimiento	Mantenimiento mecánico	Mantenimiento eléctrico
03/2018	27,50 %	18,35 %	9,15 %
04/2018	15,92 %	11,54 %	4,38 %
05/2018	12,78 %	10,23 %	2,55 %
06/2018	19,87 %	15,97 %	3,90 %
07/2018	18,20 %	9,61 %	8,59 %
08/2018	8,85 %	5,18 %	3,67 %
09/2018	23,38 %	14,65 %	8,73 %

Continuación de la tabla V.

10/2018	9,91 %	4,99 %	4,92 %
11/2018	11,81 %	9,01 %	2,80 %
12/2018	0 %	0 %	0 %
01/2019	6,74 %	3,43 %	3,31 %
02/2019	10,32 %	7,22 %	3,10 %
03/2019	8,67 %	7,11 %	1,56 %

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que este indicador se calcula de la misma forma que las interrupciones operacionales, la única variación se da en que la comparación para obtener el porcentaje se hace entre las horas programadas para mantenimiento y las horas programadas de producción.

1.2.4.3. Paradas programadas

Toda sección de formado para las seis líneas de producción de la planta cuenta con interrupciones planificadas totalmente ajenas a los respectivos paros por mantenimiento y paros por fallos mecánicos o eléctricos. Estas interrupciones operacionales programadas no se consideran dentro de la producción planificada, ya que son interrupciones necesarias e inevitables de realizar para cumplir con el plan de producción mensual. Por lo general estas interrupciones se realizan cuando se necesita hacer cambios en los rodos de ondulado y dirección, ya que existe un juego de rodos para cada uno de los diámetros que puede producir la línea. Otro ejemplo de una parada programada es cuando se realiza cambio de los fluidos y aditivos en el sistema de lubricación por su baja concentración.

Cada uno de los diferentes juegos de rodos necesitan de un tiempo aproximado de 12 horas (1 turno completo de producción), es por ello que

dichas paradas son planificadas por el departamento de tecnología y gestión para que no afecte con el plan de producción.

1.3. Estándar de Producción Horaria (EPH)

Es un indicador que permite establecer la producción por hora que puede producir una línea, dentro de cada línea de producción el estándar de producción horaria se delimita por el cuello de botella en la línea, como se ha mencionado con anterioridad en esta sección, dentro de la línea Yoder 35-2 el cuello de botella está ligado a la velocidad y distribución de las torres de formado y a las deficiencias en el carro de corte debido a que son equipos obsoletos que se utilizan desde muchas décadas atrás. Este indicador dentro de la planta se mide en tubos/hora y se define como la cantidad de tubos producidos que se pueden generar por cada hora de producción estandarizada sin interrupción alguna.

Para definir el estado actual de producción en la línea de estudio se realizará dos comparaciones, una que consiste en comparar la producción horaria estandarizada para la línea versus la producción horaria real que se da en la línea de producción para los distintos diámetros que se manejan de tubería redonda. La segunda comparación se realizará con base en los estándares de producción reales entre la línea Yoder 35-1 y la línea Yoder 35-2, ya que los estándares de producción se deberían manejar igual en ambas líneas.

Tabla VI. **Comparación EPH general, Yoder 35-1 vs. Yoder 35-2**

Datos	Yoder 35-1	Yoder 35-2
EPH real promedio	230 $\frac{\text{tubos}}{\text{hora}}$	182 $\frac{\text{tubos}}{\text{hora}}$
EPH estandarizado	227 $\frac{\text{tubos}}{\text{hora}}$	227 $\frac{\text{tubos}}{\text{hora}}$

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que los datos establecidos en la tabla anterior, con base en la producción horaria de tubos, son un dato general sobre la producción de la línea, por lo tanto, se tomó como un promedio de la producción horaria real para cada una de las tuberías redondas de distinto diámetro producidas.

1.4. Características y estándares actuales de tubería producida

La tubería de lámina negra y de lámina galvanizada producida es utilizada generalmente para estructuras metálicas, sistemas oleo hidráulicos y sistemas de conducción de vapor para altas presiones y temperaturas. Ambas clases provienen de la misma materia prima a pesar de que una es de lámina galvanizada, en un principio sigue siendo lámina negra con la diferencia de que esta posee un recubrimiento de zinc de aproximadamente 330 a 430 gramos por cada metro de cañería ligera y mediana, y para cañería cédula 40 posee un espesor de aproximadamente 550 gramos por cada metro cuadrado de la tubería producida. Por otro lado, la tubería industrial cuadrada es fabricada específicamente por lámina de acero rolada en frío que es utilizada ampliamente en carpintería metálica y estructuras metálicas con longitudes estandarizadas de 6 metros, tanto para este tipo de tubería como para la cañería.

El principal propósito de la tubería proveniente de lámina negra galvanizada es que esta se utiliza principalmente para el transporte de agua y aire a baja presión que puede presentar condensado o es un tipo de cañería que se utiliza para sistemas que están expuestos a ambientes húmedos que pueden producir oxidación y corrosión en los materiales, esto se evita con el recubrimiento de zinc antes mencionado. Debido a las deficiencias de productividad en la línea de estudio, los diámetros de producción son bastante limitados para la cañería redonda y la tubería cuadrada, a continuación, se especifica los diámetros y espesores que se manejan:

Tabla VII. **Especificaciones de tubería de lámina negra**

Cañería de lámina negra					
Diámetro Nómima (pulg)	Diámetro Externo (pulg)	Ligero	Mediano	Cédula 40	Longitud (m)
		Espesor (pulg)	Espesor (pulg)	Espesor (pulg)	
1	1,32	0,09	0,114	0,142	6
1 ¼	1,67	0,09	0,114	0,142	6
1 ½	1,90	0,11	0,114	0,142	6
2	2,38	0,11	0,134	0,157	6

Fuente: Aceros de Guatemala. *Tubería de lámina negra*.

<http://www.acerosdeguatemala.com/es/producto/caneria-ag>. Consulta: 21 de julio de 2018.

Tabla VIII. **Especificaciones de tubería galvanizada**

Cañería de lámina galvanizada					
Diámetro Nómima (pulg)	Diámetro Externo (pulg)	Ligero	Mediano	Cédula 40	Longitud (m)
		Espesor (pulg)	Espesor (pulg)	Espesor (pulg)	
1	1,315	0,094	0,114	0,142	6
1 ¼	1,660	0,094	0,114	0,142	6
1 ½	1,900	0,106	0,114	0,142	6
2	2,375	0,106	0,134	0,157	6

Fuente: Aceros de Guatemala. *Tubería galvanizada*.

<http://www.acerosdeguatemala.com/es/producto/caneria-ag> Consulta: 21 de julio de 2018.

Tabla IX. **Especificaciones de tubería industrial cuadrada**

Características estandarizadas de tubería industrial cuadrada						
Medida nominal (pulg)	Chapa 24 (0,024 pulg)	Chapa 22 (0,028 pulg)	Chapa 21 (0,031 pulg)	Chapa 20 (0,035 pulg)	Chapa 18 (0,047 pulg)	Longitud (m)
½	3,53	4,1	4,7	5,30	7,10	6
¾	4,64	5,4	6,2	7,00	9,30	6
1	6,23	7,3	8,3	9,40	12,50	6
1 ¼	--	--	10,12	11,70	15,02	6
1 ½	9,38	--	12,50	14,10	18,80	6

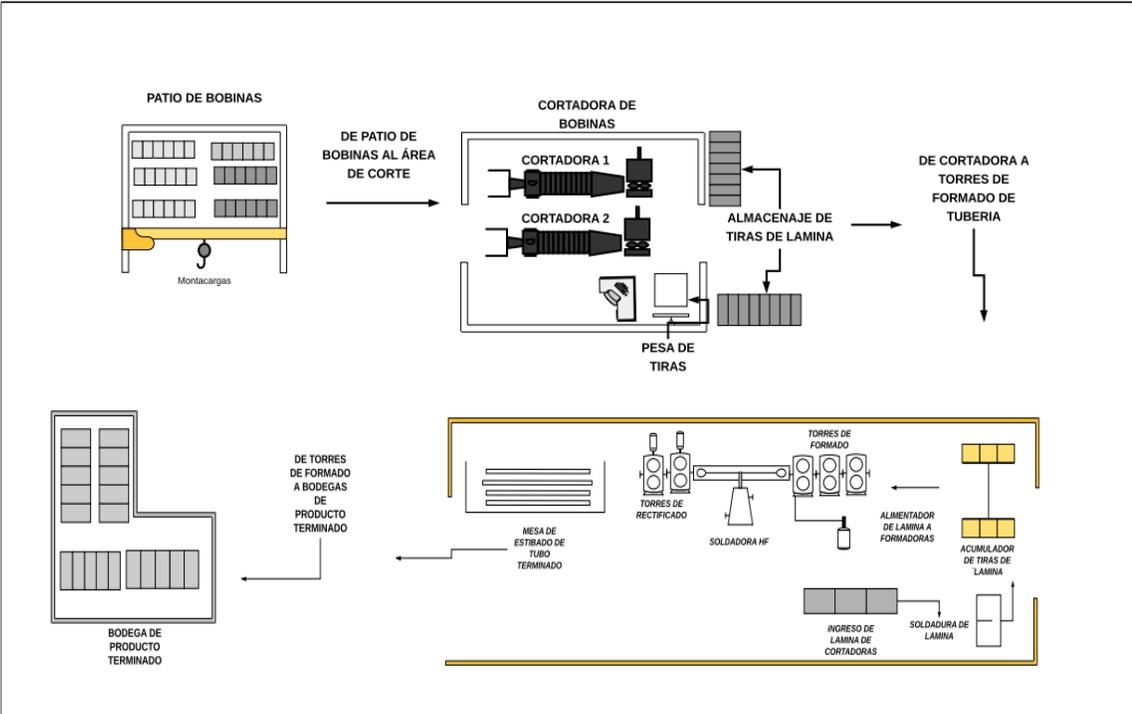
Fuente: Aceros de Guatemala. *Tubería industrial cuadrada*.

<http://www.acerosdeguatemala.com/es/producto/caneria-ag> Consulta: julio de 2018.

1.5. Mapa del proceso actual

A continuación, se presenta el mapa del proceso actual.

Figura 2. Mapa de proceso de formado de tubería, Intupersa



Fuente: elaboración propia, empleando Lucid Chart.

2. METODOLOGÍA DE PRODUCCIÓN EN LA LÍNEA YODER

35-2

2.1. Materia prima

Existen bienes que no pueden ser utilizados directamente por el consumidor ya que necesitan pasar por un proceso para ser transformados en elementos o utensilios para satisfacer las necesidades de un consumidor en específico, dependiendo de lo que se produce y a qué nicho de mercado pertenece la planta. Las materias primas son el primer paso de una cadena de producción en la que se desglosan varias fases que irán transformando dicho elemento hasta convertirse en un elemento apto para su consumo.

La principal característica de toda materia prima es que son elementos que se encuentran en un estado que es lo más parecido a su estado natural antes de llegar a ser explotadas por la actividad humana dentro de la industria.

2.1.1. Lámina rolada en frío

Es una lámina de acero que posee un proceso en caliente pero que es enfriado al instante mediante fluidos que están compuestos por 95 % de agua y 5 % de aceite, es decir la lámina rolada en frío es lámina que ha sido creada en caliente pero que pasa por un proceso de lámina a temperatura ambiente para que logre características y dimensiones más exactas según las distintas normas de aplicación. Esta lámina posee acabados y superficies más lisas, lo que permite que la fabricación de tubos con este tipo de lámina tenga una mejor uniformidad y rectitud al momento de salir del proceso.

Una de las principales defectos y riesgos de laminado en frío es que si el procedimiento no se realiza de forma correcta se puede generar un fenómeno de estrés en el acero, conocido como acritud en el campo de la metalurgia, el cual genera alteración en la composición y estructura interna del acero por un mal mecanizado de la pieza y que en un futuro puede significar debilidad y baja calidad del material.

Figura 3. **Lámina rolada en frío**



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Lámina rolada en frío*. Consulta: 13 de septiembre de 2018.

2.1.2. Lámina rolada en caliente

Es un proceso en el que el laminado ocurre con temperaturas más altas que el punto de recristalización de la mayoría de los aceros, en este proceso se hace pasar una palanquilla de acero por rodillos a una temperatura aproximada

de 1 700 °F, lo que hace que el acero se estire formando una lámina mucho más delgada y más grande, luego de ello esta lámina es acumulada para ser enfriada a temperatura ambiente y así evitar cambios en su estructura y conservar las propiedades del acero.

Este proceso es mucho más barato que el proceso de laminado en frío, ya que posee mucho menos procesos y las medidas y características de acabado no son tan estrictas como las mencionadas en el proceso de laminado en frío, en si este tipo de materia se enfoca en dejar las propiedades del acero para que sea utilizada en productos que soportan altas tensiones y deformaciones.

Figura 4. **Lámina rolada en caliente**



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Lámina rolada en caliente*. Consulta: 13 de septiembre de 2018

2.1.3. Lámina galvanizada

El proceso de la lámina galvanizada implica generalmente la inmersión del acero en un baño de zinc a altas temperaturas con la finalidad de prevenir la corrosión y la oxidación en el producto final, aunque esta capa se deteriora con el tiempo es un procedimiento muy utilizado para alargar la vida útil del material. En este proceso el zinc reacciona con el oxígeno para crear óxido de zinc que al reaccionar con agua genera hidróxido de zinc, formando una capa gris que con el tiempo ayuda a proteger el acero de la oxidación superficial y picadura superficial del material a causa de la humedad y de las impurezas del ambiente como el dióxido de carbono.

Figura 5. Lámina galvanizada



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Lámina galvanizada*. Consulta: 13 de septiembre de 2018.

2.2. Normas y grados de fabricación de materia prima

Todo producto para ser utilizado por el ser humano debe estar construido bajo ciertas normas emitidas por entidades internacionales que establecen los aspectos por los que cualquier objeto que utilice materiales para ingeniería, construcción, medicina, entre otros, debe ser fabricado. Estas normas son aspectos específicos que interponen reglamentos y parámetros de seguridad para el material, el usuario y el medio que lo rodea.

2.2.1. Norma SAE 1008

Esta norma se establece para aceros de bajo contenido de carbono, pero que pueden ser utilizados específicamente para elementos que no serán sometidos a grandes esfuerzos y que requieran un endurecimiento superficial únicamente. La principal característica de esta norma es que establece que los aceros fabricados bajo esta norma son aceros que aun al ser sometidos a cualquier proceso de soldadura obtienen resultados excelentes.

2.2.2. Norma JIS G3141

Es un estándar de material japonés específicamente para laminado en frío que ofrece variedad de propiedades incluyendo formabilidad, suavidad y superficie y acabado limpio, aparte de ello esta norma incorpora aspectos relacionados con la baja incerteza en las medidas y parámetros utilizados para las propiedades mecánicas del material. Los aceros que utilizan esta norma tienen sus principales aplicaciones en piezas para automóviles, pero también en diferentes aplicaciones de construcción. Las bobinas de acero laminado en frío con esta norma también se consumen en producto galvanizado para la fabricación de tubos y tambores que pueden soportar presiones considerables.

2.2.3. Grado SPHT1

Los aceros con grado SPHT 1 son aceros laminados en caliente en forma de placas y tiras para la fabricación de tubos y tuberías que pueden soportar un esfuerzo de tensión de hasta 270 Mpa, este es un grado y designación para toda aquella materia bajo el estándar japonés JIS G3132. Las características dimensionales de este tipo de acero comienzan con el espesor aplicable que comienza desde 1,2 mm hasta 14 mm, sin embargo, el ancho del material con este grado varía de entre 950 mm a 2 000 mm. Como todo grado para la fabricación de aceros este también especifica la composición química utilizada, así como los parámetros necesarios para las propiedades mecánicas del material.

Tabla X. Composición química de aceros grado SPHT-1

Composición química de aceros con grado SPHT1	
Carbono	0,10 %
Manganeso	0,50 %
Silicio	0,35 %
Fosforo	0,040 %
Sulfuro	0,040 %

Fuente: HOT-ROLLED. *Composición de aceros*.<http://www.materialgrades.com/material-grades/hot-rolled-steels/jis-g3132-hot-rolled-spht-1-steel/> Consulta: 25 de julio de 2018.

2.3. Proceso de formación de tubería

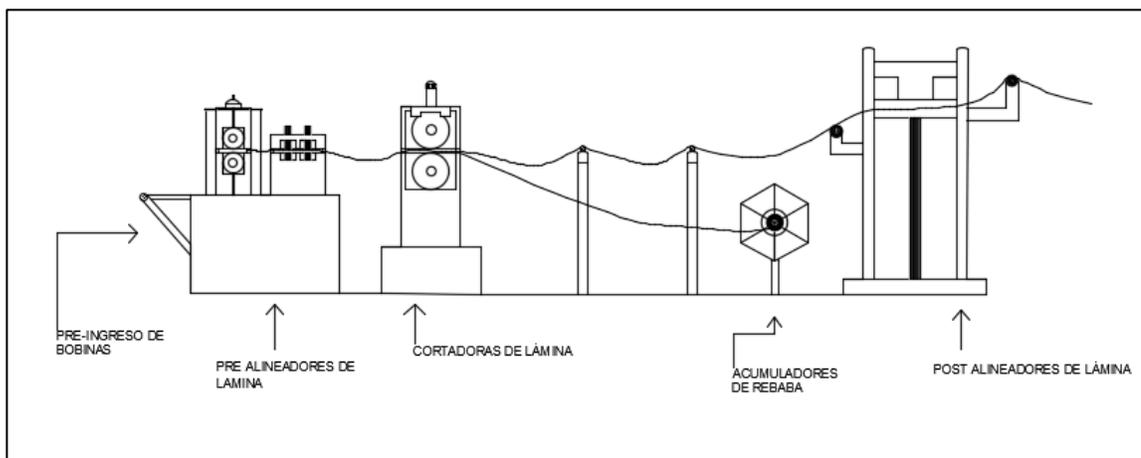
Luego de que el acero es fundido y colado en los altos hornos para formar lingotes o palanquillas de acero de gran dimensión que luego pasan a los rodillos para el formado de láminas en frío o en caliente, y adaptados a las

normas y grados mencionados con anterioridad que tienen sus aplicaciones para la fabricación de tubos y tuberías, estas láminas son procedas dentro de la planta para el formado de los productos según las características y aplicaciones del consumidor.

2.3.1. Corte de lámina

El corte de lámina se hace para bobinas de lámina rolada en frío, rolada en caliente y lámina galvanizada con pesos que van desde las 5 hasta las 10 toneladas de peso. Este proceso se hace mediante dos líneas de cortadora, la cortadora 1 que posee una capacidad de peso máxima de 5 toneladas y la cortadora 2 que posee una capacidad de peso máxima de 10 toneladas.

Figura 6. Proceso de corte de lámina



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.3.1.1. Colocado de bobina

Todas las bobinas son colocadas con ayuda de una grúa situada en el área de bodega de materia prima que posee un polipasto y un balancín con una capacidad de peso máxima de 10 toneladas, antes de situar las bobinas en la etapa de preingreso a las cortadoras estas son pesadas para ver que la bobina sea apta para ser soportada por los ejes del desembobinador. Todas las bobinas son solicitadas por el encargado de esta área, según el seguimiento del programa de producción.

2.3.1.2. Desembobinador

Esta máquina accionada por un motor eléctrico es un eje que permite regular la velocidad con la que la lámina entra a la línea de corte. El desembobinador posee una mordaza hidráulica que sujeta la bobina precargada de una manera segura y evita que esta se deslice y fatigue durante la etapa de desenrollamiento.

2.3.1.3. Prealineadores para corte

La función principal de esta etapa es ajustar la posición de la lámina para que las medidas de las tiras de corte y de la rebaba procedente de las bobinas sean lo más exactas posible, además de ello durante esta etapa la lámina se hace pasar por una torre de rodillos que generan una leve presión en la misma para eliminar imperfecciones e irregularidades provenientes en la lámina y así evitar dañar a las cuchillas e imperfecciones en el corte.

2.3.1.4. Postalineadores de tiras cortadas

Durante este proceso las tiras de lámina ingresan a las torres en donde se encuentra un juego de cuchillas circulares separadas por ajustadores de goma que permiten realizar los cortes en la lámina al mismo tiempo y dejar las tiras con las medidas exactas requeridas por las líneas de formado. Durante esta etapa los operadores colocan la rebaba, proveniente de las cuchillas de corte, en los acumuladores de rebaba posicionados en los laterales de las torres postalineadoras en donde se sujetan las tiras cortadas para que estas no choquen contra el suelo y sean preparadas con los dobleces estandarizados para ingresar al embobinador de tiras que se encuentra ubicado en el final de la línea de corte.

2.3.1.5. Embobinador de tiras cortadas

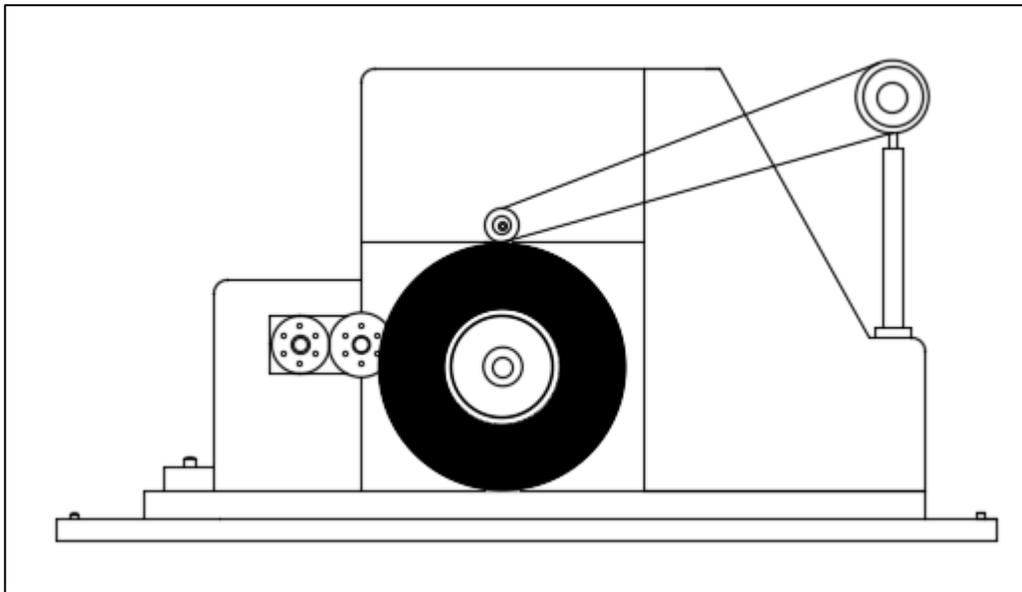
Las tiras que han sido cortadas se preparan para ingresar al enrollador de la siguiente forma:

- Se deshabilita el control automático de la línea y el operador utiliza el pulsador Jog para el control manual del movimiento de los rodillos postalineadores.
- Se realiza un dobléz de entre 70 y 80 grados en el extremo final de las tiras cortadas y mediante un tubo guía son sostenidas para que estas no choquen con el suelo y así sean dirigidas al rodillo de presión neumática que se encuentra en la parte superior del embobinador.

- Se hace actuar el enrollador de tiras hasta dejar un extremo fuera del rodillo a presión neumática, de entre 8 y 10 centímetros, permitiendo así que las tiras sean flejadas.

Luego de que todas las tiras se encuentran flejadas e identificadas respectivamente el operador se acciona un vástago controlado por presión hidráulica que empuja el conjunto de tiras y las traslada a un acumulador que posee un pivote en el centro que permite rotar las láminas y alejarlas del enrollador para que posteriormente estas puedan ser levantadas por el polipasto y trasladadas a las bodegas de preingreso de las líneas de formado.

Figura 7. **Embobinador de tiras cortadas**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.3.2. Alimentación de materia prima

Las bobinas de lámina poseen una longitud máxima promedio de 50 metros, siendo esta una longitud bastante corta su consumo en las torres de formado rinde para aproximadamente 8 tubos con un largo de 6 metros, lo que ocasiona que la alimentación de materia prima en las torres de formado sea lenta y ocasiona paros y reducciones en los tiempos de producción.

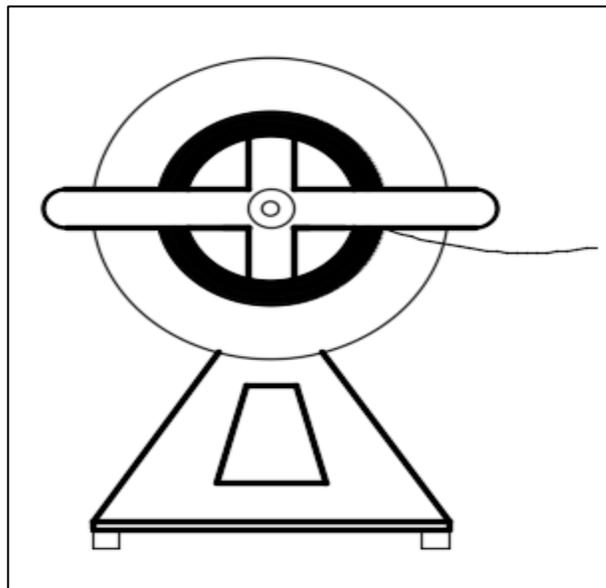
Para contrarrestar este problema se ha implementado un mecanismo en la línea que consta de un acumulador de tiras y un carrito de hale de tiras para permitir la unión de las tiras provenientes y que la alimentación de materia prima al proceso de formado sea lo más rápido y continuo posible.

2.3.2.1. Acumulador y halador de tiras

Todas las tiras que provienen de las bodegas de preingreso a las líneas de formado son colocadas en un acumulador pequeño que se encuentra en la parte inicial de la línea de formado Yoder 35-2 y que permite mantener materia prima a la mano para que la producción se realice de forma constante. Al iniciar la producción la primera tira de lámina es transportada de las bodegas de preingreso al pequeño acumulador antes mencionado por medio de una grúa en la cual el operador coloca el extremo inicial de la tira en el mecanismo halador de tiras, que consta de un carrito que camina sobre rieles que se encuentran en toda la parte superior de la línea de formado, el propósito de este carrito es desenrollar toda la tira durante su carrera hasta una longitud aproximada de 40 metros de distancia, cuando el carrito comienza su carrera de retorno es cuando la tira comienza a ser introducida poco a poco en las torres de formado.

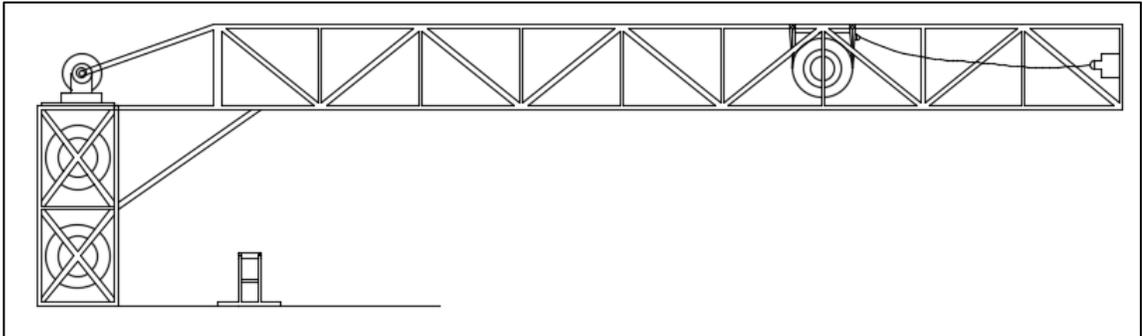
Este procedimiento permite que la longitud restante de aproximadamente 10 metros de tiras permanezca estática durante unos minutos proporcionándole tiempo a los operadores para que este extremo sea unificado mediante una soldadura con el extremo inicial de la próxima tira que se encuentra en el acumulador. Manteniendo este procedimiento como un bucle se consigue una alimentación de materia prima para la línea Yoder 35-2 lo más regular y constante posible.

Figura 8. **Acumulador de tiras**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 9. **Carro halador de tiras**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD

2.3.2.2. Pegado de cinta por soldadura MIG/MAG

Como se mencionaba con anterioridad, este proceso se utiliza para la unión de los extremos de la cinta que se encuentra en el acumulador y la cinta que se encuentra alimentando las torres de formado. Mediante la soldadura de este tipo se establece un arco eléctrico entre un electrodo de hilo continuo y las piezas de acero que se necesita soldar. Toda soldadura necesita un medio de protección para el cordón de soldadura que se genera con la fundición de los metales, esta protección se lleva a cabo mediante un gas inerte conocido como MIG o un gas activo conocido como MAG.

El empleo del procedimiento es más frecuente dentro de la industria moderna, debido a su alta productividad y facilidad de automatización. Esta soldadura se puede realizar en todas las posiciones y su flexibilidad de aplicación permite que se puedan soldar aceros de baja aleación, aluminio y cobre en espesores a partir de los 0,5 mm. Los parámetros utilizados para este tipo de procedimiento se desarrollan de la siguiente manera:

- Fuente: fundición por arco eléctrico.
- Electrodo: consumible.
- Protección de cordón: gas activo o gas inerte.
- Material de aporte: proporcionado por el mismo electrodo cuando este se consume.
- Aplicaciones: el procedimiento MAG se aplica para ceros y el procedimiento MIG para el resto de los metales con propiedades tecnológicas para soldabilidad.

Todo aquel material que se utiliza para la protección y realización de un cordón de soldadura de buena calidad se conoce como material de aporte. Estos materiales de aporte se componen de elementos químicos muy variados que permiten mejorar en gran parte las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la soldadura. En la soldadura MIG/MAG se utiliza como material de aporte los hilos de alimentación continua que pueden ser clasificados en dos tipos:

- Macizos: son electrodos de hilo macizo metálico compuestos por acero, hacerlos aleados, inoxidable y aluminio, cuya composición suele ser lo más parecida al metal base que se va a soldar y hace falta la presencia de algún tipo de gas protector para que los cordones de soldadura sean de buena calidad.
- Tubulares: es un hilo en forma de tubo hueco que posee un material fundente denominado *flux*, el cual cumple una función muy similar a la del material de revestimiento para un electrodo utilizado en la soldadura de arco eléctrico. Este fundente genera gases e incorpora elementos de aleación para que se dé una mejor penetración y una correcta protección al cordón de la soldadura.

Al igual que en la soldadura por arco eléctrico, la soldadura MIG/MAG utiliza gases de protección al momento de la fundición del material, este tipo de soldadura utiliza gases inertes y gases activos que reaccionan con el medio ambiente para evitar cualquier tipo de contaminación al momento de generar el cordón que mantendrá unidas piezas de pequeño a gran espesor.

2.3.3. Formado de tubo

Este es el proceso encargado de ondular la lámina por medio de unos rodos onduladores de ejes horizontales y rodos guías de ejes verticales, que poseen medidas específicas según las características del tubo que se desea producir, cuya función es aproximar los bordes de la lámina por cada paso que hagan en las torres de formado, logrando cerrar paulatinamente el rodo para darle una forma redonda y ser unida mediante una soldadura de alta resistencia.

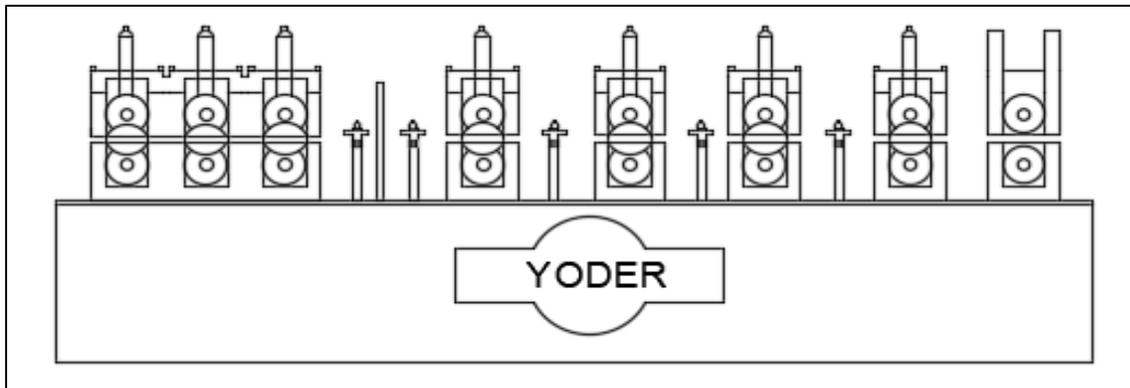
2.3.3.1. Torres de formado Yoder

La línea Yoder 35-2 proviene del nombre de las torres de formado que utiliza marca Yoder. Yoder es una compañía americana encargada de diseñar y construir equipo, herramientas y sistemas para el formado de metales como tubos y tuberías para aplicaciones de uso industrial capaz de producir máquinas con alta eficiencia, con integridad que permita crear líneas y máquinas más rápidas debido a su unión con la automatización industrial.

La línea 35-2 utiliza un total de ocho torres de formación antes del proceso de soldadura para la unión de los bordes de la lámina, cinco torres que son separadas por el conjunto de rodillos de alineación y las últimas tres son un solo conjunto de torres guías que permiten dar el acabado final para que la lámina

ondulada sea apta de pasar por el proceso de soldadura. Estas torres de formado funcionan mediante ejes cardan que están conectados a una caja de engranajes reductores, la cual deriva su potencia de un motor eléctrico de corriente alterna situado a un extremo de las torres de formado.

Figura 10. **Torres de formado, Yoder 35-2**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.3.3.2. Soldadura HF

Conocida también como soldadura de alta frecuencia, por sus siglas en ingles HF que significan *highfrequency*, es una soldadura que utiliza poliuretano o cloruro polivinílico para transmitir la energía de un campo electromagnético de aproximadamente 27,12 MHZ y aplicando una presión constante sobre las superficies a soldar genera una soldadura con buenas propiedades mecánicas que permiten una alta resistencia a grandes deformaciones y fuerzas de tensión ocasionada por cargas y presiones de fluidos. Esta soldadura utiliza la energía eléctrica para hacer que las moléculas del interior de los materiales empiecen a

movearse produciendo calor que a su vez aporta un ablandado a los materiales a los que se les está aplicando la soldadura.

Figura 11. **Soldadura de alta frecuencia (HF)**



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Soldadura HF*. <https://es.panjiva.com/Industria-De-Tubos-Y-Perfiles-SA/31741608>. Consulta: 30 de agosto de 2018.

El tiempo de refrigeración es un aspecto importante que determina el acabado de la soldadura, después de enfriar la soldadura manteniendo una presión constante en los materiales la unión soldada puede ser como mínimo tan resistente como el material que lo rodea e incluso más robusta

2.3.3.3. Sistema de lubricación

El sistema de lubricación de las líneas de producción utiliza la mezcla de agua y aditivos, los cuales son primordiales para el formado de metales y eliminar las fricciones entre los rodos de formado cuando entran en contacto

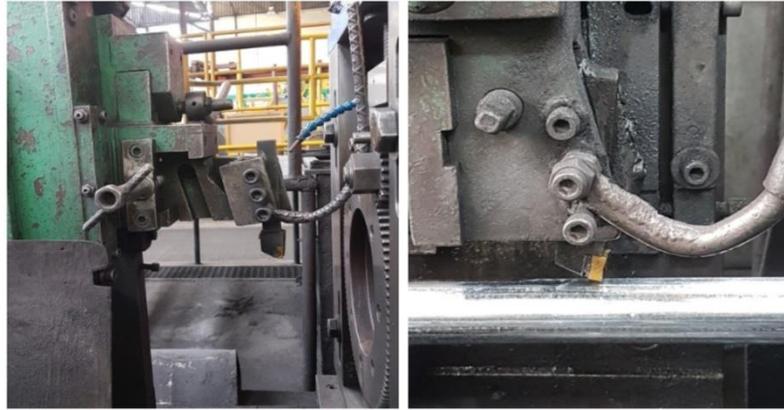
con la lámina. La aplicación de aditivos evita que el agua produzca corrosión tanto en los materiales que se están produciendo como en los elementos metálicos de las máquinas de formado. Actualmente en la industria se evita el uso de químicos y aditivos que necesiten de un alto tratamiento para su degradación, ya que esto implica una elevación en los costos de la producción, es por ello que actualmente se utiliza el Fluid 408 como aditivo lubricante para las líneas de formado.

El Fluid 408 es un aditivo biodegradable con una fórmula sintética que puede ser utilizado para el mecanizado de metales ferrosos y no ferrosos. Esta fórmula lo hace el aditivo adecuado para los trabajos de mecanizado en frío y en caliente dentro de la línea de formado de tubería, ya que disminuye la fricción y controla la generación de calor que puede afectar las propiedades del acero de forma indirecta. La principal ventaja en la utilización de este aditivo es que, al ser biodegradable, como su propio nombre lo indica, se degrada con el tiempo de uso reduciendo los daños ambientales y los costos de mantenimiento para su desecho.

2.3.3.4. Rectificado

Es un proceso que se utiliza para darle la forma y acabo final a la tubería mediante un buril que corrige las imperfecciones de carácter geométrico generadas por el cordón de la soldadura. Esta rectificación se da por el apoyo de las torres de rectificado y la cabeza turca que se encuentra al final de esta sección. La línea Yoder 35-2 cuenta con tres torres de rectificado que al igual que las torres de formado están conectadas mediante ejes cardan a las cajas reductoras, cuya potencia deriva de un motor de corriente directa que hace girar los molinos de formado y las torres de rectificado a la misma velocidad angular.

Figura 12. **Rectificado de tubería**



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Rectificado de tubería*.
<https://es.panjiva.com/Industria-De-Tubos-Y-Perfiles-SA/31741608>. Consulta: 13 de septiembre de 2018.

2.3.4. Codificación de tubería

Toda línea de formado posee una sección de codificación para la superficie de cada tubo terminado, por ende, cada tubería producida en la planta por norma de calidad posee una impresión que detalla las características principales del producto para clasificar el uso del mismo. Cada impresión que se realiza en la superficie de la tubería difiere del tipo y de sus características, ya que existe tinta negra y pigmentada blanca, esto con el fin que sea legible y fácilmente identificado por el consumidor.

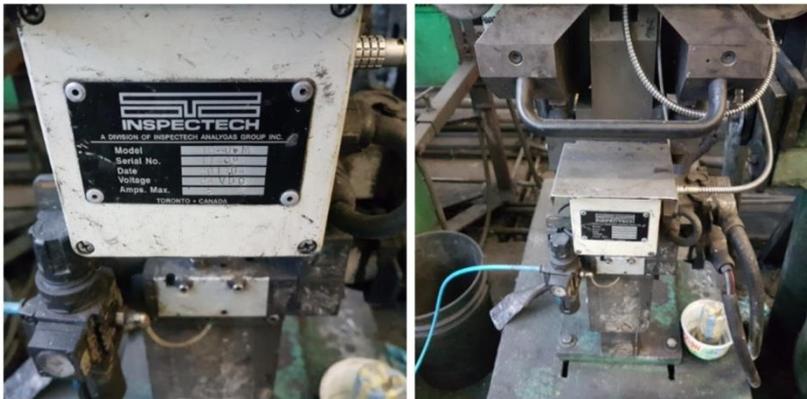
Los datos impresos en la superficie del producto terminado son los siguientes:

- Tipo
- Dimensiones

- Espesor
- Cédula
- Turno de producción (matutino o vespertino)

Cabe mencionar que en la impresión del turno de producción el código de la superficie se utiliza únicamente como un control del departamento de producción para llevar un seguimiento en caso se lleguen a presentar problemas relacionados con la calidad del producto.

Figura 13. **Codificador electrónico de tubería**



Fuente: Industria de Tubos y Perfil S.A. *Codificador electrónico de tubería*.

<https://es.panjiva.com/Industria-De-Tubos-Y-Perfiles-SA/31741608>. Consulta: 30 de agosto de 2018.

2.3.5. Sistema de corte de tubería

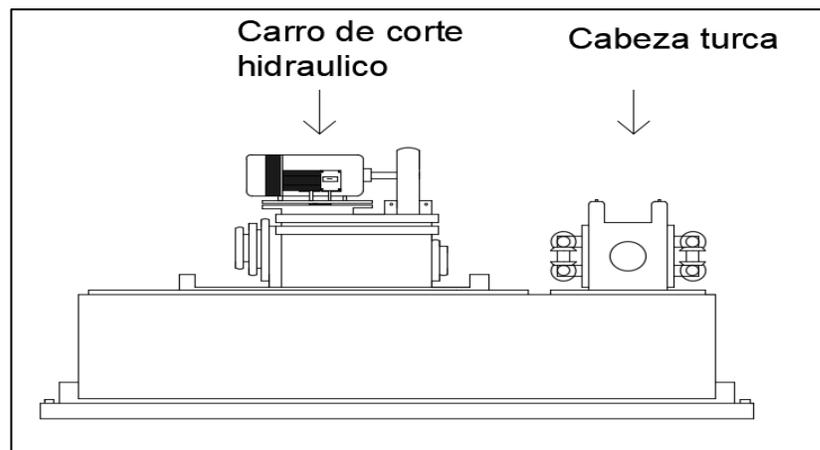
La metodología de corte en la línea Yoder 35-2 depende directamente de las características geométricas y dimensiones de la tubería que se esté produciendo.

2.3.5.1. Carro de corte

La línea de producción Yoder 35-2 utiliza un carro de corte marca Siemens, el cual consta de un motor eléctrico que acciona tres pequeñas sierras circulares en un cabezal que asemeja la geometría de una cabeza turca, un cilindro hidráulico que impulsa la carrera del carrito de corte por las carrileras de la sección de corte, y micros de accionamiento eléctrico que se encargan de enviar impulsos eléctricos para iniciar y finalizar el proceso de corte en las tuberías provenientes de la zona de formado y rectificado.

El funcionamiento del carro de corte es básicamente moverse a la misma velocidad y dirección a la que sale el tubo de las torres de formado y realizar un corte a presión lo más parejo posible para tener el mejor acabado superficial en la zona de corte. Manteniendo el conocimiento de variables como la velocidad y el tiempo es posible determinar la ubicación de los micros de accionamiento eléctrico para establecer la longitud final del tubo.

Figura 14. Carro de corte hidráulico, línea Yoder 35-2



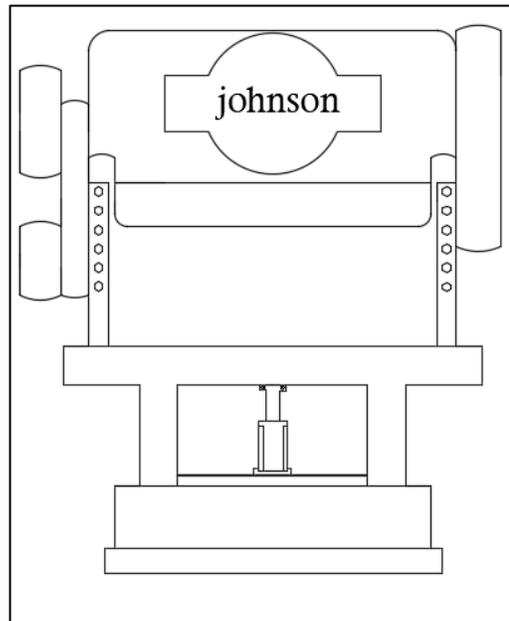
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.3.5.2. Corte por guillotina

El corte por guillotina es un sistema más rustico en el cual el acabado final del corte depende directamente de la velocidad a la que se acciona la guillotina, este equipo mecánico es un mecanismo que consta de un volante acoplado a un balancín accionado conjuntamente por un sistema neumático, en el cual las altas presiones del aire comprimido hacen posible que la guillotina descienda a altas velocidades para lograr el corte de la mejor manera posible.

La guillotina en esta línea es utilizada únicamente para corte de tubería redonda y cuadrada que supere las 2 pulgadas de espesor y las 0,322 pulgadas de espesor para tubería cédula 40, para dimensiones inferiores se utiliza el carro de corte.

Figura 15. **Guillotina de acción neumática**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

2.3.6. Normas de producción de cañería

Las normas de producción de cañería o tubería redonda se utilizan para especificar las propiedades tecnológicas, mecánicas y físicas que describen cómo será el comportamiento de cualquier producto, en este caso a la tubería redonda o cañería cuando estas son sometidas a altas presiones y temperaturas, es decir, condiciones de trabajo para el transporte de fluidos como vapor, agua y aire comprimido.

2.3.6.1. Norma BS1387-1985 para tubería ligera y mediana

Es una norma europea que estandariza las características físicas de los tubos y tubería de acero atornillados y encajados con posible extremo liso adecuado específicamente para soldadura o para el atornillado y roscado de tubería tipo BS21, entre las características se encuentran los diámetros nominales, diámetros reales, espesores para las diferentes chapas comerciales y de igual manera el peso promedio de cada tubo.

Figura 16. Especificaciones de norma BS1387-1985

Nominal bore		Outside diameter		Thickness			Mass		
		Light	Medium/ Heavy	Light	Medium	Heavy	Light	Medium	Heavy
<i>in</i>	<i>mm</i>	<i>mm</i> (<i>in</i>)	<i>kg/m</i> (<i>lb/ft</i>)	<i>kg/m</i> (<i>lb/ft</i>)	<i>kg/m</i> (<i>lb/ft</i>)				
1/4	8	13.6	13.9	1.80	2.3	2.9	0.515	0.641	0.765
3/8	10	17.1	17.4	1.80	2.3	2.9	0.670	0.839	1.020
1/2	15	21.4	21.7	2.00	2.6	3.2	0.947	1.210	1.440
3/4	20	26.9	27.2	2.30	2.6	3.2	1.380	1.560	1.870
1	25	33.8	34.2	2.60	3.2	4.0	1.980	2.410	2.940
1 1/4	32	42.5	42.9	2.60	3.2	4.0	2.540	3.100	3.800
1 1/2	40	48.4	48.8	2.90	3.2	4.0	3.230	3.570	4.380
2	50	60.2	60.8	2.90	3.6	4.5	4.080	5.030	6.190
2 1/2	65	76.0	76.6	3.20	3.6	4.5	5.710	6.430	7.930
3	80	88.7	89.5	3.20	4.0	5.0	6.720	8.370	10.300
4	100	113.9	114.9	3.60	4.5	5.4	9.750	12.200	14.500
5	125		140.6		5.0	5.4		16.600	17.900
6	150		165.1		5.0	5.4		19.700	21.300

Fuente: Shanghai A-II. Norma BS 1387-1985. https://www.engineeringtoolbox.com/bs1387-steel-tubes-dimensions-d_97.html. Consulta: 21 de agosto de 2018.

2.3.6.2. Norma ASTM A53-07 para tubería cédula 40

Norma derivada de la ASTM A53, la cual describe las especificaciones normalizadas para los tubos de acero negro que pasan por un proceso de galvanizado por inmersión en caliente. Son tuberías que pueden contar con soldadura y sin costura que están diseñados para aplicaciones y de altas presiones en donde su uso común se deriva de las líneas de vapor, agua, gas y aire. Junto con ello las tuberías producidas bajo esta norma se consideran adecuadas para operaciones de conformado que involucran el enrollamiento, doblado y rebordeado, sujeto a ciertas especificaciones y calificaciones establecidas por una norma anclada.

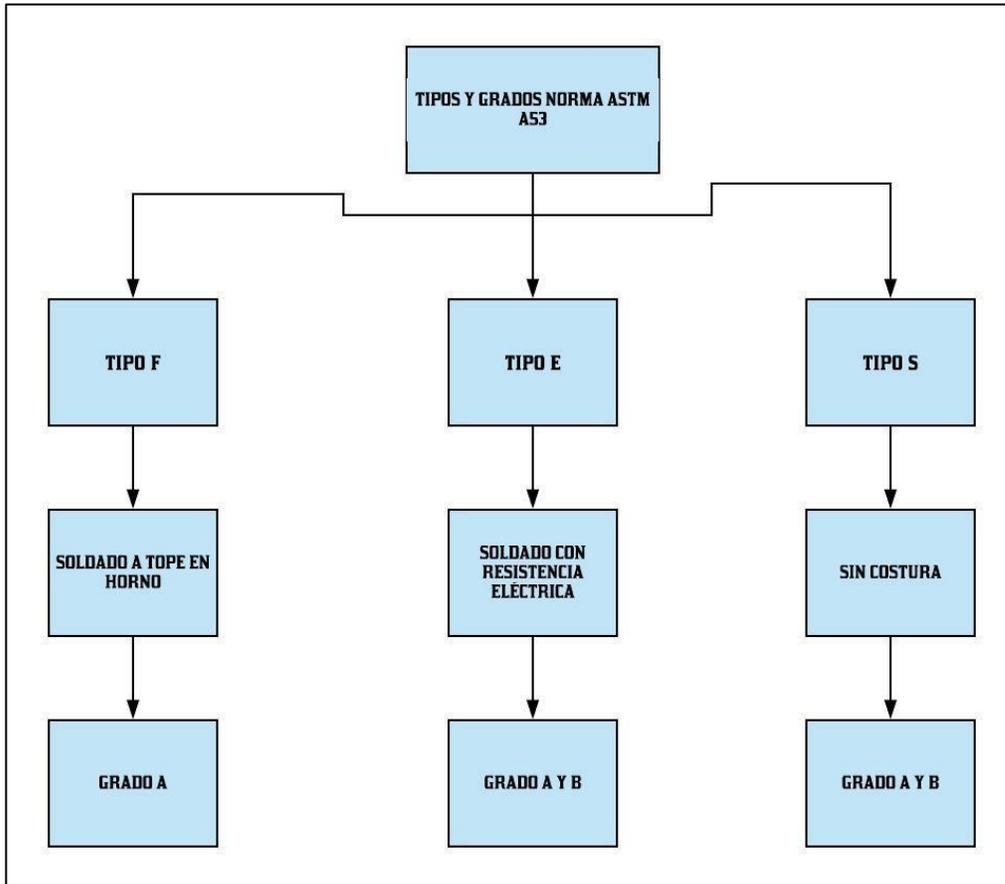
Dentro de esta misma norma se clasifican las tuberías conforme a su tipo de soldadura en su proceso de formado y el grado al que pertenecen según la

norma para clasificar su composición química. A continuación, se describe el significado de cada uno de los tipos para dicha norma:

- Tipo F: son tuberías producidas en longitudes continuas para posteriormente ser cortadas en longitudes individuales, con la unión longitudinal forjada por la presión mecánica que se desarrolla en su laminación, proceso en el cual el tubo pasa a través de un conjunto de rodillos de soldadura de paso redondo.
- Tipo E: tubería producida en longitudes únicas o múltiples, para ser cortadas posteriormente en longitudes individuales, en la cual su junta longitudinal es producida por la alta temperatura debido a la resistencia del paso de flujo de corriente eléctrica de un circuito, del cual la tubería forma parte aplicando presión mecánica, se finaliza la unión de los bordes formando la tubería.
- Tipo S: tubería realizada sin una costura soldada, este tipo de tubería es fabricado por el acero de trabajo en caliente, para un acabado posterior de trabajo en frío, en el cual el trabajo caliente es el encargado de producir la forma, dimensiones y sus propiedades.

En el siguiente mapa se desglosa la clasificación de las tuberías por su tipo y grado para cada método de soldadura arraigado a la norma ASTM.

Figura 17. Tipos y grados de norma ASTM A53



Fuente: elaboración propia, empleando Lucid Chart.

2.4. Maquinaria involucrada

La línea en estudio posee diversa maquinaria y elementos tanto mecánicos como eléctricos para su funcionamiento, a continuación, se mencionan a grandes rasgos los equipos que se involucran dentro del sistema de la línea desde ambas ramas.

2.4.1. Maquinaria y equipo mecánico

Son todos aquellos elementos que en conjunto transmiten potencia, generan trabajo o transforman energía desde el punto de suministros hasta el punto donde se desea vencer una resistencia. Dentro de la línea de producción Yoder 35-2 los equipos y maquinaria mecánica involucrada más relevantes se desglosan de la siguiente manera:

- Sistemas neumáticos

Son sistemas de acción rápida que utilizan un fluido que se encuentra en el ambiente y por ende es menos costoso como recurso de utilización, además de ello el aire posee una característica que lo hace verdaderamente útil al momento de aplicar cargas de gran magnitud y movilizar o poner en funcionamiento mecanismos que necesitan desarrollar grandes fuerzas para generar un trabajo.

Esta propiedad es la compresibilidad del aire, es decir que este fluido es capaz de almacenar energía en un volumen más pequeño y devolverla con la misma magnitud para efectuar un trabajo. Esta compresión del aire se realiza por medio de maquinaria conocida como compresores, los cuales mediante su mecanismo interno aumentan las presión, velocidad y temperatura de un volumen de aire desplazándolo de un lado a otro para ejercer un movimiento a altas presiones y velocidades. Dentro de la planta se cuenta con dos compresores, un compresor de movimiento alternativo y un compresor de tornillo con capacidades de entre 250 y 275 CFM reales, ambos compresores cumplen con la alta demanda de la planta, pero por motivos de ahorro energético se utilizan de manera alternativa. Estos compresores son los

encargados de accionar el movimiento de la guillotina ubicado en la línea de estudio.

- Sistemas hidráulicos

Dentro de la planta los sistemas hidráulicos utilizan aceite como fluido para transmitir potencia de un punto hacia otro, uno de los beneficios de los sistemas hidráulicos es que pueden movilizar grandes cargas y ejercer grandes presiones a través de cilindros de diámetro pequeño, de igual manera son sistemas de mayor transmisión de potencia siendo el accionamiento de sus componentes más lento pero manejable.

Dentro de la línea Yoder 35-2 el carro de corte es accionado por medio de un sistema hidráulico que ejerce presión sobre un vástago, y mediante los micros de accionamiento eléctrico hacen funcionar una electroválvula que da paso al fluido en cuestión para movilizar el carro de corte a la velocidad cercana al tubo, y de igual manera accionar las mordazas con las sierras de corte. Cuando el carro de corte finaliza su carrera otro microcontrolador envía una señal para dar paso al fluido nuevamente y regresar el vástago a su posición inicial, llevando el carrito de corte al inicio de carrera.

- Intercambiadores de calor

En la planta se utilizan sistemas de conducción de fluidos lubricantes y refrigerantes que elevan sus temperaturas luego de cumplir con sus funciones dentro del proceso de formado. Para mantener una temperatura óptima en los sistemas hidráulicos y en los fluidos utilizados para la lubricación de las torres de formado es necesario transferir el calor de un elemento a otro, para ello se utilizan intercambiadores de calor. Estos dispositivos mecánicos son elementos

que permiten remover calor de una sustancia a otra en un solo proceso con la interacción no directa de otros fluidos de menor temperatura.

La diversidad de intercambiadores es bastante amplia, por ello únicamente se hará énfasis en los utilizados para el proceso de formado de tubos dentro de la planta. En los procesos de formado de la línea Yoder 35-2 se utilizan dos tipos de intercambiadores de calor, para los sistemas hidráulicos se utilizan intercambiadores del tipo tubos y carcasa, mientras que para el enfriamiento del agua desmineralizada de las soldaduras de alta frecuencia se utiliza un intercambiador de platos. A continuación, se especifica el funcionamiento de cada uno de ellos.

- Tubos y carcasa:

Es un tipo de intercambiador de calor que consiste plenamente en un conjunto de tubos sumergidos en un fluido contenido en una carcasa, el flujo contenido dentro de los tubos se conoce como flujo interno mientras que el fluido que se encuentra dentro de la carcasa se conoce como fluido externo.

El proceso dentro de este intercambiador es simple, el fluido de mayor temperatura proveniente de los procesos de formado de tubo se moviliza en los tubos internos, al momento de ingresar a la zona del intercambiador de calor el fluido va perdiendo energía cediendo su temperatura al fluido de menor temperatura, el cual se encuentra contenido en la carcasa y el intercambio de energía se da por medio del contacto entre las paredes de los tubos internos y el fluido externo contenido en el intercambiador.

- Intercambiador de plato:

Los intercambiadores de plato están compuestos por placas de gran área superficial con pequeños tubos capilares en su interior y colocadas una tras otra con una distancia de separación milimétrica entre cada una de ellas. Este tipo de intercambiadores es de los más económicos en comparación a los intercambiadores de tubos y carcasa, su construcción compacta y buena estética facilitan su montaje.

La transferencia de energía se da entre el fluido de mayor temperatura ubicado en el interior de los tubos capilares de las placas y el aire a temperatura ambiente contenido entre la separación de las mismas. Cuando el fluido de mayor temperatura recorre los pequeños tubos empieza a ceder su calor al aire a través de la superficie de la placa, disminuyendo su densidad y obligándolo a subir, creando así un flujo de aire entre las placas que permite disipar el calor del fluido de las placas.

- Cajas reductoras:

Son elementos mecánicos compuestos por un conjunto de engranes sumergidos en aceite lubricante y de diferentes tamaños dentro de una carcasa acoplada directamente a un motor, en el cual su función consiste en reducir las revoluciones que proporciona el motor manteniendo su torque, de igual manera estos elementos pueden ser utilizados para invertir el sentido de rotación del motor.

Dentro de la línea de producción las cajas reductoras están acopladas a un eje común del cual deriva su potencia por medio de una faja acoplada directamente a los motores eléctricos de corriente directa instalados para los

molinos de formado. La potencia proveniente del motor es distribuida equitativamente a las cajas reductoras que junto con ejes cardan transmiten la potencia directamente a los molinos de formado, haciéndolos rotar a una velocidad constante dependiendo de la demanda de producción para la línea.

Figura 18. **Caja reductora de líneas de formado**



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Caja reductora de líneas de formado*.
<https://es.panjiva.com/Industria-De-Tubos-Y-Perfiles-SA/31741608>. Consulta: 30 de agosto de 2018.

- Ejes de transmisión

Son todas aquellas secciones mecánicas formadas de aceros aleados para transmitir potencia de un elemento a otro. Dentro de la línea de

producción Yoder 35-2 su función es transmitir la potencia proveniente de los motores eléctricos a las cajas reductoras y de las cajas reductoras a los molinos de formado manteniendo una velocidad y torque constantes.

Debido a que los molinos de formado y las cajas reductoras son elementos no coaxiales es necesario transmitir la potencia entre ambos ejes por medio de juntas cardan, las cuales cumplen la función de transmitir potencia de un elemento conductor a un elemento conducido a pesar de que no exista colinealidad entre ellas.

Figura 19. **Ejes de transmisión con juntas de tipo cardan**



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Eje de transmisión con juntas cardan.*
<https://es.panjiva.com/Industria-De-Tubos-Y-Perfiles-SA/31741608>. Consulta: 30 de agosto de 2018.

- Cilindros hidráulicos y cilindros neumáticos

En la planta son utilizados como actuadores que permiten transformar la energía neumática e hidráulica en energía mecánica a través de potencia y trabajo. Su construcción es similar, sus únicas diferencias se ven en los componentes del sistema como los selladores y los sistemas de lubricación.

Estos actuadores son utilizados en el carro de corte, cuyo movimiento de carrera es controlado por un cilindro hidráulico de aproximadamente 2 metros con una cavidad por encima de la cabeza del pistón que permite el paso del fluido por una electroválvula para empujar el émbolo hacia su posición inicial, es decir el inicio de carrera del carrito de corte, y un orificio en la parte posterior de pistón, que con el apoyo de la misma electroválvula de 4 entradas permite el paso del fluido para empujar el pistón hacia adelante para darle movimiento al carro de corte por sus carrileras y ejercer su función. El cilindro neumático utiliza la misma modalidad y es el encargado de accionar el balancín que conectado al volante permite realizar el descenso y ascenso de la guillotina para el corte de la tubería.

2.4.2. Maquinaria y equipo eléctrico

Es todo aquel equipo que necesita de energía eléctrica para cumplir una función, por ello está formado de una fuente de alimentación que le proporciona dicha energía, cables y otros elementos. Su funcionamiento se da ampliando, reduciendo, interrumpiendo o transformando la corriente eléctrica proveniente de la fuente de alimentación transformándola en una función útil.

A continuación se desglosarán los equipos y elementos eléctricos utilizados en la línea de producción Yoder 35-2, haciendo énfasis en los elementos de mayor relevancia.

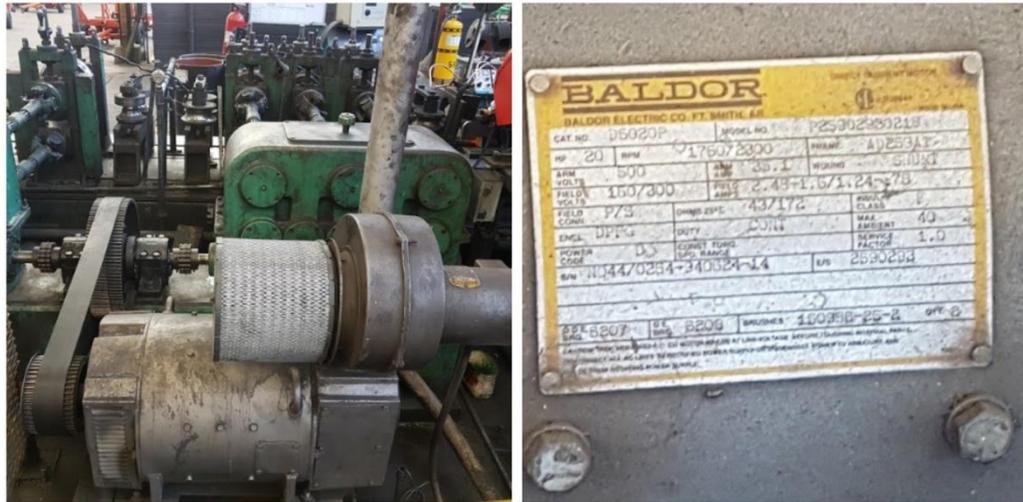
- Motor eléctrico

Son máquinas eléctricas rotatorias que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, transmitiendo potencia del motor a ejes. Estos elementos eléctricos poseen diversas ventajas, las cuales le han permitido sobreponerse a los motores de combustión interna, entre ellas es posible mencionar las siguientes:

- Economía
- Limpieza
- Seguridad
- Comodidad
- Funcionamiento
- Eficiencia

Los motores eléctricos satisfacen una amplia gama de necesidades de servicio, desde arrancar, mover, acelerar, frenar hasta sostener y detener una carga. Dentro de la línea de estudio, debido a su antigüedad, se utilizan motores de corriente directa, los cuales, por medio de un campo magnético obtenido de una fuente de corriente directa transformada en alterna, generan una fuerza para mover el elemento rotativo a una determinada velocidad. Al no poseer variadores de velocidad como los motores de corriente alterna utilizados hoy en día, la capacidad para aumentar la producción se ve limitada debido a este percance.

Figura 20. **Motor eléctrico de corriente directa, líneas de formado**



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Motor eléctrico de corriente directa.*

<https://es.panjiva.com/Industria-De-Tubos-Y-Perfiles-SA/31741608>. Consulta: 30 de agosto de 2018.

- **Motores de corriente alterna**

Son de uso más simple y con una mayor eficiencia, para su funcionamiento solo se necesita de una fuente de corriente alterna, la cual es provista por la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA). Su mantenimiento es menos complejo y por el alto torque que se genera en el encendido se necesitan variadores de frecuencia.

Dentro de la planta los motores eléctricos necesarios para cumplir con la demanda de producción aparte de su alto caballaje necesitan de otros factores en su entorno para su correcto funcionamiento, entre ellos es posible enlistar los siguientes:

- Ventilación forzada:

Para mantener un control de su temperatura generada por el alto caballaje y entrega de potencia hacia los ejes.

- Cimientos

Para reducir las vibraciones y así evitar daños en los cojinetes, carcasa, uniones y sellos de los motores.

- Parámetros de control

Para mantener el correcto funcionamiento del motor y prevenir daño a otros elementos en la línea de producción.

- Contactores

Son interruptores electromecánicos utilizados en los sistemas eléctricos y electrónicos de control de un sistema. Cuentan con bobinas internas que al ser sometidas a una corriente generan un campo magnético que desplaza una pieza metálica en el interior, permitiendo o cortando el paso de corriente para cerrar o abrir un circuito eléctrico respectivamente y ejercer un funcionamiento. En la industria son fácilmente utilizados por su alta capacidad de funcionamiento ya que son capaces de soportar desde 120 hasta 480 voltios.

- Guarda motores

Son contactores magneto-térmicos, los cuales se conectan justo antes de la entrada de alimentación eléctrica de cualquier motor eléctrico, los

magnetotérmicos son calibrados a una intensidad eléctrica que se manifiesta en temperatura, cuando este parámetro es rebasado el contactor abre el paso de corriente cortando instantáneamente la alimentación eléctrica al motor.

- Micros de emergencia

También conocidos como los interruptores de límite, son elementos eléctricos que permiten detectar la posición de un elemento en movimiento, por lo general de un elemento mecánico, estos interruptores cerrados generan una señal cuando son accionados. Poseen un eje con un codo rotativo de 90 grados, el cual al ser posicionado en cualquiera de los extremos que no sea su posición intermitente acciona el sistema eléctrico al cual se encuentra conectado y ejerce una función previamente programada.

Figura 21. **Interruptores de límite de carro de corte hidráulico**



Fuente: Industria de Tubos y Perfiles S.A. *Interruptores de límite de carro de corte hidráulico*.
<https://es.panjiva.com/Industria-De-Tubos-Y-Perfiles-SA/31741608>. Consulta: 30 de agosto de 2018.

- **Electroválvula**

También conocida como válvula solenoide de uso general, es un artefacto de uso industrial que permite abrir o cerrar el flujo de un líquido en un circuito mediante la activación de un émbolo que se efectúa a través de un campo magnético producido por una bobina montada en una base fija de la válvula que hace que se mueva el émbolo de cierre o apertura de paso.

2.5. Características de tubería producida

Las características de la tubería producida se dan con base en normas de mecanizado y fabricación, estableciendo cuáles son las aplicaciones, sus posibles ventajas y desventajas dentro del campo de aplicación y la capacidad que tiene la tubería de resistir a las cargas a las que serán sometidas.

2.5.1. Cañería industrial (tubería redonda)

La tubería redonda para el transporte de fluidos utiliza como materia prima la lámina en caliente que durante su proceso de formación es soldada por alta frecuencia bajo las normas de aplicación respectivas, garantizando de esta manera una alta resistencia a los impactos y a los esfuerzos mecánicos, siendo así un producto completamente útil para el transporte de fluidos no corrosivos como agua, airea alta y baja presión, vapor a altas presiones y temperaturas y otros gases utilizados dentro de la industria química.

La tubería redonda durante el proceso final antes de su estibado se moviliza a la sección de roscado donde puede finalizar con extremos de rosca o sin rosca, así como coplas para permitir la unión de una sección de tuberías de los mismos diámetros y con las mismas características.

Tabla XI. **Espesores producidos por tubería redonda 1" de diámetro**

Espesor de tubería (mm)								
Tipo:	1	1,2	1,5	2	2,4	2,9	3,2	3,4
Mecánico	X		X					
Ligero negro				X	X			
Mediano negro						X	X	
Cedula 40							X	X

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Espesores producidos por tubería redonda 1 ¼" de diámetro**

Espesor de tubería (mm)								
Tipo:	1	1,2	1,5	2	2,4	2,9	3,2	3,4
Mecánico	X		X					
Ligero negro					X	X		
Mediano negro						X		
Cedula 40								X
Bananero						X	X	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. **Espesores producidos por tubería redonda 1 ½" de diámetro**

Espesor de tubería (mm)								
Tipo:	1	1,2	1,5	2	2,7	2,9	3,2	3,4
Mecánico	X		X					
Ligero negro					X			
Mediano negro						X		
Cedula 40								X

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIV. Espesores producidos por tubería redonda 2" de diámetro

Espesor de tubería (mm)								
Tipo:	1	1,2	1,5	2	2,7	2,9	3,2	3,4
Mecánico			X					
Ligero negro					X			
Mediano negro								X

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Espesores producidos por tubería redonda 4" de diámetro

Espesor de tubería (mm)								
Tipo:	1	1,2	1,5	2	2,4	2,9	3,2	3,4
Ligero negro							X	X

Fuente: elaboración propia.

2.5.2. Tubo cuadrado mecánico

Esta tubería de sección cuadrada se fabrica con lámina de acero rolada en frío con base en las normas de fabricación correspondientes, con chapas que van desde los 0,7 mm hasta los 1,2 mm de espesor. Su área transversal les da buena resistencia a las cargas de compresión, lo que la hace útil para amplias aplicaciones en la carpintería metálica y en la fabricación de estructuras livianas y medianas.

Tabla XVI. **Espesores de tubería cuadrada producida**

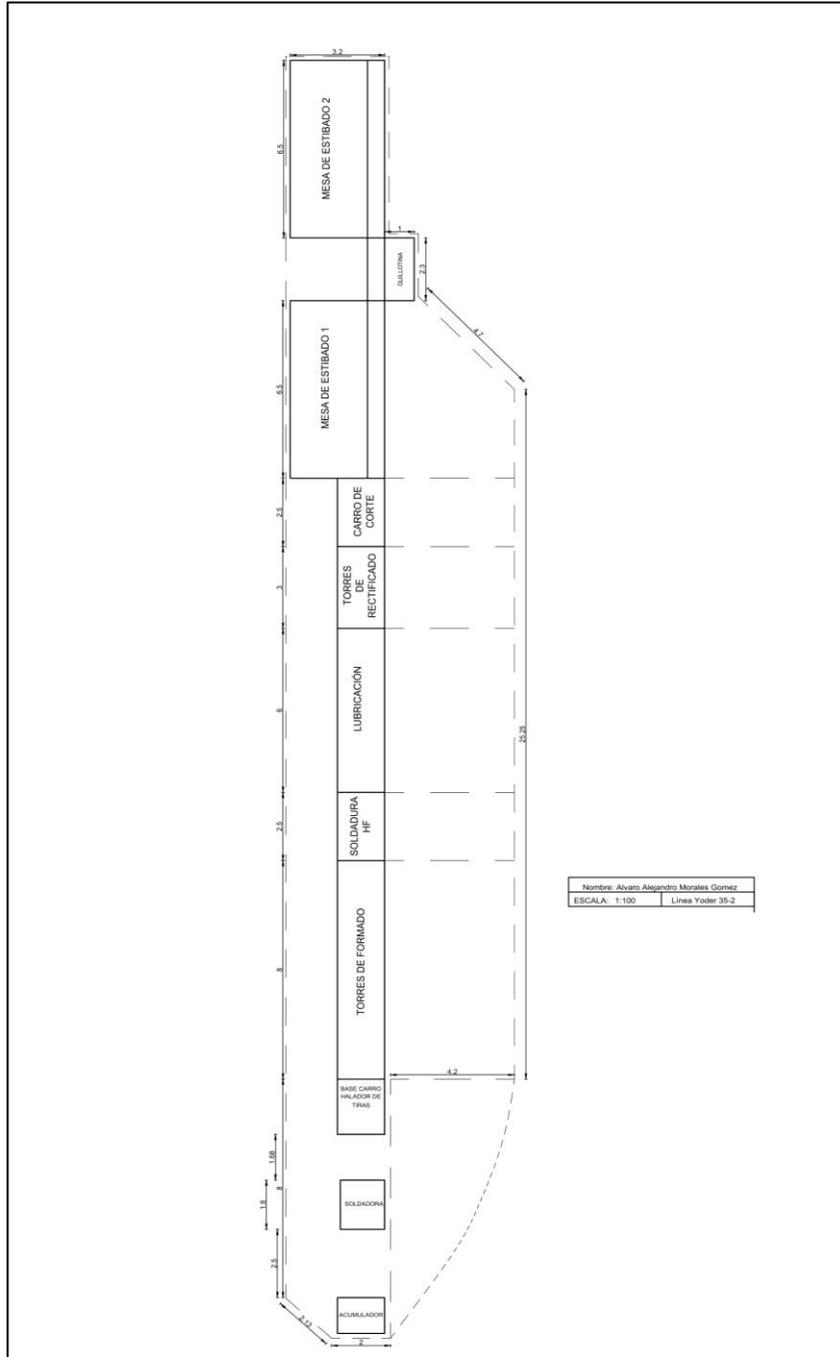
Espesor de tubería (mm)								
Tipo:	1	1,3	1,5	1,8	2,4	2,9	3,2	3,4
1 ½" Estructural	X	X		X				
2" Estructural			X	X	X			
4" Estructural			X	X	X			

Fuente: elaboración propia.

2.6. **Plano de línea de producción**

A continuación, se presenta plano de línea de producción.

Figura 22. Plano de línea de producción



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

En el presente capítulo se establecen todos los elementos necesarios a desarrollar para aumentar la eficiencia en la línea de estudio, ya que mediante el análisis técnico realizado a través de un trabajo de campo se logró determinar todos aquellos aspectos que logran contribuir con el objetivo y además permiten el cumplimiento de todos los requisitos propuestos por la empresa.

3.1. Mejora en pegacintas de lámina

Para reinformar cómo es el proceso de alimentación de materia prima, este se explicará a grandes rasgos para entrar en contexto, a continuación. En la etapa inicial de formado en la línea de producción Yoder 35-2 se encuentra un acumulador de tiras de lámina, el cual alimenta de manera continua los molinos de formado. Las tiras de lámina se estiran en el carrito halador una distancia aproximada de 50 metros, cuando los últimos 50 metros de la tira de lámina están por ingresar a la línea el carrito inicia su carrera de regreso al punto inicial en un tiempo aproximado de 3 minutos.

Este es el tiempo necesario en el cual el carrito de halador de tiras, ilustrado en la sección 2.3.2.1 del capítulo anterior, realiza su recorrido completo por la carrilera para alimentar de materia prima a los molinos de formado. Y, por otro lado, este es el tiempo en el cual la sección de pegacintas para unión de tiras de láminas debe soldar el extremo final de la lámina que ingresa a las torres con el extremo inicial de una tira que se encuentra en el acumulador de tiras. Actualmente este proceso se realiza con equipo de

soldadura por arco eléctrico con electrodo consumible, el cual necesita de un tiempo bastante prudente para una correcta penetración de la soldadura y un buen acabado del cordón para evitar roturas por tensiones ocasionadas a las láminas. En ocasiones la deficiencia en el tiempo de soldadura ocasiona la mala unión de las tiras y por ende su rotura al ocasionarse dichas tensiones en los molinos de formado, parando la producción de la línea y generando por ende pérdidas económicas para la empresa.

Para solucionar dicho problema se plantea remplazar el sistema de pegados de cintas de lámina actual, por un sistema de soldadura de arco eléctrico del tipo TIG (por sus siglas en inglés TungstenInert Gas) el cual se traduce al español como soldadura de arco eléctrico a través de gas inerte. Este tipo de soldadura es óptima para cumplir y proporcionar un aumento en las velocidades de producción de la línea en estudio y aunque es más costosa que la que se encuentra actualmente en la línea, la tecnología que utiliza este tipo de soldadura es bien aplicada para la producción de tubería y cañería a precisión sometidos a medianas y altas tensiones, en los cuales, aparte de la soldadura de chapas de espesores medios y grandes, se precisa de soldaduras de chapas finas donde se busca una excelente terminación, sin la deformación de los materiales base.

3.1.1. Soldadura TIG

El proceso de soldadura GTAW conocido como soldadura TIG, es un proceso en el cual se obtiene la unión de dos metales por la fundición de sus extremos debido al calentamiento a altas temperaturas de los mismos, producto de un arco eléctrico que se establece entre un electrodo del tipo no consumible de tungsteno y los metales. El cordón de soldadura y el electrodo no consumible se protegen de impurezas externas mediante un gas inerte. La

pileta líquida que se forma por la fusión de los metales se manipula controlándolos correctamente.

Una de las principales razones por la cual se pretende reemplazar la soldadura existente en la línea, por una soldadura con electrodo de tungsteno no consumible, conocida como TIG, es porque este tipo de soldadura se puede tanto mecanizar como automatizar, existiendo limitaciones por su complicada manipulación para operarios no expertos, empresas enfocadas en la metalmeccánica han introducido al mercado equipos completos y automatizados para que pueden ser acoplados a líneas de producción para realizar soldaduras bastante exactas y con los mejores acabados finales.

3.1.1.1. Descripción del proceso

La unión de los metales se produce mediante el arco eléctrico mantenido entre el electrodo no consumible mencionado con anterioridad, que por lo general es una varilla de tungsteno o una aleación del mismo, así como puede ser de grafito, pero es muy poco usual hoy en día. Este arco eléctrico es producido por una fuente de corriente eléctrica e incluso puede ser utilizada una fuente de corriente alterna, pero cada una de ellas aporta diferentes capacidades de penetración, por ende, es necesario tomarlo en cuenta al momento de adaptarlo al proceso.

Para establecer el arco eléctrico generalmente se acerca la punta del electrodo al trabajo sin tocarlo y luego se retira dejando una distancia milimétrica que permite cerrar el circuito a través de la atmósfera entre la punta del electrodo y los metales base empezando a fundir estos. Una vez que se forma el arco eléctrico es necesario mantener el electrodo en un ángulo determinado, luego se debe mantener un movimiento circular hasta lograr un

baño de metal fundido de un diámetro conveniente que recubra las juntas de las piezas y, al obtener la fundición de metal justa, se moviliza el electrodo a lo largo de toda la junta hasta lograr un cordón simétrico y de buena penetración.

La funcionalidad de los gases nobles, generalmente el argón, utilizados en el proceso permite proteger el metal fundido y el electrodo contra el efecto nocivo del oxígeno y el nitrógeno expuestos en la atmósfera, por ende, esta capa de gas noble permite crear una atmósfera inerte que recubre los elementos principales para el proceso de la soldadura.

Generalmente este proceso para espesores gruesos utiliza material de aporte para ser fusionado por el arco eléctrico y mezclarse con el metal base, pero debido a la tecnología de la soldadura es posible en espesores muy pequeños evitar el uso de material de aporte para mejores acabados, incluso en los espesores gruesos que soporten grandes tensiones es recomendable utilizar el material de aporte, aunque si la estética no es una preocupación puede ser obviado del procedimiento.

Tabla XVII. **Ventajas y aplicaciones de la soldadura TIG**

Ventajas	Aplicaciones
Excelente control del baño de soldadura proveniente del electrodo no consumible.	Soldaduras de alta precisión y calidad.
Permite la soldadura de metales sin el uso de material de aporte.	Soldaduras con espesores pequeños y tubos de diámetros reducidos.
Es posible la mecanización y automatización del proceso de soldadura.	Aplicable a la pasada de raíz en la soldadura de tubos.
Es posible soldar la mayoría de los metales incluso los aceros inoxidable.	Soldadura para aleaciones especiales, no ferrosas y ferrosas, incluso para materiales no comunes.
Produce soldaduras de buena calidad y excelente acabado final.	

Continuación de la tabla XVII.

No genera salpicaduras, excepto por una mala operación.	
No requiere de ningún tipo de limpieza después de la soldadura.	
Es permisible la soldadura en cualquier posición, con buenos resultados.	

Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Recomendaciones de utilización

Siendo la soldadura del tipo GTAW conocida de igual manera como soldadura TIG, es el tipo de soldadura que más se adecua a las necesidades y procedimientos que conlleva la manipulación de la materia prima utilizada para el formado de tubos en la línea de estudio, a continuación, se establecen las recomendaciones específicas con base en el tipo de electrodo y sus características, material de aporte y tipo de corriente, entre otros. Para que la máquina seleccionada realice un desempeño exitoso en dicha línea, estas recomendaciones se enlistan a continuación.

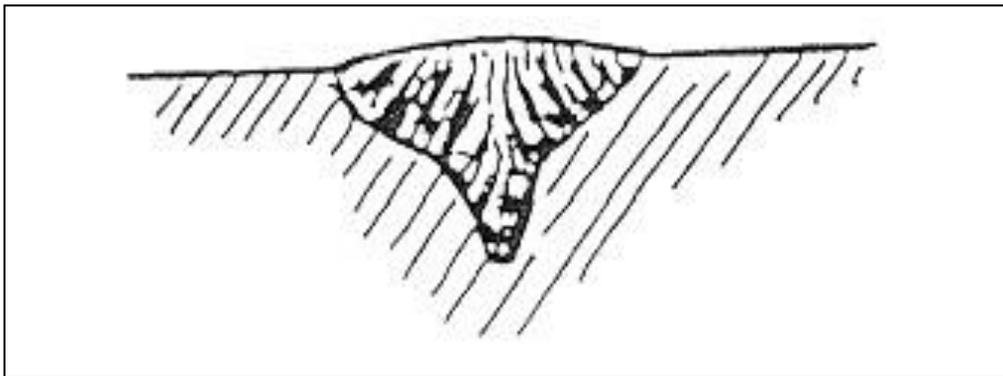
- Gas de protección

En la línea de producción se utiliza tanto lámina negra como lámina fría, el contenido de carbono y sus aleaciones los catalogan como aceros al carbono dentro de la tabla de recomendaciones para los gases de protección. Para este tipo de aceros se recomienda utilizar el siguiente gas protector.

- Argón:

El argón como gas protector en la soldadura TIG es un gas que crea una atmósfera protectora de oxidaciones generadas por el oxígeno perteneciente a la atmósfera que nos rodea, el gas protector argón ofrece una estabilidad de arco y su facilidad de encendido a un amperaje o corriente considerable y manejable, además su baja conductividad favorece a la concentración del calor en la parte central del arco, lo que origina una mayor penetración del material fundente para crear un cordón lo suficientemente fuerte y con buen acabado para láminas tanto de pequeño como de gran espesor.

Figura 23. **Cordón de soldadura con gas protector argón**



Fuente: Soldadura TIC. *Cordón de soldadura con argón.*

<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn52.html>. Consulta: 18 de septiembre de 2018.

- Tipo de corriente

Para establecer el arco eléctrico en la soldadura es necesario que exista la circulación de electrones. La corriente que crea el arco eléctrico para formar el material fundente atraviesa una columna de gas en estado ionizado que de

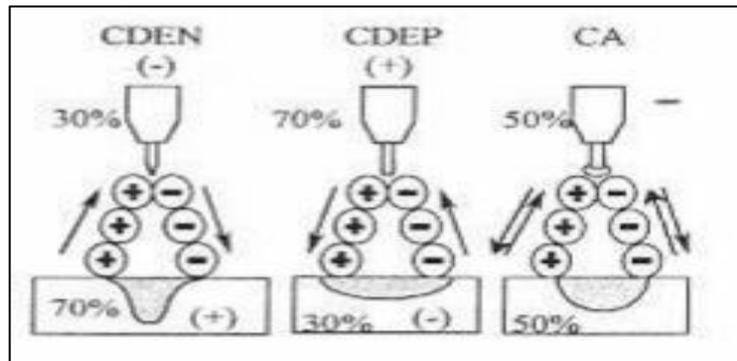
igual manera protege este mismo arco de las contaminaciones oxidantes de la atmósfera. Los electrones cuya carga es negativa provienen de la zona catódica y se mueven en conjunto con los iones negativos del plasma o del gas ionizado hasta la zona positiva conocida como ánodo.

Una de las consideraciones a tomar aparte de la intensidad de penetración para el formado de un buen cordón en soldadura, es la acumulación de temperatura tanto en el cátodo como en el ánodo del sistema variable, la cual depende directamente de la forma de conexión del sistema. Para ello se recomienda utilizar el siguiente tipo de corriente.

- Corriente DCEN (Directa electrodo negativo)

Este tipo de conexión se basa en la corriente continua con polaridad directa en donde el electrodo se ubica en el cátodo y la pieza en el ánodo haciendo que la corriente viaje del electrodo a la pieza soldada, con este tipo de soldadura se logra una buena penetración y con un mayor calor concentrado sobre la pieza base. Con esta característica la menor cantidad de calor se almacena en el cátodo generando un menor desgaste en el electrodo, así como manteniendo su afilado original.

Figura 24. **Concentración de calor según tipo de conexión**



Fuente: Aluminios Estructurales. *Concentración de calor según tipo de conexión.*
<http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/soldadura/08%20Proceso%20GTAW.pdf>. Consulta 18 de septiembre de 2018.

- Tipo de electrodo

Los electrodos para este tipo de soldadura deben ser tales que garanticen un correcto cebado y un mantenimiento del arco eléctrico. Este tipo de soldadura utiliza electrodos de tungsteno conocidos como electrodos no consumibles, ya que el tungsteno es un tipo de metal cuyo punto de fusión es lo suficientemente alto, aproximadamente los 3 410 °C, para no experimentar cambios en su estado por las altas temperaturas que se generan al producir un arco eléctrico entre el ánodo y el cátodo del sistema de soldado.

Actualmente en el mercado existen distintos tipos de electrodos de tungsteno tanto puros como aleados con porcentajes del 1 % al 2 % de elementos como el cerio, torio, lantano y zirconio, donde cada uno de ellos aporta ciertas ventajas al momento de soldar metales específicos y a trabajar bajo ciertas intensidades y polaridades de corriente. Según la demanda de la línea de producción que maneja aceros al carbono y pretende utilizar la

soldadura con corriente continua de polaridad directa, se recomienda utilizar el siguiente tipo de electrodo:

- Tungsteno toriado 2 %

Este tipo de electrodo permite dar una mejor estabilidad al inicio de arco y una mayor capacidad de corriente y con una mayor duración del arco al momento de realizar la fundición de los materiales a soldar, este tipo de electrodo no se contamina fácilmente en caso llegue a ocurrir un contacto entre el electrodo y la soldadura o el metal de aporte. Por lo general este tipo de electrodo se caracteriza por tener color rojo. En el mercado actual estos electrodos se encuentran normalizados tanto por la ASW como por normas internacionales ISO, de la siguiente manera.

Tabla XVIII. **Normalizado de electrodos de tungsteno**

Tipo	ASW	ISO	Color	Niveles de óxido
Tungsteno con 2 % de torio	EWTh-2	WT20	Rojo	1,7-2,2 % ThO ₂

Fuente: elaboración propia.

- Diámetro del electrodo

Cada electrodo posee un diámetro específico que genera arcos eléctricos de mayor o menor intensidad y que dependen directamente del tipo e intensidad de la corriente aplicada al sistema. De igual manera la intensidad de la corriente que se debe aplicar al sistema depende del tipo de los espesores del metal base que se va a soldar. Para ello se utilizarán las siguientes tablas como guía

en donde se establecen los diámetros recomendados para cada uno de las intensidades de corriente, así como los diámetros aproximados de espesor de chapa para cada intensidad de corriente.

Tabla XIX. **Diámetros de electrodo de tungsteno 2 % respecto a corriente DCEN**

Diámetro electrodo (mm)	Corriente DCEN (Amp.)
0,33	0,1-15
0,50	5-20
1,00	15-80
1,60	70-150
2,40	150-250
3,20	250-400
4,00	400-500
4,80	500-750
6,40	750-1000

Fuente: MORENO, José Carlos . *Diámetros de electrodo de tungsteno*.

<https://www.josecarlosmoreno.com/single-post/2016/10/02/Electrodos-de-tungsteno-para-soldadura-TIG-GTAW>. Consulta: 24 de septiembre de 2018.

De igual forma para cada uno de los espesores de chapa en los materiales base se estandarizaron parámetros según la intensidad de corriente que se aplica en el sistema de soldadura para la correcta penetración del cordón, en la siguiente tabla se adaptaron los espesores utilizados en la línea de estudio a cada uno de los parámetros de corriente estandarizados.

Tabla XX. **Espesores de chapa según intensidad de corriente DCEN**

Diámetro de chapa (mm)	Corriente (Amp)
1,00	25-65
1,20	25-65
1,50	25-65
2	80-175
2,7	80-175
2,9	120-220
3,2	120-220
3,4	120-220

Fuente: elaboración propia.

3.1.2. Cotización y selección de soldadura tipo TIG

Realizando un estudio sobre los diferentes aspectos que se necesitaba cumplir para que un equipo fuera óptimo en la línea de producción para la sección del pega cintas, los cuales fueron aclarados con anterioridad, se determinó que la empresa que producía maquinaria apta para estas demandas estaba a cargo de Guild International, una empresa americana que se dedica a la producción de soldadoras de última tecnología basadas en soldadura TIG, MIG y plasma y que además de ello son maquinarias adaptables a líneas formadoras de tubería.

Para seleccionar un modelo y tipo específico de soldadora se procedió a delimitar las características tanto de la materia prima a soldar como de las características presentes en los molinos de formación. A continuación, se detalla cada una de ellas:

Tabla XXI. **Características de material**

Mínimo ancho de tira :	400mm
Máximo ancho de tira:	101,6mm
Mínimo espesor de tira:	3,4 mm
Máximo espesor de tira:	1 mm
Tipo de material:	Acero al carbón
Grado de material:	SPHT1

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Velocidades de molino**

Velocidad mínima de molinos:	35 ft/min
Velocidad máxima de molinos:	120 ft/min

Fuente: elaboración propia.

A partir de estas características y analizando los distintos modelos proporcionados por la empresa Guild International, se determinó que la soldadora TIG más fiable y que se adapta de mejor manera a la línea de estudio, tanto por los parámetros que sostiene como por las recomendaciones de uso anteriormente establecidas y por sus características físicas, tanto en medidas como en cimientos, proviene de los modelos ME que aportan soldadura tanto TIG como MIG. La soldadora modelo ME es una soldadora para unión de tiras de acero al carbono con la más innovadora y automatizada tecnología en el mercado actual, la cual está desarrollada con el objetivo de reducir el involucramiento de operadores durante el proceso de unión de tiras para alimentar torres de formado. Las soldaduras del modelo ME unen ambos extremos de la bobina y se cortan simultáneamente para luego mediante un panel de control indexarlas automáticamente a la posición de soldadura

adecuada y se sueldan. Todo esto con el propósito de reducir costos de operación y aumentar las ganancias.

Tabla XXIII. **Cotización de soldadora TIG automatizada**

Marca:	Guild International
Modelo:	ME 150-16
Tipo:	TIG
Fotografía:	 <p>Fuente: https://guildint.com/me-mes-zipwelders/#iLightbox[memes]/0, consultado: 27 de agosto de 2018</p>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. **Costos y términos**

Soldadora ME 150-16	Q.733 751,50
Guías laterales eléctricas	Q.52 521,16
Ciclo automático con detector de fin	Q.91 912,03
Total:	Q. 878 184,69

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que en el desglose de estos costos ya se encuentra incluidos los servicios e impuestos de envío, además la conversión de la moneda estadounidense a la moneda nacional guatemalteca se realizó con la equivalencia actual de las monedas.

3.1.3. Proceso de instalación y adaptación a la línea

El proceso de adaptación a la línea no es nada complicado al ser una pieza de cuerpo completo con base prefabricada para un anclaje a concreto con pernos y una instalación eléctrica sencilla, el tiempo de instalación se puede acortar al mínimo, por otro lado, según el plano enviado por el proveedor que se adjunta más adelante, las bases del nuevo equipo tienen exactamente las mismas dimensiones que el equipo actual que se encuentra en la línea, por lo tanto es un beneficio que permite reducir el tiempo de adaptación a la línea y los costos de instalación. A continuación, se detalla de qué manera se llevará a cabo dicho proceso.

- Tiempo de instalación

La instalación y adaptación completa del equipo debe ser distribuida en un máximo de 1 turno y medio de producción, este es el periodo mínimo de instalación en el cual el equipo de operadores asignados debe trabajar con eficiencia y eficacia para cumplir de la mejor manera con la tarea designada. Para calendarizar este periodo de instalación del equipo de soldadora es necesario realizar un acuerdo con el departamento de producción, y con base en el calendario de producción establecer la o las fechas necesarias en las cuales un total aproximado de 16 horas será el tiempo necesario para la instalación del nuevo equipo, y que permitirá el menor impacto de pérdidas

económicas hacia la producción. Por lo tanto, el proceso de adaptación a la línea se desglosará en las siguientes actividades:

- Desmontaje del equipo de soldadura actual.
- Revisión y reparación de las fuentes de suministro eléctrico e instalación eléctrica.
- Revisión de nivel y estado de cimientos.
- Montaje del nuevo equipo.
- Puesta en marcha.

Tabla XXV. **Cronograma de actividades**

Actividad	Tiempo estimado
Desmontaje del equipo antiguo	4 horas
Revisión y reparación de instalación eléctrica y suministro	3 horas
Revisión de nivel y estado de cimientos	4 horas
Montaje del nuevo equipo	3 horas
Puesta en marcha	2 horas
Total de horas	16 horas

Fuente: elaboración propia.

- Herramientas a utilizar

Para la correcta instalación del nuevo equipo de soldadura es necesario contar con las herramientas adecuadas para no dañar el equipo y evitar pérdidas de tiempo en el proceso de instalación, como se mencionaba con anterioridad este es un equipo de cuerpo completo que cuenta con todas las capacidades y accesibilidad necesaria para una instalación rápida, el único proceso que conlleva el utilizar más herramientas es el proceso de anclaje con

pernos a la base de concreto ya construida para el equipo que será sustituido por este.

Por lo tanto, las herramientas necesarias para realizar la adecuada instalación del equipo, tanto mecánico como eléctrico, son herramientas básicas que se encuentran dentro de los talleres de mantenimiento eléctrico y mantenimiento mecánico de la planta, estos equipos pueden ser atornilladores, *ratch*, llaves, multímetro, nivel, pinzas, entre otros. Además, es necesario especificar que dentro de estas herramientas es necesario incluir el equipo de seguridad para los operarios que formarán parte del proceso de montaje e instalación y evitar accidentes que puedan elevar los costos en lo que se refiere a la instalación del equipo.

- Anclaje de la soldadora TIG

Para el anclaje a los cimientos se utilizarán cuatro pernos con una medida de $\frac{3}{4}$ de pulgada, estos anclajes serán del tipo J, con una longitud de $3 \frac{1}{2}$ pulgadas por sobre la superficie de la base, el mismo será ajustado con 2 tuercas de la misma medida del perno y una *washa* de presión para evitar el desajuste provocado por vibraciones o manipulación excesiva.

Para mantener un nivel en la máquina se utilizarán cuatro placas de nivel montadas en las cuatro esquinas de la base, estas placas serán de un espesor de 1 pulgada, lo que permitirá la buena disipación de energía por vibraciones y mantendrá una estabilidad en la maquinaria al momento de su instalación y anclaje.

- Personal involucrado

Para garantizar que la instalación del nuevo equipo será precisa es necesario contar con personal calificado de acuerdo a las principales características que el equipo requiere para su funcionamiento, además del espacio físico y de las condiciones ambientales para proporcionar seguridad al equipo involucrado, por ende, el personal involucrado para la instalación será el siguiente:

- Un técnico de mantenimiento mecánico
- Un técnico de mantenimiento eléctrico
- Un operador de la línea donde se adaptará el equipo

3.2. Propuesta de reingeniería en las líneas de formado

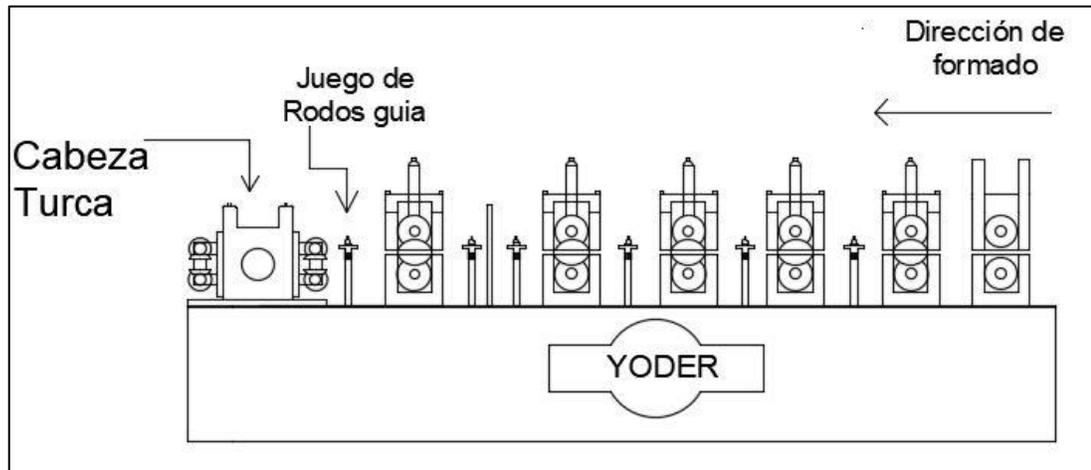
Esta propuesta tendrá un mayor enfoque con respecto al sistema de motores que alimenta las torres de formado, debido a que su redistribución como tal es imposible, para ello es necesario cambiar por completo las 8 torres de formado por una línea completamente nueva, lo que no sería rentable para la propuesta que se desea plantear. Por lo tanto, la siguiente sección únicamente representará una idea general de cómo debe estar distribuida la sección de las 3 torres que dan ingreso a la soldadura de alta frecuencia. Cabe mencionar que el proceso de reingeniería se enfocará en la reducción de los tiempos para los cambios de rodos y se ampliará más de ello en el último capítulo de este trabajo de graduación.

3.2.1. Proceso para redistribución e instalación de las torres de formado

La deficiencia que afecta de muy pequeña manera la posibilidad de aumentar la velocidad de producción en las torres de formado es la distribución de las 3 torres que se encuentran en serie y dan paso a la sección de soldadura de alta frecuencia, estas tres torres tienen como función dar el último acabado antes de realizar la costura del tubo, al no tener rodos guías entre las torres que permitan mantener estable el tubo y aumentar la velocidad puede significar un riesgo para desalinearse el tubo, causar vibraciones y generar ralladuras en los tubos por los impactos a altas velocidades entre su superficie y los molinos de formado.

Por lo tanto, la propuesta más viable al momento en el que se decida realizar un cambio de los molinos de formado consiste en suprimir dos de las tres torres que se encuentran anexadas continuamente en la sección previa a la realización de la costura en el tubo, colocar una sección de dos rodos horizontales guías que permitan cerrar por completo la geometría del tubo, como los que se encuentran a lo largo de los ocho molinos de formado y por último colocar una cabeza turca, que permitirá mantener una sujeción constante del tubo a altas y bajas revoluciones manteniendo su forma. De esta forma se podría aumentar la velocidad de los molinos sin que afecte la forma de ubicación de las torres de formado. Cabe mencionar que este aspecto por los estudios realizados no se puede llevar a cabo a menos que se cambie por completo la línea de formado, punto que no es viable para el proyecto, por lo tanto, únicamente se establece como una posible solución en caso se realice el cambio de los mismos en un futuro.

Figura 25. **Reubicación de rodos guía y cabeza turca**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.2.2. **Implementación de un sistema de corriente alterna de alta eficiencia**

Otra de las formas de contribuir en el aumento de eficiencia en la línea de estudio es sustituir tanto el motor que alimenta las tres torres de rectificado como el motor que alimenta las ocho torres de formado junto con sus rodos alineadores, debido a la antigüedad del sistema, estas torres de formado aún utilizan motores de corriente directa con variadores de velocidad, que a pesar de su desempeño limitado representa un incremento de costos al momento de implementar sus respectivos procesos de mantenimiento por el hecho de utilizar accesorios que contribuyen a su correcto funcionamiento y que de cierta forma incrementan el consumo eléctrico del mismo.

Para establecer una propuesta con base en este aspecto es necesario delimitar un punto de comparación entre los motores actualmente instalados en

la línea de producción, y los motores por los cuales serán remplazados, para ello es necesario determinar la eficiencia de los motores actuales y los costos en consumo energético que estos producen.

En primera instancia será necesario calcular la eficiencia de los motores, para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$Ef: \frac{HP * 746}{V * I} * 100$$

Donde:

- Hp: potencia mecánica del motor
- V: voltaje de armadura
- I: amperaje de armadura

Como segundo punto se procederá a calcular los costos de consumo eléctrico para cada uno de los motores en la línea de producción, para ello se utiliza como referencia la tarifa actual de consumo eléctrico propuesta por EGGSA. Por lo tanto, para calcular el consumo primero se calcula la potencia nominal en kilowatts con la siguiente ecuación:

$$\text{Consumo eléctrico: } \frac{I * V}{1\ 000} * \text{Hrs [Kwh]}$$

Donde:

- I: corriente de armadura
- V: voltaje de armadura
- Hrs: horas de funcionamiento al día

Por último, para determinar el costo de consumo eléctrico mensual es necesario multiplicar el consumo eléctrico obtenido en la ecuación pasada por los días del mes hábiles que trabaja el motor y además multiplicarlo por la tarifa eléctrica establecida por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica en Guatemala (CNEE). Para una industria como esta se utiliza la tarifa de media tensión con demanda fuera de punta, ya que esta industria trabaja las 24 horas y 6 días a la semana, con demanda alta fuera de la hora pico de demanda eléctrica en la ciudad. Por lo tanto, la tarifa eléctrica para estos casos según la CNEE es la siguiente.

Figura 26. **Tarifa eléctrica de media tensión, octubre de 2018**

Tarifa: Media Tension con Demanda Fuera de Punta - MTDfp	Valor
Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	711.030932
Cargo Unitario por Energía (Q/kWh)	0.749151
Cargo Unitario por Potencia Máxima (Q/kW-mes)	25.159099
Cargo Unitario por Potencia Contratada (Q/kW-mes)	10.356495

Fuente: CNEE. *Tarifa eléctrica de media tensión.*

<http://www.cnee.gob.gt/calculadora/pliegos.php>, Consulta: 12 de octubre de 2018.

Tabla XXVI. **Datos técnicos de motor de torres de formado**

Potencia mecánica	150 HP
Voltaje de armadura	500
Amperaje de armadura	237
Tipo de corriente	Corriente directa
Tipo de montaje	SHUNT

Fuente: elaboración propia.

Con los datos de la tabla anterior se procede a calcular la eficiencia nominal de motor con la ecuación previamente establecida:

$$Ef: \frac{150 * 746}{500 * 237} * 100 = 94,43 \%$$

Luego se calcula el costo de consumo eléctrico que produce este motor mensualmente, cabe mencionar que este consumo eléctrico se determina con la potencia del motor entregada en campo, valores medidos en la línea por un voltímetro y un amperímetro y se obtienen los siguientes datos:

Tabla XXVII. **Valores reales de potencia eléctrica de motor de formado**

Voltaje:	240
Amperaje de formado:	200

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, el consumo eléctrico real aproximado para este motor es el siguiente:

$$\text{Consumo eléctrico: } \frac{200 * 240}{1\ 000} * 22 = 1\ 056 \text{ [Kwh/dia]}$$

$$1\ 056 \left[\frac{\text{Kwh}}{\text{dia}} \right] * 24 \text{ dias} = 25\ 344 \text{ kwh/mes}$$

Al multiplicarlo por la tarifa eléctrica se obtiene el siguiente costo:

$$25\ 344 \frac{\text{kwh}}{\text{mes}} * 0,749151 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} = 18\ 986,5 \text{ Q/mes}$$

Tabla XXVIII. **Datos técnicos de motor de torres de rectificado**

Potencia mecánica	75 HP
Voltaje de armadura	500
Amperaje de armadura	122
Tipo de corriente	Corriente directa
Tipo de montaje	SHUNT

Fuente: elaboración propia.

De igual forma se procede con los datos de la tabla anterior a calcular la eficiencia nominal del motor de rectificado:

$$Ef: \frac{75 * 746}{500 * 122} * 100 = 91,7 \%$$

91,7 %

Luego se calcula el costo de consumo eléctrico que produce este motor mensualmente, cabe mencionar que este consumo eléctrico se determina con la potencia del motor entregada en campo, valores medidos en la línea por un voltímetro y un amperímetro y se obtienen los siguientes datos:

Tabla XXIX. **Valores reales de potencia eléctrica de motor de rectificado**

Voltaje:	240
Amperaje de formado:	100

Fuente: elaboración propia

Por lo tanto, el consumo eléctrico real aproximado para este motor es el siguiente:

$$\text{Consumo eléctrico: } \frac{100 * 240}{1\ 000} * 22 = 528 \text{ [Kwh/dia]}$$

$$528 \left[\frac{\text{Kwh}}{\text{dia}} \right] * 24 \text{ dias} = 12\ 672 \text{ kwh/mes}$$

Al multiplicarlo por la tarifa eléctrica se obtiene el siguiente costo:

$$12\ 672 \frac{\text{kwh}}{\text{mes}} * 0,749151 \frac{\text{Q}}{\text{kwh}} = 9\ 497 \text{ Q/mes}$$

Tabla XXX. **Resumen de datos obtenidos, motores eléctricos actuales**

Eficiencia de motor de formadora	94,43 %
Eficiencia de motor rectificado	91,7 %
Costo total mensual por consumo energético aproximado en la línea.	Q 28483,5

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que todos los aspectos anteriormente planteados tienen como propósito determinar el alto costo que genera el seguir utilizando estos motores en la línea, por lo tanto a continuación se establece una cotización de dos motores de corriente alterna y de alta eficiencia, que reemplazarán los que se encuentran actualmente y que con una entrega de potencia de mayor eficiencia son capaces de cumplir con la demanda en la línea de producción, generando además un menor consumo eléctrico que a su vez se traduce en reducción de costos.

Por otro lado, el incremento en costos al utilizar un sistema de motores de corriente directa que alimente las torres de formado y rectificado en la línea se ve ligado directamente al mantenimiento de los mismos, en comparación a un motor de corriente alterna los costos de mantenimiento de un motor de corriente directa son mucho mayores por el volumen neto de piezas que se desgasta en funcionamiento continuo, a continuación se desglosa una comparación del mantenimiento aplicado a un motor de corriente directa versus uno de corriente alterna haciendo énfasis en el periodo que se debe realizar. Esto con el fin de parametrizar indirectamente los costos que se pueden reflejar debido al uso de motores de corriente directa de alto caballaje.

Tabla XXXI. **Comparación de mantenimiento entre un motor de corriente continua y un motor de corriente alterna**

Motor DC		Motor AC	
Ítem	Tiempo de revisión	Ítem	Tiempo de revisión
Escobillas y porta escobillas	15 minutos	Devanados	15 minutos
Conmutador	20 minutos	Rodamientos	15 minutos
Rodamientos	15 minutos		
Filtro de Aire	5 minutos		
Devanados	15 minutos		
TIEMPO MUERTO		Tiempo Muerto	
TOTAL/MES	70 minutos	Total/Mes	30 minutos

Fuente: elaboración propia.

Para realizar la comparación anterior se utilizaron parámetros estimados con base en un mantenimiento del tipo preventivo, utilizando tiempos de mantenimiento con la utilización del equipo completo necesario y el personal capacitado para la ejecución de las tareas. Esto con el fin de establecer la versatilidad que conlleva utilizar un motor de corriente directa en la industria moderna.

Esa diferencia de minutos mensuales representa plenamente el tiempo muerto que se invierte para el mantenimiento de los motores actualmente utilizados en la línea, de los cuales al suplantarlos por un motor de corriente directa se aumentaría en un 57 % la utilidad de la línea, lo que finalmente representaría un aumento en la producción y eficiencia de las torres de formados.

Sustituir los motores de corriente directa que se encuentran actualmente alimentando las torres de formado y rectificado en la línea hace que funcionen sin ninguna complicación, sin embargo, un conjunto de motores que permita sustituirlos generará un beneficio en ahorro de costos por mantenimiento y consumo eléctrico entregando la misma potencia y aumentando la eficiencia del motor por entrega de potencia en periodos largos de funcionamiento. Tomando como parámetro que estos motores únicamente cuentan con 2 arranques al día y en promedio trabajan 20 horas al día durante 7 días a la semana, dependiendo de la demanda de producción, sin embargo, estos son los parámetros normales en los que se opera.

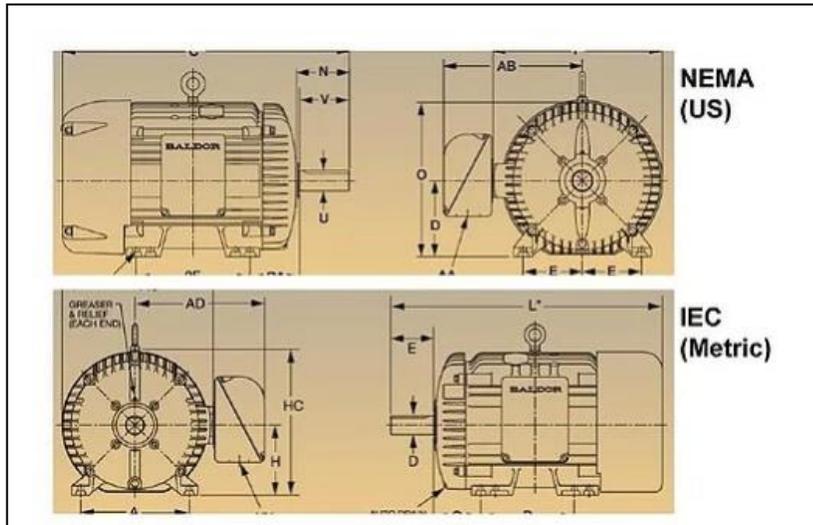
Como se mencionaba en el apartado anterior la línea cuenta con dos motores de corriente directa, uno de 150 hp que alimenta las torres de formado y un motor de 75 hp que alimenta las torres de rectificado, actualmente se puede deducir que existe un sobredimensionamiento en ambos motores, esencialmente el motor de mayor caballaje tiene un factor de seguridad mínimo que permite alimentar la potencia solicitada por las torres de rectificado en caso el motor de menor caballaje presente una falla y sea necesario implementar un mantenimiento correctivo, evitando así paros y tiempos muertos que aumenten los costos horas-hombre y pérdidas de producción en tiempo de alta demanda.

Debido a que la potencia mecánica entregada por un motor eléctrico es idealmente la misma, tanto de un motor de corriente directa como uno de corriente alterna, pero ofreciendo una mejor eficiencia por una baja demanda de consumo eléctrico, reducción de peso y aumento de eficiencia neta, los parámetros establecidos por el fabricante para los motores que se encuentran actualmente en la línea y que cumplen su función con un porcentaje de utilidad considerable serán utilizados para determinar los parámetros de los motores de corriente alterna por los que serán sustituidos.

Para evitar daños y reparaciones prematuras en los motores sustitutos se realizará el análisis de la obtención de equipos de segunda mano que tengan garantía de un máximo del 10 % de su uso general, idealmente hay proveedores nacionales que ofrecen estos equipos con marcas sudamericanas que presentan muy buen rendimiento y con costos muy por debajo de motores fabricados en Europa.

Otro aspecto principal que se debe considerar es la forma de montaje del motor, este siendo acoplado directamente a la caja reductora que alimenta cada uno de los ejes cardan de los molinos de formado y rectificado, que vienen con dimensionales normadas, al igual que cada uno de los motores eléctricos fabricados que están dimensionados mediante norma NEMA o IEC, ya que se le conoce técnicamente como FRAME, lo cual indica las medidas específicas de los elementos que están directamente relacionados con el acople y montaje del motor, como por ejemplo el largo del rotor y el estator, altura de la base al centro del eje, entre otros aspectos.

Figura 27. **Frame norma NEMA vs IE**



Fuente: Motores eléctricos. *NEMA vs IE*. <https://blog.elvatron.com/motores/c%C3%B3mo-saber-si-mi-motor-es-norma-nema-o-iec>. Consulta: 12 de octubre de 2019.

Debido a que la caja reductora viene de un fabricante americano, es necesario que el montaje y desmontaje del motor sea de forma no destructiva en caso sea necesario realizar reparaciones por mantenimiento preventivo o correctivo o para futuras modificaciones, en este caso se debe fabricar una Brida o Flange, este es un elemento mecánico que permite unificar dos estructuras por medio de pernos sin dañar los equipos en su manipulación, idealmente estos elementos se fabrican con acero de medio contenido de carbono AISI 1045 rolado en frío, y se toma como plantilla la brida que se encuentra en la salida de la caja reductora.

Figura 28. **Brida o flange**



Fuente: Tuberías y conexiones Brina. *Brida o flange*. <https://teksa.cl/flange-o-brida/>. Consulta: 18 de octubre de 2018.

De esta forma el desglose de costos para estos elementos se detalla de la siguiente manera:

Tabla XXXII. **Desglose de costos para motores de alimentación**

Elemento	Características	Costo Motor	Costo Brida	Costo total
Motor AC de 150 HP	<ul style="list-style-type: none"> - 1750 rpm - FRAME 329AT - TRIFASICO 	Q 68 000,00	Q 3 600,00 Para variación a Frame de 364	Q 71 600,00
Motor AC de 75 HP	<ul style="list-style-type: none"> - 1750 rpm - FRAME 368AT - TRIFASICO 	Q 25 800,00	Q 2 500,00 Para variación a Frame de 380	Q 28 300,00

Fuente: elaboración propia.

3.3. Modificación en proceso de corte

La modificación en el proceso de corte consiste en la sustitución del carro de corte hidráulico actual de la línea de producción por uno más moderno con mejor tecnología, eficiencia y que permitirá mejores acabados de corte tanto para tubería redonda como cuadrada, lo que al mismo tiempo permitirá la remoción de la guillotina de corte neumático.

Actualmente el carro de corte hidráulico utiliza un cabezal con un plato neumático compuesto por 3 sierras de pequeño e igual diámetro y espesor, las 3 sierras giran a la misma velocidad y al ser activadas hidráulicamente se juntan hasta una distancia lo más corta posible la una de la otra para realizar un corte limpio por fricción sobre el tubo redondo. La delicadeza de las 3 pequeñas sierras por su espesor y diámetro producen problemas en el corte de tubos a alta velocidad y de espesor grande.

Por otro lado, al momento en que se produce tubería cuadrada en los molinos de formado se utiliza la guillotina neumática que se encuentra situada al final de la carrilera del carro de corte, esta guillotina de acción neumática realiza cortes demasiado rústicos y con muy mal acabado superficial. Por ende, se seleccionó un carro de corte con tecnología moderna que permita realizar cortes tanto en tubería cuadrada como en tubería redonda y a mayores velocidades demandadas por las torres de formado, permitiendo así un aumento en la producción de tuberías con respecto a un tiempo determinado y disminuyendo así los costos producidos por la utilización de la guillotina de corte.

3.3.1. Descripción de tecnología actual utilizada en carros de corte

Actualmente en la línea de estudio se utiliza un carro de corte hidráulico con cuchillas de corte a fricción, este mecanismo utiliza un disco liso metálico abrasivo compuesto de acero al carbón y con espesores que van desde los 0,3 hasta los 2 mm. El proceso de corte de los metales con este tipo de sierra consiste en poner en rotación estos discos finos sin diente, a una velocidad lo suficientemente alta y hacer que haga contacto con el material que se desea cortar, las altas temperaturas formadas por la fricción entre los metales hacen que el material base se funda y que por acción del propio disco toda esa materia sea expulsada al exterior. Actualmente se utilizan sierras de corte en frío que con una variedad de materiales para su composición las hacen más eficientes para realizar producción en masa y con mejores acabados. Existen diferencias que ponen a las sierras de corte en frío por encima de las antiguas sierras de fricción, estas se detallan a continuación.

Tabla XXXIII. **Comparación de sierras de trabajo en frío con sierras a fricción**

Sierras de trabajo en frío	Sierras de fricción
Diferentes tipos de composición para el corte de aceros aleados y no aleados.	Trabaja únicamente a altas revoluciones.
Mayor vida útil.	Alto contaminante por desperdicio sólido y gaseoso.
Trabajo a bajas y altas revoluciones.	Peligroso para el operador.
No contaminan y producen bajo ruido y vibraciones.	Cortes rústicos y con malos acabados superficiales.
Seguro para operadores.	Únicamente para corte de aceros al carbono y de baja aleación.
El corte no produce rebaba.	

Fuente: elaboración propia.

En el mercado actual se manejan dos tipos de sierra para trabajo en frío, las sierras del tipo HSS, conocidas también como acero de alta velocidad por sus siglas en inglés High Speed Steel, son sierras tratadas térmicamente y endurecidas entre 64 y 65 HRC para el corte de materiales ferrosos y de 58 a 60 HRC para el corte de materiales no ferrosos. La alta dureza en los dientes de estas cuchillas las hace aptas para una alta resistencia al calor y al desgaste, pero de igual manera esta alta dureza las hace muy quebradizas y no muy resistentes a los golpes. Las hojas de corte HSS se utilizan para el corte de diferentes formas y tipos de metal incluidos los tubos, extrusiones, secciones estructurales, piezas forjadas, entre otros.

Una ventaja importante de este tipo de sierra de corte es que comercialmente son recubiertas con nitruro de titanio o nitruro de titanio y aluminio para una mayor resistencia al desgaste, además se suelen recubrir en la superficie del diente con óxido negro para permitir una mayor distribución del refrigerante a la hora de realizar el corte.

El otro tipo de sierra actualmente en el mercado es la sierra con punta de carburo de tungsteno o TCT, esta sierra se fabrica con un cuerpo de acero de aleación e inserciones en los dientes de carburo de tungsteno, estas aleaciones permiten que las sierras tengan una mayor capacidad de operar a altas revoluciones y temperaturas en comparación a las del tipo HSS. Además de ello la dureza concentrada en los dientes las hace muy vulnerables a los quiebres por golpes y bajas vibraciones, por ende, su mecanismo de accionamiento debe ser muy preciso y de una alimentación constante, como por ejemplo una alimentación de husillo de bolas.

Hoy en día los carros de corte que utilizan tecnología los hacen un proceso totalmente automatizado y que con el apoyo de materiales de

ingeniería de última tecnología y software de apoyo, los convierten en herramientas muy rentables para ser utilizadas en procesos de formado de tubería. Entre estos aspectos se pueden encontrar los siguientes:

- Mecanismo piñón cremallera

Mecanismo que, formado por un piñón engranado a una barra prismática conocida como cremallera, permite transformar movimiento rotativo en movimiento rectilíneo. Este mecanismo posee la característica de retro impulsión, lo que permite conseguir movimientos lineales de bastante precisión al momento de que las cuchillas realicen el desplazamiento transversal para realizar el corte en las tuberías.

- Sensor láser para medir velocidad de tubo

Estos son sensores que se encargan de la medición de velocidad de objetos sin contacto directo, sustituyendo así los sistemas de medición por contacto, los cuales año con año han ido perdiendo eficiencia debido al envejecimiento de los componentes mecánicos y las deficiencias de medición por suciedad y alteración del ambiente en donde operan. Los medidores de velocidad láser son capaces de medir la velocidad de cualquier objeto sin depender de la consistencia física, estos pueden ser objetos sólidos o blandos, además de ello la certeza con la que estos medidores realizan su operación es de tipo milimétrica y muy exacta.

- Sistema de accionamiento de baja vibración

La dureza de las sierras de corte en frío las hace muy sensibles a las vibraciones y choques, al ser un corte en movimiento los dientes de las sierras

se encuentran expuestas a las vibraciones que se generan al momento de accionar el mecanismo de avance y a la colisión con el material que se traslada de forma perpendicular al movimiento de las sierras de corte, por lo tanto estos mecanismos se encuentran compuestos de aislantes que reducen las vibraciones para evitar la rotura de los dientes por choque y fatiga.

- Adaptables para corte de tubería de distinta geometría

Actualmente los carros de corte poseen una cabeza turca ajustable para geometría de tubo redonda, cuadrada y circular, de diferentes medidas y espesores, con esto se elimina por completo el uso de guillotinas para corte de tubería cuadrada o rectangular.

- Fijación de tubo hidráulica

Para evitar vibraciones al momento de realizar el corte y desalineamiento del tubo proveniente de las torres de formado los carros de corte modernos utilizan un mecanismo con forma de mandril que acciona hidráulicamente un grupo de mordazas para mantener centrado el tubo y que el corte se realice de forma totalmente recta.

- Sistema de control con software de simulación

Este sistema permite realizar el ajuste de todas las variables, como velocidad de corte, velocidad de tubo, espesor y diámetro de tubería, a través de un panel de control que desarrolla una simulación digital en tiempo real para evitar pérdidas de tiempo en ajustes mecánicos que necesitan el apoyo de operadores.

- Sistema de diagnóstico y detección de falla

Es un sistema que implementa distintos tipos de sensores para la detección de fallas en tiempo real, como por ejemplo la pérdida de presión hidráulica en la carrilera del carro, pérdida de presión hidráulica en el mandril para la sujeción del tubo, e incluso fallas eléctricas de detección temprana que permiten realizar mantenimiento preventivo a través de un monitoreo constante del equipo.

- Servomotores AC de alta eficiencia

Actualmente las carros de corte accionan los mecanismos de corte para las sierras de trabajo en frío a través de los servomotores de corriente alterna, estos motores permiten controlar mediante un mecanismo de engranajes el torque del motor y mantener una velocidad y una posición fija cuando se requiera, de esta manera los parámetros que controlan las velocidades de las sierras de corte los hacen ideales para crear cortes más limpios y de mejores acabados a velocidades bajas o altas según sea el tipo y espesor del material que se está cortando. Además de ello estos motores son de alta eficiencia debido a que entregan una mayor potencia a cambio de un menor consumo eléctrico, lo que permite reducir los gastos arraigados al consumo eléctrico.

3.3.2. Cotización y selección de carro de corte

Al momento de seleccionar el proveedor del carro de corte para la línea en estudio se tomaron como aspectos principales el precio total de la máquina, el tiempo de entrega y los servicios postventa que ofrecía la compañía al momento de recibir el equipo, ya que la importación se hacía en forma directa desde los estados unidos. Por motivos de costo y facilidad de instalación al no

necesitar cimientos especiales se seleccionó como proveedor del carro de corte a Kent Corporation, una empresa norteamericana que se encarga de la exportación multinacional de maquinaria relacionada enteramente a molinos de formado en tubería, ofreciendo equipos con tecnología actual, pero con estructura lo más sencilla posible para su fácil y rápida adaptación a una línea de formado.

La cotización del equipo se realizó por medio del contacto directo con un asesor técnico de dicha empresa, y por medio de las siguientes especificaciones técnicas del producto en la línea de estudio se llevó a la cotización y selección de un modelo específico, estas especificaciones se muestran a continuación.

Tabla XXXIV. **Especificaciones técnicas**

Tipo de producción	Tubo redondo Tubo cuadrado Tubo rectangular
Dimensiones de tubo redondo	Min: 1,00" Max: 5,00"
Dimensiones de tubo cuadrado	Min: 1,00"x1,00" Max: 4,00"x4,00"
Dimensiones de tubo rectangular (base x altura)	Min: 1,20"x0,40" Max: 5,00"x2,25"
Espesor de tubería	Min: 0,040" Max: 0,140"
Largo de tubo producido	Min: 157,00" Max: 472,00"

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. **Máquina de corte seleccionada**

Tipo:	Sierra de corte en frío
Código de cotización:	PRP-102218
Marca:	KENT
Modelo:	A100 CS

Fuente: elaboración propia.

Figura 29. **Carro de corte A100 CS**



Fuente: folleto de cotización.

Este carro de corte fue seleccionado porque cumple la mayoría de aspectos y es capaz de adaptarse fácilmente y cumplir con los estándares de la línea de formado, estas características ofrecidas por este modelo de carro de corte de sierra en frío se detallan a continuación.

Tabla XXXVI. **Características específicas del equipo**

Tipo de sierra:	- HSS - TCT
Sistema de control:	Siemens SIMATIC S7.
Tipo de unidad de corte:	Electromecánica.
Sistema de accionamiento de sierras:	Accionamiento hidráulico.
Sistema de movimiento de carro:	Mecanismo piñón cremallera con servomotores AC.
Sistema de medición de longitud:	Sistema de medición de rodos verticales, con ajuste micrométrico manual y sensor laser de medición.

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Costos y términos**

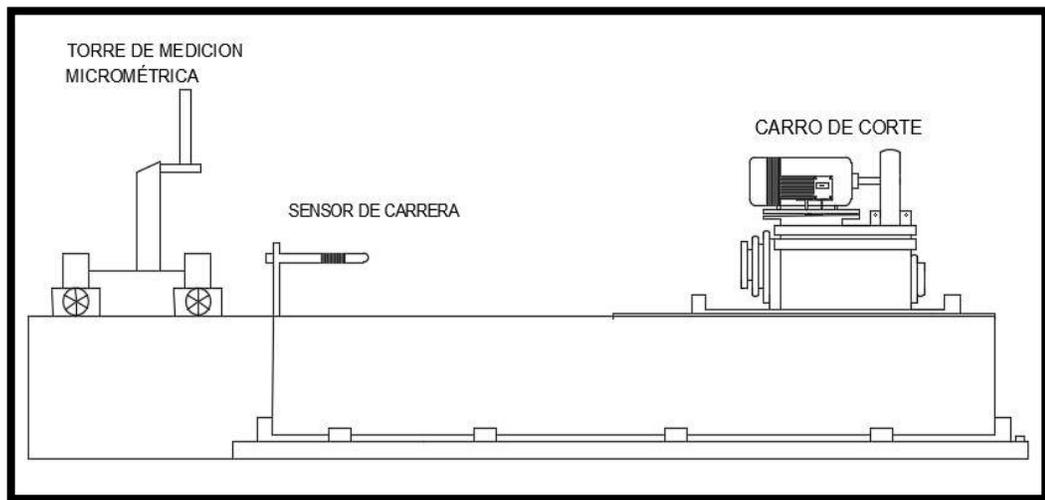
Costo y envío:	Q 449 500,00
Costos de sistemas ajustables:	Q 26 260,58
Total:	Q 475 760,58

Fuente: elaboración propia.

3.3.3. Plano de distribución

Se presenta el plano de distribución.

Figura 30. Plano de distribución de carro de corte Kent



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

3.3.4. Proceso de instalación de nuevo carro de corte

El carro de corte utiliza medidas estandarizadas por normas para el formado de tuberías con costura y sin costura, al tener las mismas dimensiones que el carro de corte actual de la línea, únicamente es necesario desinstalar las conexiones eléctricas e hidráulicas del carro de corte antiguo, desmontar la carrilera y los sensores de carrera, desmontar el panel de control y por último desanclar la estructura base del carro para poder realizar una limpieza del área y adaptar el nuevo carro de corte a la línea.

Al tener las mismas dimensiones el sistema de lubricación y drenaje será el mismo para el nuevo carro de corte, las conexiones hidráulicas y eléctricas se realizarán con apoyo del manual aportado por el proveedor y personal técnico eléctrico y mecánico proporcionados por el departamento de mantenimiento de cada una de los campos mencionados. Al igual que la instalación provista para la sección de pegacintas, esta instalación será calendarizada según la organización entre el departamento de mantenimiento y el departamento de producción, para poder establecerla en el momento en el que se realice un paro mayor por mantenimiento, en el cual se puede aprovechar el tiempo para realizar dicha adaptación.

Para evitar realizar paros completos de producción durante el periodo de instalación y adaptación a la línea del nuevo carro de corte se utilizará la guillotina para abarcar la producción planificada en tubos de mayor espesor y diámetro. Según el manual proporcionado por el proveedor la instalación del equipo conlleva un total de 5 turnos de 8 horas de trabajo, que por lo general se traduce a cinco días de labor, como en la planta de producción se contemplan dos turnos de doce horas cada uno la instalación del equipo se llevará a cabo en un tiempo no máximo a 2 días de labor y, debido a que los cimientos ya se encuentran establecidos para un equipo con las mismas dimensiones y características muy similares, el tiempo de instalación se reducirá. La instalación y anclaje del nuevo carro se desglosa de la siguiente manera:

Tabla XXXVIII. **Cronograma de actividades de carro de corte**

Actividad	Tiempo estimado
Desmontaje del equipo antiguo	10 horas
Revisión y reparación de instalación eléctrica y suministro	3 horas
Revisión de nivel y estado de cimientos	2 horas
Montaje del nuevo equipo	10 horas
Puesta en marcha	4 horas
TOTAL DE HORAS	30 horas (2 turnos y medio)

Fuente: elaboración propia.

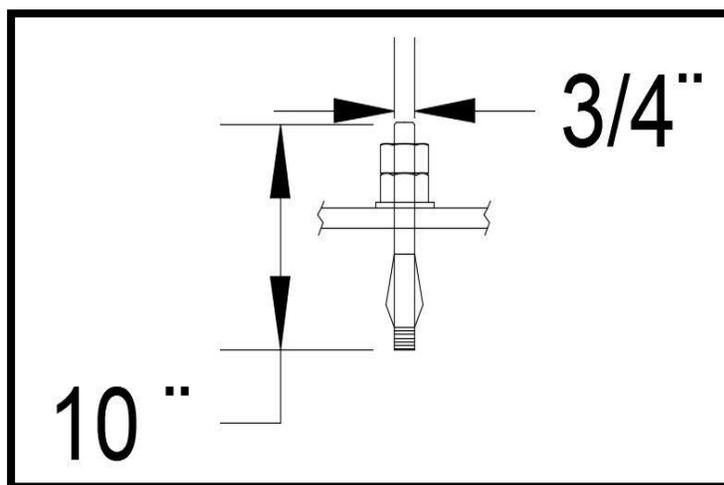
3.3.5. Cimientos y anclaje de carro de corte

Como se mencionaba con anterioridad, los cimientos del nuevo carro de corte se realizarán con base en los cimientos del carro de corte antiguo, al tener las mismas dimensiones no será necesario realizar nuevas adaptaciones al cimiento y al sistema de lubricación y drenaje del mismo. Por otro lado, este carro de corte utiliza sistemas de aislamiento para evitar vibraciones que puedan repercutir en el acabado final de la tubería, por lo tanto el sistema de anclaje únicamente se realiza con ocho pernos de expansión para concreto y hormigón, las características de los mismos se detallan gráficamente a continuación.

Para este tipo de anclaje se utilizará un perno con una longitud mínima de 10 pulgadas para que el perno consiga una penetración en la colada de concreto lo bastante como para evitar vibraciones excesivas en el funcionamiento, por otro lado el perno será apretado con 2 tuercas de sujeción de $\frac{3}{4}$ de pulgada y una wacha de presión para evitar el desenrosque de las mismas en el movimiento de la máquina.

Estos pernos de anclaje se realizan con acero para maquinaria bajo la norma AISI 1045, un acero aleado con medio contenido de carbono que le permite mantener una buena resistencia mecánica y tenacidad. Este acero se utiliza generalmente en pernos de anclaje que están sometidos a tensión, generalmente para maquinaria y estructuras que presentan medianas y bajas vibraciones y que con una resistencia a la tracción promedio de 655 Mpa lo hace ideal para este tipo de aplicación.

Figura 31. **Perno de anclaje para máquina de corte**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Herramientas necesarias

Al igual que en la instalación del equipo depegacintas, las herramientas necesarias para la instalación del equipo serán herramientas que se encuentran con normalidad en los departamentos de mantenimiento mecánico y eléctrico, principalmente serán necesarios equipos de medición eléctrica e hidráulica y

también herramientas comunes como llaves o *ratch* con extensiones para generar el torque indicado necesario en los pernos expansivos de anclaje.

- Personal involucrado en la instalación

Para garantizar que la instalación del nuevo equipo será precisa es necesario contar con personal calificado de acuerdo a las principales características que el equipo requiere para su funcionamiento, además del espacio físico y de las condiciones ambientales para proporcionar seguridad al personal involucrado realizando el debido procedimiento estipulado por el departamento de seguridad industrial para proceder con el trabajo. Se establece que el personal involucrado para la instalación será el siguiente:

- 1 técnico de mantenimiento mecánico
- 1 auxiliar mecánico
- 1 técnico de mantenimiento eléctrico
- 1 auxiliar eléctrico
- 1 operador de la línea donde se adaptará el equipo
- Jefe de mantenimiento

3.3.6. Calibración y puesta a punto del carro de corte

Para la calibración y puesta a punto del carro de corte se utilizará una *checklist* como apoyo para estandarizar y verificar el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos mecánicos y eléctricos del equipo, únicamente los rasgos en forma general sin entrar en mayor detalle. Este proceso para la puesta a punto del equipo se realizará al momento del arranque, es decir se realizará un proceso en estado dinámico, ya que para determinar el correcto funcionamiento de todos los elementos que lo conforman es necesario que el

equipo opere en las condiciones normales a las que estará sometido durante todo el periodo de producción. Se estandarizará realizar el procedimiento previamente detallado al momento de arranque y antes de cada arranque posterior a un mantenimiento mayor preventivo o predictivo.

Figura 32. **Parámetros de puesta a punto de carro de corte**

Check List, puesta a punto y calibracion inicial de equipo	
Estado de anclajes, revision de par a 200 N.m	<input type="checkbox"/>
Revision de presión neumática	<input type="checkbox"/>
Revision de conexión electrica	<input type="checkbox"/>
Estado de fuente de alimentación	<input type="checkbox"/>
Medición de voltaje y corriente	<input type="checkbox"/>
Verificación de estado de sistema de lubricación	<input type="checkbox"/>
Verificación de estado de sistema de drenaje	<input type="checkbox"/>
Verificación de funcionamiento de panel de control	<input type="checkbox"/>
Verificacion de funcionamiento de movimiento lineal de carro de corte	<input type="checkbox"/>
Revision de presión hidraulica en cuchillas	<input type="checkbox"/>
Testeo de sensores de carrera	<input type="checkbox"/>
Testeo y calibracion de medidor	<input type="checkbox"/>
Calibración de torre metrica en sistema Ingles	<input type="checkbox"/>
Corridas de testeo para cada medida (2 corridas) tubo sin costura	<input type="checkbox"/>

Fuente: Corporación Kent. *Manual de proveedor.*

https://www.solvay.com/sites/g/files/srpend221/files/2018-07/Solvay_Supplier_Handbook_ES.pdf. Consulta: octubre de 2019.

4. FIABILIDAD DE LA PROPUESTA

4.1. Análisis de rentabilidad

Al momento de realizar un proyecto que desarrolla la mejora continua en el sector industrial es importante realizar un análisis financiero que permite determinar qué tan viable es el proyecto en relación a la inversión necesaria inicial. Debido a que los proyectos son a gran escala, las inversiones iniciales son bastante elevadas, por lo tanto, es necesario realizar una comparación entre los ingresos y egresos de la empresa de la mano de dicha inversión para determinar si esta generara las suficientes ganancias para mantener la empresa en un entorno sustentable.

La función principal de estos proyectos es incrementar la utilidad en la producción a través de la reducción de costos por fallo de maquinaria o tiempos muertos por mantenimientos ineficientes de equipos que no logran adaptarse al ritmo de producción actual por la vejez de los mismos. Es decir, se busca realizar procesos más eficientes y productivos para las ganancias de la industria.

Todas las inversiones realizadas para proyectos en la industria deben tener la garantía de un retorno considerable para garantizar la fiabilidad de la inversión. En este caso se realizará el análisis en un periodo de un año laboral completo, tomando a consideración la mejora en los siguientes aspectos:

- Mejora de tiempo y calidad de soldadura en la sección de pegacintas, ubicada en la etapa de alimentación de materia prima de la línea de producción.
- Reducción de costos de consumo eléctrico a través de la implementación de un sistema de motores de corriente alterna de alta eficiencia para la transmisión de potencia en las torres de formado y rectificado.
- Mejora de tiempos de producción en el carro de corte implementando un sistema capaz de cortar tubos en todas las dimensiones estandarizadas en la línea, suprimiendo por completo el uso de la guillotina.

El presente proyecto se analizará de la siguiente manera: como primera instancia se analizará la inversión inicial y la relación de costos e ingresos, para luego determinar el valor presente neto y la tasa interna de retorno que establecerán un parámetro congruente sobre la viabilidad de la propuesta. Por último, se determinarán de forma breve los riesgos y depreciaciones, factores presentes en temas relacionados a la obtención de equipos para su funcionamiento continuo. Por otro lado, para dar un punto de partida de porqué se pretende desarrollar este proyecto e implementar una inversión de alto valor es necesario plantear el aumento mínimo de eficiencia que se espera luego de esta implementación, para ello es posible estimarlo de la siguiente manera:

Tabla XXXIX. **Productividad estimada**

Productividad actual	Productividad esperada	Porcentaje de aumento esperado
$Prod. = \frac{182 \text{ tubos/h}}{227 \text{ tubos/h}} = 80,17 \%$	$Prod. = \frac{210 \text{ tubos/h}}{227 \text{ tubos/h}} = 92,50 \%$	12,33 %

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que el aumento de eficiencia esperado es un parámetro mínimo que se establece debido a los nuevos parámetros de producción que se esperan por la adición de los nuevos equipos y el estudio en campo de la línea de producción Yoder 35-2.

4.2. Análisis de costos

El análisis de costos es una herramienta de apoyo que permitirá determinar cada uno de los recursos necesarios para poder desarrollar el proyecto y estimar la viabilidad o conveniencia del mismo en un plazo establecido directamente por el evaluador. En proyectos de nivel industrial es necesario realizar un énfasis en esta etapa para esclarecer de qué forma se pueden desglosar los costos de un proyecto en donde la inversión inicial puede ser voluminosa, pero que presenta soluciones viables y adaptables a la mejora de procesos de este tipo.

4.2.1. Costos fijos

Se definen directamente como todos aquellos costos que son totalmente independientes del nivel de productividad de la empresa en la cual se está desarrollando o planificando el proyecto. La empresa en este caso debe incurrir obligatoriamente en una erogación a todos los recursos involucrados tanto humanos como materiales. De los costos fijos que están ligados directamente a proyectos de tipo industrial se pueden desglosar los siguientes

- Administración y ventas
- Sueldo de empleados involucrados en la línea
- Mantenimiento
- Insumos limpieza

4.2.2. Costos variables

Los costos variables en un proyecto son otro pilar importante que permite determinar la viabilidad del mismo, ya que estos son directamente proporcionales a la actividad o productividad de la empresa, es decir son todos aquellos elementos de los cuales puede existir un mayor o un menor consumo o implementación, dependiendo de su utilidad en los procesos que se desarrollan.

Entre los costos variables que es posible analizar directamente están los siguientes:

- Materia prima directa
- Insumos para empaque y flejado
- Insumos de limpieza
- Consumo eléctrico
- Consumo de agua

4.2.3. Análisis costo/beneficio

Este análisis permitirá determinar específicamente la viabilidad o rentabilidad del proyecto que se tiene planteado, tomando como punto de partida una inversión inicial y la relación directa que esta tendría con los ingresos generados directamente por la empresa para un plazo determinado. Tomando en consideración que la inversión inicial es bastante elevada, lo cual se considera un monto promedio para proyectos realizados en industrias que representan un gran valor de productividad a nivel nacional, como lo es Industria de Tubos y Perfiles, S.A.

Tabla XL. **Detalle de inversión inicial**

Elemento	Cantidad	Costo
Soldadora ME 150-16	1	Q 878 184,69
Motor AC trifásico 150 HP	1	Q 71 600,00
Motor AC trifásico 75 HP	1	Q 28 300,00
Línea de corte AC 100S	1	Q 475 760,58
Técnico especialista	2	Q 10 000,00
Insumos (General)	1	Q 10 000,00
Total :		Q 1 483 768,39

Fuente: elaboración propia.

Los costos de operación en que incurre todo el proyecto al momento de su implementación se ven detallados en la siguiente tabla, cabe mencionar que estos costos son aproximados, debido a la confidencialidad de la información se tomaron como parámetros de referencia los niveles de producción generales para la planta en el año 2017.

Tabla XLI. **Costos de operación**

Ítem	Costo	Descripción
1	Mano de obra	El número de operarios en la línea se reducirá a únicamente 5 personas entre los cuales ya se tiene considerado el encargado de la línea de producción, el técnico para ambas maquinarias nuevas y 3 operarios de los cuales uno de ellos estará encargado de la soldadora y pegacintas y los otros dos operarios serán los encargados del estibado y flejado de tuberías al final de la línea. Estos operarios quedarán sujetos al saldo mínimo establecido por el Ministerio de Trabajo para el sector no agrícola, el cual se establece para el año 2019 con el total de Q 2 794,96 sin tomar en cuenta la bonificación por productividad y horas extras reguladas por la empresa.
2	Mantenimiento	Los costos de mantenimiento se verán generalizados para toda la línea, envolviendo en su gran mayoría paros programados para mantenimiento preventivo cada 3 meses, con un costo aproximado de Q 1 200,00 y con un costo por paro mayor aproximado de Q8 500,00 para cada 6 meses.
3	Material de empaque y estibado	El material de estibado y empaque en esta línea repercute principalmente en rollos de fleje, específicamente de poliéster y sellos de fleje, al ser un material de uso recurrente en la línea su compra por mayor permite reducir costos con un costo mensual aproximado de Q 1 300,00.

Continuación de la tabla XLI.

4	Materia prima directa	La materia prima directa utilizada en la línea son bobinas de acero laminado en frío y calientes dependientes del tipo de tubo que se desea fabricar y que dependen directamente de la demanda del mercado. Con bobinas que tienen un precio aproximado de 3 toneladas por unidad y tomando como referencia el precio en el mercado de internación por importación de China que redondea a Q 6 200,00 por volumen para cada bobina. Y estimando un consumo mensual de aproximadamente Q 2 215 647,50 mensuales.
5	Consumo eléctrico	El consumo eléctrico se toma en consideración para la línea en estudio, con la utilización de los motores eléctricos trifásicos de corriente alterna se puede obtener hasta un ahorro en el consumo general de la línea de aproximadamente 10 % estimando un costo mensual próximo de Q 26 000,00
6	Consumo de agua	El consumo de agua se ve con un servicio común y una tarifa única para este tipo de industria, además de contener el propio sistema de tratamiento de agua el ahorro en consumo de agua es considerable, con un costo promedio mensual de Q 3 200,00 tomando en consideración también el consumo de agua para los servicios generales de la planta.
7	Materiales e insumos de oficina	El material e insumos de oficina se ven reflejado únicamente en todos los utensilios de oficina utilizados como papel, impresiones, grapas, <i>clips</i> , entre otros, redondeando un costo mensual de Q 500,00.
8	Insumos de limpieza	Los insumos de limpieza en la línea van fuera del mantenimiento y esencialmente se utilizan para mantener en orden el área de trabajo y las áreas relacionados con un costo aproximado de Q 300,00.

Fuente: elaboración propia.

Antes de tomar cualquier decisión ante la inversión de un proyecto, una industria tiene como objetivo principal obtener un beneficio por el desembolso de dinero que se realizará desde un inicio, este beneficio se obtiene a través de los intereses que deben ser agregados al valor neto de la inversión. En este caso se dejarán fuera los intereses bancarios ya que la inversión se tiene planificada para que la propia empresa pueda desembolsar el dinero para el desarrollo del proyecto en sus propias instalaciones y para beneficio propio.

Por ende, es posible definir este interés como la Tasa Mínima Aceptable de Retorno (TMAR), que se deduce de forma simple de la siguiente manera:

$$TMAR = \text{inflacion} + \text{premio al riesgo}$$

En donde la inflación está definida públicamente por el Banco de Guatemala según los análisis realizados en la bolsa de valores para el año presente, y el premio al riesgo expresa directamente el beneficio que obtiene el agente inversor por el desembolso del dinero, en tanto la fluctuación del sector donde se desea hacer la inversión no sea variada, en este caso en donde la empresa Industria de Tubos y Perfiles, S.A. es uno de los principales productores y proveedores al mercado de perfiles de acero, no existe una fluctuación variable e incluso va en aumento por la expansión de la urbanización en el país. Cada uno de estos porcentajes de interés están explícitos públicamente y algunos pueden ser determinados de forma empírica, tal es el caso del premio por riesgo de la inversión.

Tabla XLII. **Cálculo de interés**

Tasa de inflación	4,75 %
Tasa de riesgo	5,25 %
TMAR	10 %

Fuente: Banco de Guatemala. *Cálculo de interés*. <https://www.banguat.gob.gt/>. Consulta: mayo de 2019.

Para realizar un flujo de caja y por el tipo de inversión que se debe realizar se tomará un periodo de 5 años a partir de que se realice la inversión inicial, todo el desglose de costos anuales van en relación proporcional a los gastos emitidos para la línea en estudio, al igual que los ingresos van relacionados de forma proporcional a la línea en estudio no a ingresos generales de la planta, esto con el motivo de generar un análisis con un margen más realista, cabe mencionar que estos costos son totalmente próximos y no valores reales para mantener la confidencialidad de los datos.

Tabla XLIII. **Desglose de egresos anuales**

Mano de obra	Q 195 647,20
Mantenimiento	Q 21 800,00
Material de empaque y estibado	Q 15 600,00
Materia prima directa	Q 2 215 647,50
Consumo eléctrico	Q 312 000,00
Consumo de agua	Q 38 400,00
Materiales e insumos de oficina	Q 6 000,00
Insumos de limpieza	Q 3 600,00
Total anual:	Q 2 808 694,70

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. Flujo de caja

N	GASTOS	INGRESOS	FLUJO NETO	DEPRECIACIÓN	FLUJO ANTES DE I.	TASA 10.00%	
						FLUJO DESPUES DE I	VPN
0	Q 1,483,768.39		-Q 1,483,768.39		1,483,768.39	-Q 1,483,768.39	-Q 1,483,768.39
1	Q 2,808,694.70	Q 5,100,000.00	Q 2,291,305.30	Q 29,333.33	2,261,971.97	Q 1,590,093.99	Q 1,445,539.99
2	Q 2,808,694.70	Q 4,200,000.00	Q 1,391,305.30	Q 29,333.33	1,361,971.97	Q 969,093.99	Q 800,904.12
3	Q 2,808,694.70	Q 5,230,000.00	Q 2,421,305.30	Q 29,333.33	2,391,971.97	Q 1,679,793.99	Q 1,262,054.09
4	Q 2,808,694.70	Q 5,200,000.00	Q 2,391,305.30	Q 21,000.00	2,370,305.30	Q 1,656,510.66	Q 1,131,419.07
5	Q 2,808,694.70	Q 5,500,000.00	Q 2,691,305.30	Q 21,000.00	2,670,305.30	Q 1,863,510.66	Q 1,157,093.50
6	Q -	Q -	Q -	Q -	-	Q -	Q -

VPN	Q	6,872,620.57	Q	4,313,242.38
VAUE		Q1,578,004.41		
TIR		95%		

Fuente: elaboración propia, con base en: Kent Corporation. *Manual montaje A100 CS.*

<https://www.kentww.com/>. Consulta: julio de 2019.

4.2.3.1. Factores de costo contra beneficio

Este factor permite determinar porcentaje de ganancia y se tendrá por encima de un 100 % invertido o de una unidad monetaria invertida, es decir es posible determinar la ganancia que se obtendrá en el proyecto por cada quetzal invertido, para ello es importante determinar el VPN, concepto que se ampliará más adelante, tanto de ingresos como de los egresos durante el plazo de análisis, es decir:

$$B/C = \frac{VPN \text{ ingresos}}{VPN \text{ egresos}}$$

Tabla XLV. Valor presente neto para ingresos y egresos del proyecto

VPN [C]	VPN [I]
1483768.39	0
2553358.818	4636363.636
2321235.289	3471074.38
2110213.899	3929376.409
1918376.272	3551669.968
1743978.429	3415067.277
0	0
Q12,130,931.10	Q19,003,551.67
VPN	Q6,872,620.57

Fuente: Banco de Guatemala. *Cálculo de interés*. <https://www.banguat.gob.gt/>. Consulta: mayo de 2019.

Implementando la ecuación descrita en el apartado anterior es posible determinar la relación beneficio-costos que se obtendrá a partir de la inversión

inicial en el proyecto, de igual forma se puede tomar como parámetro las siguientes relaciones para determinar la viabilidad del mismo:

Si la relación $b/c > 1$ se puede determinar que el proyecto es viable para el plazo definido, en caso contrario si la relación $b/c < 1$ se puede deducir que el proyecto no es viable, ya que por cada unidad monetaria invertida se estaría perdiendo cierto porcentaje. Realizando la relación y con el cálculo del valor presente neto para los ingresos y egresos en el plazo definido se puede obtener el siguiente resultado:

$$\frac{B}{C} = \frac{19\,003\,551,67}{12\,130\,931,10} = 1,566536959$$

Con el resultado obtenido se podría determinar que el proyecto en análisis es viable para la inversión planteada, si se realiza una relación unitaria directa se puede deducir que por cada quetzal invertido en el proyecto se obtendrá una ganancia de aproximadamente el 56 % sobre esta unidad invertida.

4.2.3.2. Punto de equilibrio

Este factor permitirá determinar en qué punto los gastos operacionales, de producción, entre otros, serán totalmente equitativos con los ingresos obtenidos por ventas o prestación de bienes y servicios. Para este caso se toma como el punto neutro en el cual los egresos serán iguales a los ingresos obtenidos por los servicios prestados a los clientes.

4.2.3.3. Periodo de devolución

El periodo de devolución es un parámetro o indicador que permite determinar el plazo de tiempo dentro del rango de estudio, en el cual se recuperará el total de dinero invertido para el proyecto en estudio. Para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$\textit{Periodo de devolucion} = \frac{\textit{Inversion inicial}}{\textit{Ingresos} - \textit{Costos}}$$

Para el plazo en estudio se determinó que a partir del primer año se recuperaría el 100 % de la inversión inicial establecida. 100 %

4.2.3.4. Valor presente neto

El valor presente neto en un proyecto es un factor que permite desde un parámetro de volumen de inversión a futuro la viabilidad de una inversión en el presente, es decir traer al presente valores futuros en su equivalente, si la relación de los ingresos y egresos emitidos durante el plazo evaluado, que para este caso fue de forma anual da un valor positivo al trasladarlo a un presente, quiere decir que la inversión es viable.

En este caso es posible determinar que a partir del primer año el valor presente neto en estudio es positivo para un valor de 1 445 539,99. Siendo esto un valor mayor a 1, establece que la inversión planteada para el año de valuación 0 es completamente viable y el proyecto se puede desarrollar sin generar pérdidas considerables para la empresa.

El valor presente neto se calcula con una fórmula que relaciona específicamente los ingresos y egresos para una unidad de tiempo en la que se esté realizando el estudio de inversión, la ecuación se detalla a continuación para que se tenga un conocimiento de cómo se calculó.

$$VPN = -P + \sum \frac{\text{Ingreso neto}}{(1 + i)^n}$$

En donde se puede definir lo siguiente:

- P: inversión inicial
- i: tasa de interés (TMAR)
- n: lapso (tiempo de medición como años, meses y demás)

4.2.3.5. Tasa interna de retorno

Esta es una tasa interna que se expresa como una tasa de rendimiento o de ganancia interna para el inversionista en el plazo de un año, en este caso se evalúa desde el punto en el cual el rendimiento que genera el proyecto por sí mismo es mayor o al menos igual que la tasa de ganancia solicitada por el inversionista, el proyecto para el cual se está realizando el desembolso o inversión monetaria es viable y confiable porque no presentará pérdidas para este, por lo tanto se puede medir la viabilidad del proyecto utilizando este factor de la siguiente forma:

$$TMAR \leq TIR = \text{EL PROYECTO ES VIABLE}$$

$$TMAR \geq TIR = \text{PRECISO RECHAZAR LA INVERSION}$$

Si se observa la tabla XLIV, en la cual se ve desglosado el flujo de caja para el plazo de 5 años de análisis, según los cálculos estipulados se establece que la tasa interna de retorno es del 95 %, es decir que en un año se estaría percibiendo una ganancia del 95 % a partir de lo invertido, por lo tanto si se aplica la relación anteriormente descrita se obtendría:

$$TMAR (10 \%) \leq TIR (95 \%) = PROYECTO VIABLE$$

4.3. Depreciaciones

Es la baja de precio que se ve referida a la utilización exclusivamente de los activos fijos de una empresa, en este caso se ve como la maquinaria que se reincorporará a la línea en estudio para el aumento de su producción que se traduce en aumento de eficiencia.

En sí un activo fijo es todo aquel bien de la empresa, ya sea tangible o intangible, que no se convertía en líquido a corto plazo, es decir aquel bien que no está destinado a su venta si no que será de utilidad para la empresa en el desarrollo de sus procesos, por lo tanto la depreciación de los bienes es la disminución del precio de estos activos por uso, paso del tiempo u obsolescencia tecnológica del mismo. Para la depreciación ligada a este proyecto se tomarán como bienes la soldadora TIG incorporada al proceso de pegacintas y al carro de corte de uso múltiple incorporado en el proceso final de corte y estibado de tuberías.

Según el decreto 26-92 establecido por la Ley del ISR vigente desde el año 2012 hasta la actualidad, según el artículo 19 todo aquel equipo o bien inmueble que no pertenezca al grupo de infraestructura, plantaciones, instalaciones no adheridas a los inmuebles, semovientes y equipo de

computación tendrá un porcentaje máximo de depreciación del 10 % anual, esto quiere decir que en un plazo máximo de 10 años después de adquiridos los equipos para la planta, estos habrán perdido el 100 % de valor real.

Entonces si se analiza desde el punto o periodo de estudio económico para el plazo de 5 años, el equipo obtenido para la sección de pegacintas y el equipo de corte para la sección de corte y estibado de tubo habrán perdido el 50 % de su valor total por motivo de la depreciación económica establecida por la Ley del ISR en Guatemala.

4.4. Riesgos

Desde el punto de vista de la implementación de un proyecto un riesgo va ligado directamente con todos aquellos fenómenos o hechos que pueden llegar a perjudicar de forma negativa al desarrollo del mismo, o también todas aquellas oportunidades que pueden permitir mejorar a partir de la planificación y estructuración el desarrollo del proyecto.

El análisis de los riesgos en la planificación de un proyecto se desarrolla como una herramienta que con apoyo de la incertidumbre de los hechos manejados de forma sistemática pueden ayudar a disminuir en gran porcentaje todos aquellos eventos que es posible prever desde la posibilidad y el análisis para que no afecten el desarrollo.

- Identificación de los riesgos
 - La contratación de un asesor técnico externo proveniente de la empresa proveedora de la soldadora TIG, Guild International, debido

a la complicación en el uso y autodidáctica del aprendizaje en el funcionamiento del equipo que representará un costo.

- La contratación de un técnico para el montaje, instalación y asesoría de funcionamiento para el carro de corte de múltiple funcionamiento en la línea.
- Fabricación de *flange* a medida para los ejes de los nuevos motores de transmisión y los ejes de las cajas reductoras por deficiencia de acoplamiento.
- Daños en el carro halador *winch* por el aumento de la velocidad en el tiraje del pegacintas.
- Desmontaje de la guillotina utilizada para las tuberías de diámetro grande, que será sustituido por el carro de corte nuevo y que pueda representar un desembolso fuera de lo estimado.
- Aumento del periodo de mantenimiento a la caja reductora por el aumento de entrega de potencia y rpm.
- Cambio a un nuevo fluido refrigerante para el carro de corte que tenga propiedades aptas para los componentes no ferrosos del nuevo carro de corte.

Tabla XLVI. Análisis cualitativo de los riesgos

Riesgo identificado	No probable	Poco probable	Muy probable
Poco conocimiento para uso de soldadora TIG por parte de operarios locales.			X
Poco conocimiento de operadores para instalación y montaje de nuevo carro de corte, lo que requería la contratación de un asesor externo.			X
Deficiencia de acople entre motores de corriente alterna a instalar y eje de caja reductora.			X
Daños en rodamientos y guías de carro halador <i>winch</i> por aumento de carga y velocidad.		X	
Complicación en el desmontaje de la guillotina utilizada para cortes de tubería de diámetro grande.	X		
Aumento en periodos de mantenimiento para caja reductora por aumento de rpm.		X	
Cambio de refrigerante y lubricante de mecanizado en el carro de corte por daño a elementos no ferrosos.	X		

Fuente: elaboración propia.

En la cuantificación se tomarán en cuenta únicamente todos aquellos riesgos que involucran un gasto o desembolso extra a lo planificado para el proyecto.

Tabla XLVII. **Cuantificación de los riesgos**

Riesgo	Cuantificación
Contratación de un asesor externo para utilización de nuevo equipo de soldadura en el área de pega cintas.	Q 8 000,00
Contratación de un asesor técnico externo para el montaje e instalación del equipo de carro de corte.	Q 8 000,00
Fabricación de un <i>flange</i> a medida que permita acoplar el eje de los nuevos motores con el de las cajas reductoras.	Q 3 600,00
Incremento de mantenimiento en cajas reductoras por aumento de rpm.	Q 1 500,00
Daño a carro halador <i>winch</i> por aumento en velocidad de tiraje.	Q 1 000,00
Sustitución de lubricante y refrigerante por uno que no dañe elementos no ferrosos.	Q 2 000,00

Fuente: elaboración propia.

La clasificación cualitativa y cuantitativa de los riesgos plasmados para el proyecto permite enfocarse para crear planes de contingencia o simplemente establecer y tomar en cuenta esos costos extras que se pueden generar por estos. Ahora con toda esta información más estructurada y detallada se puede dar un seguimiento posterior al momento de iniciar con la gestión y desarrollo del proyecto, pero ya quedando a disposición de todos los involucrados en el mismo.

5. SEGUIMIENTO A TRAVÉS DE LA MEJORA CONTINUA

Para mantener los estándares de calibración en la producción de tubería para la línea en estudio es necesario establecer los parámetros de calibración para el correcto funcionamiento de los equipos al momento de ejercer su función dentro del periodo de producción, estos parámetros pueden ser preestablecidos por el proveedor, permiten mediante una calibración estática establecer todos los parámetros de ámbito mecánico y eléctrico para que el equipo desarrolle su función sin problema alguno.

La calibración de estos elementos se debe realizar de forma periódica para que las lecturas de control realizadas sean lo más verídicas posibles y que el control de producción sea más detallado para un correcto plan de mantenimiento preventivo o predictivo. La calibración de los equipos permite lo siguiente:

- Confirmar que existe algún daño en el equipo debido a las lecturas obtenidas y que se reflejan directamente en la utilidad de producción del equipo.
- Determinar la incertidumbre mediante la estandarización del equipo, lo que permite tener un respaldo al momento de producir las tuberías.

5.1.1. Calibración de carro de corte

La metodología de calibración que se utilizará para el carro de corte será la calibración estática, es decir que todos los parámetros a los que será seteado el equipo están estandarizados específicamente por el proveedor del mismo,

garantizado así el mejor funcionamiento y la mayor utilidad del equipo durante el periodo de producción. Para ello se clasificará cada uno de los parámetros seccionados en área neumática, eléctrica y mecánica. De esta manera se podrán identificar de mejor manera cada uno de los parámetros de calibración en el equipo según recomendaciones.

5.1.1.1. Calibración de elementos mecánicos

Se presenta a continuación la calibración de elementos.

Tabla XLVIII. **Parámetros mecánicos de calibración**

Tolerancia en largo de tubería.	±0,7874 mm por cada 2 metros de largo.
Resistencia última a la tensión por cada tubería.	80 000 PSI, por inducción de fluido.
Altura de instalación a punto de corredera.	1 metro por encima del nivel del piso.
Presión neumática en mangueras.	5-6 Bar.

Fuente: elaboración propia, con base en: Kent Corporation. *Manual montaje A100 CS.*

<https://www.kentww.com/>. Consulta: julio de 2019.

Tabla XLIX. **Parámetros de calibración en montaje**

Temperatura ambiental continua	5 °C Min / 35 °C Max
Temperatura promedio en producción	< 30 °C / 24 hrs
Humedad ambiental	80 % sin condensación

Fuente: elaboración propia, con base en: Kent Corporation. *Manual montaje A100 CS.*

<https://www.kentww.com/>. Consulta: julio de 2019.

5.1.1.2. Calibración de elementos eléctricos

La calibración de estos elementos va ligada directamente a todos los componentes eléctricos que forman parte del funcionamiento del carro de corte, entre ellos se puede especificar el motor alimentador general y los motores auxiliares que dan funcionamiento a las sierras de corte, además:

Tabla L. **Parámetros de calibración eléctrica**

Voltaje	480 VAC trifásico A 60 Hz
Voltaje de sistema auxiliar	180 VAC monofásico A 60 Hz
Voltaje de válvulas solenoides	24 VDC

Fuente: elaboración propia, con base en: Kent Corporation. *Manual montaje A100 CS.*

<https://www.kentww.com/>. Consulta: julio de 2019.

5.1.2. Calibración de componentes en torres de formado

Las torres de formado y rectificado en la línea de estudio utilizan un mecanismo de control y calibración bastante sencillo, únicamente un panel general mediante un variador de velocidad permite determinar la velocidad de salida en los ejes de transmisión que entregan potencia a partir de las cajas reductoras, junto a un odómetro en este panel únicamente es necesario ajustar la velocidad según las velocidades estandarizadas por el departamento de producción de la planta.

Según los estándares realizados en el año 2014, las velocidades óptimas de producción promedio para una producción estándar están detalladas en la tabla presentada a continuación.

Figura 33. Estándares de calibración para velocidad de producción

		HOJA DE VELOCIDADES POR MÁQUINA Y PRODUCTO	INTUPERSA	Página 1 de 1
YODER 35-2			Versión: 0	
Elaborado por: Lucinda Paricio		Revisado por: José Sánchez	Aprobado por:	
			Fecha de Emisión: 31/10/2014	

PRODUCTO	VELOCIDADES MÁXIMAS (pies/min)
1^o Redondo	
cañería carretas 3.00 1.2 mm	71
mecánico LG 1.5	83
mecánico 1 mm	67
mecánico 1.5 mm	76
ligero negro 2 mm	86
ligero negro 2.4 mm	78
mediano negro 2.9 mm	72
mediano negro 3.2 mm	72
cédula 40 negro 3.4 mm	67
1 1/4^o Redondo	
bananero 6.7 2.9 mm	66
bananero 6.7 mm	75
mecánico 1 mm	86
mecánico 1.5 mm	78
ligero negro 2.4 mm	74
mediano negro 2.9 mm	65
cédula 40 negro 3.4mm	62
1 1/2^o Redondo	
mecánico 1 mm	74
mecánico 1.5 mm	81

PRODUCTO	VELOCIDADES MÁXIMAS (pies / min)
ligero negro 2.7 mm	74
mediano negro 2.9 mm	54
cédula 40 negro 3.4 mm	56
2^o Redondo	
ligero negro 2.7 mm	56
mecánico 1.5 mm	58
mediano negro 3.4 mm	45
4^o Redondo	
ligero negro 3.4 mm	57
1 1/2^o Estructural	
cuadrado 1 mm	72
cuadrado 1.3 mm	72
cuadrado 1.8 mm	74
2^o2 Estructural	
cuadrado 1.5 mm	75
cuadrado 1.8 mm	71
cuadrado 2.4 mm	70
4*4 Estructural	
cuadrado 1.5 mm	41
cuadrado 1.8 mm	40
cuadrado 2.4 mm	33
72*72 Estructural	
cuadrado 1.2 mm	52
cuadrado 1.5 mm	51

Fuente: Departamento de Producción. Archivos de la línea Yoder 35-2, año 2017. Consulta: julio de 2019.

5.1.3. Calibración de componentes en soldadora TIG

Como se especificó en el apartado descriptivo del equipo de soldadura a utilizar en la sección de pegacintas, este es un equipo unitario de cuerpo de montaje y desmontaje único, además de tener una simple instalación únicamente necesita de corriente eléctrica para su trabajo, para ello únicamente se especificará en este apartado los parámetros eléctricos y de funcionamiento común para el mismo.

Tabla LI. **Parámetros eléctricos y neumáticos de soldadora ME**

Voltaje de alimentación	240 VAC
Presión neumática de corte	3-5 bar

Fuente: elaboración propia, con base en: Guild International. *Manual de instalación*. Consulta: julio de 2019.

Una de las principales ventajas de la nueva soldadura para la sección de pegacintas deriva de que es un equipo totalmente automatizado en donde únicamente es necesario parametrizar los tiempos de soldadura para los espesores de la lámina que ingresan al equipo, todo lo demás el equipo lo hace mediante un sistema computarizado de última generación en donde se reduce la cantidad de operarios que eran necesarios en esta etapa, para así reducir costos en el pago de estos.

La soldadura trabaja con tiempos distintos de soldadura, los cuales dependen directamente del espesor de lámina que debe soldar y la longitud lineal, la cual no debe superar un pie y medio de largo, para tubos de aproximadamente 8 pulgadas de diámetro, los cuales no están dentro de la producción de esta línea, pero que de igual forma son de capacidad para la

soldadora. Como se explicó con anterioridad la soldadora únicamente necesita setear los parámetros de preparación de lámina y los espesores de lámina próximos que se manejan para que el resto del sistema automatizado se encargue de terminar el trabajo de pegado de cintas, los parámetros establecidos por el proveedor son los siguientes:

Tabla LII. **Parámetros iniciales**

Tiempo de preparación de cinta	Sett general: 50 segundos
Espesores ≤ 1 mm	Velocidad de soldadura: 17 ipm
Espesores $\leq 2,2$ mm	Velocidad de soldadura: 12 ipm
Espesores $\leq 3,4$ mm	Velocidad de soldadura: 7 ipm

Fuente: elaboración propia, con base en: Guild International. *Manual de instalación*. Consulta: agosto de 2019.

5.2. Consideraciones para fallos de equipos

Cada uno de los proveedores para los equipos que se están tomando en consideración para su adquisición en la mejora de eficiencia de producción en la línea de estudio, están certificados por normas internacionales de funcionamiento y seguridad para garantizar el correcto funcionamiento de los mismos, sin embargo las piezas de utilidad mecánica y algunas eléctricas no están precisamente construidas para funcionamiento continuo sin presentar deterioro, todo equipo está construido con elementos que tienen un tiempo de vida estimado e incluso con elementos que se conocen como piezas de sacrificio en donde su tiempo de vida útil es menor al promedio estandarizado y es necesario un correcto mantenimiento para que estos alcancen el tiempo de vida útil establecido por el fabricante. Generalmente los fallos mecánicos en los equipos van ligados directamente a los elementos en movimiento sometidos a cargas y esfuerzos mecánicos, tanto constantes como periódicos, conocidos

también como cargas de fatiga, y los fallos eléctricos más comunes están ligados a los elementos que se encargan de alimentar el funcionamiento de estos, idealmente todas estas fallas son de fácil detección y reparación, siempre y cuando se digan los lineamientos establecidos por el fabricante en los manuales respectivos.

5.2.1. Fallas de tipo mecánico

Como se mencionaba con anterioridad las fallas mecánicas están ligadas directamente a todos aquellos elementos que se encuentran en constante movimiento o sometidos a cargas estáticas o dinámicas para que el equipo desarrolle su función. Estas fallas son completamente inevitables, ya que el equipo del que forman parte está en constante movimiento por el tipo de producción al que están incorporados. Entre las fallas mecánicas más comunes para los equipos en general es posible encontrar las siguientes:

Tabla LIII. **Fallas de tipo mecánico generales segmentadas por equipo**

Soldadora TIG	<ul style="list-style-type: none"> • Sellos • Guías • Cilindros de accionamiento hidráulico
Torres de formado	<ul style="list-style-type: none"> • Rodamientos • Fajas de transmisión • Poleas • Ejes ranurados • Acoples • Sellos mecánicos • Engranajes reductores • Ejes de transmisión de potencia
Carro de corte	<ul style="list-style-type: none"> • Guías y correderas • Mordazas • Rodamientos • Ejes de transmisión • Fajas de transmisión

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Fallas de tipo eléctrico

Las fallas eléctricas en los equipos son todas aquellas fallas que impiden el funcionamiento total o parcial del equipo que necesita de una fuente eléctrica para su funcionamiento. Las fallas totales son aquellas fallas que por errores o fallas por sobrecargas o deficiencia de transmisión eléctrica en el equipo pueden generar un paro completo que, cuantificable, supone un costo alto. Por otro lado, una falla parcial es la falla de un elemento eléctrico o electrónico de los equipos automatizados en funcionamiento que impiden el correcto funcionamiento y que una de las funciones o elementos no funciona con total disposición. Entre las fallas más comunes del tipo eléctrico se pueden definir las siguientes:

- Falla en la fuente eléctrica de alimentación
- Deficiencia en la tensión de alimentación
- Cables de alimentación sueltos
- Cables de conexión interna sueltos o dañados
- Picaduras en los cables de alimentación
- Falsos contactos por suciedad
- Fusibles quemados

Estas fallas eléctricas pueden ser evitadas si se realiza un correcto mantenimiento a cargo del departamento de mantenimiento eléctrico de la planta, es bueno realizar revisiones rutinarias por los diferentes aspectos ambientales y de funcionamiento a los que están sometidos los equipos. Evitando estas fallas eléctricas se puede mantener un porcentaje adecuado de utilidad en la planta.

5.3. Mantenimiento de equipo

El mantenimiento es todo aquel proceso de control que permite mantener la utilidad de los equipos y alargar la vida útil mediante la corrección de errores que afectan la funcionalidad eléctrica o mecánica de los mismos. Un buen mantenimiento preventivo permite la correcta conservación de los equipos y es primordial para el departamento de mantenimiento que este se cumpla de forma periódica.

5.3.1. Planificación de mantenimiento

Una correcta planificación de mantenimiento permite evitar averías o afectaciones graves a los equipos evitando el fin de la vida útil de estos. Uno de los parámetros más fáciles de utilizar son los establecidos por los proveedores de los equipos en los manuales de mantenimiento, estos parámetros implementados por los proveedores son tiempos calculados en horas de trabajo en que se considera necesario realizar el cambio de los elementos que sufren desgaste o simplemente de consumibles necesarios para la funcionalidad del equipo.

La planificación permite tener un control prudente en la funcionalidad de un equipo pero que, mal aplicado acortando la utilidad de los consumibles o piezas de desgaste y sacrificio que necesiten un cambio, pueden significar un aumento en los costos de mantenimiento general. Es conocido que el sector industrial depende de una planificación de mantenimiento adecuada por la sencilla razón de que las averías de este régimen son bastante costosas, por lo tanto, se depende de un correcto mantenimiento por las siguientes razones:

- Riesgo para el personal operativo involucrado

- Daños irreparables en maquinaria costosa
- Pérdidas de producción
- Deficiencia en utilidad

Como mencionaba con anterioridad gran parte de la planificación de un mantenimiento preventivo viene pautada por el proveedor en los manuales que se proporcionan con la obtención de la maquinaria, sin embargo para una correcta planificación de mantenimiento se debe especificar lo siguiente:

- Definir activos, cada uno de los que se encuentran involucrados en el proceso, en especial los críticos para la producción.
- Definir procedimientos, estos pueden ser establecidos por el departamento de producción.
- Definir la cadencia del equipo, generalmente son pautas establecidas por el propio proveedor o por asesores y técnicos especializados.

Para definir un plan de mantenimiento preventivo básico en los equipos de la línea en estudio se aplicará un mantenimiento con paro periódico y mayor de la siguiente manera:

- Cada 2 meses se realizará mantenimiento preventivo en toda la línea Yoder 35-2.
- Cada 6 meses se realizará un paro mayor de mantenimiento.

Con estos parámetros se puede implementar la siguiente guía de control.

5.3.2. Formato para control de mantenimiento

Para el formato de control de mantenimiento se separarán los dos procesos mediante el mantenimiento preventivo periódico y el paro mayor de mantenimiento, para ello se listarán los activos que entrarán en análisis para tal proceso. A continuación, se establece un formato estándar para el control periódico del mantenimiento de la maquinaria en la línea Yoder 35-2.

Tabla LIV. Verificación de mantenimiento de pegacintas

HOJA DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BÁSICO					
FECHA;		Pegacintas/ Yoder 35-2			
Actividad	Diario	Bimensual	Semestral	Observaciones	
Limpieza					
Estado de cableado					
Estado de electrodo					
Estado panel de control					
Estado de cremalleras					
Estado de poleas y tensores					
Niveles de tanques para gases de soldadura					
Estado de conductos neumáticos					
Engranajes y piñones					
Estado de ejes					
Niveles de Presión hidráulica					

Fuente: elaboración propia.

Tabla LV. Verificación de mantenimiento de torres de formado

HOJA DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BÁSICO				
FECHA:		Pega cintas/ Yoder 35-2		
Actividad	Diario	Semanal	Mensual	Observaciones
Limpieza				
Verificación de rodos formadores				
Verificación de espaciadores y alineadores de rodos				
Estado de cableado eléctrico				
Verificación de bomba de fluidos refrigerantes				
Nivel de refrigerante y lubricante				
Revisión de afilado de buril en torre de rectificado				
Nivel de aceite de caja reductora				
Estado de ejes de transmisión, ejes caradan				
Engranajes de caja reductora, piñones corona y piezas de sacrificio				
Estado de aceite de caja reductora				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. Verificación de mantenimiento de carro de corte

HOJA DE VERIFICACIÓN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO BÁSICO				
FECHA:		Pegacintas/ Yoder 35-2		
Actividad	Diario	Semanal	Mensual	Observaciones
Limpieza de depósitos				
Limpieza de cremalleras y guías				
Estado de conexión eléctrica				
Estado y afilado de sierras				
Presión hidráulica				
Estado de mangueras				
Revisión de holgura de mordazas				
Estado físico de panel de control				
Revisión electrónica de panel de control				
Revisión de motor eléctrico de sierras de corte				

Fuente: elaboración propia.

Estos recuadros son *checklist* que permiten generar un control de mantenimiento preventivo básico para cada uno de los elementos que hacen funcional y productiva la línea en estudio, se toman específicamente como apoyo para los operarios encargados del departamento de mantenimiento.

CONCLUSIONES

1. El principal factor que permitió definir la ineficiencia productiva de la línea en estudio fue cada uno de los indicadores de producción establecidos para la medición del rendimiento, entre ellos se pueden encontrar las toneladas producidas, y la utilidad y pérdida metálica, los cuales englobados presentaban un deficiencia productiva del 10 %, inferior a la esperada.
2. El cuello de botella productivo representado desde un panorama general de la planta se ve ligado directamente a la línea Yoder 35-2, la cual a pesar de obtener los indicadores productivos más bajos presentaba interinamente un cuello de botella en tres de las cuatro secciones que componen la secuencia productiva de tuberías en diferentes diámetros, con el equipo más obsoleto presentaba un mayor índice en paros de mantenimiento, lo que repercutía en un menor índice productivo y una mayor producción de material desechado conocido como merma.
3. Se generó una proyección empírica tomando como punto de relación a una de las líneas hermanas en cuestión de productividad de la planta, esto con el propósito de analizar los parámetros ideales máximos que deben ser estandarizados para que la línea en estudio presentara un aumento en su eficiencia de forma real y posible, con estos parámetros y tomando en consideración las limitantes presentes, se determinó que era posible alcanzar un aumento del 12 % en la productividad de la línea.

4. Una de las principales herramientas utilizadas para determinar la viabilidad de esta propuesta fue un análisis financiero a corto plazo utilizando como referencia únicamente la línea en estudio, esto para obtener un índice lo más certero posible respecto a los valores estimados de costos e ingresos obtenidos por la productividad de la línea, con la cual se determinó que el proyecto puede ser totalmente viable bajo condiciones ideales en las que la inversión inicial puede ser recuperada en un lapso menor a un año, obteniendo así un porcentaje de relación beneficio-costos de aproximadamente el 95 %.

5. La mejora continua se planteó tomando como perspectiva la correcta aplicación del mantenimiento preventivo y predictivo para cada uno de los procesos y etapas productivas dentro de la línea en estudio, así como una correcta planificación e implementación de mantenimiento teniendo como apoyo manuales y experiencia progresiva de los usuarios, lo cual permite determinar acciones e implementaciones dentro de la maquinaria para que esta desarrolle su función de la mejor manera evitando el menor consumo de insumos.

RECOMENDACIONES

1. Desglosar los indicadores productivos de la línea para cada uno de los sectores que conforman el proceso permite tener un parámetro general para determinar qué sección es la que afecta de mayor manera la productividad general en la línea.
2. Automatizar en cierto porcentaje los procesos más sencillos que conllevan la intervención de operarios de forma innecesaria, es de los primeros pasos a desarrollar para aumentar la eficiencia de producción.
3. Tomar como referencia la utilidad de la línea hermana en cuestión de productividad permite tener un parámetro de la capacidad que puede llegar a tener la línea en estudio si se aplicaran y explotaran de forma eficiente cada uno de los recursos que se plantean en este proyecto.
4. Siendo tomados valores de referencia estimados para el análisis financiero que determinará la viabilidad del proyecto, se podría respaldar la misma utilizando como estrategia el seccionar la inversión inicial del proyecto general, atacando en primera instancia el sector que más afectaba la eficiencia de la línea: la sección de alimentación de materia prima y la eficiencia de alimentación en las torres de formado.
5. Establecer con prontitud el correcto plan de mantenimiento para cada una de las secciones manipuladas en la línea productiva, y ejercerlo con el mayor provecho y el menor consumo de insumos, puede generar una

mejor preservación de los equipos y una mayor respuesta en funcionamiento.

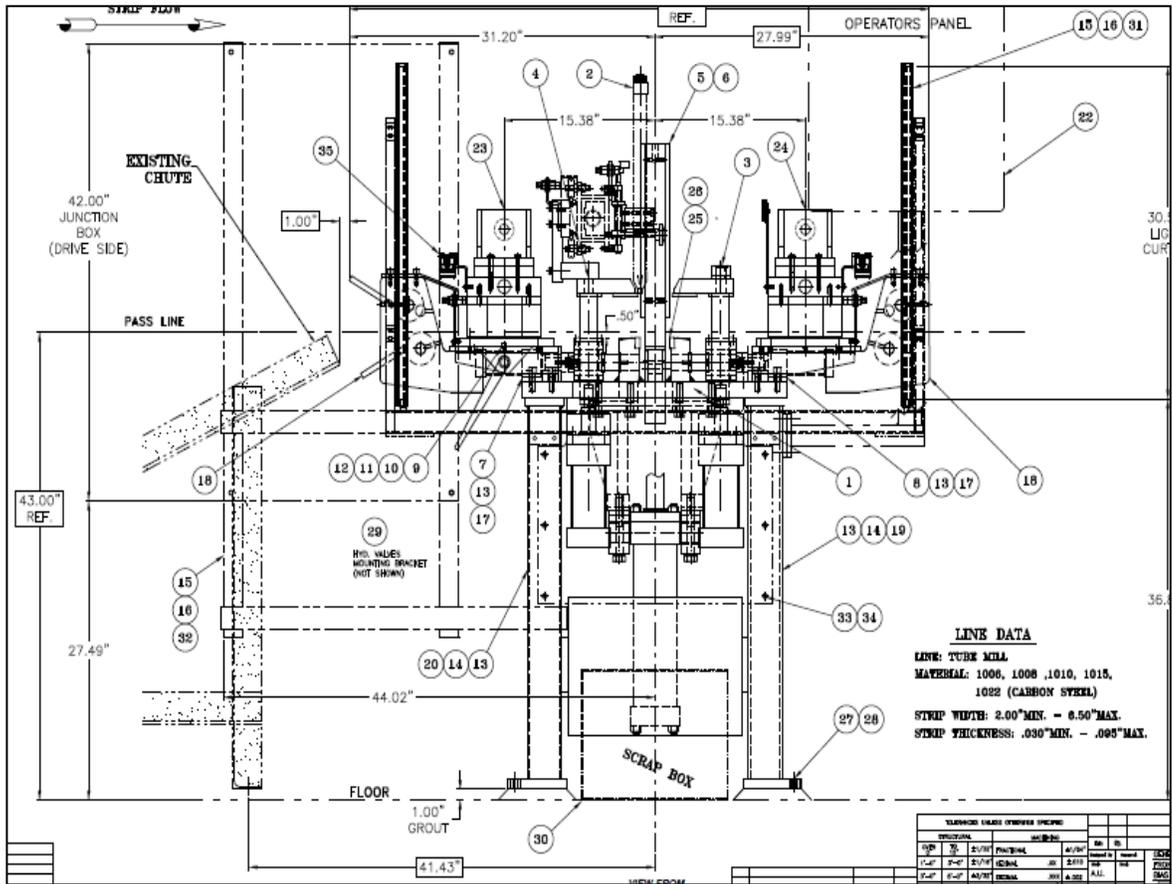
BIBLIOGRAFÍA

1. BARCA URBINA, Gabriel. *Fundamentos de ingeniería económica*. 4a ed. México: McGraw-Hill Interamericana, 2007. 197 p.
2. BAUSTEMER, Theodore. *Manual del ingeniero mecánico*. 8a ed. México: Hispano Americana, 1980. 512 p.
3. Corporación Aceros de Guatemala. *Información*. [en línea]. <<https://www.corporacionag.com/>>. [Consulta: 26 de marzo de 2019].
4. Industria de tubos y perfiles, S.A. *Resumen de módulo de ritmos de producción horaria (EPH)*. [en línea]. <<https://es.panjiva.com/Industria-De-Tubos-Y-Perfiles-SA/31741608>>. [Consulta: 29 de julio de 2019].
5. LENERT, Falk y SCHLOSSORSCH, Gockel. *Metalotecnica fundamental*. 1a ed. Barcelona, España: Reverte, 1985. 380 p.
6. LUCAS PENAGO, Óscar Vinicio. *Instalación y aplicación de anclajes mecánicos y epóxico de inyección*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1999. 171 p.

7. PALACIOS MORALES, Lucinda Cristina. *Propuesta para mejorar la productividad en una industria de tubos, a través de la estandarización de ritmos de producción horaria*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánica Industrial. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017. 181 p.
8. CNEE. *Pliegos tarifarios de energía eléctrica*. [en línea]. <<http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/pliegos.php>> [Consulta: 11 de octubre de 2018].
9. ROS MORENO, Antonio. *Mantenimiento industrial*. Cartagena, Colombia: Murcia. 2010. 191 p.

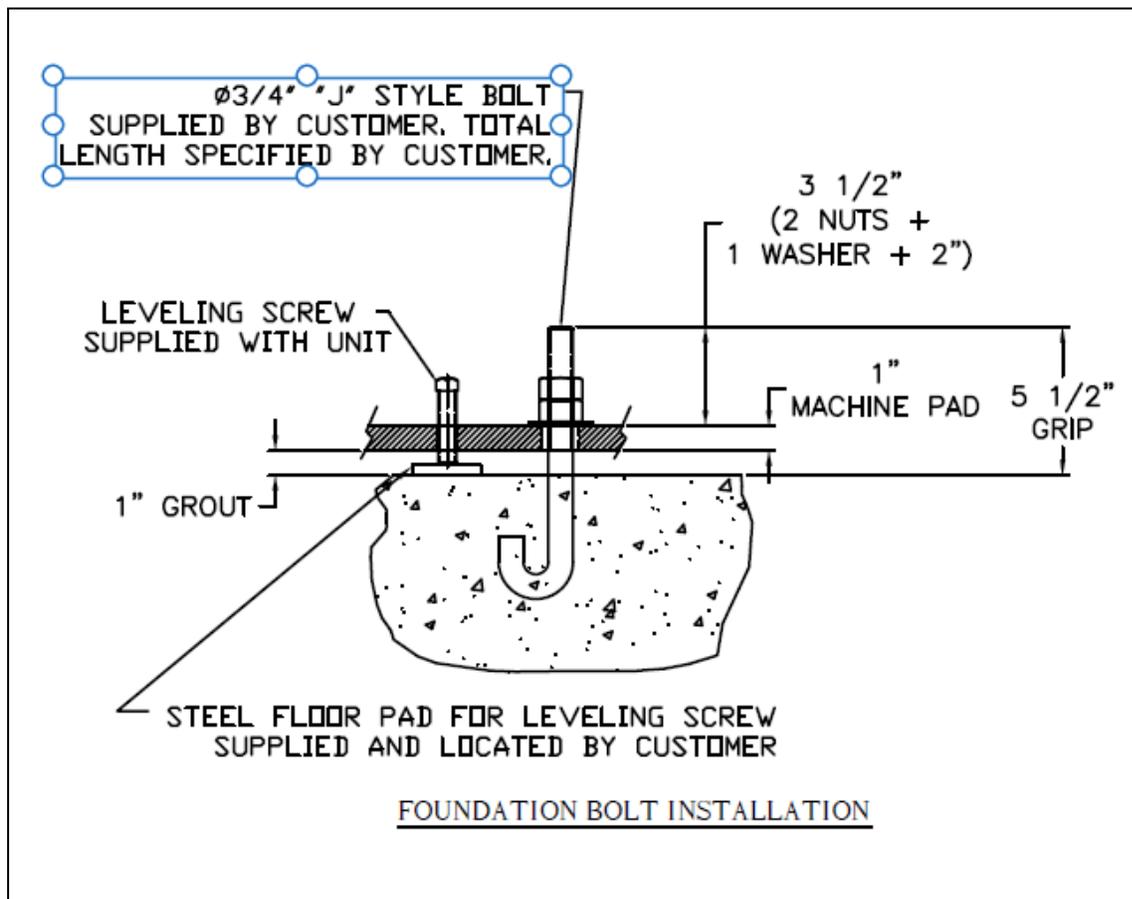
ANEXOS

Anexo 1. Plano general de soldadora Guild International



Fuente: Guil International. *Manual de instalación modelo M70-100-133.10p.* Consulta: 20 de agosto de 2019.

Anexo 2. **Normativa de anclaje y montaje de carro de corte ACCS**



Fuente: Guild International. *Manual de instalación No.1 flyingcutoff machine typeA100 CS.* 22p.

Consulta: 20 de agosto de 2019.