



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

**ANÁLISIS Y MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO AL CARBONO,
UTILIZANDO SIERRAS CIRCULARES DE FRESA LENTA EN MOLINOS INDUSTRIALES,
EN UNA EMPRESA QUE FABRICA TUBERÍA ESTRUCTURAL, INDUSTRIAL Y CAÑERÍA**

Mario Alejandro Posadas Morales

Asesorado por el Ing. Julio César Rivera Peláez

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS Y MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO AL CARBONO,
UTILIZANDO SIERRAS CIRCULARES DE FRESA LENTA EN MOLINOS INDUSTRIALES,
EN UNA EMPRESA QUE FABRICA TUBERÍA ESTRUCTURAL, INDUSTRIAL Y CAÑERÍA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO ALEJANDRO POSADAS MORALES

ASESORADO POR EL ING. JULIO CÉSAR RIVERA PELÁEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

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. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Alvarado de León
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
EXAMINADOR	Ing. Leonel Estuardo Godínez Alquijay
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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:

**ANÁLISIS Y MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO AL CARBONO,
UTILIZANDO SIERRAS CIRCULARES DE FRESA LENTA EN MOLINOS INDUSTRIALES,
EN UNA EMPRESA QUE FABRICA TUBERÍA ESTRUCTURAL, INDUSTRIAL Y CAÑERÍA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 13 de agosto de 2018.



Mario Alejandro Posadas Morales

Guatemala, 21 de enero del 2019

Ingeniero

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

Respetable Ingeniero:

Por este medio hago constar que yo, **Julio César Rivera Peláez**; he asesorado al estudiante en **Ingeniería Mecánica Industrial** de la Universidad de San Carlos de Guatemala, **Mario Alejandro Posadas Morales**, quien se identifica con registro académico **201403640** y código único de identificación **2929263590101**, en la revisión de su trabajo de graduación de tesis denominado: **“ANÁLISIS Y MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO AL CARBONO, UTILIZANDO SIERRAS CIRCULARES DE FRESA LENTA EN MOLINOS INDUSTRIALES EN UNA EMPRESA QUE FABRICA TUBERÍA ESTRUCTURAL, INDUSTRIAL Y CAÑERÍA”**.

En virtud de lo anterior, su trabajo de graduación tesis lo doy por aprobado.

Sin otro particular y agradecido por la atención brindada.

Atentamente,



Julio César Rivera Peláez

Ingeniero Mecánico Industrial

Colegiado número: 1225

ING. MECÁNICO INDUSTRIAL
JULIO CÉSAR RIVERA PELÁEZ
COLEGIADO No. 1225



REF.REV.EMI.044.019

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS Y MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO AL CARBONO, UTILIZANDO SIERRAS CIRCULARES DE FRESA LENTA EN MOLINOS INDUSTRIALES EN UNA EMPRESA QUE FABRICA TUBERÍA ESTRUCTURAL, INDUSTRIAL Y CAÑERÍA**, presentado por el estudiante universitario **Mario Alejandro Posadas Morales**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

*Ing. José Rolando Chávez Salazar
Ingeniero Industrial
Colegiado No. 4,317*

Ing. José Rolando Chávez Salazar
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, mayo de 2019.

/mgp



REF.DIR.EMI.131.019

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor **ANÁLISIS Y MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO AL CARBONO, UTILIZANDO SIERRAS CIRCULARES DE FRESA LENTA EN MOLINOS INDUSTRIALES, EN UNA EMPRESA QUE FABRICA TUBERÍA ESTRUCTURAL, INDUSTRIAL Y CAÑERÍA**, presentado por el estudiante universitario **Mario Alejandro Posadas Morales**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Cesar Ernesto Urquizu Rodas
DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2019.

/mgp



La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **ANÁLISIS Y MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO AL CARBONO, UTILIZANDO SIERRAS CIRCULARES DE FRESA LENTA EN MOLINOS INDUSTRIALES, EN UNA EMPRESA QUE FABRICA TUBERÍA ESTRUCTURAL, INDUSTRIAL Y CAÑERÍA,** presentado por el estudiante universitario: **Mario Alejandro Posadas Morales,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, Septiembre de 2019

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la libertad de discernir.
Mi padre	Mario Vinicio Posadas, quien en vida confiaste a ciegas en mis decisiones y ahora te lo agradezco.
Mi madre	Vivian Morales, por ser mi inspiración y motivación de cada día.
Mi hermano	Jossie Posadas, por ser mi protector y ejemplo.
Tío Tono	Por brindarme el apoyo necesario para continuar en la vida.
Mis tíos	Cada quien ha aportado a su manera y enriquecido a mi persona.
Mi novia	Alma Posadas, por apoyar en mi última etapa universitaria y darme el apoyo emocional necesario.
Mis amigos	Los de siempre, que están para apoyarse mutuamente.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Por ser mi alma *máter* en mi vida profesional.

Facultad de Ingeniería Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

Ing. Julio Rivera Por asesorarme y ayudarme a comprometerme en la elaboración de mi tesis.

Lizardo Morales Por aconsejarme en lo profesional, enseñarme en la vida y guiarme al éxito.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XV
GLOSARIO	XVII
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Generalidades de la empresa.....	1
1.2. Reseña histórica.....	2
1.2.1. Misión	2
1.2.2. Visión.....	2
1.2.3. Política.....	2
1.3. Ubicación.....	3
1.4. Acero al carbono	3
1.4.1. Definición	3
1.4.2. Composición química	4
1.4.3. Aplicaciones.....	7
1.5. Procesos.....	8
1.5.1. Control de la producción según ISO 9001:2008	8
1.5.2. Norma ASTM A500.....	9
1.5.3. Norma ASTM A106.....	10
1.5.4. Norma ASTM A795.....	10
1.5.5. Norma ASTM A53.....	11
1.5.6. Norma ISO 14000.....	12

1.6.	Tuberías	13
1.6.1.	Tuberías estructurales.....	13
1.6.2.	Tuberías industriales	14
1.6.3.	Tuberías de cañería	14
1.7.	Sierras.....	14
1.7.1.	Definición.....	14
1.7.2.	Sierras de banda	15
1.7.3.	Sierras alternativas.....	15
1.7.4.	Sierras circulares.....	16
1.8.	Actividades y producción.....	17
1.8.1.	Descripción del mercado	17
1.8.2.	Actividades de la empresa	17
1.8.3.	Productos que elaboran	18
1.8.3.1.	Costaneras	18
1.8.3.2.	Láminas.....	19
1.8.3.3.	Tuberías	19
1.8.3.4.	Vigas I-U-WF.....	30
2.	SITUACIÓN ACTUAL	33
2.1.	Proceso de producción en molinos	33
2.1.1.	Descripción técnica	33
2.1.2.	Ventajas actuales	35
2.1.3.	Desventajas.....	36
2.2.	Línea de molinos	36
2.2.1.	Aspa o devanadera	36
2.2.2.	Empalmadora.....	41
2.2.3.	Acumulador de chapa (<i>floop</i>)	44
2.2.4.	Formado y acabado	46
2.2.5.	Soldadura de alta frecuencia.....	53

2.2.6.	Cabezas turcas para forma y enderezado	54
2.2.7.	Cortadora de tubería.....	55
2.3.	Análisis de desempeño.....	56
2.3.1.	Tiempos de producción	56
2.3.2.	Tiempos de cambio de accesorios	58
2.3.3.	Factores que afectan la producción.....	59
2.3.4.	Registro de cortes de tubería.....	61
2.3.4.1.	Rendimiento actual	62
2.3.5.	Seguridad en actos y condiciones realizadas por operarios.....	65
2.4.	Tipos de sierras	71
2.4.1.	Consideraciones teóricas	71
2.4.1.1.	Dimensiones de las sierras.....	72
2.4.1.2.	Espesores de las sierras	73
2.4.1.3.	Tipo de dientes	73
2.4.1.4.	Ángulo de ataque de los dientes....	75
2.4.1.5.	Cantidad de dientes.....	76
2.4.1.6.	Paso entre dientes.....	76
2.4.1.7.	Profundidad de garganta	77
2.4.1.8.	Fuerza centrífuga.....	77
2.4.1.9.	Tensión en dientes al cortar.....	78
2.4.1.10.	Dilatación térmica	79
2.5.	Proceso de afilado en Rekord 500 CNC.....	80
2.5.1.	Descripción de la máquina.....	80
2.6.	Mantenimiento actual de los dientes de la sierra circular ..	81
2.6.1.	Esmerilado y limado de los dientes	82
2.6.2.	Fluidos de corte	83
2.7.	Pruebas hidrostáticas en tuberías	85

3.	PROPUESTA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS Y LA MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO	87
3.1.	Metodología de análisis causa-raíz	87
3.2.	Análisis estadístico de los registros de sierras	88
3.2.1.	Base de datos	88
3.2.2.	Modelo de regresión múltiple	88
3.2.2.1.	Declaración de variables independientes y dependientes	88
3.2.2.2.	Estimación de los coeficientes	89
3.3.	Estudio de fuerza y potencia de corte	97
3.3.1.	Fuerza que actúa sobre un diente	97
3.3.2.	Relación entre fuerza y forma de perfil a cortar	101
3.4.	Modelo de tiempos y costos	103
3.4.1.	Tiempo para corte	103
3.4.2.	Costo de fabricación	103
3.4.3.	Avance en el proceso de corte	106
3.4.4.	Velocidad óptima por ecuación de Taylor	110
3.5.	Cálculo para el diseño de afilado	111
3.5.1.	Diseño del paso de entre dientes	112
3.5.2.	Ángulo de ataque	114
3.5.3.	Profundidad de la garganta	114
3.6.	Programación en CNC	114
3.6.1.	Afilado recomendado	114
3.6.2.	Bisel	115
3.6.3.	Programación	116
3.7.	Dinámica de las sierras en molinos	116
3.7.1.	Diámetro o dimensiones de la tubería a cortar	116

3.7.2.	Velocidad de avance y corte.....	116
3.7.3.	Cantidad óptima de agua a utilizar en el corte	117
3.7.4.	Limpieza de viruta o aserrín metálico	119
3.8.	Control en producto terminado	119
3.8.1.	Producto mal acabado.....	120
3.8.2.	Retroalimentación y clasificación del producto terminado.....	121
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	123
4.1.	Instituciones responsables	123
4.1.1.	Gerencia general	123
4.1.2.	Departamento de producción.....	123
4.1.3.	Departamento de mantenimiento.....	124
4.2.	Plan de acción en molinos.....	124
4.2.1.	Diagramas de procesos.....	124
4.2.2.	Plan de seguridad en actos y condiciones inseguras	126
4.2.3.	Plan de evaluación de tiempos de producción	130
4.3.	Clasificación de sierras circulares para corte de tubería .	132
4.3.1.	Sierra de 160 dientes.....	133
4.3.2.	Sierra de 190 dientes.....	134
4.3.3.	Sierra de 240 dientes.....	135
4.3.4.	Sierra de 270 dientes.....	137
4.3.5.	Sierra de 280 dientes.....	138
4.3.6.	Sierra de 320 dientes.....	139
4.3.7.	Sierra de 380 dientes.....	140
4.3.8.	Sierra de 460 dientes.....	140
4.4.	Registro de cortes realizados por las sierras.....	141

4.4.1.	Rendimiento porcentual.....	144
4.5.	Estudio metalográfico en las sierras.....	146
4.5.1.	Observaciones	146
4.5.2.	Comparación teórica	148
4.6.	Manejo de desperdicios	149
4.6.1.	Lubricantes.....	149
4.6.2.	Viruta	150
4.6.3.	Chatarra	150
4.7.	Análisis y diagnóstico de propuesta implementada.....	151
4.7.1.	Cuadro de resumen.....	151
5.	SEGUIMIENTO Y MEJORA.....	153
5.1.	Capacitación a personal.....	153
5.1.1.	Lubricación de sierras en el corte.....	153
5.1.2.	Limpieza de viruta	155
5.1.3.	Seguridad industrial.....	155
5.2.	Ventajas y beneficios	156
5.2.1.	Rotación de personal	157
5.2.2.	Mantenimiento de sierras	157
5.2.3.	Cambio de piezas de molinos	157
5.2.4.	Cantidad producida de tuberías	158
5.3.	Cuidado ambiental	158
5.3.1.	Evaluación de los desperdicios	159
5.4.	Acciones correctivas	159
5.4.1.	Correcciones en afilado.....	159
5.4.2.	Correcciones en operación de molinos	160
5.5.	Hojas de control	161
5.5.1.	Formato para el registro del uso de sierras	161
5.5.2.	Hoja del mantenimiento de las sierras	162

5.6.	Estadística de resultados.....	163
5.6.1.	Eficiencia de sierras.....	163
5.6.2.	Eficiencia en tiempos de trabajo.....	164
5.6.2.1.	Tiempo eficiente	164
5.6.2.2.	Tiempo muerto.....	164
5.7.	Criterio de evaluación de resultados	165
5.7.1.	Análisis costo–beneficio	165
5.7.2.	Proveedores	166
5.8.	Auditorías	166
5.8.1.	Internas.....	166
5.8.2.	Externas	167
CONCLUSIONES		169
RECOMENDACIONES		173
BIBLIOGRAFÍA.....		175
APÉNDICES		179
ANEXOS.....		185

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Fotomicrografía de hierro puro o ferrita.....	5
2.	Tabla de aceros al carbono AISI-SAE.....	6
3.	Diagrama de flujo de carga y formado de molino 604.....	34
4.	Aspa de molino 604.....	37
5.	Devanadera o desenrolladora.....	38
6.	Mamparo de retención.....	40
7.	Mordaza fija.....	42
8.	Mordaza móvil.....	43
9.	Portasoplete.....	44
10.	Floop.....	45
11.	Guía de entrada de la cinta.....	47
12.	Guía lateral.....	48
13.	Bastidor motorizado.....	49
14.	Guía de tubo.....	50
15.	Mordaza de soldadura con 2 rodos superiores.....	51
16.	Bastidor descordonador.....	52
17.	Cabezas turcas.....	55
18.	Diagrama de tiempos muertos y producción del molino 483.....	60
19.	Rombo de seguridad NFPA 704.....	66
20.	Diagrama de derrames mayores.....	68
21.	Dimensiones de sierra.....	71
22.	Tipos de espesores.....	73
23.	Tipos de dientes de sierras.....	73

24.	Dimensiones del diente de sierra.....	75
25.	Paso entre dientes correcto	77
26.	Fuerza resultante de corte de la sierra	78
27.	Alargamiento de la sierra en movimiento.....	79
28.	Diagrama causa-raíz.....	87
29.	Diagrama de fuerza de un diente de sierra circular	98
30.	Velocidad de corte y tasa de alimentación.....	106
31.	Grupo de 8 dientes	112
32.	Fotografía infrarroja de distribución de temperaturas	118
33.	Proceso en el cambio de sierras.....	125
34.	Zona de atrapamiento en mordaza móvil.....	126
35.	Zona de atrapamiento en aspas	127
36.	Zona de atrapamiento entre rodos.....	128
37.	Atrapamiento en cabezas turcas.....	129
38.	Viruta generada	130
39.	Cambio de sierra en molino	131
40.	Rendimiento de cortes según calibre, grado de dureza y tipo de sierra	132
41.	Registro de Z160 respecto a cortes, calibre y grado de dureza...	134
42.	Registro de Z190 respecto a cortes, calibre y grado de dureza...	135
43.	Registro de Z240 respecto a cortes, calibre y grado de dureza...	136
44.	Registro de Z270 respecto a cortes, calibre y grado de dureza...	137
45.	Registro de Z280 respecto a cortes, calibre y grado de dureza...	138
46.	Registro Z320 respecto a cortes, calibre y grado de dureza.....	139
47.	Registro Z380 respecto a cortes, calibre y grado de dureza.....	140
48.	Registro Z460 respecto a cortes, calibre y grado de dureza.....	141
49.	Rendimiento de cortes de prueba en sierra Z280.....	144
50.	Rendimiento de cortes de prueba en sierra Z240.....	145
51.	Planicie en espalda de dientes	146

52.	Gradas en el pecho del diente	147
53.	Proceso de lubricación de sierras	154
54.	Matriz de riesgos del molino 604.....	156

TABLAS

I.	Costaneras.....	18
II.	Tubería API 5L	19
III.	Tubería industrial rectangular.....	20
IV.	Tubería industrial redonda	20
V.	Tubería industrial cuadrada.....	21
VI.	Tubería ASTM A500: rectangular negra y galvanizada.....	21
VII.	Tubería ASTM A500: cuadrada negra y galvanizado.....	23
VIII.	Tubería ASTM A106.....	25
IX.	Tubería ASTM A795.....	25
X.	Tubería BS 1387: negra	26
XI.	Tubería BS 1387: galvanizada	27
XII.	Tubería EMT	28
XIII.	Tubería Niples.....	29
XIV.	Tubería bananero.....	29
XV.	Tubería para pozos	30
XVI.	Vigas tipo “I”	31
XVII.	Vigas tipo “U”	31
XVIII.	Vigas tipo “W F”	32
XIX.	Partes de la devanadera	39
XX.	Reporte diario de producción de molino 483.....	57
XXI.	Reporte de tiempos muertos	58
XXII.	Comparación de reporte diario de operadores y diagrama de tiempos proporcionado por el molino 483.....	61

XXIII.	Rendimiento actual de las sierras	62
XXIV.	Dimensiones de las sierras	72
XXV.	Display Rekord 500 CNC	82
XXVI.	Aceites solubles	84
XXVII.	Declaración de variables	89
XXVIII.	Coeficientes de regresión múltiple	90
XXIX.	Rendimiento calculado	91
XXX.	Sierras para tubería industrial rectangular	92
XXXI.	Sierras para tubería industrial redonda	92
XXXII.	Sierras para tubería industrial cuadrada	93
XXXIII.	Sierras para tubería ASTM A500: rectangular negra y galvanizada 94	
XXXIV.	Sierras para tubería ASTM A500: cuadrada negra y galvanizada .95	
XXXV.	Sierras para tubería BS 1387: negra	96
XXXVI.	Sierras para tubería BS 1387: galvanizada	97
XXXVII.	Fuerza por diente	100
XXXVIII.	Fuerza de diente según perfil	102
XXXIX.	Volumen de producción	105
XL.	Velocidad de corte y avance por diente	107
XLI.	Cálculo del avance por diente	108
XLII.	Programación de afilado en Rekord 500 CNC	115
XLIII.	Parámetros de corte actual	117
XLIV.	Registro de sierras	120
XLV.	Modelo de producción	121
XLVI.	Programación de afilado en Rekord 500 CNC para Z280	142
XLVII.	Registro de cortes Z280	142
XLVIII.	Programación de afilado en Rekord 500 CNC para Z240	143
XLIX.	Registro de cortes Z240	143
L.	Comparaciones físicas de sierras tras pruebas	148

LI.	Recomendación de sierras según espesor de materia prima y eficiencia máxima de cortes posibles	151
LII.	Asignación de molas para afilado	160
LIII.	Registro de sierras	161
LIV.	Registro para afilado	162
LV.	Porcentaje de rendimiento esperado en cada sierra	163
LVI.	Beneficio porcentual de sierras	165

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
γ	Ángulo de ataque
α	Ángulo de esquina desnuda
CNC	Configuración Numérica por Computadora
HS	<i>High Speed</i>
<	Menor que
mm	Milímetro
%	Porcentaje
pulg	Pulgada
rpm	Revoluciones por minuto

GLOSARIO

Biselar	Realizar un borde que está cortado oblicuamente.
Hidrostática	Parte de la mecánica que estudia el equilibrio de los gases y líquidos.
Rebaba	Porción de materia que sobresale en los bordes o superficie de cualquier objeto.
<i>Sizing</i>	Área de molino de fresa lenta por donde pasan las tuberías para obtener el acabado final en sus dimensiones.
Viruta	Fragmento de material residual que se extrae con el uso de alguna herramienta.

RESUMEN

Durante el desarrollo de esta tesis se incursionó en un tema poco investigado, el funcionamiento de sierras circulares para uso de la industria de aceros, del cual se tiene pocas referencias de investigación, además de las proporcionadas por los proveedores de las mismas, implicando nuevos retos para hacer una investigación descriptiva y práctica.

Para empezar se contó con el apoyo de la empresa Tubex, S. A., que aportó información y el uso de sus equipos de producción de tuberías y de afilado para las sierras empleadas. El estudio de las sierras circulares de alta velocidad se realizó respecto a tuberías industriales, estructurales y de cañería. Estas sierras provenían de dos fabricantes, por lo cual se prefirió establecer a mayor profundidad sus características físicas y la interacción de estas al cortar, dándole una explicación al porqué de la forma de los dientes en cada sierra y cómo benefician a un mejor corte sin rebaba.

Se presenta una propuesta en la cual se empleó un modelo teórico estadístico que busca establecer el número de cortes aproximados que un tipo de sierra en específico puede realizar considerando algunas variables, como también un modelo de afilado establecido, tomando las recomendaciones de fabricante y de la CNC afiladora. Luego de ello se procedió a la implementación de dicho modelo de afilado y una constante revisión en pruebas hechas con sierras de 240 y 280 dientes. Finalmente se establecieron procedimientos y formatos de control para el afilado de las sierras y los consumibles, y también se dieron recomendaciones a mejoras continuas.

OBJETIVOS

General

Analizar y mejorar el rendimiento del corte de acero al carbono, utilizando sierras circulares de fresa lenta en molinos industriales en una empresa que fabrica tubería estructural, industrial y cañería.

Específicos

1. Establecer un modelo teórico-estadístico de asignación de sierra comparando el mayor rendimiento de esta con el diámetro y calibre de tubería, con el propósito de asignar cada sierra para un grupo específico de tuberías.
2. Diseñar un programa de afilado de dientes para reducir el desgaste de las sierras circulares y aumentar el tiempo de operación de las mismas.
3. Reducir costos relacionados a la producción de tuberías de acero al carbono a través de la asignación de sierras que produzcan acabados normalizados.
4. Aumentar la producción en molino mediante la mejora de la velocidad de la cortadora.

5. Identificar actos y condiciones inseguras en operaciones para evitar paros, rotación de personal o inconvenientes de conformidad a la ley, que eviten aumentar los costos de producción.
6. Disminuir tiempos muertos por cambio de accesorios en los molinos, asignando tiempos límites por sección y distribuyendo al personal.
7. Relacionar el porcentaje del cambio en el rendimiento de las sierras tras la asignación del método actualizado de corte y afilado.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la empresa Tubex, S. A. se dedica a la fabricación de tubería de acero al carbón bajo los estándares internacionales de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Estas normas son empleadas en metales, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, medio ambiente, entre otras áreas. Tubex, S. A. es una de las pocas empresas en la región que cuenta con un laboratorio metalúrgico y certificaciones para las normas de estándares internacionales ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015. La primera está fundamentada para los sistemas de gestión de calidad que ayudan a la organización a acrecentar la satisfacción del cliente. La segunda está destinada al entorno en el que una empresa opera, incluyendo el medio ambiente y sus interrelaciones.

Cuando se trabaja en un molino de metal para el formado de tubos, no solo se busca hacer un corte limpio y bien acabado bajo la especificación normalizada para tubos estructurales de acero al carbono conformados en frío, electrosoldado y sin costura, de forma circular (norma ASTM A500), sino que en general se busca que los cortes no produzcan un desgaste inmediato de la sierra para afilar nuevamente los dientes. Además, la producción debe ser fluida y optimizar el tiempo y todas las actividades que se dan en cada parte del proceso.

En el presente trabajo de graduación se pretende analizar y mejorar el rendimiento de sierras circulares de alta velocidad (HS en inglés) para la fabricación de tuberías estructurales, industriales y de cañerías en molinos industriales de fresa lenta.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1. Generalidades de la empresa

Recientemente la empresa Tubex, S.A. se dedica al cumplimiento de los requerimientos de sus clientes respecto a los diversos productos. Tubex cuenta con un laboratorio metalúrgico de última generación y certificaciones para las normas de estándares internacionales ISO 9001:2015 e ISO 14001:2015. La primera está fundamentada para los sistemas de gestión de calidad que ayudan a la organización a acrecentar la satisfacción del cliente. La segunda está destinada al entorno en el que una empresa opera, incluyendo el medio ambiente y sus interrelaciones. Mejorando constantemente sus procesos de transformación de metales.

Desde el año 2014, cuenta con la certificación más importante para las fábricas de tubería de acero al carbón del mundo, la API – 5L, la cual es utilizada para la conducción de gas y petróleo certificada por el American Petroleum Institute de los Estados Unidos de América. Siguiendo el camino de la mejora continua y nuevos productos, trabaja en la certificación de tubería *conduit* diseñada para proteger cables de peligros eléctricos bajo la certificación Underwriters Laboratories (UL).

El trabajo de moldeado de tuberías se realiza en molinos especiales para metales, se busca hacer un corte limpio y bien acabado bajo la especificación normalizada para tubos estructurales de acero al carbono conformados en frío, electrosoldado y sin costura, de forma circular (norma ASTM A500), evitando el

desgaste inmediato de las sierras circulares. Esto reduce paros por cambio de sierras y mantener el flujo de trabajo y tiempos de producción.

1.2. Reseña histórica

Tubex S. A. es una empresa guatemalteca líder en la región centroamericana y el Caribe dedicada a la fabricación de tubería de acero al carbón según los estándares internacionales de la norma ASTM. Desde sus inicios hace más de 20 años, la empresa se ha especializado en cubrir todas las necesidades de sus clientes, sobresaliendo por la calidad y amplia gama de productos.

1.2.1. Misión

“Satisfacer las necesidades de nuestros clientes a través de la fabricación de tubería y comercialización de productos derivados de acero, ofreciendo el mejor servicio, realizando nuestros procesos con calidad y buscando la rentabilidad que proporcione una fuente de trabajo estable para nuestros empleados dentro de un marco de desarrollo sostenible.”¹

1.2.2. Visión

“Ser líderes en innovación y diferenciación de productos en la región centroamericana, México y el Caribe, en tubería y otros productos de acero, con el mejor servicio y alta calidad.”²

1.2.3. Política

¹ Tubex, S.A. *Manual de gestión*. p. 1.

² *Ibid.* p. 1.

Tubex S.A. está comprometida con la satisfacción de sus clientes, proveyéndoles consistentemente productos de la más alta calidad que cumplen con las especificaciones y las necesidades de los mismos. Esto se realiza a través de la medición de la conformidad del producto y del servicio, estableciendo objetivos para la mejora continua.

Tubex realiza operaciones ambientalmente responsables a través de un control de emisiones, aguas residuales y desechos sólidos, cumpliendo siempre con las regulaciones legales vigentes y otros aspectos medioambientales que apliquen. Todo lo anterior se logra a través del desarrollo del personal que es la base para la mejora continua del Sistema de Gestión Integrado, convirtiéndola en una empresa líder en la región centroamericana y el Caribe.

1.3. Ubicación

Geográficamente la empresa Tubex, S.A. se encuentra ubicada en el final de la Avenida Petapa, Km. 11.5, Finca El Frutal, San Miguel Petapa, Guatemala. Colinda al sur con la Ciudad de Guatemala, al oeste y norte con Villa Canales y al este con el Municipio de Villa Nueva.

1.4. Acero al carbono

A continuación se detalla la definición de acero al carbono, composición química y algunas de sus aplicaciones.

1.4.1. Definición

Los aceros al carbono son aleaciones base de hierro (Fe), con contenidos de carbono (C) superiores al 0,05 % e inferiores al 2 % en peso; la gran mayoría

de estos aceros tienen contenidos de C entre 0,1 y 1 %. En los aceros comerciales siempre hay otros elementos, además de Fe y C. Las aleaciones ferrosas, que se basan en aleaciones de hierro y carbono, incluyen los aceros al bajo carbono, los aceros aleados y de herramientas, los aceros inoxidable y los hierros fundidos son parte de esta categoría. Los aceros llamados al simple carbono son aquellos que generalmente tienen, aparte del carbono, cantidades o porcentajes pequeños de Mn, Si, S, P.

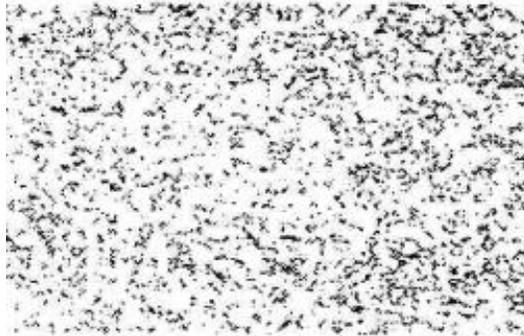
Los aceros típicamente se producen de dos formas: refinando el mineral de hierro o reciclando chatarra de acero. Para la producción de acero primario (óxido de hierro) se calienta este en un alto horno en presencia de coque (carbono) y oxígeno. El carbono reduce el óxido de hierro a hierro en bruto líquido, produciendo monóxido de carbono y bióxido de carbono como subproductos.

1.4.2. Composición química

En principio para examinar un espécimen o muestra de una pieza de metal bajo un microscopio adecuado, esta deberá ser primeramente preparada por desbaste en una superficie plana y después pulida con abrasivos finos obteniendo una superficie de acabado espejo, libre de ralladuras; la delgada película de metal será atacada, debido a la acción de pulido por el ataque de la superficie pulida con un agente químico revelador (por ejemplo, una solución al 5 % de ácido nítrico en alcohol conocida como Nital, es comúnmente usado para atacar los aceros al carbono, revelando así su microestructura. Una fotomicrografía es una fotografía tomada con la ayuda de un microscopio, en este caso un microscopio metalúrgico conocido como metalográfico³. Una fotomicrografía de hierro puro o ferrita se muestra en la siguiente figura:

³ MALDONADO, José. *Aceros y sus aplicaciones*. 1996. p. 3.

Figura 1. **Fotomicrografía de hierro puro o ferrita**



Fuente: MALDONADO, José. *Aceros y sus aplicaciones*. p. 3.

Esta fotografía muestra la microestructura de cómo se reveló por preparación y ataque apropiado el espécimen. Las fronteras de grano generalmente se muestran como líneas. Las áreas oscuras en la fotomicrografía son causadas por la diferencia en la profundidad de ataque. Cada grano en la figura es un cristal simple de metal. Una amplificación de 100x es generalmente suficiente para mostrar el grano en un metal puro.

Este método de clasificación emplea un sistema numérico con el contenido aproximado de acero, siendo el método de clasificación más conocido⁴. Las especificaciones para los aceros presentan los resultados del esfuerzo continuo entre la American Iron and Steel Institute (AISI) y la Society of Automotive Engineers (SAE) en un programa de simplificación destinado a lograr mayor eficiencia para satisfacer las necesidades de acero de la industria de Estados Unidos.

El primero de los cuatro o cinco dígitos de la designación numérica indica el tipo al que pertenece el acero. El 1 indica un acero al carbono; 2 un acero al

⁴ SYDNEY, Avner. *Introducción a la metalurgia física*. 1988. p. 15

níquel, entre otros. En caso de acero aleado, el segundo dígito indica el porcentaje aproximado del elemento predominante en la aleación. Los dos o tres últimos dígitos generalmente indican el contenido de carbono medio dividido entre 100. Por ejemplo, el símbolo 2520 indica un acero al níquel de aproximadamente 5 % de níquel y 0,20 % de carbono. La AISI-SAE hace revisión periódica de esas tablas de aceros.

Figura 2. **Tabla de aceros al carbono AISI-SAE**

ACEROS AL CARBÓN					
SAE Número	C	Mn	P Max	S Max	AISI Número
-----	0.06 max	0.35 max	0.040	0.050	C1005
1006	0.08 max	0.25-0.40	0.040	0.050	C1006
1008	0.10 max	0.25-0.50	0.040	0.050	C1008
1010	0.08-0.13	0.30-0.60	0.040	0.050	C1010
-----	0.10-0.15	0.30-0.60	0.040	0.050	C1012
-----	0.11-0.16	0.50-0.80	0.040	0.050	C1013
1015	0.13-0.18	0.30-0.60	0.040	0.050	C1015
1016	0.13-0.18	0.60-0.90	0.040	0.050	C1016
1017	0.15-0.20	0.30-0.60	0.040	0.050	C1017
1018	0.15-0.20	0.60-0.90	0.040	0.050	C1018
1019	0.15-0.20	0.70-1.00	0.040	0.050	C1019
1020	0.18-0.23	0.30-0.60	0.040	0.050	C1020
-----	0.18-0.23	0.60-0.90	0.040	0.050	C1021
1022	0.18-0.23	0.70-1.00	0.040	0.050	C1022
-----	0.20-0.25	0.30-0.60	0.040	0.050	C1023
1024	0.19-0.25	1.35-1.65	0.040	0.050	C1024
1025	0.22-0.28	0.30-0.60	0.040	0.050	C1025
-----	0.22-0.28	0.60-0.90	0.040	0.050	C1026
1027	0.22-0.29	1.20-1.50	0.040	0.050	C1027
-----	0.25-0.31	0.60-0.90	0.040	0.050	C1029
1030	0.28-0.34	0.60-0.90	0.040	0.050	C1030
1033	0.30-0.36	0.70-1.00	0.040	0.050	C1033
1034	0.32-0.38	0.50-0.80	0.040	0.050	C1034
1035	0.32-0.38	0.60-0.90	0.040	0.050	C1035
1036	0.30-0.37	1.20-1.50	0.040	0.050	C1036
1038	0.35-0.42	0.60-0.90	0.040	0.050	C1038
-----	0.37-0.44	0.70-1.00	0.040	0.050	C1039
1040	0.37-0.44	0.60-0.90	0.040	0.050	C1040
1041	0.36-0.44	1.35-1.65	0.040	0.050	C1041
1042	0.40-0.47	0.60-0.90	0.040	0.050	C1042
1043	0.40-0.47	0.70-1.00	0.040	0.050	C1043
1045	0.43-0.50	0.60-0.90	0.040	0.050	C1045
1046	0.43-0.50	0.70-1.00	0.040	0.050	C1046
1050	0.48-0.55	0.60-0.90	0.040	0.050	C1050

Continuación de la figura 2:

.....	0.45-0.56	0.85-1.15	0.040	0.050	C1051
1052	0.47-0.55	1.20-1.50	0.040	0.050	C1052
.....	0.50-0.60	0.50-0.80	0.040	0.050	C1054
1055	0.50-0.60	0.60-0.90	0.040	0.050	C1055
.....	0.50-0.61	0.85-1.15	0.040	0.050	C1057
.....	0.55-0.65	0.50-0.80	0.040	0.050	C1059
1060	0.55-0.65	0.60-0.90	0.040	0.050	C1060
.....	0.54-0.65	0.75-1.05	0.040	0.050	C1061
1062	0.54-0.65	0.85-1.15	0.040	0.050	C1062
1064	0.60-0.70	0.50-0.80	0.040	0.050	C1064
1065	0.60-0.70	0.60-0.90	0.040	0.050	C1065
1066	0.60-0.71	0.85-1.15	0.040	0.050	C1066
.....	0.65-0.75	0.40-0.70	0.040	0.050	C1069
1070	0.65-0.75	0.60-0.90	0.040	0.050	C1070
.....	0.65-0.76	0.75-1.05	0.040	0.050	C1071
1074	0.70-0.80	0.50-0.80	0.040	0.050	C1074
1078	0.72-0.85	0.30-0.60	0.04	0.05	C1078
1080	0.75-0.88	0.60-0.90	0.04	0.05	C1080
.....	0.80-0.93	0.60-0.90	0.04	0.05	C1084
1085	0.80-0.93	0.70-1.00	0.04	0.05	C1085
1086	0.80-0.93	0.30-0.50	0.04	0.05	C1086
1090	0.85-0.98	0.60-0.90	0.04	0.05	C1090
1095	0.90-1.03	0.30-0.50	0.04	0.05	C1095
.....	0.08 max	0.45 max	0.07-0.12	0.06	B1006
.....	0.13 max	0.30-0.60	0.07-0.12	0.06	B1010
.....	0.43-0.50	0.50-0.80	0.05	0.05	D1049
.....	0.50-0.60	0.50-0.80	0.05	0.05	D1054
.....	0.55-0.65	0.50-0.80	0.05	0.05	D1059
.....	0.60-0.70	0.50-0.80	0.05	0.05	D1064
.....	0.65-0.75	0.40-0.70	0.05	0.05	D1069
.....	0.70-0.80	0.40-0.70	0.05	0.05	D1075

Fuente: *Tabla de aceros al carbono*. <https://www.slideshare.net/albertcandelo/tabla-sae-aisi>.

Consulta: 24 de junio de 2018.

1.4.3. Aplicaciones

La mayoría del acero producido se dirige a la construcción de estructuras. Hay dos usos principales: hormigón armado y construcción en acero. La primera es para reforzar el hormigón para soportar tracción y compresión. La segunda utiliza elementos tales como perfiles unidos mediante conexiones empernadas o soldadas. Otras aplicaciones son en la construcción mecánica como partes móviles de automóviles. También en los cascos de los buques, bicicletas, clavos, alfileres, cerraduras de puertas y muchos otros objetos que se ven diariamente.

1.5. Procesos

Aunque el siguiente subtítulo hace mención a la norma ISO 9001:2008, durante la realización de esta tesis se hizo la migración a la norma ISO 9001:2015.

1.5.1. Control de la producción según ISO 9001:2008

El propósito de documentar y llevar el control de producción según la norma internacional de calidad ISO 9001:20015 es definir el procedimiento a seguir para la planificación de la producción bajo condiciones controladas. Tiene un alcance para los procesos del: molino 483, molino 604, molino Mckay, costanera, galvanizadora, roscadora Landis, fresadora, empaque y barnizado. Las responsabilidades del proceso empiezan con el jefe de planificación, siguen con el asistente de planificación y se delegan al encargado de materia prima.

Se inicia el proceso de planificación de la producción en la siguiente secuencia:

- Se recibe solicitud del producto del departamento de ventas.
- Se chequea inventario de producto, pedidos y disponibilidad de materia prima para formado.
- Genera programa de producción, siguiendo los estándares de producción.
- Se imprime y distribuye programa de producción.
- Seguimiento de la producción comparando reportes diariamente con programas de producción.

Luego de ello, se hace una distribución y difusión de programas de producción, sea por correo, impresión y entrega directa o impresión en panel de

la máquina de proceso. Esto con el único propósito de mantener a todas las partes involucradas al tanto de las decisiones que acontecen respecto a la producción.

1.5.2. Norma ASTM A500

Esta especificación trata sobre tubos estructurales de acero al carbono conformados en frío, electrosoldados y sin costura, de forma circular, cuadrada, rectangular, u otra forma especial, utilizados para construcción electrosoldada, remachada o atornillada de puentes y edificaciones, y para usos generales en estructuras. Estos tubos son producidos tanto electrosoldados como sin costura, en tamaños con una periferia de 64 plg. [1 630 mm] o menos, y un espesor de pared especificado de 0,688 plg. [18 mm] o menos. El grado D requiere tratamiento térmico, cuyas características físicas, mecánicas y químicas son:

- Tubo redondo: el diámetro externo no debe variar más de +/- 0,5 % del diámetro. Especificado para tubos de diámetro nominal de 1,9" (48,26 mm) y menores; y +/- 0,75 % para tubos de diámetro nominal 2" (50,8 mm) y mayores.
- Tubos cuadrados y rectangulares: (ver tabla 3 de la norma) define tolerancias para la dimensión de los lados, concavidad y convexidad.
- Espesor: la variación del espesor no puede ser mayor de +/- 10 % del espesor nominal especificado.
- Longitud: para tubo de 22 pies (6,70 m) y menores: +1/2", - 1/4" (+12,7/- 6,4 mm); y para tubo de 22 a 44 pies (6,7 a 13,40m): +3/4", - 1/4" (+19/-6,4 mm).
- No aplica el galvanizado.
- Resistencia a la tensión (min) 45 000 psi.
- Límite de fluencia (min): 33 000 psi.
- La prueba de aplastamiento debe ser hecha para tubos redondos, pero no es requerida para tubos cuadrados o rectangulares.

Otras aplicaciones son en bicicletas, postes de alumbrado, andamios, muebles metálicos, soportes, pasamanos, cercas, entre otras.

1.5.3. Norma ASTM A106

Esta especificación cubre el tubo de acero al carbono para servicio de alta temperatura. Estos tubos son adecuados para la soldadura, plegado, rebordeado y operaciones de conformado similares. Ensayos mecánicos de las muestras deberán incluir la tracción, flexión, aplanamiento, hidrostática y pruebas eléctricas no destructivas. Las muestras se someten a ensayos de flexión que deberán consistir de secciones cortadas a partir de un tubo. Para aplanar las pruebas, las muestras deben ser lisas en los extremos y sin rebabas, excepto cuando se hace en los extremos de los cultivos. Todos los ensayos se realizaron a temperatura ambiente. Si cualquier muestra de ensayo muestra defectos, puede ser desechada y sustituida por otro espécimen de ensayo. Antes de la prueba, si un espécimen tiene arañazos de trazado, se permitirá una nueva prueba. Se permitirá asimismo una nueva prueba si un espécimen tiene roturas en su interior o defecto de superficie exterior.

Los valores indicados en unidades SI o en unidades pulgada-libra deben ser considerados como los estándares. Los valores indicados en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes, por lo tanto, cada sistema debe ser utilizado independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en la no conformidad con el estándar.

1.5.4. Norma ASTM A795

Esta especificación cubre tubería de acero negro y por inmersión en caliente recubierto de zinc (galvanizado) soldada y sin fisuras para el uso de protección

contra incendios. El tubo se puede doblar, pero no se pretende para flexión hecho a temperatura ambiente en el que el diámetro interior de la curva es menos de doce veces el diámetro exterior del ser tubo doblado. El acero deberá ajustarse a la composición química requerida. Cada tramo de tubo será sometido a una prueba hidrostática sin fugas a través de la pared del tubo. Como una alternativa a la prueba hidrostática, y cuando es aceptado por el comprador, cada tubo se someterá a ensayo con un método eléctrico no destructivo. Por último, la prueba de aplanamiento se realiza en la tubería de acuerdo con el tubo, por resistencia eléctrica de soldadura, y el tubo del horno de soldadura.

1.5.5. Norma ASTM A53

Cuando se ordena tubo con puntas lisas, los tubos de 2" o más de diámetro, deben ser biselados en sus extremos. Cuando se ordena tubos con puntas roscadas, las puntas deben roscarse de acuerdo a ANSI B1 201 y los acoples (coplas) deben ser de acuerdo a ASTM A865 y cumplir con la especificación de rosca ANSI B1 201. El alcance que tienen es para abastecimiento de agua, instalaciones de agua doméstica o industrial, agua para irrigación o agricultura, abastecimiento de gas o aceite, entre otros. Entre sus propiedades mecánicas, físicas y químicas se encuentran:

- ASTM A53 grado A: resistencia a la tensión (min): 48 000 psi min, límite de fluencia (min): 30 000 psi.
- La prueba de aplastamiento debe hacerse para tubos arriba de 2" de diámetro nominal. ASTM A53 (9,3): una muestra de por lo menos 4" (101,6 mm) de largo debe ser "aplastada" en frío en 3 etapas con la soldadura ubicada, ya sea a 0° o a 90° respecto de la dirección de la fuerza aplicada.
- ASTM A53 (10,1): la prueba hidrostática debe ser aplicada a cada tubo, los cuales no deben presentar ninguna fuga.

- ASTM A53 (10,2): las presiones de prueba deben ser: 700 psi (4 830 kPa) para tubos de 1/2", 3/4" y de 1" ; 1 200 psi (8 270 kPa) para 1 1/4" y 1 1/2" ; y de 2 300 psi (15 860 kPa) para tubo de 2".
- ASTM A53 (10,3): la prueba hidrostática debe tener una duración de no menos de 5 segundos.
- Para tubo de diámetro nominal de 2" y menores, se debe doblar a 90° una muestra alrededor de un mandril cilíndrico cuyo diámetro sea 12 veces el diámetro del tubo, el cual no debe presentar fisuras en su contorno ni en el área de soldadura.
- Carbono 0,25, 2, manganeso 0,95, fósforo 0,05, azufre 0,045, cobre 0,4, níquel 0,4, cromo 0,4, molibdeno 0,15, vanadio 0,08. (La combinación de los últimos 4 elementos no debe exceder el 1 %).

1.5.6. Norma ISO 14000

La norma internacional ISO 14000 es la norma internacional de Sistema de Gestión Ambiental (SGA) que identifica, prioriza y gestiona los riesgos ambientales. Tubex S. A. tiene su propia certificación y controla los siguientes aspectos:

- Manejo de residuos y desechos.
 - Desechos orgánicos.
 - Desechos inorgánicos (convencionales).
 - Residuos biodegradables.
 - Desechos contaminados.
 - Residuos especiales (chatarra, polvo y alambre de zinc).
 - Generación de descargas.
 - Desechos especiales.

- Identificación de recipientes según la clasificación de los desechos o residuos.
- Manejo de productos peligrosos.
 - Identificación de productos con el sistema de NFPA 704.
 - Materiales y reactivos.
 - Almacenamiento de materiales y reactivos.
- Manejo de derrames.
- Preparación y respuesta ante emergencias.
 - Tipo de amenaza.
 - Tipo de emergencia.
 - Recursos utilizados.
 - Después de la emergencia.
 - Simulacro.

1.6. Tuberías

Existe diversidad de tipos de tuberías, para propósitos de esta investigación solo se consideran tres tipos:

1.6.1. Tuberías estructurales

Zavala, en su investigación de tesis respecto a tuberías, sostiene que se trata de:

“Tubo utilizado en construcciones, edificios y propósitos generales de estructuras, es fabricado en lámina rolada en caliente, en rectangular y cuadrado, se fabrica a 20 pies de largo y a largos especiales de acuerdo a lo solicitado por el cliente.”⁵

⁵ ZAVALA, Gustavo. *Optimización y mejora de la eficiencia en la manufactura de tubos de ½” a 4”, en una fábrica de tubos de acero.* p. 59.

En el caso de Tubex, se manufactura el tubo estructural negro. A partir de la sección 1.8.3.3 se especifican los tipos de tuberías producidas.

1.6.2. Tuberías industriales

Zavala afirma que en este caso se trata de:

“Tubo utilizado en la fabricación de mesas para el sector industrial, también se utiliza para la fabricación de barandas, este tubo es fabricado en redondo rectangular y cuadrado en lámina en frío, fabricado a 6 metros de largo y a largos especiales de acuerdo a lo solicitado por el cliente.”⁶

1.6.3. Tuberías de cañería

Las tuberías de cañería son aquellas que se emplean para la conducción de desechos o líquidos. Estas deben pasar las pruebas hidrostáticas.

1.7. Sierras

A continuación una breve descripción sobre las sierras, usos, tipos y aplicaciones en la industria.

1.7.1. Definición

Es una herramienta manual o motorizada con hoja de acero de filo dentada, destinada al corte de diversos materiales como madera, plástico, acero, entre otros. Normalmente las sierras están construidas de una lámina de acero y los bordes tienen un filo dentado. A estos dientes es importante darles traba, que es la curvatura que permite un ángulo de ataque idóneo al material a cortar. Existen

⁶ ZAVALA, Gustavo. *Optimización y mejora de la eficiencia en la manufactura de tubos de ½” a 4”, en una fábrica de tubos de acero.* p. 60.

diversas sierras según los propósitos, para fines de esta investigación se citan las siguientes sierras que son más comunes en el uso industrial:

1.7.2. Sierras de banda

También conocidas como sierras sin fin o de cinta. Se debe evitar el tensado extremo, el mismo produce la pronta fatiga de la sierra y fracturas de la misma, así como daños a los tambores de la máquina. Al contrario, el tensado demasiado flojo producirá un corte defectuoso, dientes rajados y atascamiento en el corte. Debe tensarse la cinta de forma tal que no vibre cuando se está operando, pudiendo resultar un reajuste de vez en cuando, para compensar el estiramiento de la cinta. Cuando la máquina esté parada, la tensión debe disminuirse.

Entre las ventajas está que permite cortes de mayor dimensión que las sierras alternativas, pero no son recomendables para cortar metales duros, en tal caso la presión que habría que ejercer tendría que ser tan grande que el calor generado produciría la ruptura. Otra ventaja es la eliminación del tiempo pasivo de retorno de la hoja de sierra de las máquinas alternativas, así como la eliminación del desgaste debido al calentamiento, que se enfría por contacto con el aire. Los modelos más modernos poseen la cinta sin fin trabajando en forma horizontal o inclinada.

1.7.3. Sierras alternativas

En vez de usar el trabajo físico de un operario, estas máquinas emplean el método de vaivén para su movimiento. El arco sujeta una hoja de mayores dimensiones y la acción resulta más uniforme. La presión de trabajo se ejerce por pesos dispuestos sobre el arco que actúan sobre él, y son regulables por desplazamiento del mismo contrapeso. Según su accionamiento pueden ser:

- Mecánicas
- Hidráulicas

1.7.4. Sierras circulares

Las sierras circulares tienen la característica de tener dientes para corte en todo su contorno y son de movimiento constante. Su empleo es muy reducido debido al costo de los discos dentados. Su aplicación se halla justificada cuando se trata de cortar materiales redondos de acero, tubos metálicos y metales de elevado costo. La Junta de Andalucía propone tres tipos de sierras circulares:

- Para aserrado en frío: actúan como las fresadoras, trabajando a altas velocidades tangenciales, con alimentación automática. El movimiento principal y el de alimentación (avance) lo tiene la herramienta, que gira alrededor de su eje y avanza transversalmente hacia la barra a cortar. El avance de la sierra puede ser de dos maneras: a guías rectilíneas o a brazo oscilante.
- Para aserrado en caliente: se utilizan principalmente para cortar perfiles laminados de cualquier clase y sección. Tienen gran capacidad de corte, ya que la sierra funciona a una velocidad tangencial de 95 m/s. Al hacer contacto la sierra con la pieza a cortar, se produce un fuerte roce que se convierte rápidamente en calor creciente, el cual quema y desprende las partículas de metal en contacto con la periferia de la sierra. Esta sierra va refrigerada algo más adentro de la zona de corte por un chorro abundante de agua a cierta presión, y su rendimiento es superior al de las mejores sierras más de 30 veces, pasando los 1 000 cortes con una sola hoja.
- Para aserrado por fricción: se utiliza un tipo especial de sierra circular que no posee dientes; a lo sumo, entallas en la periferia, la cual se halla grafitada. Cortan por fricción, trabajando a gran velocidad tangencial

(100–120 m/s), engendrando el rozamiento el calor suficiente para provocar la volatilización del material. El aserrado por fricción no es un proceso de corte, sino que, al igual que el método de cortar metales mediante soplete oxiacetilénico (oxicorte), es un proceso de quemado. El corte es muy rápido y el aire cumple la misión de refrigeración⁷.

1.8. Actividades y producción

Tubex, S. A. desarrolla sus productos en base a normas ASTM y ofrece una diversidad de productos detallados en las siguientes tablas:

1.8.1. Descripción del mercado

Actualmente la empresa tiene un alcance nacional y centroamericano en la venta de tubería, misma que se trabaja según normas y estándares internacionales. Las normas ASTM A53 y B1387 cubren la demanda de abastecimiento de agua, instalaciones de agua doméstica o industrial, agua para irrigación o agricultura, abastecimiento de gas o aceite, entre otras. En su contraparte, la norma ASTM A500, similar a las anteriores excepto que es para usos estructurales, provee tubería para construcción, puentes, muelles, maquinaria, torres de hierro, bicicletas, postes de alumbrado, andamios, muebles metálicos, soportes, pasamos, cercas y demás.

1.8.2. Actividades de la empresa

Tubex S. A. se dedica a la elaboración de tuberías y derivados del acero. Entre algunos de sus productos se encuentran las costaneras, láminas y tuberías.

⁷ Junta de Andalucía. *La sierra mecánica*. 2015.

Todas estas elaboradas bajo estándares internaciones, cumpliendo con la calidad y gestión de sistemas para satisfacer a los clientes.

1.8.3. Productos que elaboran

Los productos que ofrecen al mercado son: costaneras, láminas, tuberías industriales y vigas.

1.8.3.1. Costaneras

También son llamadas perfil C o canaletas, su proceso de fabricación es de laminado en frío y se produce con las siguientes características:

Tabla I. Costaneras

NEGRA Y GALVANIZAD A	CHAPA						
	.8	.5	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00
3" x 2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4" x 2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
3" x 1 ½"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
5" x 2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4" x 1 ½"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
6" x 2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
7" x 2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
8" x 2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
10" x 2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: Costaneras. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/costanera>. Consulta: mayo de 2018.

1.8.3.2. Láminas

Estas pueden ser onduladas y galvanizadas, láminas antideslizantes o láminas galvanizadas cortadas directamente de la bobina.

1.8.3.3. Tuberías

- Tubería API 5L: para conducción de gas y petróleo.

Tabla II. Tubería API 5L

ERW PSL 1 – X42 / X52	
2"	✓
2 ½"	✓
3"	✓
4"	✓
5"	✓
6"	✓
8"	✓

Fuente: *Tubería API 5L*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-api-5l>.

Consulta: mayo de 2018.

Se trabaja la tubería industrial pueden ser de perfiles: rectangulares, redondos o cuadrados.

Tabla III. **Tubería industrial rectangular**

	CHAPA				
MEDIDA	22	21	20	18	16
1/2" x 1"	✓	✓	✓	✓	✓
1/2" x 1 1/2"	✓	✓	✓	✓	✓
3/4" x 1"	✓	✓	✓	✓	✓
3/4" x 1 1/4"	✓	✓	✓	✓	✓
3/4" x 1 3/4"	✓	✓	✓	✓	✓
1" x 1 1/2"		✓	✓	✓	✓
2" x 1"	✓	✓	✓	✓	✓

Fuente: *Tubería industrial rectangular*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-api-5l>. Consulta: mayo de 2018.

Tabla IV. **Tubería industrial redonda**

	CHAPA				
MEDIDA	22	21	20	18	16
5/8"	✓	✓	✓	✓	✓
3/4"	✓	✓	✓	✓	✓
7/8"	✓	✓	✓	✓	✓
1"	✓	✓	✓	✓	✓
1 1/4"		✓	✓	✓	✓
1 1/2"		✓	✓	✓	✓
1.9"		✓	✓	✓	✓
2"		✓	✓	✓	✓

Fuente: *Tubería industrial redonda*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-api-5l>. Consulta: mayo de 2018.

Tabla V. **Tubería industrial cuadrada**

	CHAPA				
MEDIDA	22	21	20	18	16
1/2"	✓	✓	✓	✓	✓
3/4"	✓	✓	✓	✓	✓
1"	✓	✓	✓	✓	✓
1 1/4"	✓	✓	✓	✓	✓
1 1/2"		✓	✓	✓	✓
2"		✓	✓	✓	✓

Fuente: *Tubería industrial cuadrada*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-api-5l>. Consulta: mayo de 2018.

También están las tuberías que se rigen según la norma ASTM A500, cuyo largo se trabaja con un estándar de 20 pies y, para largos especiales, únicamente bajo pedido. Esto se debe a la poca demanda que se tiene con largos especiales.

Tabla VI. **Tubería ASTM A500: rectangular negra y galvanizada**

Rectangular negra y galvanizada									
	Chapa						Espesor		
Medida	18	16	14	13	12	11	1/8"	3/16"	1/4"
1/2 x 1"	✓	✓	✓						
1/2 x 1 1/2"	✓	✓	✓	✓					

Continuación de la tabla VI:

$\frac{3}{4} \times 1''$	✓	✓	✓	✓	✓				
$\frac{3}{4} \times 1 \frac{1}{4}''$	✓	✓	✓	✓	✓				
$\frac{3}{4} \times 1 \frac{3}{4}''$	✓	✓	✓	✓	✓				
$1 \times 1 \frac{1}{2}''$	✓	✓	✓	✓	✓				
$1 \times 2''$	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
$2 \times 4''$		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
$2 \times 5''$		✓				✓		✓	✓
$2 \times 6''$		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
$2 \times 7''$	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
$2 \times 8''$	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
$2 \frac{1}{2} \times 7''$								✓	✓
$2 \frac{1}{2} \times 8''$								✓	✓
$2 \frac{1}{2} \times 10''$								✓	✓
$3 \times 2''$		✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓
$3 \times 4''$			✓	✓	✓	✓		✓	✓
$3 \times 5''$						✓		✓	✓
$3 \times 6''$						✓		✓	✓

Continuación de la tabla VI:

4 x 5"						✓		✓	✓
4 x 6"				✓	✓	✓		✓	✓
4 x 8"				✓	✓	✓		✓	✓
2 x 10"						✓		✓	✓
6 x 8"						✓		✓	✓
4 x 10"						✓		✓	✓

Fuente: *Tubería ASTM A500*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-astm-500>. Consulta: mayo de 2018.

Tabla VII. **Tubería ASTM A500: cuadrada negra y galvanizado**

Cuadrado negra y galvanizado									
	Chapa						Espesor		
Medida	18	16	14	13	12	11	3/16"	1/4"	3/8"
1/2"	✓	✓	✓						
3/4"	✓	✓	✓	✓					
1"	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
1 1/4"	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
1 1/2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓			

Continuación de la tabla VII:

2"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
2 ½"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
72 mm	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3"	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
3 ½"						✓	✓	✓	
92 mm	✓		✓	✓	✓	✓			
4"	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
4 ½"			✓	✓	✓	✓	✓	✓	
5"				✓	✓	✓	✓	✓	
6"				✓	✓	✓	✓	✓	✓
7"						✓	✓	✓	
8"							✓	✓	✓
10"								✓	✓
12"								✓	✓

Fuente: *Tubería ASTM A500*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-astm-500>. Consulta: mayo de 2018.

Están las tuberías para alta presión y temperatura con norma ASTM A-106:

Tabla VIII. **Tubería ASTM A106**

Medidas	Sin costura
Desde ½"	✓
Hasta 18"	✓

Fuente: *Tubería ASTM A106*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-astm-a106-a795>. Consulta: mayo de 2018.

Otro tipo de tubería es la tubería con ranura *vitaulic* contra incendio:

Tabla IX. **Tubería ASTM A795**

Norma
ASTM 795
SCH 10

Fuente: *Tubería ASTM A795*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-astm-a106-a795>. Consulta: mayo de 2018.

Se fabrican tuberías con norma BS 1387. Están las tuberías negras: lisa (BPE) y con rosca (BTC). También las tuberías galvanizadas: lisa (GPE) y de roscado y copla (GTC).

Tabla X. **Tubería BS 1387: negra**

Negro					
Liso (BPE)			Con rosca (BTC)		
Medida	Liviana	Mediana	Medida	Liviana	Mediana
1/2"	✓	✓	1/2"	✓	✓
3/4"	✓	✓	3/4"	✓	✓
1"	✓	✓	1"	✓	✓
1 1/4"	✓	✓	1 1/4"	✓	✓
1 1/2"	✓	✓	1 1/2"	✓	✓
2"	✓	✓	2"	✓	✓
2 1/2"	✓	✓	2 1/2"	✓	✓
3"	✓	✓	3"	✓	✓
4"	✓	✓	4"	✓	✓
6"	✓	✓	6"	✓	✓

Fuente: *Tubería BS 187: negra*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-astm-bs1387>. Consulta: mayo de 2018.

Tabla XI. **Tubería BS 1387: galvanizada**

Galvanizado					
Liso (GPE)			Con rosca (GTC)		
Medida	Liviana	Mediana	Medida	Liviana	Mediana
1/2"	✓	✓	1/2"	✓	✓
3/4"	✓	✓	3/4"	✓	✓
1"	✓	✓	1"	✓	✓
1 1/4"	✓	✓	1 1/4"	✓	✓
1 1/2"	✓	✓	1 1/2"	✓	✓
2"	✓	✓	2"	✓	✓
2 1/2"	✓	✓	2 1/2"	✓	✓
3"	✓	✓	3"	✓	✓
4"	✓	✓	4"	✓	✓
6"		✓	6"		✓

Fuente: *Tubería BS 1387: galvanizada*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-astm-bs1387>. Consulta: mayo de 2018.

En tubo EMT se trabaja en largo de 10 pies:

Tabla XII. **Tubería EMT**

Negro y galvanizado	Ducto
1/2"	✓
3/4"	✓
1"	✓
1 1/4"	✓
1 1/2"	✓
2"	✓
2 1/2"	✓
3"	✓
4"	✓

Fuente: *Tubería EMT*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-emt-niples>.

Consulta: mayo de 2018.

El tubo *niples* se trabaja de 1 a 3 metros:

Tabla XIII. **Tubería Niples**

Negro y galvanizado	Uso	Roscado
1/2"	✓	✓
3/4"	✓	✓
1"	✓	✓
1 1/4"	✓	✓
1 1/2"	✓	✓
2"	✓	✓
2 1/2"	✓	✓
3"	✓	✓
4"	✓	✓

Fuente: *Tubería Niples*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-emt-niples>.

Consulta: mayo de 2018.

Finalmente están las tuberías para pozo:

Tabla XIV. **Tubería bananero**

Negro y galvanizado	Liso
1 1/4"	✓

Fuente: *Tubería bananero*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-para-pozos>.

Consulta: mayo de 2018.

En el caso de la tubería para pozos largos, el estándar que se maneja es de 20 pies:

Tabla XV. **Tubería para pozos**

	0.188	0.219	0.250	A		B		C	
				Ranura (cm2)	Ventana ancho (mm)	Apertura (cm2)	Ventana ancho (mm)	Apertura (cm2)	Ventana ancho (mm)
6"	✓	✓	✓	800	3	1 050	4,50	2 080	4,50
	✓	✓	✓	1 050	3	1 400	6,00	2 800	6,00
				1 560	3	1 840	4,50	2 860	4,50
8"	✓	✓	✓	2 080	3	2 450	6,00	3 850	6,00
10"	✓	✓	✓						
12"	✓	✓	✓						

Fuente: *Tubería para pozos*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/tuberia-para-pozos>. Consulta: mayo de 2018.

1.8.3.4. Vigas I-U-WF

Por último están los trabajos con vigas tipo: "I", "U" y "WF":

Tabla XVI. **Vigas tipo “I”**

Vigas tipo “I”
3 x 2,1/2 x 5/32 x 5,75 lbs
4 x 2,1/2 x 3/16 x 7,70 lbs
5 x 3 x 7/32 x 10,05 lbs
6 x 3,5/16 x 15/64 x 12,50 lbs

Fuente: *Vigas tipo I*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/vigas-i-u-wf>. Consulta: mayo de 2018.

Tabla XVII. **Vigas tipo “U”**

Vigas tipo “U”	5 x 1.5/8 x 3/16 x 6,70 lbs
3 x 1,3/8 x 9/64 x 3,5 lbs	6 x 1 7/8 x 3/16 x 8,20 lbs
3 x 1,1/2 x 3/16 x 4,1 lbs	6 x 2 x 5/16 x 10,5 lbs
4 x 1,1/2 x 3/16 x 4,1 lbs	8 x 2 1/4 x 1/4 x 11,5 lbs
4 x 1,5/8 x 3/16 x 5,4 lbs	8 x 2 1/2 x 1/2 18,75 lbs
4 x 2 x 1/4 x 7,70 lbs	

Fuente: *Vigas tipo U*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/vigas-i-u-wf>. Consulta: mayo de 2018.

Tabla XVIII. Vigas tipo “W F”

Vigas tipo “W F” [libras-pie]	
6 x 4 x 3/16 x 9	12 x 6,1/2 x 13/32 x 26
6 x 4 x 1/4 x 12	12 x 6,1/2 x 7/16 x 30
8 x 4 x 3/16 x 10	14 x 5 x 5/16 x 22
8 x 4 x 1/4 x 13	14 x 5 x 7/16 x 26
8 x 4 x 5/16 x 15	14 x 6,3/4 x 9/32 x 30
8 x 5,1/4 x 5/16 x 18	14 x 6,3/4 x 7/16 x 34
8 x 5,1/4 x 3/8 x 21	16 x 5,1/2 x 5/16 x 26
8 x 6,2/2 x 3/8 x 24	16 x 7 x 3/8 x 36
10 x 4 x 3/16 x 12	18 x 6 x 7/16 x 35
10 x 4 x 5/16 x 17	18 x 6 x 1/2 x 40
10 x 4 x 11/32 x 19	18 x 6 x 9/16 x 46
10 x 5,3/4 x 11/32 x 22	18 x 7,1/2 x 1/2 x 50
10 x 5,3/4 x 3/8 x 26	18 x 7,1/2 x 5/8 x 55
12 x 4 x 3/16 x 14	21 x 6,1/2 x 7/16 x 44
12 x 4 x 1/4 x 16	21 x 6,1/2 x 1/2 x 50
12 x 4 x 5/16 x 19	21 x 6,1/2 x 5/8 x 57
12 x 4 x 7/16 x 22	

Fuente: *Vigas tipo WF*. <http://tubac.com.gt/index.php/productos-y-servicios/vigas-i-u-wf>.

Consulta: mayo de 2018.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Proceso de producción en molinos

Los molinos forman parte del área de *slitter*: molinos, roscado, biselado y empaque. El desarrollo de esta sección está enfocado propiamente en el trabajo realizado en los molinos 483 y 604.

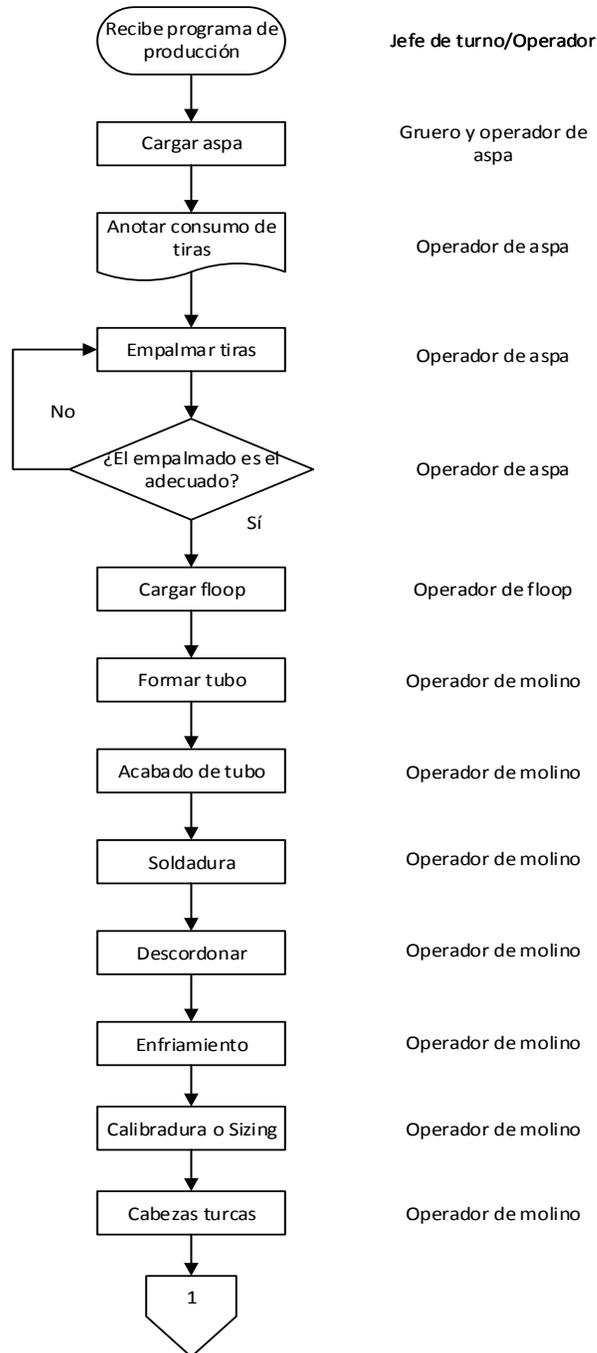
2.1.1. Descripción técnica

Se lleva a cabo la producción bajo condiciones controladas, las cuales incluyen:

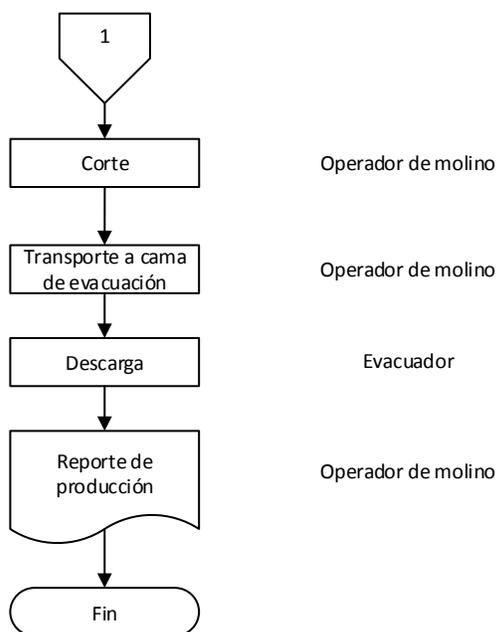
- La disponibilidad de información que describe las características del producto. A través de control de calidad que gestiona las características o requisitos de los productos.
- La disponibilidad de instructivos de trabajo.
- El uso de equipo apropiado.
- La disponibilidad y uso de dispositivos de seguimiento y medición. A través de control de calidad que libera el producto en cada etapa de las operaciones.
- La implementación del seguimiento y la medición delegada a control de la calidad.
- La implementación de actividades de liberación y entrega, mediante el instructivo de inspección de formado.

El siguiente diagrama de flujo muestra el proceso de carga y formado de tuberías en el molino 604:

Figura 3. Diagrama de flujo de carga y formado de molino 604



Continuación de la figura 3:



Fuente: elaboración propia, con base en: Tubex, S. A. *Manual de control de la producción PN*.
Consulta: 2019.

El proceso de carga y formado en el molino 483 es bastante similar. A excepción de dos pasos más después de la descarga: transporte y empaque.

2.1.2. Ventajas actuales

- Se cuenta con manuales de procedimientos de operación.
- Existen protocolos establecidos en caso de emergencias.
- Cuentan con tiempos y acciones establecidas para el cambio de piezas.
- Los molinos cuentan con su propio registro de tiempos productivos y muertos.
- Hay registro diario de todas las actividades realizadas.
- El suministro de insumos y repuestos es continuo y coordinado por parte de bodega.

- Existen antecedentes para la mejora en la lubricación de las piezas mecánicas.

2.1.3. Desventajas

- Las sierras circulares sufren muchas fallas en sus propiedades físicas y algunas mecánicas.
- Los operadores reportan muchos paros injustificados.
- La eficiencia de producción está por debajo de la esperada para la capacidad de los molinos.
- A pesar de contar con secuencias establecidas para el cambio de piezas en los molinos, esto se ve retrasado por la poca eficiencia de los operarios.
- La asignación de sierras y el proceso de afilado en CNC no es el más adecuado para el corte de los diversos tipos de tubería.
- La viruta generada en los cortes genera contaminación en las emulsiones de corte y obstrucción en las bombas que generan el flujo.
- La velocidad de giro de la sierra, junto a la velocidad de trabajo de la cortadora, producen malos acabados en los extremos de la tubería.

2.2. Línea de molinos

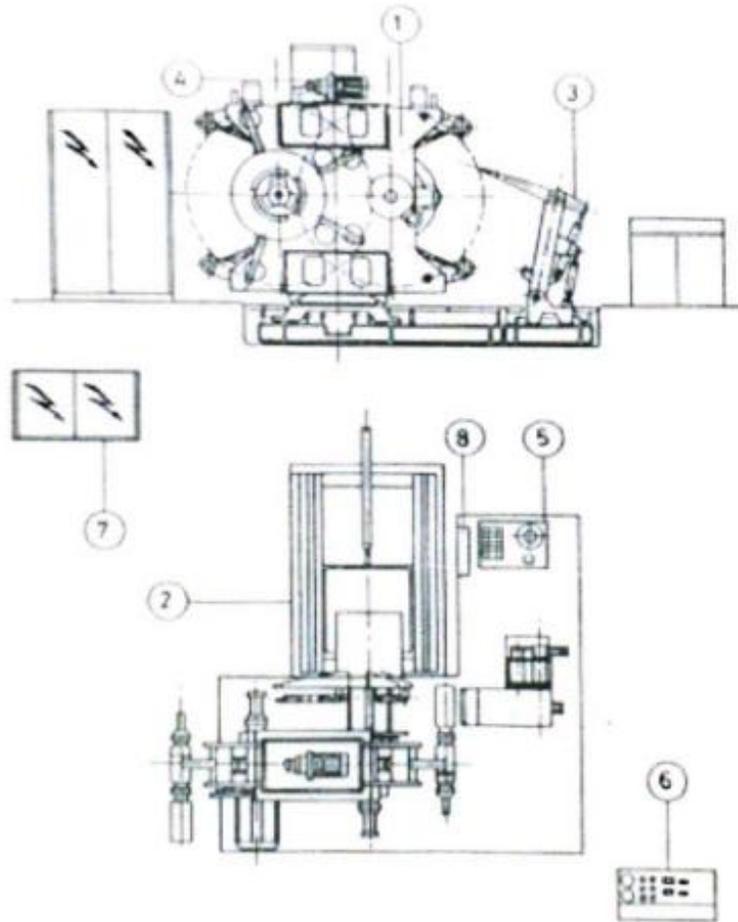
A continuación se detalla las principales partes del molino 604, cuyos componentes son los mismos que los del molino 483, según información obtenida del Manual de operación del molino 604 de Tubex, S. A.

2.2.1. Aspa o devanadera

La unidad desenrolladora con mamparo de retención se encuentra incluida en una línea cuya alimentación de *coils* (tiras) desde el almacén se efectúa

mediante un puente grúa y cadena. La alimentación a la perfiladora es garantizada, eliminando la mayor parte de pausas de carga, desenrollando el *coil* en modo constante y continuo.

Figura 4. Aspa de molino 604



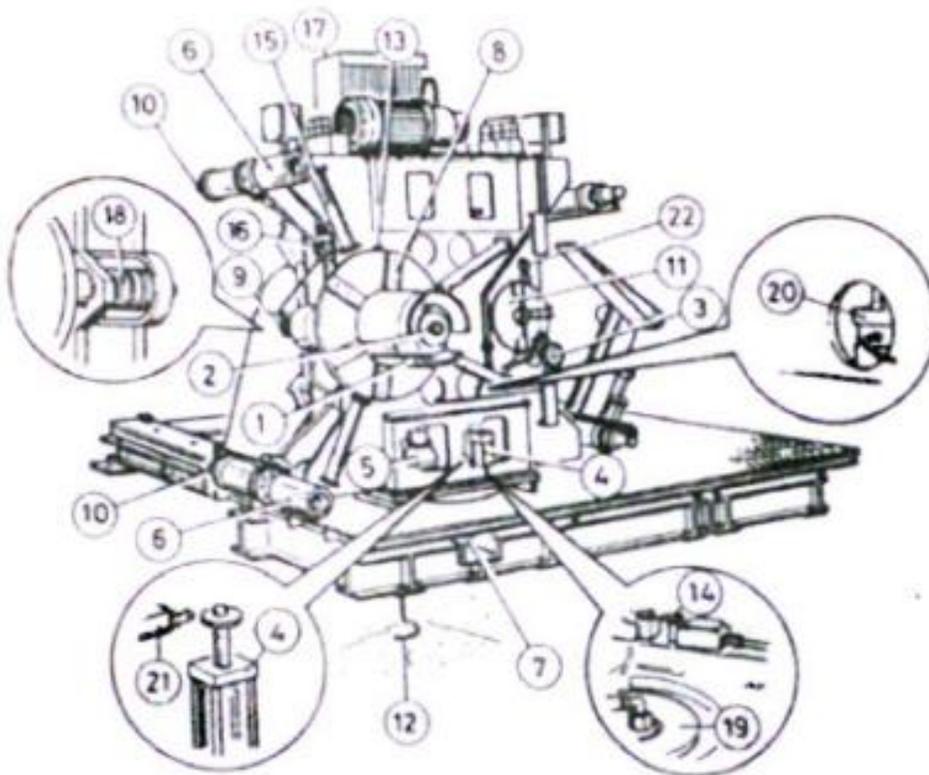
Fuente: Tubex S. A. *Manual de operación de molino 604*. Consulta: 2019.

El sistema desenrollador está compuesto de:

- Devanadera desbobinadora de dos mandriles:

Desenrolla el *coil* alimentando un acumulador de cinta u otras máquinas. Simultáneamente permite cargar un nuevo *coil* en el mandril libre. Desenrollado el *coil*, la devandera gira 180° para quedar en condiciones de desenrollar el *coil* sucesivo.

Figura 5. **Devanadera o desenrolladora**



Fuente: Tubex, S. A.

Tabla XIX. Partes de la devanadera

Partes de la maquinaria:	
1. Espesores de zapatas	13. Sensor inductivo
2. Mandril	14. Final de cadera
3. Freno	15. Rodillos de apoyo de contención lateral coils
4. Cilindro hidráulico de bloqueo de rotación desenrolladora	
5. Motorreductor de rotación desenrolladora	16. Cilindro de movimientos de rodillo desenrollador
6. Rodillos desenrolladores	17. Centralita hidráulica
7. Cilindro de alineación de borde coils	18. Junta electromagnética
8. Placa de apoyo de contención lateral coils	19. Distribuidor giratorio
9. Motor para rotación mandril	20. Electroválvulas neumáticas de freno mandril
10. Motor oleodinámico de rodillo desenrollador	
11. Disco de freno	21. Final de carrera de consentimiento de rotación desenrolladora
12. Tornillo de anclaje	
	22. Acumulador

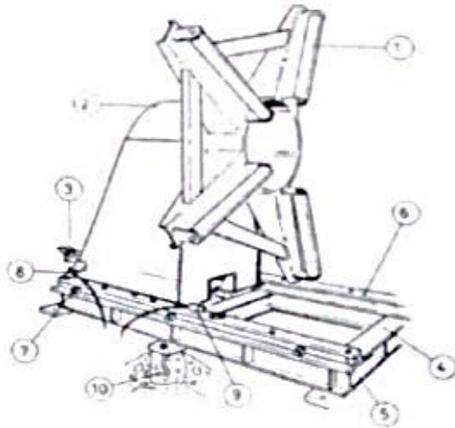
Fuente: Tubex, S. A.

- Mamparo de retención:

Retiene el *coil* durante el desenrollamiento y dispone el eje fijo de la línea respecto de los diferentes anchos del *coil*. Una vez que el *coil* se ha agotado el mamparo debe ser luego reaproximado a fin de mantener en guía el nuevo *coil* a

desenrollar. El mamparo es la unidad que impide a la cinta salir lateralmente durante la operación de desenrollamiento y determina el bode fijo de la cinta.

Figura 6. **Mamparo de retención**



1. Rodillo de contención
2. Caja
3. Cilindro de traslación
4. Basamento
5. Listones metálicos de desplazamiento
6. Listones metálicos de desplazamiento
7. Tornillo de regulación
8. Final de carrera mamparo atrás
9. Final de carrera mamparo adelante
10. Tornillo de fijación al terreno

Fuente: Tubex, S. A.

- Abridor de rollo: separa el cabezal del *coil* mediante una cuña y lo desenrolla por medio de un rodillo de goma desenrollador.
- Centralita oleodinámica a bordo de la máquina: es el órgano que alimenta y gobierna los cilindros y los motores hidráulicos de la desenrolladora.
- Centralita oleodinámica abridora de rollo. Deshabilitada.
- Tablero de mando: es el panel de mando desde el cual el operador gobierna el ciclo de la máquina. Además, le permite controlar todas las funciones de la misma mediante pilotos con las respectivas indicaciones.
- Armario eléctrico: es el cuadro eléctrico que alimenta la unidad y los diferentes órganos eléctricos dirigidos desde el tablero de mando.
- Banco neumático de frenado: es el órgano que controla el frenado de la cinta durante la fase de desenrollamiento con una presión proporcional al

diámetro externo del *coil*, a fin de mantener una adecuada tensión incluso en caso de variación de velocidad.

2.2.2. Empalmadora

El proceso de empalme o encabezamiento sirve para unir la cola de una tira con la punta de otra. La unión de los dos *coils* se efectúa cortando en primer lugar la cola del *coil* concluido. Después, el operador introduce la parte inicial del nuevo *coil*, cortándola. Finalmente, la máquina aproxima los dos bordes de la chapa y el soplete los suelda.

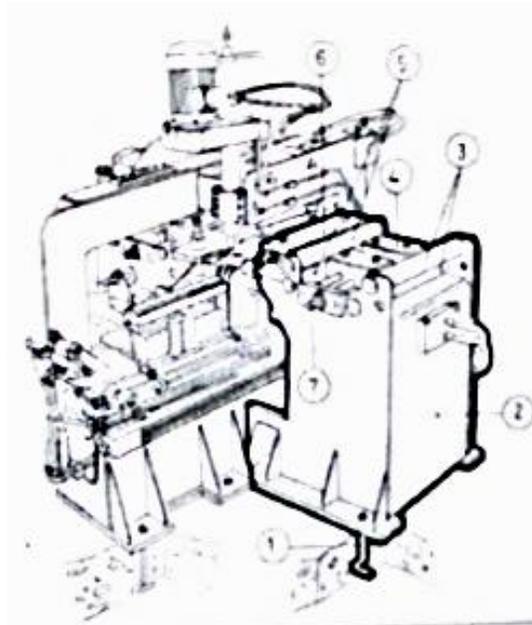
Para garantizar una carga uniforme sobre las cuchillas de encabezamiento, el cilindro actúa indirectamente sobre las cuchillas mismas mediante un vástago de conexión y pares de bielas. Se trata de un mecanismo que funciona en modo análogo a un pantógrafo. Además, el soporte de las citadas cuchillas durante la bajada es guiado por tres columnas, con lo cual se obtiene un perfecto cizallado de la cinta.

- Mordaza fija

El grupo mordaza fija bloquea la cinta a la salida del encabezamiento y la sitúa para el corte y unión con la parte inicial del nuevo *coil* que debe ser colocado en línea. Este grupo es fijado al terreno mediante tornillos de anclaje y se encuentra unido a la máquina. La cinta es retenida por una mordaza horizontal que la bloquea durante el cizallado; concluidas las operaciones de empalme y soldadura, las mordazas se abren y la cinta soldada puede ser dispuesta en línea guiada por rodillos horizontales y guía regulable para cantos.

Figura 7. **Mordaza fija**

1. Tornillo de anclaje
2. Estructura mordaza fija
3. Rodillos horizontales de guía
4. Guía lateral
5. Rodillo horizontal



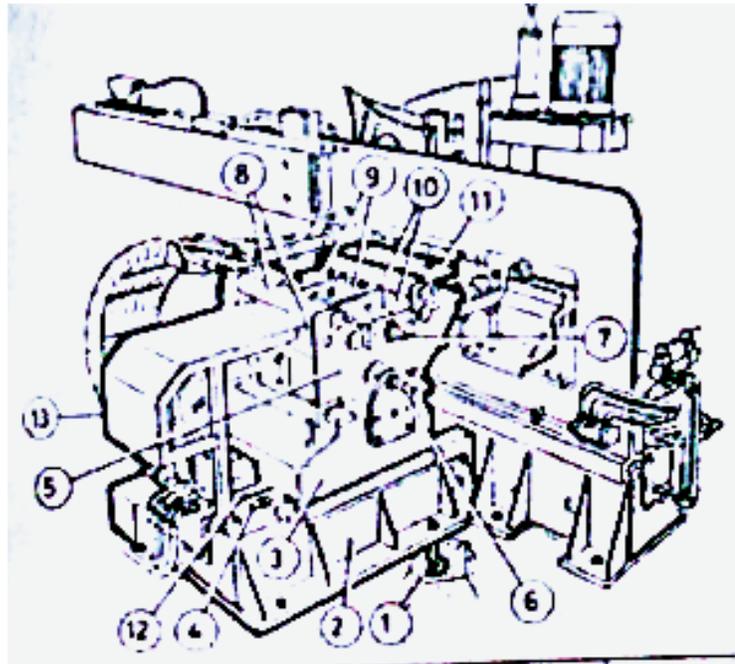
Fuente: Tubex, S. A.

- Mordaza móvil

El grupo mordaza móvil bloquea la punta del nuevo *coil* y la sitúa para el cizallado simultáneo junto a la cola de la cinta en la salida.

Figura 8. **Mordaza móvil**

- | | |
|-------------------------------|--|
| 1. Tornillo de anclaje | 2. Estructura de base mordaza móvil |
| 3. Estructura mordaza móvil | 4. Tope mecánico |
| 5. Mordaza móvil | 6. Regulación transversal de mordaza móvil |
| 7. Regulación guías laterales | 8. Rodillos horizontales de guía |
| 9. Guías laterales | 10. Rodillos horizontales de guía |
| 11. Mordaza horizontal | 12. Cilindro oleodinámico |
| 13. Deslizador de entrada | |



Fuente: Tubex, S. A.

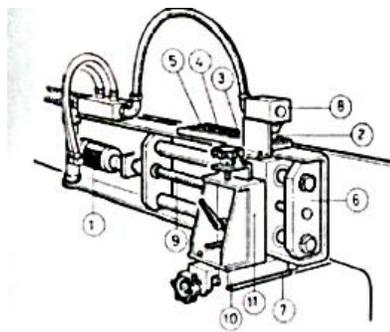
- Portasoplete

El grupo portasoplete está compuesto por un portasoplete regulable sobre tres ejes mediante guías. El grupo es trasladado velozmente hasta el punto de

inicio de soldadura y comienza a soldar con velocidad predispuesta en el tablero de mando.

Figura 9. **Portasoplete**

- | | |
|--|------------------------------------|
| 1. Motorreductor de corriente continua | 2. Leva de retorno veloz soplete |
| 3. Leva de final de soldadura | 4. Leva de inicio de soldadura |
| 5. Leva de soplete en reposo | 6. Estructura |
| 7. Portasoplete | 8. Final de carrera (4 palpadores) |
| 9. Tornillo de traslación | 10. Guías de regulación horizontal |
| 11. Guías de regulación | |



Fuente: Tubex, S. A.

2.2.3. **Acumulador de chapa (*floop*)**

El *floop* es una máquina proyectada para acumular una gran cantidad de chapa en un espacio reducido. La cantidad de chapa acumulada debe ser tal que permita una soldadura entre cabeza y cola de los *coils* en tiempo más que suficiente sin necesidad de detener la línea de tubos.

Está formado por dos grupos de rodillos que forman respectivamente un cesto interno y un cesto externo, montados a modo de formar dos círculos

concéntricos. La chapa es empujada en la máquina por un *pinch-roll* en el espacio anular entre los dos cestos, a una velocidad mayor que aquella requerida por la línea a modo de formar un anillo libre; mientras el anillo libre gira entre los dos cestos del *floop*, la chapa es depositada sobre los rodillos del cesto interno y del externo.

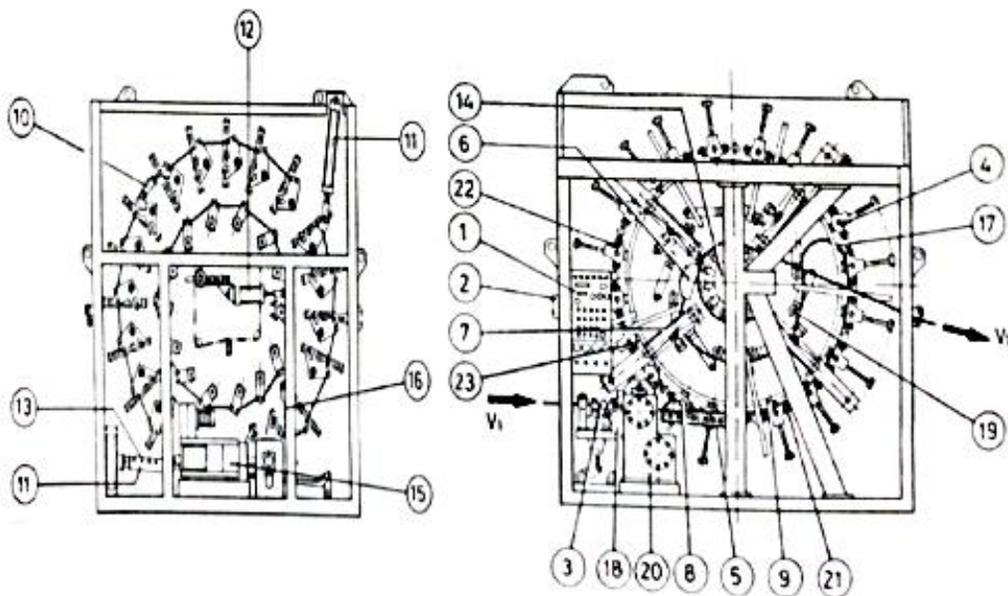
El molino extrae la cinta desde el interior del cesto interno y la enrolla en torno al eje central para superar la desviación entre entrada y salida. El paso se produce sin resbalamiento o fricciones y con una resistencia mínima en la línea misma. La salida de la chapa desde el *floop* provoca la rotación del anillo libre en sentido contrario a aquél de la fase de carga. De este modo se desplaza la chapa desde el interior del cesto externo hacia el exterior del cesto interno, obteniendo con ello el vaciado completo del *floop*. Las variaciones de ancho y de espesor dan lugar en la máquina a regulaciones de las guías laterales.

Figura 10. **Floop**

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Tablero de mando | 11. Cilindro de cesto externo |
| 2. Rodillos de <i>bypass</i> | 12. Cilindro de cesto interno |
| 3. <i>Pinch roll</i> | 13. Tablero de mando |
| 4. Focodula de ausencia de chapa | 14. Rodillos de <i>bypass</i> |
| 5. Mesa de entrada | 15. <i>Pinch roll</i> |
| 6. Desviador hacia el eje central | 16. Focodula de ausencia de chapa |
| 7. Soportes guías laterales | 17. Mesa de entrada |
| 8. Interruptor de partida PXS 1-2-3 | 18. Desviador hacia el eje central |
| 9. Guías laterales | 19. Soportes guías laterales |
| 10. Cilindro sensible | 20. Interruptor de partida PXS 1-2-3 |

Continuación de la figura 10:

- | | |
|----------------------------------|--|
| 21. Guías laterales | 29. Anillo libre |
| 22. Cilindro sensible | 30. Cilindro neumático <i>pinch-roll</i> |
| 23. Cilindro de cesto externo | 31. Rodillos cesto interno |
| 24. Cilindro de cesto interno | 32. Desdoblador |
| 25. Sensores graduación cilindro | 33. Rodillos de cesto externo |
| 26. Eje central | 34. Fococédula partida área 4 |
| 27. Motorización | 35. Fococédula funcionamiento <i>looping</i> |
| 28. Electroválvula | |



Fuente: Tubex, S. A.

2.2.4. Formado y acabado

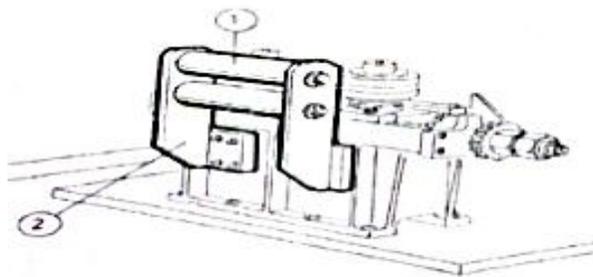
Es el sistema por el cual, mediante secuencias precisas y graduales de deformación en frío, la cinta asume forma circular. Una vez que han sido unidos los extremos de la cinta mediante soldadura inductiva, la misma se convierte en

tubo. Después de la remoción de los residuos de soldadura, el tubo es enfriado y calibrado según la dimensión preestablecida. Las partes de la máquina son:

- Guía de entrada de cinta y guía lateral

Los rodillos fijos de eje horizontal sostienen la cinta mientras las tres guías laterales la guían hacia el primer paso del formado motorizado mediante rodillos estriados. Las estructuras de carpintería son de acero compuesto; los rodillos son de especial acero templado. Los rodillos estriados de eje vertical de la guía lateral de cinta pueden ser regulados manualmente en apertura autocentrada; además pueden guiar lateralmente la cinta para centrarla respecto a los rodillos del formado.

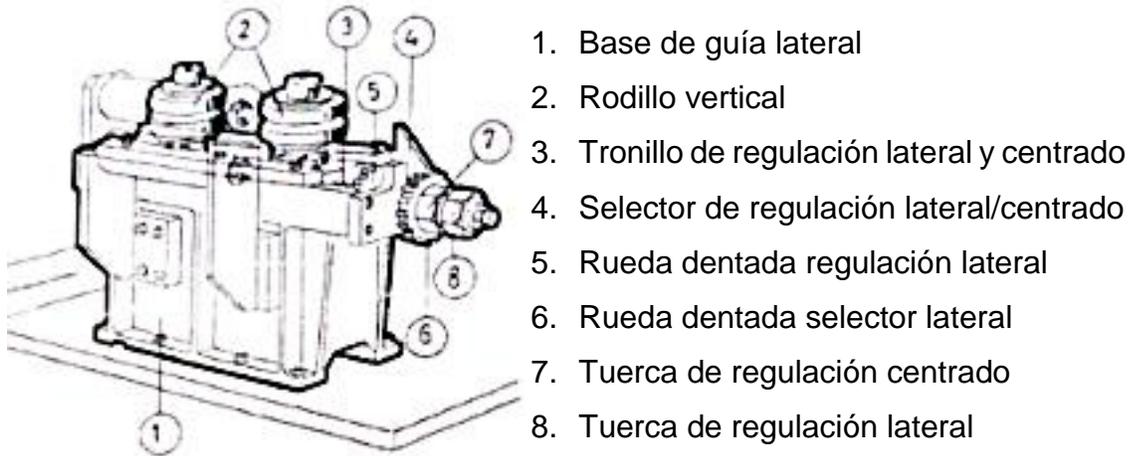
Figura 11. **Guía de entrada de la cinta**



1. Rodillos horizontales
2. Soporte de guía cinta

Fuente: Tubex, S. A.

Figura 12. **Guía lateral**



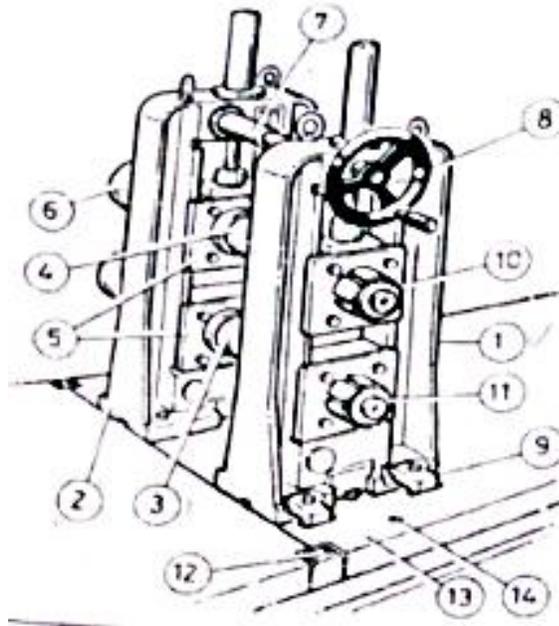
Fuente: Tubex, S. A.

- Bastidor motorizado

Los bastidores motorizados para formado y acabado son sustancialmente iguales y se encuentran fijados a las respectivas palcas. Cada bastidor motorizado está formado por una estructura móvil, por una estructura fija y por dos mandriles motorizados sostenidos por correderas. Los mandriles en el extremo posterior están conectados mediante bridas a juntas cardánicas, las cuales transmiten a los mandriles portarodillos el movimiento giratorio de los ejes de salida de los desdobladores.

Figura 13. **Bastidor motorizado**

- | | | | |
|-----|--------------------|-----|--|
| 1. | Estructura móvil | 2. | Estructura fija |
| 3. | Mandril inferior | 4. | Mandril superior |
| 5. | Corredera | 6. | Brida para conexión motorización |
| 7. | Activador mecánico | 8. | Volante de regulación mandril superior |
| 9. | Cuñas de bloqueo | 10. | Virola superior |
| 11. | Virola inferior | 12. | Tope para placas móviles |
| 13. | Placas móviles | 14. | Tronillo de fijación placa móvil |



Fuente: Tubex, S. A.

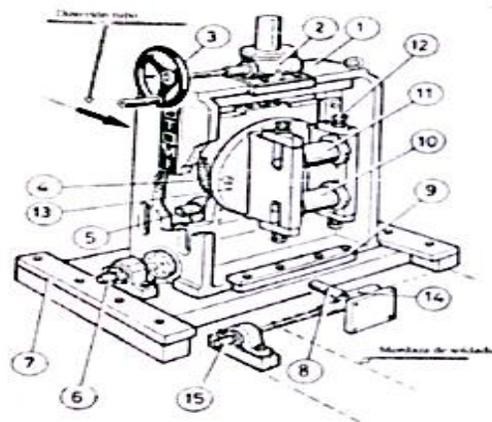
Deben ser regulados en función del espesor de la cinta y el diámetro del tubo. El mandril inferior es fijo y establece la altura del fondo de garganta del tubo desde el plano de base. El mandril superior puede ser regulado haciendo girar los activadores mecánicos mediante accionamiento del volante hasta aproximar el rodillo superior a la cinta o al tubo para obtener un preciso posicionamiento final.

- **Guía de tubo**

La unidad sirve para guiar adecuadamente los bordes de la cinta antes de efectuar la soldadura. Una estructura de acero soldado sostiene un disco radial de acero, dotado de dos casquillos portarodillos neutros de eje horizontal. El disco radial puede girar en 360 grados sobre el eje del tubo mediante un mecanismo de corona y tornillo sin fin; su altura puede ser regulada mediante el volante conectado al activador mecánico. La regulación lateral se efectúa mediante otro mando de tornillo.

Figura 14. Guía de tubo

- | | |
|--|---|
| 1. Bastidor | 9. Listón metálico de guía lateral |
| 2. Activador mecánico de regulación altura | 10. Casquillo portarodillo inferior |
| 3. Volante | 11. Casquillo portarodillo superior |
| 4. Corona dentada | 12. Regulador apertura rodillos |
| 5. Tornillo de mando rotación 360° | 13. Disco radial |
| 6. Tornillo de regulación lateral | 14. Activador mecánico de regulación longitudinal |
| 7. Listón metálico longitudinal | 15. Tornillo de regulación activador mecánico. |
| 8. Tornillo de regulación longitudinal | |

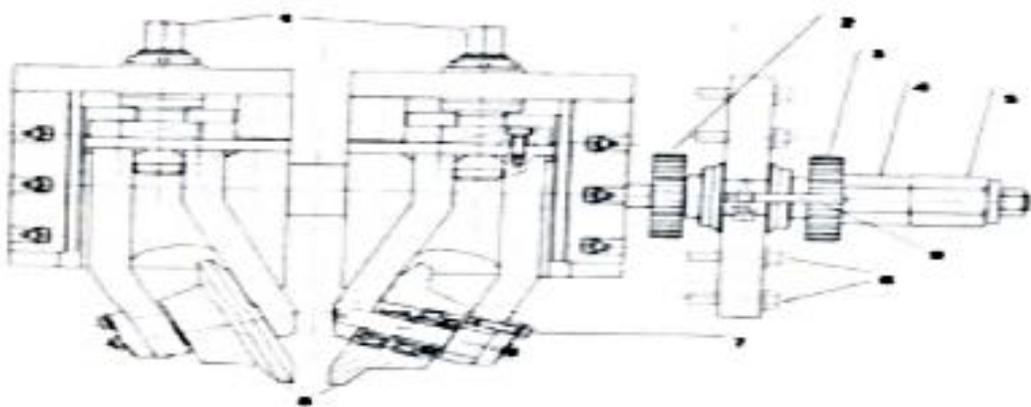


Fuente: Tubex, S. A.

- Mordaza de soldadura con 2 rodos superiores

Para las medidas de 1 ¼" en adelante se utiliza una mordaza de soldadura para 2 rodillos superiores, como se muestra en la figura. Al igual que con el soporte para un rolo superior, el soporte para 2 rodillos superiores se puede regular por medio del volante del activador mecánico o por medio del sistema de motor hidráulico. Hay que tomar en cuenta que, para pequeños ajustes de posición del soporte, deberá hacerse manualmente por medio del volante. Aparte se puede regular la altura de cada rodo independientemente, por medio de los hexágonos de regulación, esto para darle la correcta calibración a los rodillos, de manera que los bordes de la lámina queden en posición uno contra otro para una correcta unión de los bordes.

Figura 15. **Mordaza de soldadura con 2 rodos superiores**



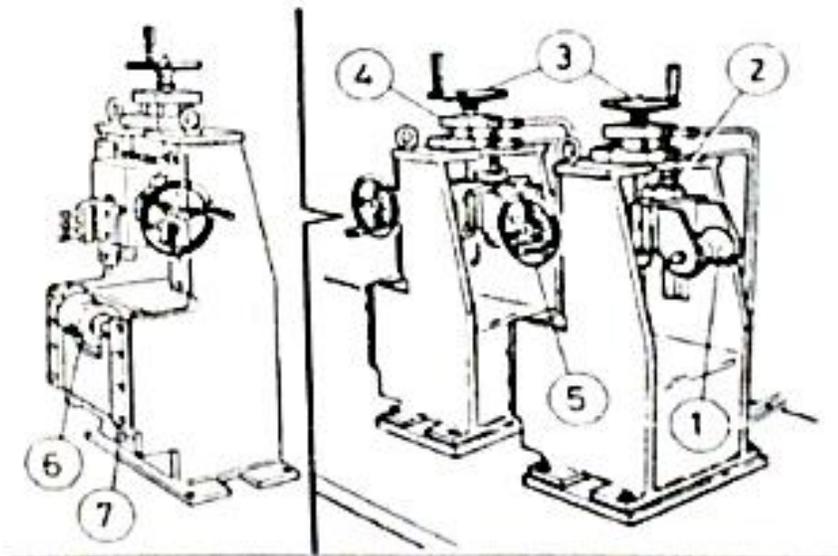
Fuente: Tubex, S. A.

- Bastidor descordonador

El bastidor de descordonamiento es el mecanismo que remueve el cordón producido por la soldadura. Este descordonador opera mediante herramienta moldeada en función del diámetro del tubo. En la línea se tiene 2 unidades de

descordonado y normalmente se trabaja con el primer descordonador, mientras que el segundo sirve para relevar al primero cuando este requiere cambio de pastilla u otra acción que requiera sacarlo de funcionamiento.

Figura 16. **Bastidor descordonador**



Fuente: Tubex, S. A.

- Depósito de enfriamiento de tubos

Para regular la distancia de los rodillos en función del diámetro del tubo, se debe aflojar los tornillos del travesaño interno, disponer el selector sobre la rueda dentada y operar el volante. Para regular la posición de los rodillos con respecto del tubo se debe disponer el selector sobre la rueda dentada y operar con el volante.

2.2.5. Soldadura de alta frecuencia

Se deben seguir los siguientes pasos para procurar el buen curso de la operación en la soldadura:

- Encender panel de alimentación de la cortadora y de los motores de la línea de formado, acabado y calibrado.
- Encender panel de alimentación de la soldadura de alta frecuencia.
- Encender panel de alimentación de *floop* y aspa, así como el de la soldadura de la empalmadora.
- Comprobar que no esté accionado ningún hongo de emergencia, tanto en los paneles de alimentación como en los de control.
- Iniciar la secuencia de restablecimiento de todos los paneles, a modo de eliminar cualquier tipo de alarma comenzando por el aspa, luego la empalmadora, el *floop*, la soldadura, los motores del molino, la cortadora y la empaquetadora.
- Comprobar que haya suficiente chapa en el *floop* y aspa para que el molino trabaje sin provocar un paro inmediato.
- Comprobar la altura a la que está dispuesto que trabaje el descordonador con el molino detenido.
- Colocar el carro de la cortadora al principio de la bancada para iniciar el ciclo de automático.
- Encender los accesorios de la cortadora de esta manera: primero la centralita de los rodillos de descarga y luego la centralita principal.
- Revisar siempre la programación de la sierra en el panel de control (velocidad de corte, rampa de referencia, velocidad de subida de sierra, el largo del tubo).
- Hacer un corte manual y comprobar los parámetros de la sierra.

- Cortar un pedazo de tubo y hacer una prueba del tubo antes de arrancar en caso de que haya otro tubo soldado.
- Comprobar las características del tubo de acuerdo a las normas y especificaciones de calidad.
- Colocar la cortadora en ciclo de automático, según se indica en el manual de la cortadora.
- Predisponer la velocidad de línea del molino a una velocidad de 50m/min para el primer arranque, siempre y cuando no sobrepasen el valor de la velocidad máxima de la cortadora.
- Lego de comprobar el correcto funcionamiento del molino, predisponer la velocidad de trabajo en por lo menos 5m/min por debajo del valor de la velocidad máxima arrojada por la computadora de la cortadora.

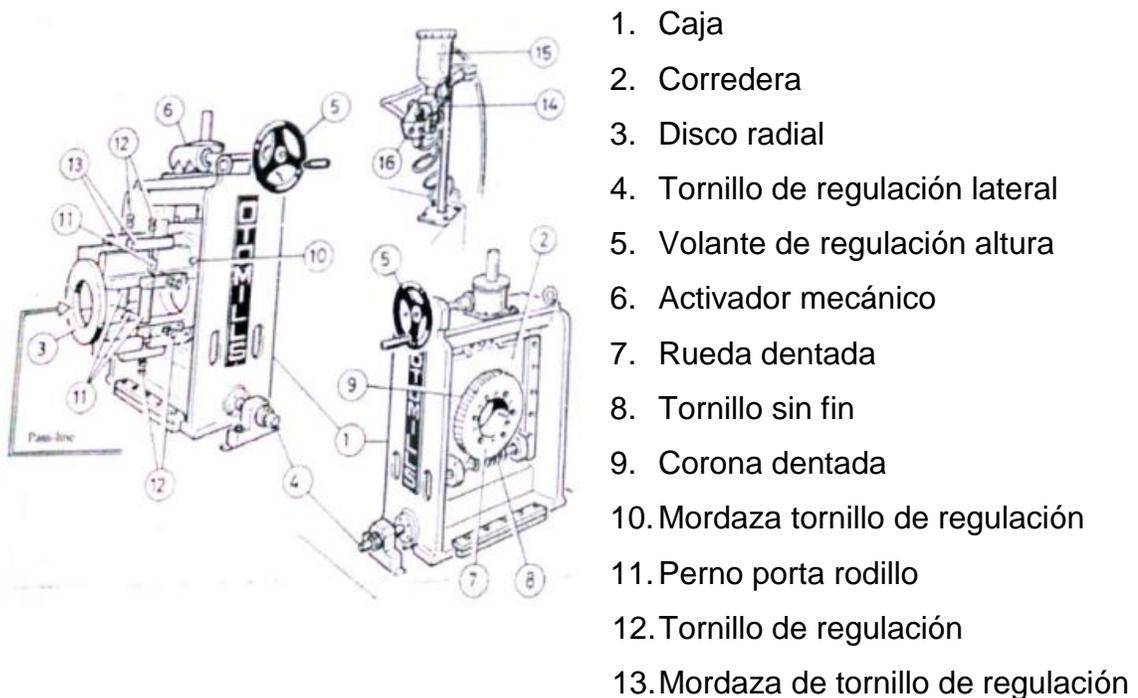
2.2.6. Cabezas turcas para forma y enderezado

Es la sección de línea en la cual el tubo asume su forma definitiva (redonda, cuadrada, rectangular, entre otras). Está formada por las cabezas turcas. Los rodillos de la cabeza turca son neutros y actúan también como enderezadores de tubo. La cabeza turca consiste en una caja de acero soldado que sostiene la corredera del disco radial. El disco radial, enteramente ensamblado, deberá ser sustituido al cambiar la medida del producto a formar. El eje del tubo puede ser regulado lateralmente en cada cabeza turca mediante el tornillo; su altura es regulada mediante el volante conectado al activador mecánico que, a su vez, opera sobre la corredera. Además, el disco radial puede girar en 360 grados operando sobre el tornillo que acciona la corona dentada, la que se encuentra conectada mediante brida al disco radial mismo.

El disco radial está unido a la brida de la cabeza turca mediante cuatro tornillos de fijación y está compuesto por cuatro pernos porta rodillos que pueden

ser ajustados mediante los respectivos tornillos de regulación. Sobre los pernos están montados los rodillos, adecuadamente moldeados en función de la sección de tubo que se desea producir.

Figura 17. **Cabezas turcas**



1. Caja
2. Corredera
3. Disco radial
4. Tornillo de regulación lateral
5. Volante de regulación altura
6. Activador mecánico
7. Rueda dentada
8. Tornillo sin fin
9. Corona dentada
10. Mordaza tornillo de regulación
11. Perno porta rodillo
12. Tornillo de regulación
13. Mordaza de tornillo de regulación

Fuente: Tubex, S. A.

2.2.7. Cortadora de tubería

La máquina ha sido diseñada para instalarse en la producción de perfiles tubulares o abiertos de acero. Se ha concebido para cortar perfiles tubulares de acero. Presenta la posibilidad de variar en pocos milésimas de segundo, la velocidad de rotación durante el proceso de troncado, unidas a un uso específico del software de control y a la notable reducción de los tiempos de corte, para en

general optimizar el trabajo de la cuchilla según el perfil a cortar. Las partes de la cortadora son:

- Cortadora
- Bomba de lavada hoja
- Centralita oleodinámica
- Sonda de velocidad de tubo
- Panel de mando
- Cuadro eléctrico

2.3. Análisis de desempeño

Para el análisis de desempeño se considera el trabajo de producción del molino 483, dándole seguimiento a la producción del turno de 6:00 a 18:00 horas. Sirve como muestra de cómo se desempeñan los operadores y muestra los inconvenientes que se presentan diariamente en el trabajo, considerando el tiempo de vida útil de las sierras circulares y los cambios de piezas necesarias para los diferentes tipos de tuberías.

2.3.1. Tiempos de producción

Existen dos turnos de trabajo, de doce horas cada uno de ellos, durante los cuales hay diversas órdenes de producción atendidas en la jornada. Por ejemplo, el molino 483 atendió en el reporte del 18 de junio de 2 018 cinco órdenes de producción. La primera orden era una tubería de perfil cuadrado de $\frac{3}{4}$ " galvanizada con 6 metros de longitud con calibres de 1,15 y 1,20 mm, de los cuales se produjo 1 005 tuberías catalogadas como de primera clase por superar la prueba hidrostática, 8 tuberías de segunda clase por alguna falla en soldadura y 6 retenidas para chatarra, siendo consumidas 3 tiras de bobina con un peso

total de 1 932 kg y otras 3 con un peso de 2 134 kg. Esto y las demás órdenes se especifican en la siguiente tabla que muestra cómo se hace el registro de un producto:

Tabla XX. Reporte diario de producción de molino 483

Orden	Producto	Calibre (mm)	Tubería 1ra. calidad	Tubería torcido	Tubería 2da. calidad	Retenido	Consumo de bobinas (kg)	Desperdicio
15736	Perfil cuadrado ¾" Galv. 6m	1,15, 1.20	1 005	0	8	6	4 066	0
13081	Perfil cuadrado ¾" Galv. 20p	1,40	259	0	1	2	1 272	0
16022	Perfil cuadrado ¾" Estructural 6m	1.35, 1,30	360	0		3	1 548	0
11649	Perfil cuadrado ¾" Estructural 6m	1,45, 1,40	1629	0	2	12	7 692	0
15568	Perfil cuadrado ¾" Estructural 6m	1,90, 1,75	832	0	2	6	4 653	0

Fuente: elaboración propia, con base en reporte diario proporcionado por Tubex, S.A.

Se trabajó con tubería de perfil cuadrado, diámetro de ¾" y calibres de lámina entre 1,15 a 1,90 mm con sierras circulares de 270 dientes. Se elaboraron 4 127 tuberías, de las cuales 42 no pasaron la prueba hidrostática y tuvieron que ser reclasificadas en segunda clase, para lo cual se consumieron 19 231 kg de bobinas de metal. De esta forma se reporta diariamente la producción.

2.3.2. Tiempos de cambio de accesorios

En los tiempos de cambio de accesorios sucedieron diferentes paros, además del cambio general que se da cuando se trabaja un distinto perfil y se hace cambio de todas las secciones del molino. En el siguiente cuadro se detallan los tiempos muertos que se dieron del mismo reporte diario:

Tabla XXI. Reporte de tiempos muertos

Hora inicial	Hora final	Descripción
6:00	6:05	Calibración de turcas del <i>Sizing</i>
7:15	8:35	3 paros por falta de chapa.
9:10	9:16	Producto acumulado en evacuación.
10:35	10:45	Cambio de turca.
12:00	12:30	Almuerzo.
13:17	13:25	Tubo atascado en molino.
13:25	17:37	Cambio general.
17:37	17:52	Calibración del diámetro.

Fuente: elaboración propia, con base en reporte diario proporcionado por Tubex, S.A.

De las 12 horas de trabajo para el turno matutino, hubo un total en demoras de 6 horas y 58 minutos, siendo el cambio general el tiempo más largo y de demora con 4 horas y 12 minutos. Tan solo 5 horas fueron de trabajo efectivo, lo cual supone una ineficiencia en el cambio general de los molinos. Este patrón se repite en la mayoría de cambios generales de los molinos, por lo cual puede emplearse como una media de tiempos muertos.

2.3.3. Factores que afectan la producción

En el área de producción, existen al menos diez causas de paro que afectan la producción y se detallan con el siguiente código y descripción:

- U0 – falla en cargamento
- U1 – cambio de medida
- U2 – calibración
- U3 – cambio de bobina o ferrita
- U4 – cambio de cabezas turcas
- U5 – cortadora y/o cambio de sierra
- U6 – falla en evaluación
- U7 – falla mecánica
- U8 – falla eléctrica
- U9 - alimentación

Cada uno de estos paros representa tiempo muerto en la producción. También están los paros injustificados, que en su mayoría no fueron reportados por el operador de turno. Se cuenta con la ventaja de que cada molino cuenta con un sistema que cuenta los minutos de producción y de paro, el operador únicamente debe asignar el número de la acción por la cual fue interrumpido el proceso e imprime un diagrama similar al hombre-máquina como la siguiente figura:

Tabla XXII. Comparación de reporte diario de operadores y diagrama de tiempos proporcionado por el molino 483

	Reporte de operadores	Reporte del molino
Tiempo de producción	306 min	344 min
Tiempo muerto	391 min	376 min
Rendimiento	43,90 %	52,22 %

Fuente: elaboración propia.

Se observa que existe una diferencia de un 8,3 % de mayor rendimiento reportado por el molino, que no fue contemplada en el reporte del personal operativo y que puede deberse a diversas situaciones como: mal cálculo de tiempos, olvido de la hora de paro, medición de inicio y fin de producción incorrecta, entre otras. Por tanto el tiempo efectivo de producción es de 344 minutos, el tiempo muerto total es de 375 minutos y el rendimiento efectivo es de 52,22 %.

2.3.4. Registro de cortes de tubería

Actualmente, el registro de las órdenes de producción elaboradas se hace en el reporte diario de producción. También está el registro enfocado al número de cortes realizados por la sierra en trabajo. El seguimiento de cada sierra se hace a través de fichas bibliográficas. Se titulan con el número de dientes de la sierra más la fecha del primer uso. El registro se hace con una columna de fecha de uso, otra del tipo de tubería y calibre, y una última que especifica el número de cortes realizados ese día. Se continúa el uso de las sierras hasta perder filo o se quiebren los dientes.

2.3.4.1. Rendimiento actual

La siguiente tabla muestra el rendimiento actual de las sierras. Se toma como muestra 10 registros al azar que se tienen del año 2 016 al 2 018 para cada tipo de sierra. Estos registros consideran en conjunto los cortes realizados de las sierras durante su vida útil y su uso con una cantidad “n” de afilados:

Tabla XXIII. Rendimiento actual de las sierras

Número de dientes	Perfil	Ancho (plg)	Alto (plg)	Calibre	Cortes promedio
160	Circular	2,00	2,00	2,65	1 140
	Circular	2,00	2,00	2,65	1 755
	Cuadrado	1,00	1,00	2,90	52
	Cuadrado	1,00	1,00	2,90	74
	Cuadrado	1,00	1,00	2,90	514
	Circular	0,50	0,50	2,45	818
	Cuadrado	1,00	1,00	1,45	736
	Cuadrado	1,00	1,00	1,80	3 334
	Circular	2,00	2,00	2,65	985
	Circular	2,00	2,00	2,65	1 511
190	Circular	4,00	4,00	3,35	700
	Circular	1,25	1,25	3,3	1 400
	Circular	1,25	1,25	3,3	1 200
	Circular	2,00	2,00	3,5	1 412
	Circular	4,00	4,00	3,35	824
	Circular	2,00	2,00	3,3	1 189
	Circular	1,25	1,25	3,3	1 322
	Circular	1,25	1,25	3,3	1 538
	Circular	4,00	4,00	3,35	700
	Circular	2,00	2,00	3,5	1 443
240	Cuadrado	2,00	2,00	1,4	545
	Cuadrado	2,00	2,00	1,8	1 192
	Cuadrado	2,00	2,00	1,8	453
	Circular	2,00	2,00	3,35	1 088
	Circular	2,00	2,00	3,5	1 124
	Cuadrado	2,00	3,00	2,9	95
	Cuadrado	2,00	3,00	1,2	403
	Circular	1,25	1,25	2,35	6 074

Continuación de la tabla XXIII:

	Circular	1,25	1,25	3,2	1 346
	Circular	1,25	1,25	3,2	1 477
270	Circular	2,00	2,00	2,65	1 755
	Circular	1,50	1,50	3,3	3 387
	Circular	2,50	2,50	3	271
	Circular	2,50	2,50	3,1	805
	Circular	3,00	3,00	3,10	780
	Circular	4,00	4,00	3	402
	Circular	4,00	4,00	3,35	532
	Rectangular	1,00	3,00	2,3	311
	Cuadrado	2,00	2,00	2,9	1 294
	Rectangular	1,00	4,00	2,3	235
	280	Circular	0,63	0,63	0,85	1 321
Circular		0,50	0,50	0,7	3 400
Circular		0,63	0,63	0,85	4 060
Rectangular		1,00	2,00	1,15	2 500
Cuadrado		0,50	0,50	1,15	2 229
Circular		0,63	0,63	1,15	2 726
Cuadrado		0,50	0,50	1,15	2 745
Cuadrado		0,50	0,50	1,1	2 800
Circular		1,50	1,50	1,45	3 925
Circular		2,00	2,00	1,4	3 253
320	Circular	0,88	0,88	1,20	5 000
	Circular	0,75	6,51	2,60	8 070
	Rectangular	1,00	2,00	3,00	567
	Cuadrado	2,00	2,00	1,40	2 499
	Cuadrado	1,50	1,50	2,65	577
	Circular	0,50	0,50	2,65	1 105
	Cuadrado	0,75	0,75	1,10	500
	Circular	0,88	0,88	1,20	2 624
	Cuadrado	2,50	2,50	1,35	898
	Circular	3,00	3,00	2,10	162
380	Cuadrado	2,00	2,00	1,2	1 658
	Cuadrado	2,00	2,00	1,45	3 250
	Cuadrado	2,00	2,00	1,2	1 134
	Circular	1,50	1,50	1	385
	Circular	4,00	4,00	1,45	920
	Circular	1,25	1,25	1,8	3 843
	Cuadrado	3,00	3,00	1,8	197
	Cuadrado	3,00	3,00	1,45	1 125
	Cuadrado	4,00	4,00	1,45	1 380

Continuación de la tabla XXIII:

	Rectangular	2,00	3,00	1,2	160
460	Circular	0,50	0,50	1,2	692
	Circular	0,50	0,50	0,9	692
	Circular	0,50	0,50	1,15	692
	Circular	0,50	0,50	1,7	1 634
	Circular	0,75	0,75	1,2	3 540
	Circular	0,63	0,63	0,85	5 889
	Circular	0,63	0,63	0,85	2 378
	Cuadrado	1,00	1,00	1,15	1 514
	Rectangular	1,00	1,50	1,15	572
	Cuadrado	0,75	0,75	1,20	2 000

Fuente: elaboración propia, con base en historial proporcionado por Tubex.

A simple vista, los mejores rendimientos de corte se presentan con las sierras Z240, 270 y 280, pero hay que considerar el tipo de tubería que ha sido cortado, perfil, espesor y otros aspectos como la velocidad de corte, que pueden afectar a los dientes de los discos. La sierra Z160 tiene un promedio de 1 092 cortes por sierra y funciona mejor para calibres mayores a 1,6 mm. La sierra Z190 tiene un promedio de 1 072 cortes para calibres mayores a 3,3 mm. La sierra Z240 hace cortes en promedio de 1 380 cortes para calibres entre 0,85 a 1,50 mm. La sierra 270 tiene 978 cortes promedio por sierra. La sierra Z280 promedia 2 896 cortes y sus mejores rendimientos son para calibres menores 1,50 mm. La sierra Z320 promedia 2 200 cortes y las mayores eficiencias las alcanza para calibres entre 1,5 a 2,5 mm. La sierra Z380 promedia 1 405 cortes en la vida útil de cada sierra y la mayor eficiencia se da con tuberías calibre 1,8 mm. Finalmente la sierra de 460 dientes promedia 1 960 cortes y trabaja mejor con calibres menores a 2 mm.

Con estos datos previos se establecerá un modelo estadístico para estimar los cortes máximos que puede dar una sierra estableciendo ciertas variables. Y,

con base en ello, se podrá establecer recomendaciones para maximizar la eficiencia de cortes y extender la vida útil de las sierras.

2.3.5. Seguridad en actos y condiciones realizadas por operarios

Dentro de la certificación de la norma de sistema de gestión ambiental (ISO 14001), se consideran algunos aspectos relacionados a la seguridad industrial. Entre ellos cabe destacar el manejo de productos peligrosos, derrames y respuesta ante emergencias. Para ello se cuenta con un manual detallado de cómo atender a las diversas situaciones en las que peligre el personal y se detalla un resumen a continuación:

- Manejo de productos peligrosos
 - Identificación

Se inicia por la identificación de recipientes que deben tener etiquetas que permitan establecer la peligrosidad de la sustancia que contienen. Para ello se emplea la clasificación de la Norma NFPA 704, que es tan solo un rombo identificado con los colores azul (riesgo a la salud), rojo (inflamabilidad), amarillo (reactividad) y blanco (riesgos específicos) de la siguiente forma:

Figura 19. Rombo de seguridad NFPA 704



Fuente: *Significado e interpretación del rombo de seguridad NFPA-704.*

<https://steemit.com/spanish/@rypo01/significado-e-interpretacion-del-rombo-de-seguridad-nfpa-704>. Consulta: 20 de junio de 2018.

- Hojas de seguridad

Además del rombo, se trabajan las hojas de datos de seguridad. Se tiene un cartapacio con cada una de las hojas de seguridad de los productos y ayudan a:

- Conocer los riesgos potenciales
- Conocer su comportamiento entre otras sustancias
- Conocer el manejo seguro
- Facilitar el tratamiento médico de intoxicación
- Para actuar en forma adecuada en caso de emergencia
- Materiales y reactivos
 - Evitar el contacto con la piel.

- No realizar actividad que impliquen el uso de elementos que provoquen chispas, llamas o fuentes de ignición en los lugares con productos peligrosos.
 - Utilizar equipo de protección adecuado.
 - Evitar derrames (en caso hubiera, ver instructivo de manejo de derrames).
 - Solicitar a bodega de suministros las cantidades necesarias según la actividad programada.
 - Cuando sea necesario transvasarlos, etiquetar adecuadamente.
 - Al manipular las grasas y aceites hay que colocar cartón, bandejas o plástico en el piso para evitar contacto directo y evitar infiltraciones.
- Almacenamiento

En los puestos de trabajo solo podrán permanecer recipientes de siete galones de productos peligrosos que se utilicen habitualmente, debiendo estar bajo la supervisión del jefe de área.

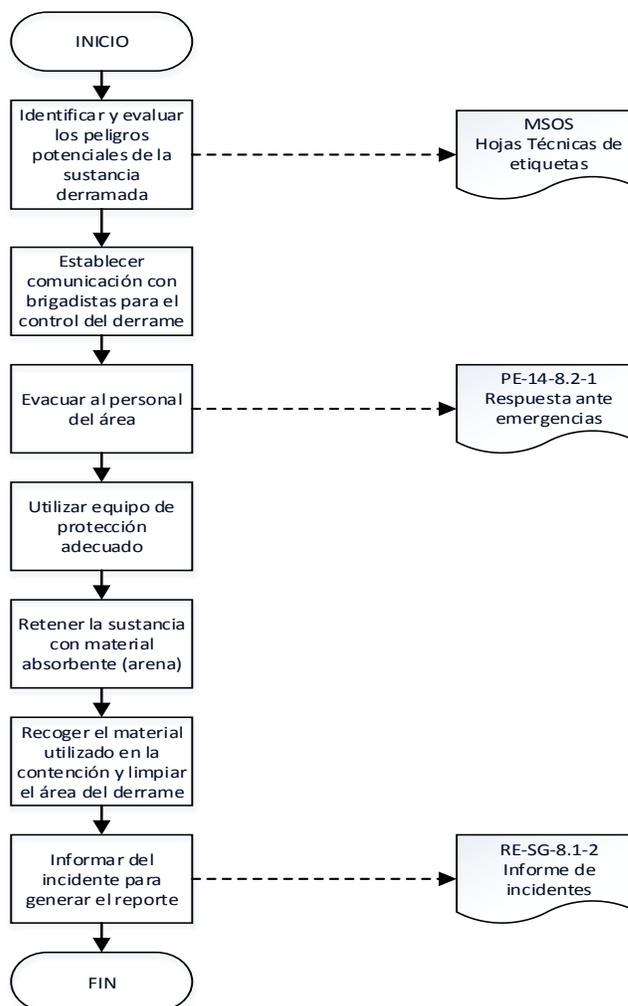
- Manejo de derrames

Ante un derrame, la actividad a seguir debe estar encaminada a mitigar la emergencia, evitar el daño a las personas y las instalaciones, siguiendo las siguientes recomendaciones en caso de derrame mayor:

- Identificar la sustancia derramada mediante la etiqueta NFPA.
- Establecer comunicación con el personal adecuado (brigada de derrames y de evacuación, bomberos).
- Evacuar al personal y asegurar el área.

- Utilizar equipo de protección adecuado.
- Retener la sustancia.
- Limpiar el área del material y trasladar al área de desechos.
- Informar sobre el incidente para documentación.

Figura 20. Diagrama de derrames mayores



Fuente: Tubex, S. A.

- Preparación y respuesta ante emergencias

Una situación de emergencia puede presentarse debido a una amenaza que se puede presentar en cualquier momento y en cualquier área.

- Tipos de amenazas

- Amenazas naturales

- ✓ Sismo
- ✓ Terremoto
- ✓ Inundación

- Amenazas tecnológicas

- ✓ Incendios
- ✓ Estructural locativo y/o funcional
- ✓ Explosiones
- ✓ Derrames
- ✓ Inundaciones

- Tipos de emergencias

- Emergencia parcial
- Emergencia total

- Recursos utilizados

- Recursos internos

- Sistema de detección (alarma)
- Rutas de evacuación y puntos de encuentro
- Sistemas de comunicación
 - ✓ Líneas telefónicas fijas
 - ✓ Líneas telefónicas móviles

- ✓ Internet
- ✓ Brigadistas
- Herramientas, materiales y equipos
 - ✓ Señalización
 - ✓ Hidrantes
 - ✓ Extintores
 - ✓ Toneles con arena
 - ✓ Camilla
 - ✓ Botiquines
 - ✓ Equipo de evaluación primaria y secundaria
- Recursos externos

Se solicita el apoyo de recursos externos como los socorristas.

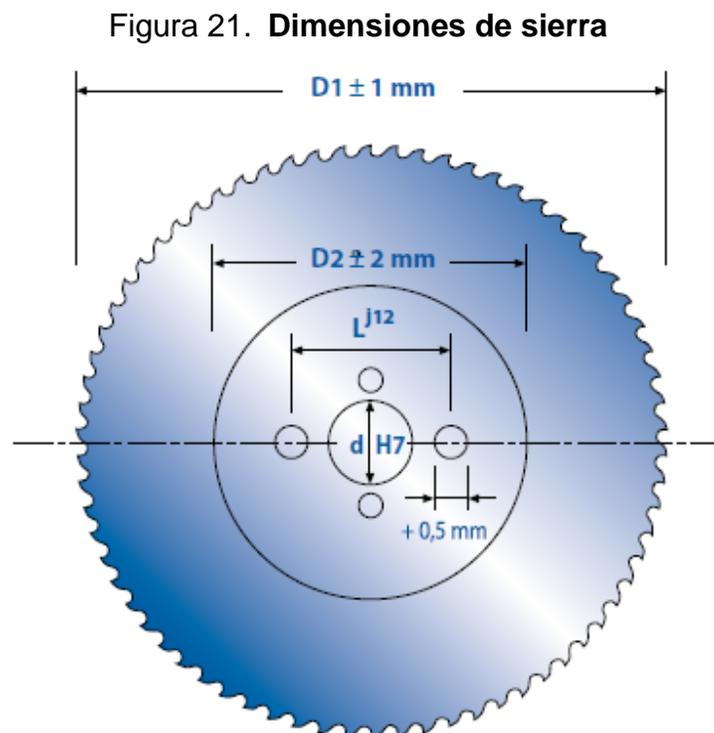
- Después de la emergencia
 - Inspección de áreas afectadas
 - Evaluación y valoración de daños a bienes, productos y propiedad
 - Determinación de zonas potencialmente vulnerables
- Simulacro
 - Recorrido por la ruta de evacuación.
 - Conteo de personal.
 - Utilización de herramientas, material y equipo para emergencias, verificando su estado.
 - Reconocimiento de la señal de alarma por parte del personal.
 - Ubicación del punto de encuentro establecido.

2.4. Tipos de sierras

Para propósitos de esta investigación se trabajará con siete tipos de sierras circulares, las cuales se diferenciarán por el número de dientes que posee cada una.

2.4.1. Consideraciones teóricas

Para la mayoría de las consideraciones teóricas, a continuación se toma de referencia el catálogo de sierras HHS de la empresa italiana Julia. Las sierras serán denominadas por la abreviatura de número de dientes (Z), esto para abreviaciones. La siguiente figura muestra algunas de las dimensiones físicas en milímetros, que se considerarán para los siguientes subtemas empleando las abreviaturas de las mismas:



Continuación de la figura 21:

- D1 Diámetro externo
- D2 Diámetro interno
- L Distancia entre agujeros de ensamble
- d Centro de agujero
- B Espesor de la sierra

Fuente: Tubex, S. A.

2.4.1.1. Dimensiones de las sierras

El diámetro está limitado por el tamaño de la máquina o la profundidad de corte, pero debe ser tan pequeño como sea posible para incrementar la rigidez de la sierra. En la siguiente tabla se encuentra el tipo de sierras con un resumen de sus dimensiones:

Tabla XXIV. Dimensiones de las sierras

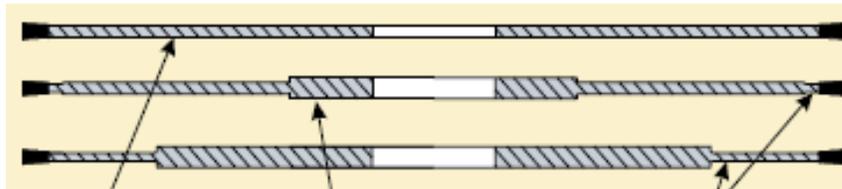
Número de dientes (Z)	D1 (mm)	D2 (mm)	d (mm)	B (mm)
160	450	300	50	2,5
190	600	450	140	4
240	600	450	140	4
270	600	450	140	4
280	450	300	50	2,5
320	600	450	140	4
380	600	450	140	4
460	600	450	140	4

Fuente: elaboración propia.

2.4.1.2. Espesores de las sierras

Pueden ser de espesor uniforme, son las más comunes y baratas. Están las de centro grueso, que proveen un aumento significativo en la rigidez y planeidad de la hoja, es la opción más costosa pero necesaria para un corte muy delgado. Por último están las de borde delgado, permiten reducir la ranura sin reducir el grosor del cuerpo, la sección cónica para aumentar todavía más la rigidez. Cabe aclarar que el tercer tipo de espesor tiene menor longitud de borde delgado que el segundo tipo. En la siguiente figura se ilustran los tipos de espesor:

Figura 22. Tipos de espesores

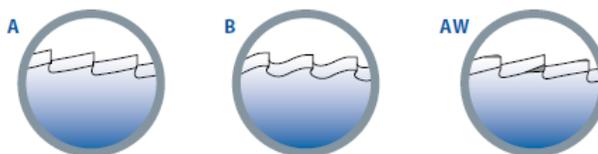


Fuente: *Circular saw selection for secondary manufacturing*. Consulta: 2019.

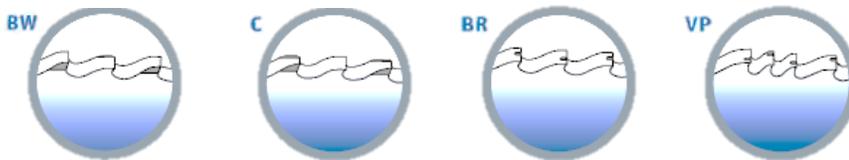
2.4.1.3. Tipo de dientes

Según la empresa Julia, existen las siguientes formas de dientes:

Figura 23. Tipos de dientes de sierras



Continuación de la figura 23:



Fuente: elaboración propia, con base en: Empresa Julia. *Catálogo HSS*. Consulta: 2019.

- La forma A del diente es normalmente utilizada en el dentado fino ($<T3$) para aplicaciones como latón con corte de aleación, joyas y ranurado de tornillo.
- La forma B del diente es normalmente utilizada para tuberías de pared delgada y el corte de formas estructurales, especialmente donde la eliminación de viruta no es un problema.
- Forma de diente AW, a diferencia del tipo A, se bisela alternativamente, por lo tanto optimizando la trituration de *chips*. Es particularmente adecuada para corte de precisión.
- La forma del diente BW es principalmente utilizada para cortar tubos y secciones. El diente es alternativamente biselado a 45° , rompe el *chip* en dos y garantiza bien la evacuación de viruta.
- La forma del diente C se usa para sólidos, secciones o tubos muy gruesos. El *chip* se tritura en tres partes debido a la presencia de tanto un diente de acabado sin chaflán y un diente de precorte (más de 0,25 mm) con dos chaflanes en cada lado.
- La forma del diente BR ha sido introducida con éxito para corte de tubos. Tiene el doble de número de filos y garantiza un mayor número de cortes y un mejor acabado de la sección. También mejora la herramienta de durabilidad en aproximadamente un 20 % porque reduce la sección eliminada por cada afilado individual.

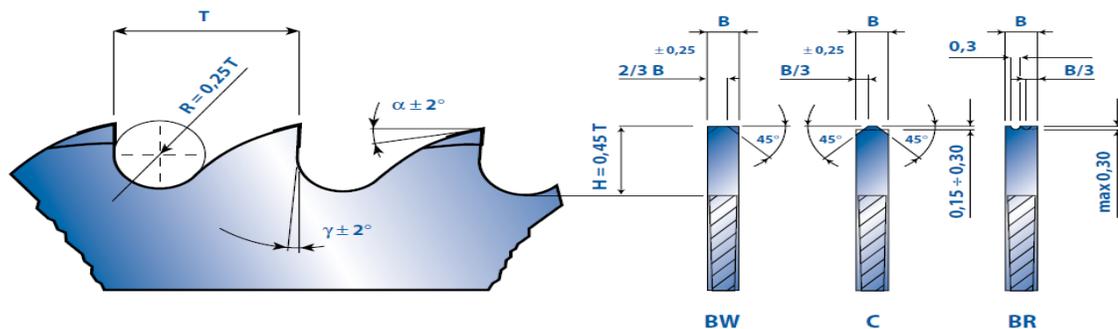
- Forma de diente VP, paso variable, se usa para cortar muy irregular secciones que causan graves vibración y ruido. Garantiza contacto más suave y ofrece un buen compromiso entre la duración del corte y vibración reducida.

La mayoría de sierras empleadas en Tubex, S. A. son de diente tipo B. Sin embargo, algunas otras les generan un biselado para adquirir la forma tipo BR.

2.4.1.4. Ángulo de ataque de los dientes

El ángulo de ataque recomendado por el fabricante es de 18° con una variante de 2° que puede darse en el proceso de afilado. En la siguiente figura se declaran las medidas especificadas para cada diente según la forma. La forma a tratar para los siguientes enunciados será la de tipo BR.

Figura 24. Dimensiones del diente de sierra



B: Espesor de hoja de sierra

T: Paso del diente

H: Altura del diente

R: Diámetro de la garganta

γ : Ángulo de ataque HSS- Dmo5: $\gamma = 18^\circ \pm 2^\circ$

α : Ángulo de esquina desnuda HSS- Dmo5: $\alpha = 10^\circ \pm 2^\circ$

S: Espesor de la pieza

Fuente: Tubex, S. A.

2.4.1.5. Cantidad de dientes

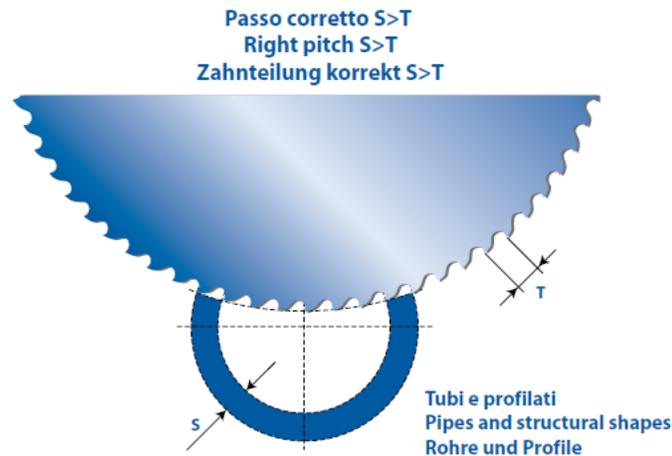
Para los propósitos de esta investigación se trabajarán siete sierras que ya han sido mencionadas en los incisos anteriores que tienen diámetros similares y con el siguiente número de dientes:

- Sierra Z160
- Sierra Z190
- Sierra Z240
- Sierra Z270
- Sierra Z280
- Sierra Z320
- Sierra Z380
- Sierra Z460

2.4.1.6. Paso entre dientes

Es importante considerar la sección que se debe cortar y el material. El paso es correcto cuando la sección del diente radio es de por lo menos 1:3 para barras sólidas y 1:1 para tuberías y formas estructurales. El paso correcto es aquel que sea menor que el espesor de pared de tubería:

Figura 25. Paso entre dientes correcto



Fuente: Empresa Julia. *Catálogo HSS*. Consulta: 2019.

Otra forma de buscar el paso entre dientes es haciendo una relación entre el $D1/Z$ para obtener el paso entre los dientes.

2.4.1.7. Profundidad de garganta

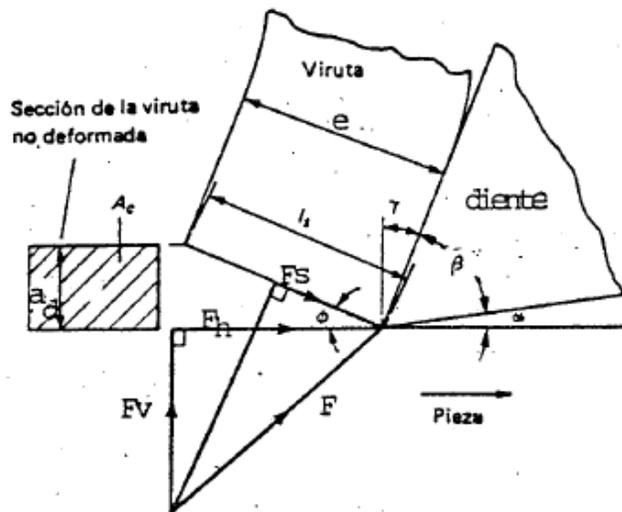
El fabricante recomienda que para la profundidad de garganta se emplee el 45 % del valor del paso entre dientes, y el radio de curvatura con que desliza la viruta debe ser el 25 % del valor del paso entre dientes.

2.4.1.8. Fuerza centrífuga

Soler, Berges y Altemir sugieren una relación de fuerza que actúa sobre cada diente como: $F_{HD} = K a_d b$. En este caso las fuerzas varían de dirección a lo largo de la herramienta, por lo que para hallar la fuerza resultante habrá que sumar la fuerza sobre cada diente. Para ello se considera que los dientes están

distanciados entre sí un infinitésimo, permitiendo la integración y cálculo de las fuerzas totales sobre la herramienta o su eje⁸.

Figura 26. **Fuerza resultante de corte de la sierra**



Fuente: SOLER, R; et al. *Estudio de las características del aserrado y su análisis económico*. P.

94

Este modelo aplica tanto a la industria maderera como a la de aceros. En la propuesta de mejora se planteará una relación entre la fuerza de corte y la forma del perfil a cortar.

2.4.1.9. Tensión en dientes al cortar

Se requiere que una sierra circular tenga una superficie perfectamente plana y en equilibrio dinámico cuando está en rotación, es necesario que el fabricante o el operador de a su cuerpo, cuando esté en reposo, una expansión o alargamiento suficiente para compensar la deformación causada por la

⁸ SOLER, R; BERGES, L; ALTEMIR, J. *Estudio de las características del aserrado y su análisis económico*. 1987.

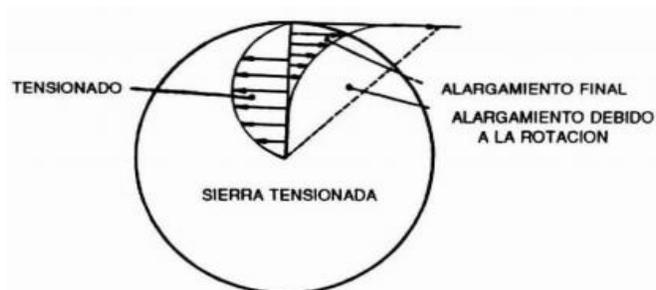
velocidad. A esta expansión del cuerpo de la lámina se le llama tensión. Se da tensión a las sierras circulares para que el cuerpo de la lámina pueda seguir el agrandamiento de los bordes bajo la influencia de la fuerza centrífuga y pueda acrecentar gradualmente la resistencia propia de la zona circunferencial, que es la más afectada.

2.4.1.10. Dilatación térmica

A medida que se extiende el tiempo continuo de uso de una sierra, esta se comienza a dilatar por el calor producido en sus bordes, y, en cierta parte, hace desaparecer la tensión. El acondicionamiento y mantención de sierras circulares se puede calcular con el valor de dilatación, sabiendo que el acero dilata un 0,12 % para un calentamiento de 37,8°. ⁹

La siguiente figura representa un diagrama de fuerzas de una sierra circular, mostrando la parte tensionada y el alargamiento final que puede llegar a sufrir:

Figura 27. Alargamiento de la sierra en movimiento



Fuente: QUEZADA, Alonzo. *Acondicionamiento y mantención de sierras circulares*.

<http://biblioteca.infor.cl/DataFiles/14350.pdf>. Consulta: 22 de junio de 2018.

⁹ QUEZADA, Alonzo. *Acondicionamiento y mantención de sierras circulares*. p. 18

Es necesario que estos alargamientos sean constantes, de lo contrario se producen vibraciones que entorpecen la estabilidad y el correcto funcionamiento de la lámina.

2.5. Proceso de afilado en Rekord 500 CNC

Para el proceso de afilado se emplea la máquina Rekord 500 CNC.

2.5.1. Descripción de la máquina

La Rekord 500 es una máquina de control numérico computarizado (CNC) modelo 2017 de fabricación italiana. Tiene por función afilar los dientes de las sierras circulares empleadas en el corte de tubería. Funciona con 380V – 50Hz – 3HP.

Para entender la descripción del funcionamiento y operación de la máquina se emplearán los siguientes códigos de comandos con los que cuenta el panel de operaciones:

- H1 – Lámpara.
- S1 – Encendido/Apagado.
- S2 – Motor de la bomba y aspirado ON/OFF: activa la función solo cuando la cabina está cerrada.
- S3 – Aspirado con comando manual ON/OFF.
- S4 – Preajuste.
- S5 – Ciclo automático START/STOP: la bomba eléctrica y el aspirador se inician automáticamente, el led del botón S5 se enciende.
- S6 – Rotación antihoraria rápida para sierra circular.
- S7 – Rotación antihoraria lenta para sierra circular.

- S8 – Rotación horaria rápida para sierra circular.
- S9 – Rotación horaria lenta de la sierra circular.
- S10 – Cancelación de datos.
- S11 – Confirmación de datos.
- S12 y S13 – Selección.
- S14 a S17, S21 y S22 – Funciones del teclado.
- H3 – Afilado del diente forma C – DIN 1 840: la lámpara de control parpadea. Con diente áspero: acceso. Con diente fino: apagado.
- S18 a S20 – Mostrar el ajuste de contraste: puede seleccionarse el modo de visualización en secuencia (escritura negra sobre fondo blanco o viceversa).
- EM1 – Emergencia: la máquina se puede detener instantáneamente presionando EM1. El botón está provisto de un enclavamiento mecánico, que debe ser desbloqueado girando el mando en sentido horario para neutralizar la parada de emergencia.

2.6. Mantenimiento actual de los dientes de la sierra circular

Para el esmerilado y limado de los dientes se utiliza el panel de programación de la Rekord 500 CNC, en el cual se puede guardar la programación de un tipo de afilado de sierra en específico para luego ser usado nuevamente, según lo observado. Con el botón S11 se visualiza el *display* con las siguientes opciones de programación:

Tabla XXV. **Display Rekord 500 CNC**

AFILADO		Medida
Tipo diente		
Diámetro de sierra		Mm
Número de dientes		
Paso del diente		mm
Profundidad del diente		mm
Espesor de sierra		mm
Diferencia de altura		mm
Eliminación <A>		mm
Eliminación 		mm
Velocidad de trabajo		s/d
Ángulo desnudo		deg
Ángulo de derrape		deg
Ángulo alfa		deg

Fuente: elaboración propia, traducido del manual de Rekord 500 CNC.

2.6.1. **Esmerilado y limado de los dientes**

De las siete sierras a estudiar y mencionadas con anterioridad, todas se trabajan con las mismas características de fábrica en el esmerilado y limado de los dientes de las mismas. Es decir, no perciben mayor modificación en el diseño de los dientes, a medida que se va reduciendo el diámetro de la sierra. Sin embargo es necesario aclarar los siguientes procedimientos realizados:

- El espesor de la sierra debe ser especificado si es A, B o C.

- Se requiere de un nuevo cálculo del paso conforme se desgaste la sierra en cada nuevo afilado, esto se hace haciendo una relación entre el diámetro externo y el número de dientes.
- La profundidad del diente debe ser calculada para un ± 20 % de incerteza.
- La velocidad de trabajo va a variar según el espesor y dureza de la sierra, el paso entre dientes, la calidad del acabado del filo, entre otras.

2.6.2. Fluidos de corte

Boothroyd, en su libro de *Fundamentos de corte de metales y de las máquinas-herramientas*, se refiere a los fluidos de corte como refrigerantes y lubricantes. Las principales ventajas que presentan los refrigerantes son las siguientes:

- Incremento en la vida de la herramienta por la reducción de la temperatura en la zona de filo.
- Manejo más fácil de la pieza terminada.
- Reducción de la distorsión térmica debido a los gradientes de temperatura generados dentro de la pieza durante el mecanizado.

En las acciones de los lubricantes, Bowden y Tabor demostraron que en condiciones de alta temperatura y presión y baja velocidad de deslizamiento, no se podía mantener la película hidrodinámica, y que así se presenta contacto directo. La resistencia al movimiento debido a la fricción bajo estas condiciones surge de una combinación de corte de las rugosidades y corte viscoso del fluido. Esto se conoce como lubricación límite y es afectada grandemente por la naturaleza de la capa de fluido entre las superficies de los metales en contacto.

El fabricante de la máquina sugiere los siguientes tipos de aceite soluble para el afilado de sierras circulares en acero HSS y para el corte por fricción, el factor refractométrico relativo y la concentración que debe producirse después de mezclar con agua. El orden es aleatorio y no debe considerarse como indicativo de calidad:

Tabla XXVI. **Aceites solubles**

Marca	Tipo	Factor refractométrico	Concentración
BLASER	Grindex 10	1,4	3 %
CASTROL	Syntilo S	1,3	3 %
RHENUS	TY 100 S	1,7	3 %
HOUGHTON	Houghto Grind 600	1,8	3 %
BP	Syntogreen G	2,0	3 %
TOTAL	Vulson Syn GR	3,3	3 %
PETROFER	Isogrind A20	1,3	3 %

Fuente: elaboración propia, con base en *Manual Rekord 500 CNC*.

Las aguas emulsivas son mezclas de agua y soluble especial utilizado para la refrigeración y lubricación en el formado de los tubos y toda la máquina-herramienta de corte en Tubex, S.A. Actualmente, se emplea el solvente Castrol TRS – 185 Iloform para dicho propósito, siempre en concentración del 3 %. Además, es de aclarar que el rendimiento del solvente variará de acuerdo a las características del agua usada (dureza, acidez, entre otras). De igual forma aplican el mismo lubricante en cortadoras de los molinos, a diferencia que la

carga de emulsión en el tanque es de un 6 % y las recargas del tanque de emulsión son al 2 %.

En lo que respecta al aceite de lubricación de la máquina, se lleva a cabo la automática lubricación al presionar el botón S11 (ver inciso 2.5.1). El tanque de la bomba de lubricación se llena con el aceite MOBIL VACTRA No. 2, que también es el recomendado por el fabricante.

2.7. Pruebas hidrostáticas en tuberías

Las pruebas hidrostáticas son las pruebas de presión a las que deben someterse las tuberías para asegurar su hermeticidad, que es parte de los requisitos de las normas ASTM.

En lo que respecta a la emulsión para la prueba hidrostática en el molino 604, se emplea el soluble Biocide. Para su preparación se necesita:

- Agregar 5 galones de lubricante solvente a la mezcla
- Agregar 2 galones de Biocide a la mezcla
- Agregar 10 galones de agua a la mezcla
- Descargar mezcla a la canaleta de la prueba hidrostática

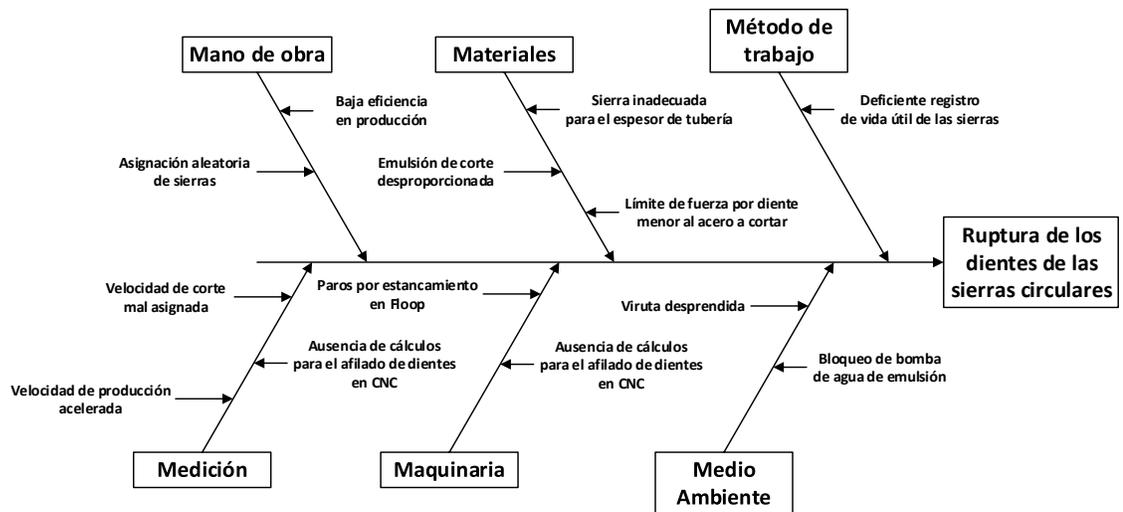
Se debe evitar echar solamente agua al tanque de emulsión y evitar tirar comida, otro tipo de agua y cualquier contaminante. De hacerlo, podría provocarse un desgaste acelerado de las sierras y de la cortadora en sí.

3. PROPUESTA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS Y LA MEJORA EN EL RENDIMIENTO DEL CORTE DE ACERO

3.1. Metodología de análisis causa-raíz

Este método permite pasar de las causas generales de un problema a lo específico. Esto mediante el uso de las 6M: materiales, métodos, mano de obra, mediciones, maquinaria y medio ambiente. El siguiente diagrama muestra el análisis de las causas que perjudican la ruptura de los dientes en las sierras.

Figura 28. Diagrama causa-raíz



Fuente: elaboración propia.

Estas son la mayoría de causas que afectan el buen desempeño de las sierra, siendo el trabajo de los operadores de mayor incidencia en la problemática de los dientes quebrados.

3.2. Análisis estadístico de los registros de sierras

Con el registro proporcionado por la empresa, se obtiene una base de datos con la cual se puede hacer un análisis estadístico.

3.2.1. Base de datos

En un principio se estimaba trabajar con siete tipos de sierras, todas ellas clasificadas por el número de dientes de cada una de ellas. Al final se analizaron nueve sierras, es decir, dos sierras más. La base de datos que se obtuvo con registros proporcionados por la empresa oscila entre 50 a 250 registros de las sierras. Para fines de consulta se debe revisar en anexos el registro obtenido.

3.2.2. Modelo de regresión múltiple

El modelo de regresión múltiple aplicado a esta investigación se desarrolla con el método de mínimos cuadrados.

3.2.2.1. Declaración de variables independientes y dependientes

Para el cálculo estadístico se estableció una relación de las tuberías con la capacidad de cortes que puede realizar la sierra, donde las variables independientes son el perfil de tubería, su ancho, su altura y el espesor/calibre de la misma, y todas estas dependen del número de cortes que pueda realizar la

sierra, por tanto esta es la variable dependiente. En la siguiente tabla se establecieron las variables de la siguiente manera:

Tabla XXVII. **Declaración de variables**

Variable independiente X1	Perfil
Variable independiente X2	Ancho
Variable independiente X3	Altura
Variable independiente X4	Calibre/Espesor
Variable dependiente Y	Número de cortes hasta su corte o ruptura

Fuente: elaboración propia.

Cabe hacer diversas aclaraciones. Del perfil se asignó un número a tres tipos de perfil de tubería: 1. Cuadrado; 2. Rectangular; 3. Circular. A las tuberías con perfil circular se le asignó como ancho y altura su mismo diámetro. El calibre y espesor se trabajó en milímetros.

3.2.2.2. Estimación de los coeficientes

En esta sección se busca establecer los coeficientes b_0, b_1, \dots, b_k mediante el ajuste del modelo de regresión lineal múltiple:

$$y_1 = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$$

Donde y_1 es la respuesta observada para los valores x_1, x_2, \dots, x_k de las k variables independientes. Para llegar a las estimaciones b_k se minimiza la expresión. El programa de Office Microsoft Excel cuenta con su propio paquete estadístico de regresión, el cual permite la estimación de estos coeficientes y otros datos estadísticos, obteniendo los siguientes coeficientes para cada una de las sierras que a continuación se presentan:

Tabla XXVIII. Coeficientes de regresión múltiple

Coeficientes	Z140	Z180	Z190	Z240	Z270	Z280	Z320	Z380	Z460
b_0	-1 077,54561	2 379,655773	724,230073	1 546,15577	962,491844	1 368,29725	1 459,684279	1 311,78839	1 421,92879
b_1	0	354,6539645	448,591982	151,587798	310,043016	54,1557802	-261,689957	147,243541	-85,8349535
b_2	1 741,412874	-3 384,21721	-140,220376	216,176072	-64,4622987	-107,201392	-259,468243	49,7086756	47,6075379
b_3	0	1 598,42657	-233,201682	-241,516192	-150,505791	1 062,00293	160,755217	-129,717522	7,66988346
b_3	39,39114391	-1,33302839	-131,192292	-320,683352	-3,87806686	-7,34600315	276,2548224	-193,334671	-284,421393

Fuente: elaboración propia.

Con los coeficientes calculados en el programa Microsoft Excel se puede fácilmente sustituir las variables independientes para obtener el número aproximado de cortes que podrá hacer cierto tipo de sierra antes de su desgaste o ruptura prematura. Hay que resaltar que para este estudio estadístico no se consideró la dureza del acero a cortar por ausencia de registros. Así también, se hizo la estimación para cada una de las nueve sierras y finalmente se eligió la que muestra mayor rendimiento. Por ejemplo: se debe elaborar una tubería industrial de perfil rectangular con medidas de $\frac{3}{4}$ "x1" y chapa 22 (0,70 mm);

entonces se analizan las nueve sierras que serían también nueve ecuaciones. Se mostrará el cálculo con la sierra de 240 dientes:

$$y_{240} = 1\,546,15577 + (151,587798 * 2) + (216,176072 * .75) - (241,516192 * 1) - (320,683352 * 0,70)$$

$$y_{240} = 2\,453 \text{ cortes}$$

De la misma manera se hace el cálculo con las otras 8 sierras, empleando sus respectivos coeficientes. La tabla siguiente muestra en orden descendente el rendimiento en el número de cortes para cada sierra:

Tabla XXIX. **Rendimiento calculado**

Sierra	No. Cortes
Z280	2 453
Z180	2 148
Z240	1 545
Z270	1 381
Z380	1 379
Z190	1 191
Z320	1 096
Z460	1 095
Z160	256

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se puede concluir que la mejor sierra para las características de tubería especificada es la de 280 dientes, siendo la sierra de 160 dientes la que peor rendimiento obtendría. De esta manera se hace la comparación entre sierras para las diversas tuberías. Las siguientes tablas muestran las recomendaciones de sierras según la tubería a trabajar:

Tabla XXX. **Sierras para tubería industrial rectangular**

MEDIDA	CHAPA				
	22	21	20	18	16
1/2" x 1"	Z180, Z280, Z240				
1/2" x 1 1/2"	Z180, Z280, Z240				
3/4" x 1"	Z280, Z180, Z240				
3/4" x 1 1/4"	Z280, Z180, Z240				
3/4" x 1 3/4"	Z180, Z280, Z240				
1" x 1 1/2"	X	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240
2" x 1"	Z140, Z280, Z240				

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Sierras para tubería industrial redonda**

MEDIDA	CHAPA				
	22	21	20	18	16
5/8"	Z180, Z280, Z240	Z180, Z280, Z240	Z180, Z280, Z240	Z180, Z280, Z240	Z180, Z280, Z270
3/4"	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240
7/8"	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z190	Z280, Z180, Z190
1"	Z280, Z240, Z270	Z280, Z240, Z270	Z280, Z240, Z270	Z280, Z270, Z180	Z280, Z270, Z180

Continuación de la tabla XXXI:

1 ¼"	X	Z280, Z240, Z270	Z280, Z240, Z270	Z280, Z270, Z240	Z280, Z270, Z240
1 ½"	X	Z280, Z240, Z270	Z280, Z240, Z270	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z270
1.9"	X	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z270
2"	X	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z270

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Sierras para tubería industrial cuadrada**

MEDIDA	CHAPA				
	22	21	20	18	16
½"	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320
¾"	Z280, Z180, Z240	Z280, Z240, Z180	Z280, Z240, Z180	Z280, Z320, Z180	Z280, Z320, Z181
1"	Z280, Z240, Z320	Z280, Z240, Z320	Z280, Z240, Z320	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240
1 ¼"	Z280, Z240, Z320	Z280, Z240, Z320	Z280, Z240, Z320	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240
1 ½"	X	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320
2"	X	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. Sierras para tubería ASTM A500: rectangular negra y galvanizada

MEDIDA	CHAPA						ESPESOR		
	18	16	14	13	12	11	1/8"	3/16"	1/4"
1/2 x 1"	Z180, Z280, Z270	Z180, Z280, Z270	Z180, Z280, Z320	X	X	X	X	X	X
1/2 x 1 1/2"	Z180, Z280, Z320	Z180, Z280, Z321	Z180, Z280, Z320	Z180, Z280, Z320	X	X	X	X	X
3/4 x 1"	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	X	X	X	X
3/4 x 1 1/4"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z180, Z270	Z280, Z180, Z270	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	X	X	X	X
3/4 x 1 3/4"	Z180, Z280, Z320	Z180, Z280, Z320	Z180, Z280, Z320	Z180, Z280, Z320	Z180, Z280, Z320	X	X	X	X
1 x 1 1/2"	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	X	X	X	X
1 x 2"	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z240	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	X	X	X
2 x 4"	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140
2 x 5"	X	Z280, Z180, Z140	X	X	X	Z280, Z180, Z140	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140
2 x 6"	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140
2 x 7"	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140
2 x 8"	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140
2 1/2 x 7"	X	X	X	X	X	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140
2 1/2 x 8"	X	X	X	X	X	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140
2 1/2 x 10"	X	X	X	X	X	X	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140	Z280, Z180, Z140
3 x 2"	X	Z140, Z280, Z240	Z140, Z280, Z240	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	X	Z140, Z280, Z240	Z140, Z280, Z240
3 x 4"	X	X	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	X	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240
3 x 5"	X	X	X	X	X	Z280, Z140, Z320	X	Z280, Z140, Z380	Z280, Z140, Z380
3 x 6"	X	X	X	X	X	Z280, Z140, Z180	X	Z280, Z140, Z180	Z280, Z140, Z180
4 x 5"	X	X	X	X	X	Z280, Z140, Z320	X	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240
4 x 6"	X	X	X	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	X	Z280, Z140, Z460	Z280, Z140, Z460
4 x 8"	X	X	X	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	X	Z280, Z140, Z180	Z280, Z140, Z180
2 x 10"	X	X	X	Z180, Z280, Z320	Z180, Z280, Z320	Z180, Z280, Z320	X	Z180, Z280, Z140	Z180, Z280, Z140
6 x 8"	X	X	X	X	X	Z140, Z280, Z320	X	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460
4 x 10"	X	X	X	X	X	Z280, Z140, Z180	X	Z280, Z140, Z180	Z280, Z140, Z180

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. Sierras para tubería ASTM A500: cuadrada negra y galvanizada

MEDIDA	CHAPA						ESPESOR		
	18	16	14	13	12	11	3/16"	1/4"	3/8"
1/2"	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	Z280, Z180, Z320	X	X	X	X	X	X
3/4"	Z280, Z320, Z180	Z280, Z320, Z180	Z280, Z320, Z180	Z280, Z320, Z180	X	X	X	X	X
1"	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z270	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240	X	X	X
1 1/4"	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240	Z280, Z320, Z240	X	X	X
1 1/2"	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z320, Z140	Z280, Z320, Z140	Z280, Z140, Z320	X	X	X
2"	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z240	X	X
2 1/2"	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z280, Z320, Z140	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	X
72 mm	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	X					
3"	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z280, Z140, Z240	Z280, Z140, Z240	X
3 1/2"	X	X	X	X	X	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	X
92 mm	Z140, Z280, Z240	X	Z140, Z280, Z240	Z140, Z280, Z240	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460	X	X	X
4"	Z140, Z280, Z460	X	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z240	Z140, Z280, Z240	Z140, Z280, Z240
4 1/2"	X	X	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z240	Z140, Z280, Z240	X
5"	X	X	X	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460	X
6"	X	X	X	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460	
7"	X	X	X	X	X	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460	X
8"	X	X	X	X	X	X	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460
10"	X	X	X	X	X	X	X	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460
12"	X	X	X	X	X	X	X	Z140, Z280, Z460	Z140, Z280, Z460

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. Sierras para tubería BS 1 387: negra

Liso (BPE)			Con rosca (BTC)		
Medida	Liviana	Mediana	Medida	Liviana	Mediana
1/2"	Z180, Z280, Z270	Z180, Z280, Z270	1/2"	Z180, Z280, Z270	Z180, Z280, Z270
3/4"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z180, Z270	3/4"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z180, Z270
1"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z270, Z180	1"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z270, Z180
1 1/4"	Z280, Z270, Z320	Z280, Z270, Z320	1 1/4"	Z280, Z270, Z320	Z280, Z270, Z320
1 1/2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z270	1 1/2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z270
2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z320	2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z320
2 1/2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z320	2 1/2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z320
3"	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	3"	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320
4"	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	4"	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320
6"	X	Z140, Z280, Z320	6"	X	Z140, Z280, Z320

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Sierras para tubería BS 1 387: galvanizada

Liso (GPE)			Con rosca (GTC)		
Medida	Liviana	Mediana	Medida	Liviana	Mediana
1/2"	Z180, Z280, Z270	Z180, Z280, Z270	1/2"	Z180, Z280, Z270	Z180, Z280, Z270
3/4"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z180, Z270	3/4"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z180, Z270
1"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z270, Z180	1"	Z280, Z180, Z270	Z280, Z270, Z180
1 1/4"	Z280, Z270, Z320	Z280, Z270, Z320	1 1/4"	Z280, Z270, Z320	Z280, Z270, Z320
1 1/2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z270	1 1/2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z270
2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z320	2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z320
2 1/2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z320	2 1/2"	Z280, Z140, Z270	Z280, Z140, Z320
3"	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320	3"	Z280, Z140, Z320	Z280, Z140, Z320
4"	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320	4"	Z140, Z280, Z320	Z140, Z280, Z320
6"	X	Z140, Z280, Z320	6"	X	Z140, Z280, Z320

Fuente: elaboración propia.

3.3. Estudio de fuerza y potencia de corte

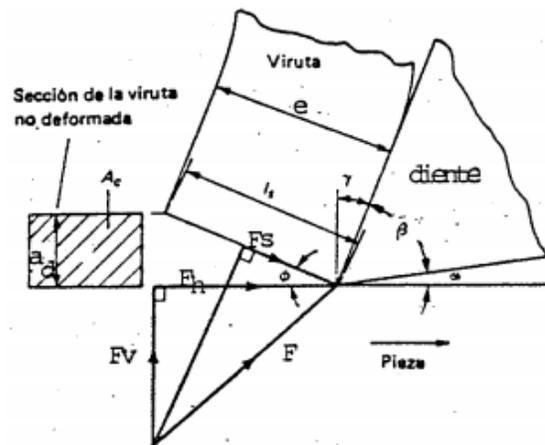
En esta sección se demuestra la fuerza y potencia necesaria que un diente de sierra circular debe soportar.

3.3.1. Fuerza que actúa sobre un diente

Anteriormente se contaba con un modelo estadístico para asignar sierras según ciertas características. A partir de esta sección se procederá a calcular la fuerza que imprime cada diente sobre el acero y la relación de fuerza según el perfil. Para estos cálculos se emplean las ecuaciones sugeridas por el Dr. Luis

Berges en su artículo científico titulado Estudio de aserraderos y su análisis económico. En entrevista por correo electrónico, el Dr. Berges expresa que tiene el mismo propósito de cálculo para las sierras no importando si es madera o acero el material a cortar (9 de junio de 2 018). La siguiente imagen muestra el análisis de fuerzas que conlleva un diente de sierra circular:

Figura 29. **Diagrama de fuerza de un diente de sierra circular**



Fuente: SOLER, R.; BERGES, L.; ALTEMIR, J. *Estudio de las características del aserrado y su análisis económico*. IMHE, Vol. 1, 93-99. 1987.

Siendo:

α = ángulo de incidencia ($10^\circ \pm 2^\circ$, según Julia sierras)

β = ángulo del diente ($62^\circ \pm 2^\circ$, según Julia sierras)

γ = ángulo de ataque ($18^\circ \pm 2^\circ$, según Julia sierras)

e = espesor de la viruta (mm)

F_h = fuerza horizontal de corte (N)

F_v = fuerza vertical de corte (N)

F = fuerza de corte (N)

La fuerza resultante en términos teóricos se encuentra direccionada en $\beta/2$, puesto que en práctica es recomendable un dinamómetro para medir las deformaciones plásticas y térmicas que producen desvío en la fuerza resultante y, puesto que la fuerza varía de dirección a lo largo de la sierra, se debe hacer la suma de fuerza de cada diente. Entonces se considera que los dientes están distanciados entre sí un infinitésimo, permitiendo hacer por integración la fuerza total de la siguiente manera:

$$F_H = \int -(f_H \cos \theta + f_V \sin \theta) R d\theta$$

$$F_V = \int (f_V \cos \theta - f_H \sin \theta) R d\theta$$

También:

$$f_H = \frac{aKb}{2\pi R}$$

$$f_V = \frac{f_H}{\tan \gamma}$$

Donde:

a = avance de diente por mm (0,04 al 0,08 mm/Z, según sierras Julia)

b = espesor de sierra (mm)

K = presión específica de corte (N/mm^2)

R = radio de sierra en milímetros

f_H = fuerza horizontal por unidad de longitud (N/m)

f_V = fuerza vertical por unidad de longitud (N/m)

En los molinos 604 y 483 se maquinan tres tipos de aceros según las normas del Instituto Alemán de Normalización: St 33 ($K=323\,619\text{ N/mm}^2$), St 37 ($K=362\,846\text{ N/mm}^2$), St 42 ($411\,879\text{ N/mm}^2$).

A manera de comprobar si la fuerza aplicada sobre los dientes es proporcional a la presión específica de corte, se analiza el siguiente caso bajo condiciones controladas empleando las ecuaciones de fuerza para todos los dientes. Por ejemplo, se tiene los siguientes datos que representan el contacto inicial del diente de sierra con una tubería de acero: St 33; radio de sierra de 225 mm; espesor de 1 mm; avance de 0,055 mm/Z, obteniendo los siguientes resultados descritos en la tabla:

Tabla XXXVII. **Fuerza por diente**

Acero	Fh	Fv
St 33	-211,40 N	278,66 N
St 37	-519,97 N	312,43 N
St 42	-590,24 N	354,65 N

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior se puede concluir que, a mayor presión específica de corte, mayor será la fuerza sobre cada diente de sierra. La componente horizontal de fuerza es negativa, dado que su vector es opuesto al movimiento. Cabe resaltar que estas fuerzas se cumplen mientras no exista excentricidad.

3.3.2. Relación entre fuerza y forma de perfil a cortar

Se puede deducir que la fuerza de corte depende de la longitud de contacto entre la sierra y la pieza. Por ende, es necesario el estudio que relacione la fuerza de corte con la geometría del perfil a cortar: tubería circular, cuadrada, rectangular, entre otros. En el entendido que los molinos trabajan con velocidad de avance constante se plantea las siguientes ecuaciones de fuerza:

- Tubos de perfil circular:

- Para $r-t < y < r$

$$F_H = \frac{Kba\sqrt{r^2 - y^2}}{Zd}$$

- Para $-(r-t) < y < r$, donde v con coordenadas verticales en mm

$$F_H = \frac{Kba}{Zd} \left(\sqrt{r^2 - y^2} - \sqrt{(r-t)^2 - v^2} \right)$$

- Para $-r < y < -(r-t)$,

$$F_H = \frac{Kba\sqrt{r^2 - y^2}}{Zd}$$

- Tubos de perfil cuadrado o rectangular:

$$F_H = \frac{KbaA}{2\pi R}$$

$$F_V = f_V A$$

Si bien se calculó la fuerza que imprime cada diente en el acero haciendo la suposición que este último venía en forma plana, ahora se analiza en su perfil, tanto circular como cuadrado. La variable “A” representa el espesor en milímetros de la tubería y “Z” el número de dientes de la sierra. Tomando los mismos principios del ejemplo anterior: St 33; radio de sierra de 225 mm; espesor de 1 mm; avance de 0,055 mm/Z, diámetro de 1” para perfil redondo y ¾”x1” para perfil rectangular, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla XXXVIII. **Fuerza de diente según perfil**

Sierra	Perfil circular		Perfil rectangular	
	Fh	Fv	Fh	Fv
Z140	241N	174N	206N	101N
Z160	179N	159N	206N	101N
Z190	165N	147N	206N	101N
Z240	153N	142N	206N	101N
Z270	148N	135N	214N	101N
Z280	148N	135N	214N	101N
Z320	142N	121N	214N	101N
Z380	137N	118N	214N	101N
Z460	128N	112N	214N	101N

Fuente: elaboración propia.

De la tabla resumen se puede concluir que aumentar el número de dientes de la sierra en el perfil circular reducirá la fuerza aplicada en las tuberías de perfil circular, caso contrario, pero leve, en el perfil rectangular aumentará la fuerza aplicada por los dientes.

3.4. Modelo de tiempos y costos

Considerando el volumen y tiempos de producción, se emplea una ecuación para determinar el costo promedio de producción.

3.4.1. Tiempo para corte

De 24 horas que comprende las dos jornadas laborales, aproximadamente 16 horas son de trabajo efectivo. De estas 16 horas se produce entre 6 000 a 7 500 tuberías de primera y segunda clase. Esto según datos analizados correspondiente al mes de junio de 2 018 para los molinos 483 y 604. También se sabe que es temporada alta en la producción.

La velocidad de trabajo depende en mucho de la cortadora. Esta cuenta con una tabla de rango de valores asignados para la velocidad periférica de corte, que es la velocidad de rotación de la sierra según el espesor a cortar y el avance asignado. Esto, aunque mejoró la producción de tubos de primera calidad, redujo hasta 2 000 tubos por jornada. Con los siguientes incisos se tratará de mejorar esas velocidades de trabajo, tomando en cuenta las sierras recomendadas según los diferentes calibres, densidades y perfiles a trabajar.

3.4.2. Costo de fabricación

Según Boothroyd, el costo de producción está asociado a la velocidad de corte bajo dos criterios de mecanizado: costo de producción mínimo y tiempo de producción mínimo¹⁰. Es de resaltar que para la producción de tuberías es importante el costo de producción mínimo sin sacrificar la calidad del trabajo, por

¹⁰ BOOTHROYD, Geoffrey. *Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramientas*. p. 144

lo cual se considera la velocidad óptima de corte para costo de producción mínimo con la siguiente ecuación:

$$C_{pr} = Mt_1 + Mt_m + M \frac{N_t}{N_b} t_{ct} + \frac{N_t}{N_b} C_t$$

Siendo:

M = costos generales (maquinaria, operarios, insumos, servicios, entre otros).

t_1 = Tiempo de montar y desmontar cada pieza y regresar la herramienta al comienzo de corte.

N_b = El tiempo gastado por el operario y su máquina en producir un lote de piezas.

t_m = Tiempo de mecanizado de una pieza.

t_{ct} = Tiempo de cambio de herramientas.

N_t = Número de herramientas utilizadas.

C_t = Costo de cada herramienta.

C_{pr} = Costo promedio de producción.

Por asuntos de privacidad de la empresa, se opta por presentar cálculos respecto al volumen de producción de los meses de abril, mayo y junio, además de una ejemplificación para la estimación del costo promedio de producción, estos datos muestran el total de toneladas por máquina:

Tabla XXXIX. **Volumen de producción**

Mes	Molino 483	Molino 604
Abril	892,74 Ton	1 934,16 Ton
Mayo	910,70 Ton	1 904,39 Ton
Junio	559,5 Ton	1 249,97 Ton

Fuente: Tubex, S. A.

Con base en lo anterior se busca mejorar el rendimiento de producción para reducir costos asociados a paros por mantenimiento y cambio de piezas en los molinos. Con el fin de ejemplificar la ecuación anterior se hace el cálculo de costo promedio por tubería en el molino 604, suponiendo únicamente los costos. Del 28/06/2018 se sabe que se produjo 623 tuberías medianas de perfil circular 2½"x6m en la jornada matutina. El tiempo de montar y desmontar fue de 5 segundos; el tiempo de producción del lote fue de 4,3 horas aproximadamente; el tiempo de mecanizado de una pieza fue aproximadamente de 25 segundos; el tiempo de cambio de herramientas fue de 1 hora; el número de herramientas empleadas fue de 8; el costo de la sierra es de Q2 500,00 más Q250 de soldadura y los costos generales rondan en los Q1 200,00 para el tiempo de producción que tardó el lote. Entonces se plantea de la siguiente forma:

$$C_{pr} = 1\,200 * \frac{1}{720} + 1\,200 * 1 + 1\,200 * \frac{8}{4,3} * 1 + \frac{8}{4,3} * 2\,750$$

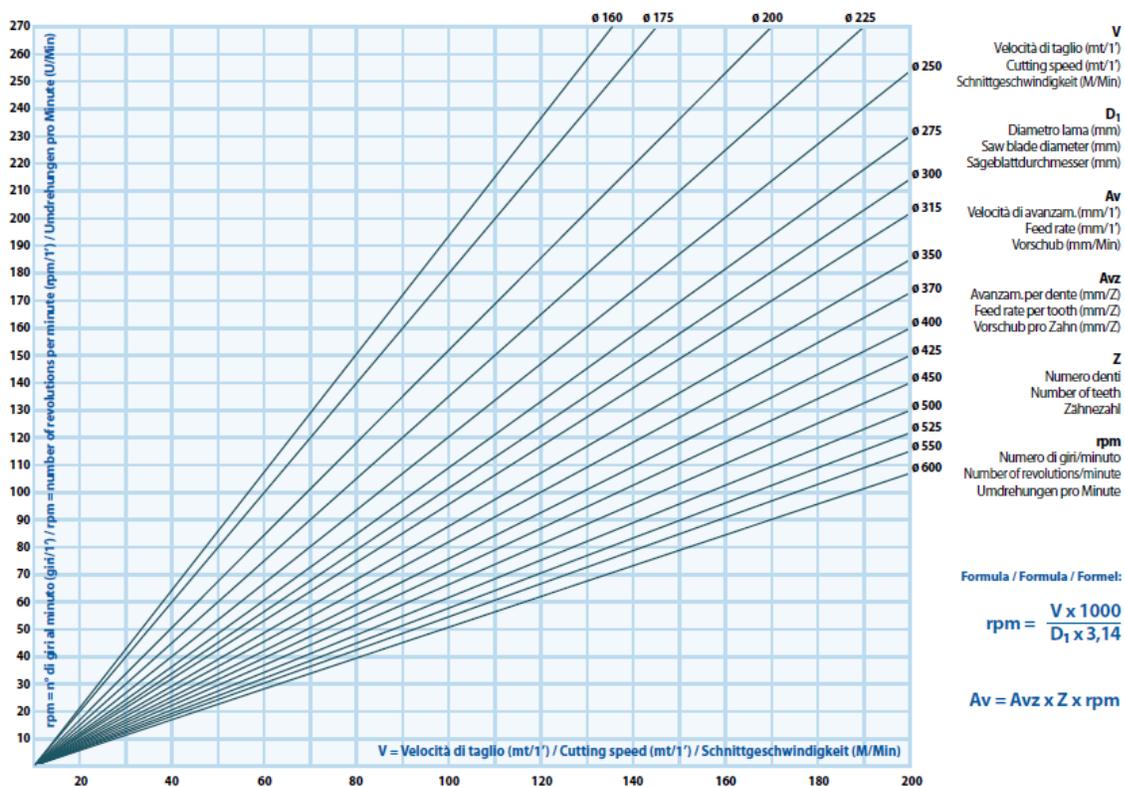
$$C_{pr} = Q8\,550,50$$

El costo de producción total para ese lote quiere decir entonces que cada tubería tuvo un costo asociado de Q13,72.

3.4.3. Avance en el proceso de corte

Para estimar el avance por minuto recomendado para las diferentes sierras se emplean las recomendaciones de sierras HSS circulares de la empresa Julia, empezando por la gráfica de velocidad de corte contra la rpm. Esta gráfica, desarrollada por un sofisticado software, permite realizar cálculos de la velocidad de corte, el número de revoluciones por minuto y la velocidad de avance de la sierra.

Figura 30. Velocidad de corte y tasa de alimentación



Fuente: Empresa Julia. *Catálogo HSS*. Consulta: 2019.

Siendo la barra lateral derecha de la gráfica el diámetro de las sierras. Los pasos para hacer los cálculos son los siguientes:

- Establecer el material a cortar: la siguiente tabla muestra diversos materiales y las velocidades de trabajo y de avance por diente recomendadas para cada uno de ellos. En este caso se trabaja con aceros menores a 500 N/mm², por lo que serán valores constantes de: V(m/min)= 30 a 40; Avz(mm/Z)= 0,04 a 0,08. Para fines de cálculos se empleará la velocidad máxima de trabajo y la intermedia de avance, dadas las recomendaciones de las sierras Julia.

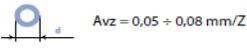
Tabla XL. **Velocidad de corte y avance por diente**

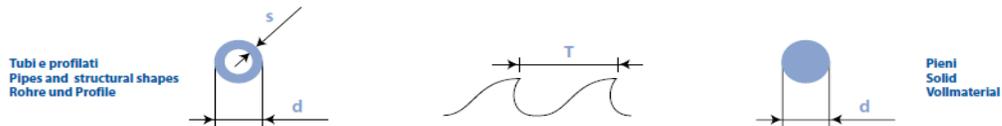
DATI DI VELOCITÀ DI TAGLIO E AVANZAMENTO / CUTTING SPEED DATA AND FEED RATE / ANGABEN ÜBER SCHNITTGESCHWINDIGKEIT UND VORSCHUB		
Materiale / Material / Werkstoff	V (mt/1')	Avz (mm/Z)
Acciaio / Steel / Stahl < 500 N/mm (C10, C15, St37, St44)	30 - 40	0,04 - 0,08
Acciaio / Steel / Stahl < 800 N/mm (C40, C60, 15Cr3, 16MnCr5, 26CrMo4)	25 - 35	0,03 - 0,07
Acciaio / Steel / Stahl < 1200 N/mm (38NCD4, 14NiCr14, 40CrMnMo7)	15 - 25	0,02 - 0,06
Acciaio inox / Stainless steel / Rostfreier Stahl	15 - 25	0,02 - 0,06
Ghisa / Cast Iron / Grauguss	20 - 30	0,03 - 0,05
Titanio / Titanium / Titanium	12 - 15	0,02 - 0,05
Ottone / Brass / Messing	400 - 600	0,05 - 0,07
Rame / Copper / Kupfer	200 - 300	0,04 - 0,06
Bronzo / Bronze / Bronze	200 - 400	0,05 - 0,07
Alluminio / Aluminium / Aluminium	500 - 700	0,06 - 0,08

Fuente: Empresa Julia. *Catálogo HSS*. Consulta: 2019.

- La sección a ser cortada se refiere al diámetro de la tubería en milímetros.
- El diámetro D1 de la sierra circular en milímetros.
- Establecer el paso T entre dientes de la sierra.
- El número de dientes Z de la sierra circular.
- Establecer el avance por diente conociendo el diámetro de tubería, el espesor de tubería y el paso entre dientes con la siguiente tabla:

Tabla XLI. Cálculo del avance por diente

SELEZIONE PASSO / PITCH SELECTION / AUSWAHL DER ZAHNTEILUNG				
TUBI E PROFILATI / PIPES AND STRUCTURAL SHAPES / ROHRE UND PROFILE			BARRA PIENA / SOLID BAR / STANGE VOLLMATERIAL	
				
d	s	T	s	T
≤ 20 mm	≤ 1 mm	3	> 1 mm	4
≤ 30 mm	≤ 1,5 mm	5	> 1,5 mm	5,5
≤ 40 mm	≤ 2 mm	6	> 2 mm	7
≤ 50 mm	≤ 4 mm	6	> 4 mm	7
≤ 60 mm	≤ 4 mm	7	> 4 mm	8
≤ 70 mm	≤ 3 mm	7	> 3 mm	8
≤ 80 mm	≤ 4 mm	8	> 4 mm	10
≤ 90 mm	≤ 4 mm	8	> 4 mm	10
≤ 100 mm	≤ 7 mm	10	> 7 mm	12
≤ 120 mm	≤ 5 mm	10	> 5 mm	12
≤ 140 mm	≤ 4 mm	10	> 4 mm	12



D ₁ 350 x 2,5	Acciaio / Steel / Stahl ≤ 500 N/mm ² INOX / INOX / Rostfreier Stahl		Acciaio / Steel / Stahl ≤ 800 N/mm ² INOX / INOX / Rostfreier Stahl		Acciaio / Steel / Stahl ≤ 1200 N/mm ²		
							
	V = 75 m/min.	V = 50 m/min.	V = 35 m/min.	V = 25 m/min.	V = 18 m/min.	V = 12 m/min.	
T	Z	Avz = 0,06 mm/Z		Avz = 0,06 mm/Z		Avz = 0,06 mm/Z	
		Av = mm/min.	Av = mm/min.	Av = mm/min.	Av = mm/min.	Av = mm/min.	Av = mm/min.
3	350	1428	-	670		290	190
4	280	1140	765	535	380	230	150
5	220	900	600	420	300	180	120
6	180	735	490	345	245	147	98
7	160	650	435	305	220	130	87
8	140	570	380	265	190	115	75
9	120	490	330	230	165	100	65
10	110	450	300	210	150	90	60
12	90	365	245	170	120	74	50
14	80	325	220	150	110	66	45
16	70	285	190		95	57	38
18	60	-	165		80	50	33

 Pieno / Solid / Vollmaterial  Tubo / Pipe / Rohr

Fuente: Empresa Julia. Catálogo HSS. Consulta: 2019.

- Calcular las rpm sobre el eje del disco con la siguiente ecuación:

$$rpm = \frac{v_t 1\ 000}{\pi D_1}$$

- Finalmente se puede calcular el avance por minuto de la sierra:

$$A_v = A_{vz} * Z * rpm$$

El avance por minuto de las sierras servirá como un criterio de configuración en los molinos para que el operario pueda mejorar el desempeño de las sierras y optimizar en un menor porcentaje la velocidad periférica de trabajo. En un cálculo concreto, se plantea los siguientes datos: $V_t=200$ m/min; $A_{vz}=0,06$ mm/Z (según tabla XXXII); $D_1=450$ mm; $d<20$ mm; $s=1$ mm; $Z=280$; $T=2,1$ mm, obteniendo lo siguiente:

$$rpm = \frac{200 * 1\ 000}{\pi 450} = 141,5\ rpm$$

$$A_v = 0,06 * 280 * 141,5 = 2\ 377\ mm/min$$

Se empleó la velocidad máxima periférica y se obtuvo un valor de 2 377mm/min contra 1 140 mm/min que recomienda el fabricante. Esta variación se debe en parte a la selección de la máxima velocidad de corte de los dientes empleada, además asume un diámetro de 350 mm para todas las sierras. En la sección 3,7 se encuentra una tabla de recomendación de avance de corte según los diferentes espesores y sierras.

3.4.4. Velocidad óptima por ecuación de Taylor

La velocidad óptima de trabajo de la sierra permite establecer la vida útil de la herramienta. Según Guarnido, se define la vida de la herramienta como el tiempo de corte que puede operar la herramienta¹¹. Este tiempo de corte se puede definir de dos formas: el tiempo que transcurre hasta que se agota la herramienta produciendo un fallo irreversible, o bien, el tiempo que se tarda en alcanzar la amplitud de la zona de desgaste en la cara de incidencia predeterminada por un criterio de desgaste definido. En el caso de los molinos, el criterio establecido de desgaste por los operadores es cuando el corte empieza a producir mucha rebaba (cortes imperfectos en los extremos de tubería). Taylor demostró que, al aumentar la sección de viruta, disminuye la velocidad de corte a la que esta reducción no es proporcional, llegando a la conclusión que en los acabados se debe trabajar con máxima velocidad de corte y mínimo avance. La citada relación de Taylor se define como lo siguiente:

$$vt^n = C$$

Donde:

v = velocidad de corte (m/min).

t = vida de útil de la herramienta (min).

n = pendiente de la recta (n= 0,05/0,08 para acero rápido de perfil circular y rectangular hueco).

C = velocidad de corte para una vida de 1 minuto si las unidades empleadas son m/min y min.

¹¹ GUARNIDO, ANTONIO. *Desgastes de herramientas*. p. 1.

Con base en el cálculo anterior la velocidad de corte es de 200 m/min; $n=5/8$; $t=4\ 320$ min que duró la sierra de 280 dientes antes de su ruptura. Entonces:

$$C = 200 \frac{m}{min} 4\ 320 min^{0.625}$$

$$C = 37\ 428,9$$

La sierra debería estar a una velocidad de 37 428,8 m/min para dejar de funcionar en un minuto. La ecuación de Taylor tiene propósito cuando se desconoce la vida útil de la herramienta, normalmente estos cálculos se hacen previo a adquirir una nueva herramienta con un proveedor. En este caso, por experiencia se tiene registros de la vida útil de las diferentes sierras y ello permite en parte la asignación para las diferentes variables a controlar.

También se puede calcular el costo asociado al reafilado de las sierras con la siguiente ecuación:

$$C_t = \text{costo de afilado} + \frac{\text{Costo de la sierra}}{\text{promedio de afilados}}$$

Generalmente, no supera el promedio de 2 afilados las sierras por otras variables aleatorias como la ruptura de dientes.

3.5. Cálculo para el diseño de afilado

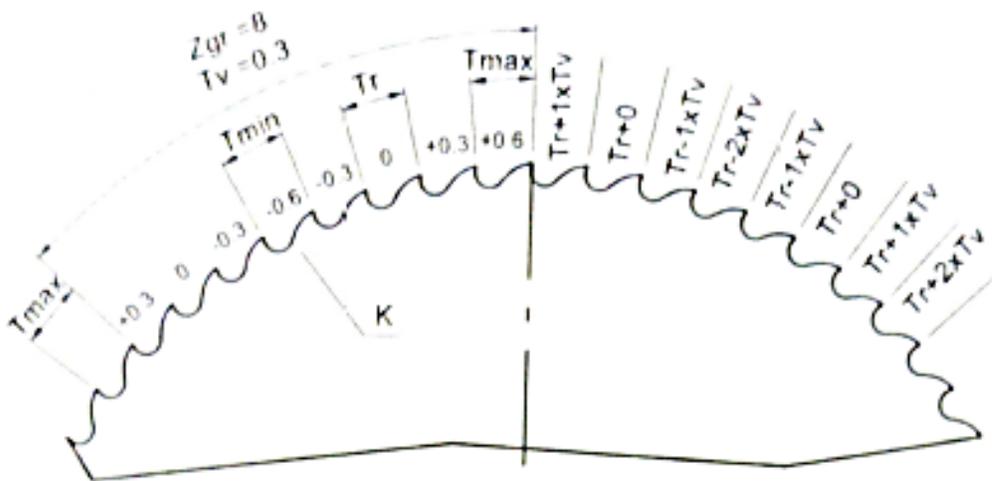
Esta sección busca mejorar el afilado actual de las sierras que se hace bajo programación en fresa CNC, debido a que el desgaste producido por la abrasión reduce el paso entre dientes y con cada afilado se complica mantener el diseño

original, por lo cual se sugiere nuevas dimensiones tomando en cuenta las recomendaciones que brinda las sierras circulares Julia.

3.5.1. Diseño del paso de entre dientes

Para el afilado del paso entre dientes, la primera consideración a tomar es que el paso se reducirá conforme se afile nuevamente. Entonces, debe medirse el nuevo diámetro del disco y hacer el cálculo teórico para establecer el paso entre dientes. Esto quiere decir que el nuevo paso será igual al nuevo diámetro dividido el número de dientes de la sierra. Por ejemplo, si el diámetro original era de 450 mm y se redujo a 446 mm para una sierra de 280 dientes, el nuevo paso es de 1,59 mm habiendo una variación de 0,02 mm respecto al paso original. En condiciones ideales, lo anterior puede cumplirse a cabalidad. Pero sucede que puede existir un paso variable que se soluciona con la CNC. La siguiente figura muestra el caso de 8 y 4 grupos de dientes:

Figura 31. Grupo de 8 dientes



Continuación de la figura 31:

Zgr = Grupo de 8 dientes
Tr = Paso medio de diente
Tmin = Paso mínimo del diente
Tmax = Paso máximo del diente
Tv = Variación del paso

Fuente: elaboración

propia, con base en:

Empresa Julia. *Catálogo HSS*. Consulta: 2019.

Con base en la figura anterior el mismo principio se aplica para el grupo de 4 dientes. Se sugiere tomar esta muestra, ya que el desgaste es variable entre cada diente y así se puede tomar un parámetro promedio. En la Rekord 500 CNC se procede a la configuración del afilado:

- Parámetros de configuración para paso variable:
 - Tipo de diente: se selecciona el tipo B-DIN 1 838 que es para diente curvo.
 - Diámetro de la sierra: insertar el valor en mm de la sierra circular.
 - Número de diente de la sierra: insertar el número de dientes de la sierra a afilar. Si el valor inserto no es un múltiplo de 8 ó 4, el CNC automáticamente calcula e inserta un número múltiplo de 8 ó 4 aproximados de manera predeterminada con respecto al ingresado manualmente.
 - Paso del diente: se selecciona el campo de paso del diente e ingresar con el teclado numérico un valor diferente al calculado automáticamente por el CNC y presionando la tecla S11 para confirmar. El CNC realiza un nuevo cálculo del número de dientes

y la profundidad relativa del diente de acuerdo con el nuevo paso si el valor programado en el campo de dientes por grupo lo permite.

3.5.2. Ángulo de ataque

Tanto el ángulo de ataque como el ángulo de incidencia deben conservar el mismo valor original tal y como se expresa en la figura 24, siendo de 18° y el ángulo de incidencia de 10° con una variación de 2° . Claro está que este se puede ver afectado o variado por el desgaste no uniforme en todos los dientes. Sin importar esto, puede adquirir la variación ya mencionada conservando el diagrama de fuerza que se ejerce en los dientes.

3.5.3. Profundidad de la garganta

Debido a las posibles variaciones del paso se recomienda emplear el paso medio Tr para la configuración en el CNC. De igual manera, según la figura 24, se recomienda mantener una proporción de profundidad del $0,45Tr$. Quiere decir que si el paso medio $Tr = 2 \text{ mm}$, la profundidad $H = 0,45 * 2 \text{ mm} = 0,9 \text{ mm}$.

3.6. Programación en CNC

Considerando el manual de uso de la Rekord 500 CNC se hace las siguientes sugerencias:

3.6.1. Afilado recomendado

Empleando la opción de MULTIPASS, se realiza lo siguiente en la pantalla del CNC, empleando un ejemplo:

Tabla XLII. **Programación de afilado en Rekord 500 CNC**

Afilado		
Tipo de diente	CURVO	
Diámetro de la sierra	450	mm
Número de dientes	280	
Paso del diente	5,04	mm
Profundidad del diente	2,27	mm
Espesor de mola	2,0	mm
Diferencia de altura	0	mm
Eliminación de garganta [A]	0,6	
Eliminación del pecho [B]	0,02	mm
Velocidad de labor	14	s/d
Ángulo de ataque	18	deg
Ángulo de posicionamiento	10,04	
Ángulo del diente desnudo (alfa)	10	deg

Fuente: elaboración propia con base en *Manual Rekord 500 CNC*.

3.6.2. Bisel

El biselado normalmente empleado en el corte de tuberías es el BR, garantizando un mayor número de cortes que el diente tipo B. Este último se emplea bien para tuberías de pared delgada. Además el diente BR mejora hasta en un 20 % la durabilidad porque reduce la sección removida por cada afilado individual. Como en la figura 24, se recomienda el biselado en la tercera parte del espesor del diente con una profundidad y ancho máximo de 0,30.

3.6.3. Programación

Se establecieron parámetros en las secciones anteriores para la configuración del afilado en CNC de las sierras. Claro está que habrá ciertas sierras que no requerirán mayor ajuste y puede emplearse la configuración automática en el panel y tan solo ingresar unos pocos parámetros para que el CNC haga el cálculo automático de otras variantes.

3.7. Dinámica de las sierras en molinos

En este apartado se hace la configuración de molinos para establecer velocidades de corte, de acuerdo al calibre de las bobinas.

3.7.1. Diámetro o dimensiones de la tubería a cortar

El diámetro a utilizar será el de todas las tuberías elaboradas en los molinos 483 y 604, siendo estos los valores desde de ½" (12,7 mm) hasta 12" (30,48 mm). Este es el primer criterio para elaborar una tabla resumen donde se recomiende las velocidades a emplear. El siguiente criterio son los aceros a emplear: St33, St37 y St44.

3.7.2. Velocidad de avance y corte

Se cuenta con velocidades de trabajo previamente establecidas en los molinos y ambos operan con los siguientes datos:

Tabla XLIII. Parámetros de corte actual

Espesor (mm)	0,7 a 1,0	1,1 a 1,5	1,6 a 1,9	2,0 a 2,5	2,6 o más
Avance (m/min)	0,055/0,110/0,050	0,050/0,100/0,044	0,050/0,100/0,044	0,044/0,088/0,039	0,039/0,077/0,033
St33	275	264	253	242	231
St37	259	248	237	225	215
St42	242	231	220	165	198
	Velocidad Periférica (m/mm)				

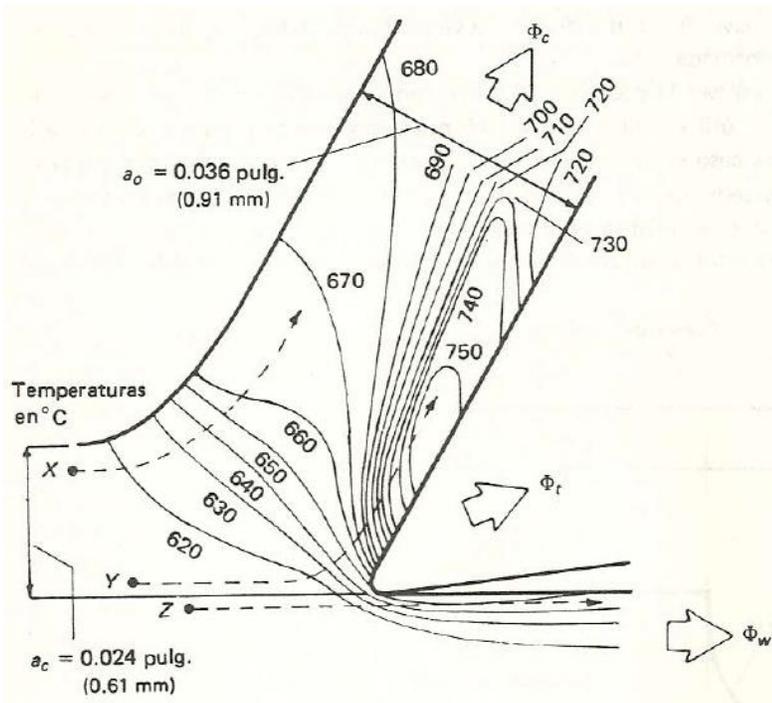
Fuente: Tubex, S. A.

Estos parámetros dinámicos de cortes se han trabajado para la toma de registros de cortes, por lo cual no se sugiere modificarles, ya que esto implicaría un cambio posible en la asignación de las sierras. Además, se han establecido con base en la experiencia y han mostrado mayor eficiencia de trabajo que los cálculos teóricos. Si se llegara a modificar, como el ejemplo de la sección 3,4, habría una disminución en la velocidad periférica y un aumento en la velocidad de avance, lo mismo para los demás valores de diámetro y acero.

3.7.3. Cantidad óptima de agua a utilizar en el corte

A manera de ejemplo la siguiente figura muestra la distribución de temperatura de la herramienta y viruta en el corte ortogonal de un acero dulce:

Figura 32. **Fotografía infrarroja de distribución de temperaturas**



Fuente: BOOTHROYD, Geoffrey. *Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramientas*. p. 92.

La temperatura de la pieza es de alrededor de los 611 °C. Cierta cantidad de calor es conducida de la zona de deformación secundaria hacia la herramienta.

Por las temperaturas elevadas es que se emplea agua emulsiva para la reducción de temperaturas desgastantes. Actualmente se emplea el solvente Castrol TRS – 185 Iloform para dicho propósito, siempre en concentración del 3 %. A un metro cúbico de agua se agregan 15 galones del solvente y deben mezclarse. Siempre se sugiere limpiar el tanque antes de nivelar, esto por la viruta e impurezas que se van mezclando con el tanque, ya que una obstrucción

de la bomba plástica que alimenta hacia la cortadora implicaría su cambio inmediato por ser desechable y frágil. El flujo debe ser constante y por sobre la sierra a manera de cubrir toda su superficie, reduciendo la temperatura de corte y actuando también como lubricante. Otro aspecto a considerar es el pH del agua que no debe ser agua muy dura, procurando el pH neutro. De igual manera, el solvente contiene Triethanolamine, que actúa como un regulador del pH.

3.7.4. Limpieza de viruta o aserrín metálico

La viruta generada muchas veces es continua por trabajarse con materiales dúctiles. La formación de la viruta tiene lugar en la zona que se extiende desde el filo de la herramienta hasta la unión entre las superficies de la pieza, conociéndose como la deformación primaria. Ahora bien, mucha de esta viruta entra a la cortadora, a veces cerca de las mordazas, y en la mayoría de casos cae al tanque de agua emulsiva, por lo cual es recomendable elaborar una defensa en el tanque que lo aisle de posibles impurezas que puedan caer y bloquear la bomba. Esto evitará reducir el tiempo de limpieza del tanque y será mucho más fácil nivelarlo sin la necesidad de limpiar continuamente. Previo a iniciar una nueva orden de producción, se recomienda haber limpiado la viruta de los alrededores.

3.8. Control en producto terminado

Esta sección se realiza respecto al registro de cada sierra. Es decir, se definirá un nuevo formato de registro de rendimiento de las sierras en donde, además del tipo de tubería a formar, se tomará en cuenta otros aspectos como las tuberías con rebaba y la dureza de los mismos.

3.8.1. Producto mal acabado

Respecto de las tuberías por malos acabados, poco se sabe de sus causas. Algunas los tienen porque fallaron la prueba hidrostática para ser reclasificadas como tuberías de segunda calidad, otras resultaron torcidas por malos acabados en las cabezas turcas y se les considera chatarra. Tomando en cuenta todo ello, se sugiere una hoja de registro como la siguiente:

Tabla XLIV. Registro de sierras

Orden de producción	Fecha	Código de sierra:					No. Cortes	Observaciones
		Tubería	Dimensiones	Perfil	Calibre	Grado		
X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

Con base en la anterior tabla, el código se referirá al número de dientes de sierra más la fecha. La casilla de observaciones servirá de tal forma que se indique el momento en que la sierra necesite nuevamente ser afilada o se haya quebrado uno de sus dientes.

3.8.2. Retroalimentación y clasificación del producto terminado

Con la siguiente tabla se sugiere un nuevo modelo de registro de producción que, a su vez, pueda relacionar directamente la orden de producción con las características del tipo de sierra que se empleó para una consideración futura:

Tabla XLV. **Modelo de producción**

Orden de producción	Producto					1ra	2da	Retenido	Desperdicio
	Tubería	Dimensiones	Perfil	Calibre	Grado				
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Instituciones responsables

Existe una jerarquía organizacional que permite el desarrollo del proyecto y la distribución de tareas a implementar:

4.1.1. Gerencia general

La gerencia general debe administrar la autorización de los cambios de sierras empleadas que implicarían cambios en la compra de algunas sierras y discontinuar las menos empleadas. Por ejemplo, la sierra 280 mostró el mayor rendimiento probable de cortes en una gran mayoría de tipos de tubería, mientras que la sierra Z240 uno de los más bajos, esto permitiría estandarizar el tipo de sierras.

4.1.2. Departamento de producción

El departamento de producción, a través del subgerente a cargo de la supervisión de la eficiencia de las sierras, apoya en la proporción del listado oficial de sierras a emplear en los molinos según la tubería a producir, además de dar instrucciones del nuevo registro de rendimiento de sierras que se empleará. Finalmente, el supervisor de turno a cargo deberá velar por el cumplimiento en la asignación de sierras y que los operadores hagan el respectivo registro de cada una de las sierras con el modelo de registro previamente establecido. El correcto registro de cada sierra durante su vida útil permitirá una mejor evaluación futura

del desempeño de cada una, ya que se descartaron demasiados registros por estar inconclusos o por información no clara.

4.1.3. Departamento de mantenimiento

El departamento de mantenimiento es el principal encargado de velar por el correcto afilado de las sierras, empezando por el gerente de mantenimiento, quien asignará y capacitará a los operadores encargados del trabajo de la CNC para el afilado. Estos, a su vez, serán capaces de hacer correcciones en el afilado teniendo claro el significado y funcionamiento de cada herramienta programable en la Rekord 500, también en la calibración del brazo de la mola y de la correcta asignación de mola según el paso entre dientes de la sierra empleada, además de dar inicio a un registro interno del afilado de cada sierra para comparar su vida útil respecto a otras y cómo estas interactúan con cada grupo de calibres propuestos al final de este capítulo.

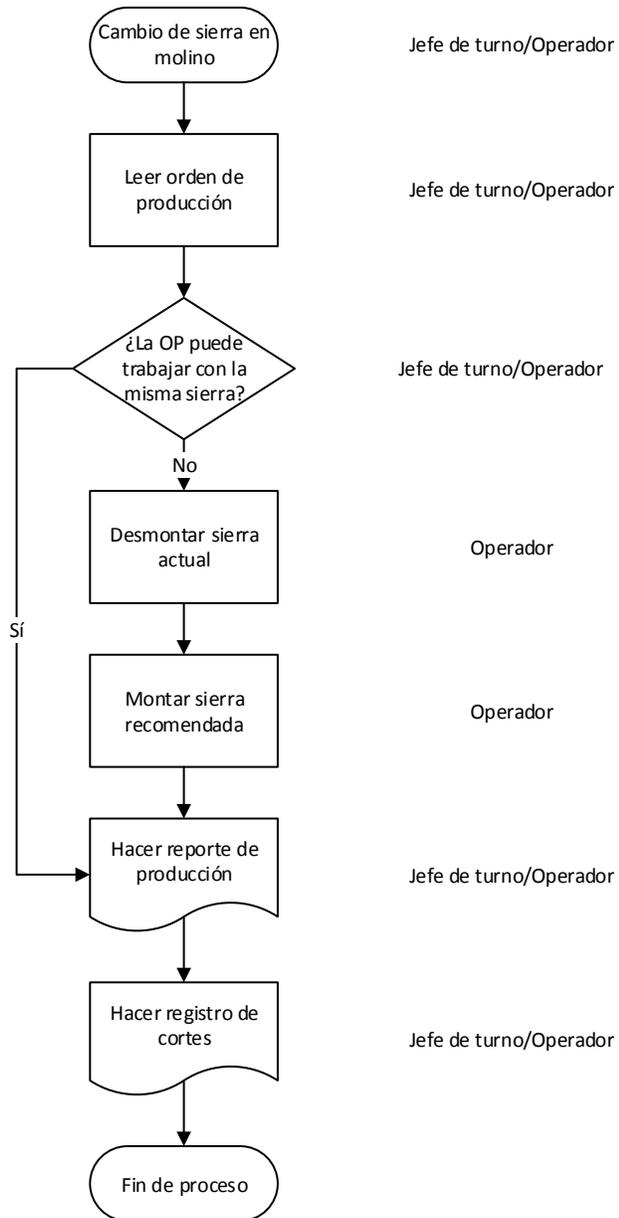
4.2. Plan de acción en molinos

A continuación se muestra la serie de pasos a considerar en el montaje y uso adecuado de sierras en molinos, además de la seguridad y el tiempo máximo a trabajar con cada producción.

4.2.1. Diagramas de procesos

Cabe aclarar que el cambio completo de sierra durante la operación no lleva más de 10 min. En el diagrama siguiente se muestran los pasos a seguir para el cambio y registro de las sierras a emplear en cada orden de producción:

Figura 33. **Proceso en el cambio de sierras**



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Plan de seguridad en actos y condiciones inseguras

Tubex, S. A. no cuenta con una estandarización en seguridad y salud ocupacional. Sin embargo, maneja un registro de accidentes y cuenta con los equipos mínimos de protección personal, esto bajo la supervisión del subgerente de producción. Se han analizado las principales zonas de atrapamiento en los molinos y documentado en las siguientes fotografías que además analizan la manera adecuada de prevenir riesgos:

Figura 34. Zona de atrapamiento en mordaza móvil

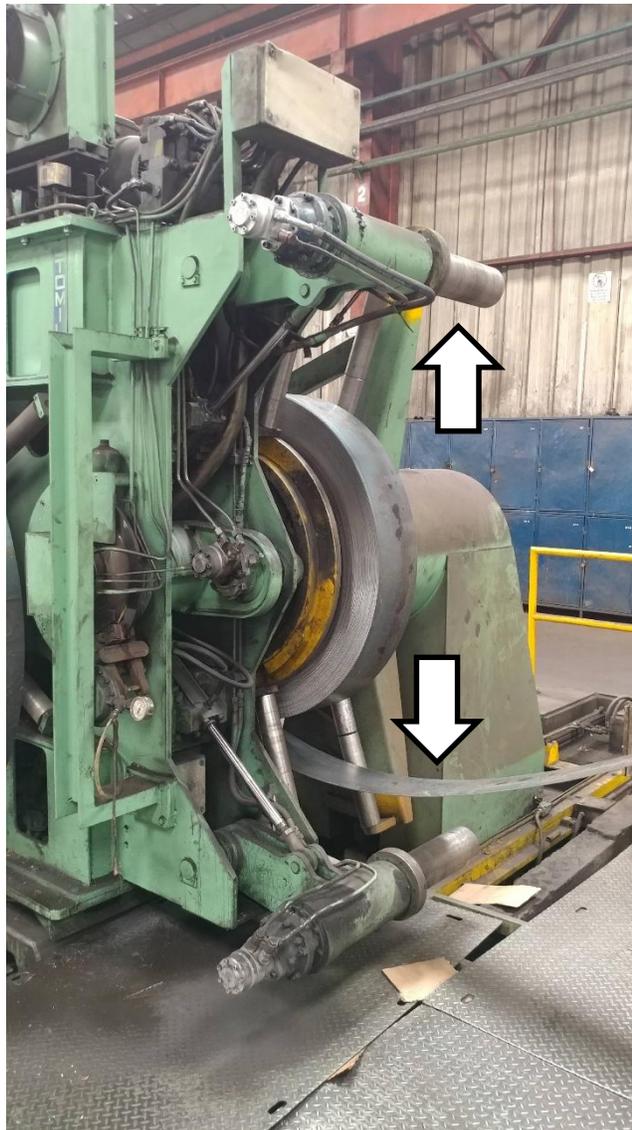


Fuente: elaboración propia.

De la anterior figura se señala la zona de atrapamiento de la mordaza. Al deslizarse horizontalmente por el espacio físico puede ocasionar el atrapamiento de alguna extremidad de algún operador. Para dicha prevención es recomendado señalizar el suelo para evitar que cualquier persona u objeto sea colocado entre

el perímetro de trabajo de la mordaza, esto mediante el uso de pintura amarilla con un grosor no menor a 10 cm.

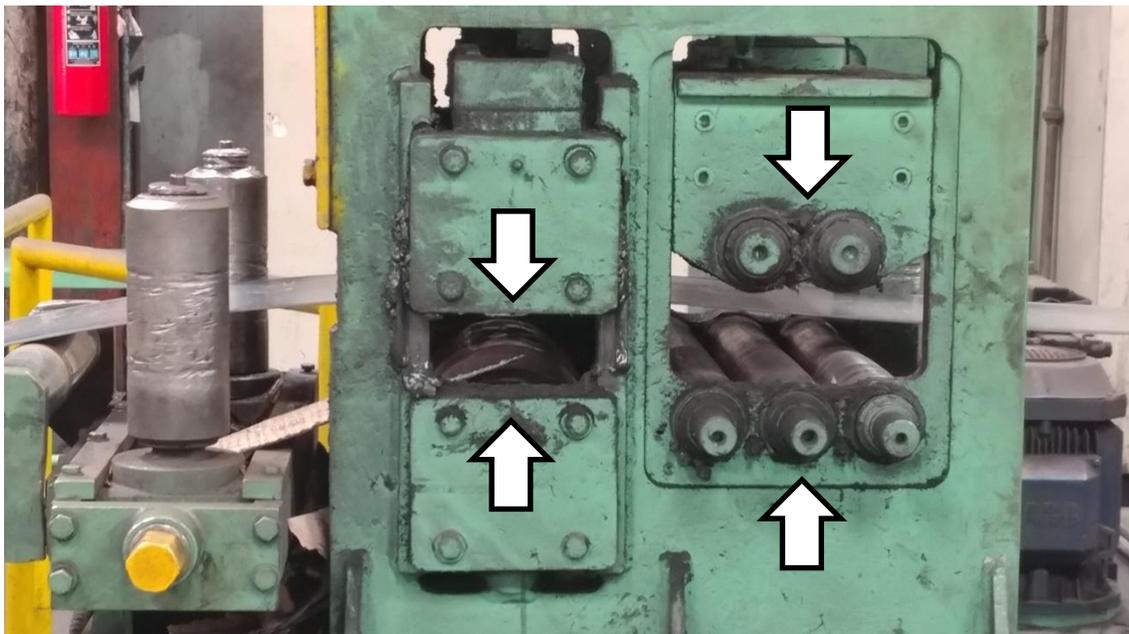
Figura 35. Zona de atrapamiento en aspas



Fuente: elaboración propia

Durante el desatado de la bobina, el operador debe colocar las manos entre las aspas. Se ha dado el caso de atrapamiento de dedos por el accionado del aspa. Por lo cual se sugiere apagar la máquina previamente a cualquier trabajo manual y además colocar avisos de interrupción de operaciones en el comando del aspa y candado para no poder accionarlo, mediante un seguro eléctrico o mecánico.

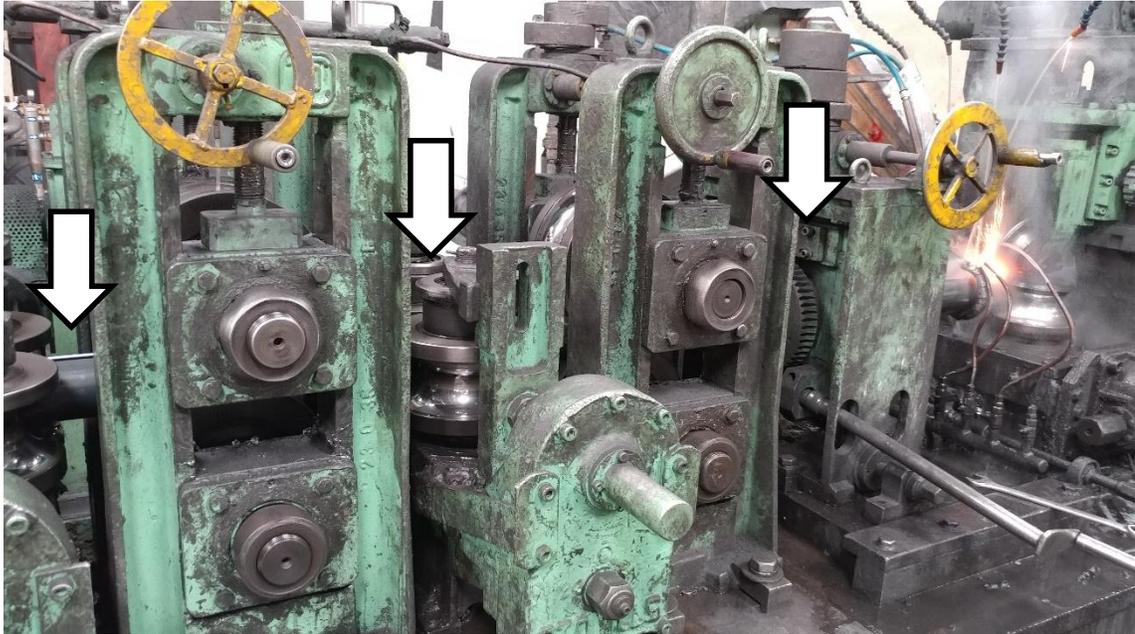
Figura 36. **Zona de atrapamiento entre rodos**



Fuente: elaboración propia.

Esta zona en específico necesita de guardas durante la operación para evitar atrapamientos entre rodos. Dichos rodos funcionan para el paso de la lámina.

Figura 37. **Atrapamiento en cabezas turcas**



Fuente: elaboración propia.

En esta parte de formado de tubo se encuentra la zona de soldadura. Dichas zonas están señalizadas y los operadores ingresan su mano para verificar que el tubo se encuentre enderezado, lo cual involucra un gran peligro para ellos. Por tanto, se sugiere hacer una verificación únicamente visual, con el equipo de seguridad adecuado, en este caso una escalera de tres pasos. También se recomienda colocar cubiertas acrílicas a los laterales y así evitar que algún operador introduzca su mano y acabe en un accidente por atrapamiento.

Figura 38. **Viruta generada**



Fuente: elaboración propia.

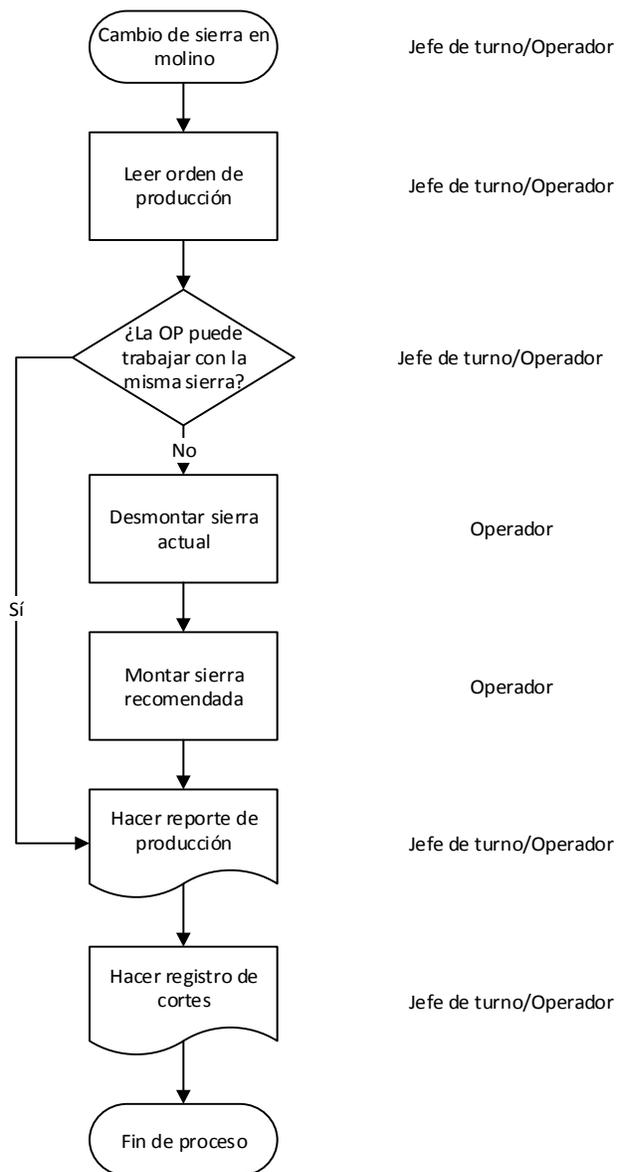
La viruta generada por la soldadura debe ser removida hacia un extremo por los operadores para evitar que se introduzca por el canal continuo de la tubería que le lleva hacia el *sizing*. En este proceso es recomendado emplear guantes de cuero y una varilla que sirva como brazo extensor para así remover de forma segura la viruta. Se establece entonces que la viruta debe ser removida cada minuto y trasladarla a una máquina compactadora anexa para posteriormente ser vendida como chatarra.

4.2.3. Plan de evaluación de tiempos de producción

Empleando el modelo de lectura de la figura 18 se pudo constatar, luego de analizar varias gráficas de tiempos muertos y productivos, que el tiempo productivo se ve afectado en su mayor parte por cambios relacionados a sierras

dañadas, obstrucción de la lámina y torceduras en el formado del tubo. El siguiente diagrama de operaciones define la forma ideal de actuar ante tales situaciones:

Figura 39. **Cambio de sierra en molino**

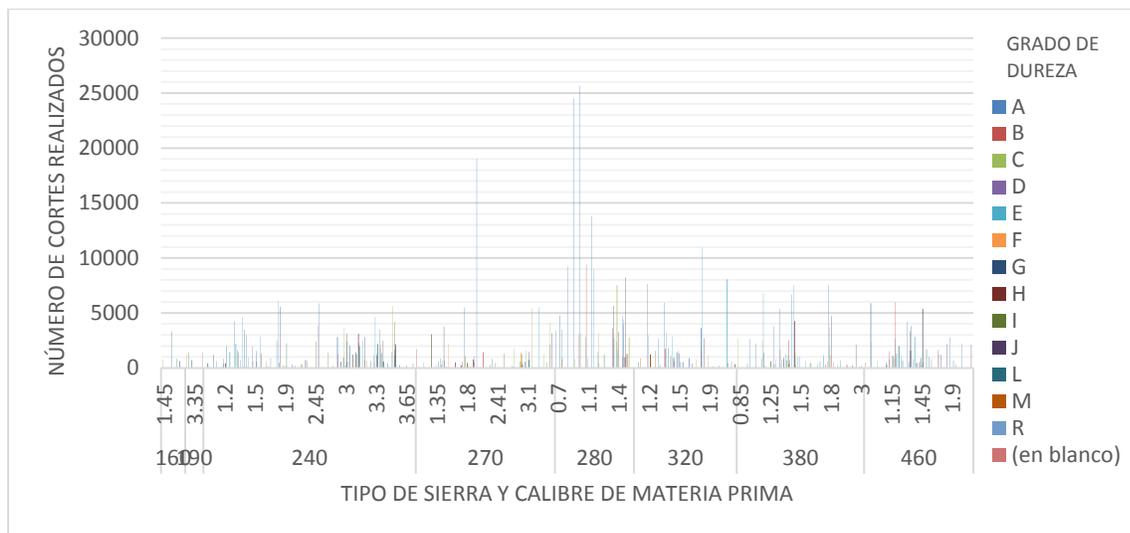


Fuente: elaboración propia.

4.3. Clasificación de sierras circulares para corte de tubería

Para esta clasificación se adicionó la variación de dureza de la materia prima, respecto a lo manejado en el modelo estadístico de regresión lineal múltiple, haciendo uso de la herramienta de calidad conocida como diagramas de barras. La siguiente gráfica muestra el rendimiento de cortes respecto al tipo de sierra segmentado por el grado de dureza y de los calibres representados con colores, los datos corresponden al período del 2 016 hasta el primer semestre del 2 018, el calibre está medido en milímetros. Esta otra herramienta permite una mejor distribución, ya que es con base en experiencia y no a un modelo predictivo:

Figura 40. Rendimiento de cortes según calibre, grado de dureza y tipo de sierra



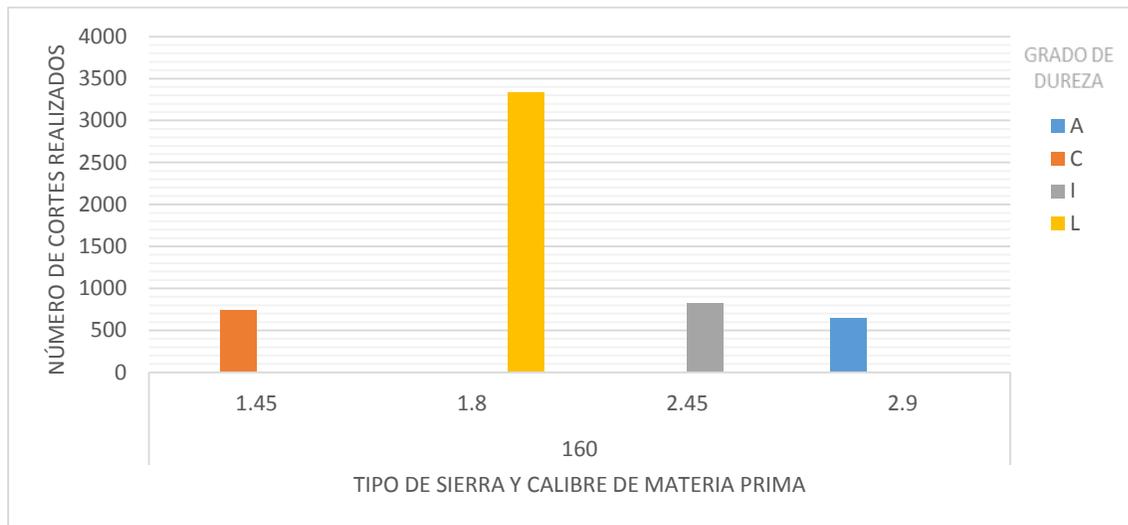
Fuente: elaboración propia

De la gráfica anterior se analizaron los registros de cortes de las sierras desde enero del año 2 016 hasta mediados de año 2 018. La gráfica reúne la frecuencia de cortes respecto al calibre de materia prima manufacturada. Esto permite observar el uso más recurrente de las sierras para el tipo de calibre y grado de dureza, además de analizar el mayor número de cortes que proporcionaron. Cabe destacar que la empresa maneja su propia asignación de literal para los grados de dureza según sus límites elásticos en materia prima. La sierra Z270 denota el mejor rendimiento de cortes para grado A mientras sea calibre 2,1 mm. En grado B, la sierra Z280 es útil para un calibre de 1,1 mm. Con ello se da una idea generalizada del mejor rendimiento puesto a experiencia. En la sección 4.7.1 se encuentra a detalle las recomendaciones finales de asignación de sierras con base en los registros, pruebas y predicciones realizadas.

4.3.1. Sierra de 160 dientes

Para esta sierra se cuenta con pocos registros de distintos calibres y grados de dureza.

Figura 41. Registro de Z160 respecto a cortes, calibre y grado de dureza



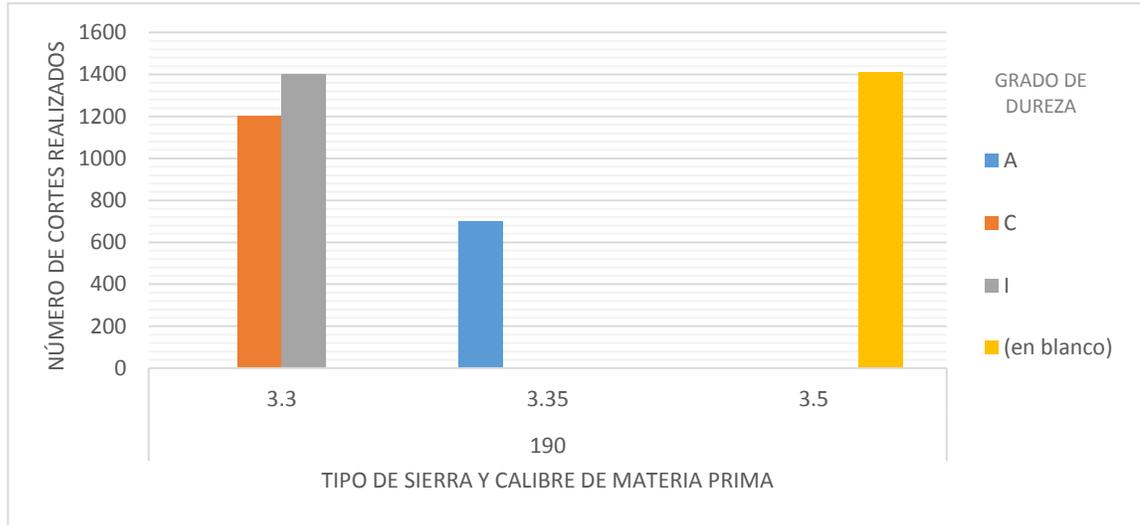
Fuente: elaboración propia.

La muestra que se tiene no es significativa, por tanto no se hace ninguna recomendación para esta sierra más que para calibres menores a los 2 mm y se sugiere darle continuidad de estudio en un futuro.

4.3.2. Sierra de 190 dientes

De igual forma la sierra Z190 posee pocos registros a analizar. Para estudios futuros de esta sierra, se recomienda analizar una mayor cantidad de muestras de cortes.

Figura 42. Registro de Z190 respecto a cortes, calibre y grado de dureza



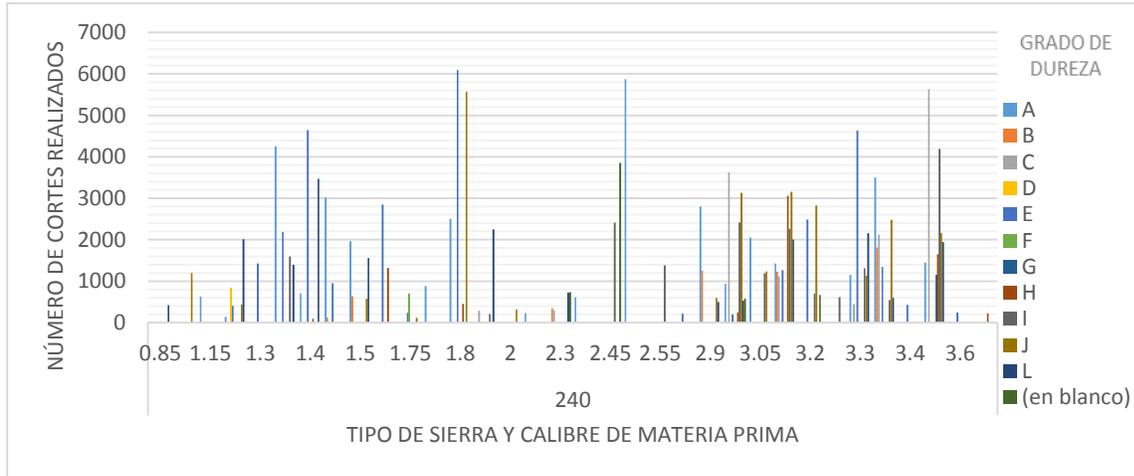
Fuente: elaboración propia.

De igual manera, la muestra no es representativa aunque muestra una tendencia de mejora en el corte a medida que aumenta la dureza para calibres similares a 3,3 mm. Para la cual se hace la misma recomendación de darle seguimiento y realizar más pruebas para calibres comprendidos desde 3,0 mm y mayores, esto dado que el paso entre dientes de esta sierra supera los 8 mm.

4.3.3. Sierra de 240 dientes

La sierra Z240 tiende a ser una de las más empleadas y de mayor rendimiento para diversos calibres.

Figura 43. Registro de Z240 respecto a cortes, calibre y grado de dureza



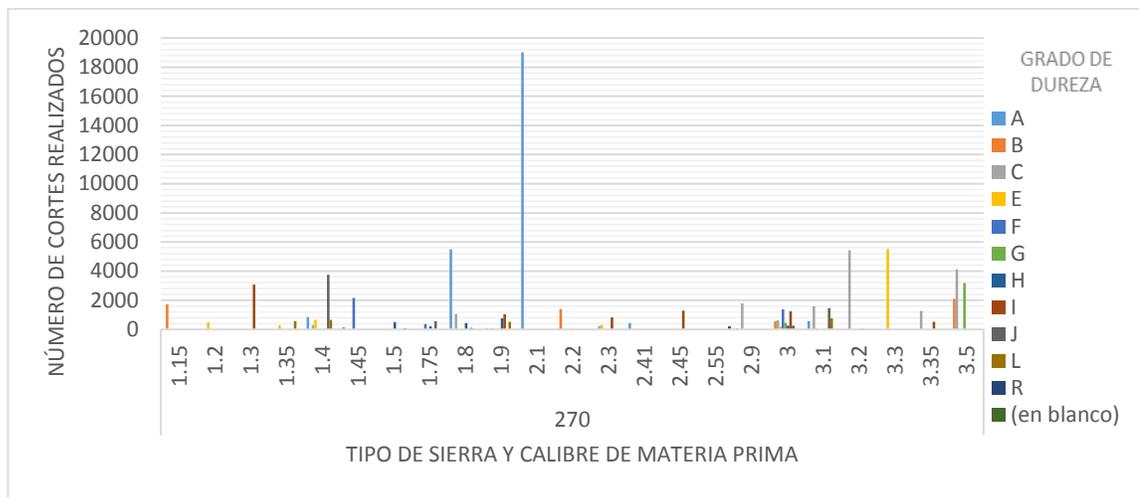
Fuente: elaboración propia.

Esta sierra tiene la particularidad de ser la sierra con mayor paso entre dientes. El mayor rendimiento respecto a dureza de materia prima se da con tuberías grado A para un calibre entre 1,8 mm y 2,35 mm. Si se analiza respecto a los mejores calibres para cortar, resulta que hay un denso conglomerado de calibres a partir de los 2,9 mm hasta los 3,6 mm que muestran una mejora conforme aumenta el espesor cortado. Esto viene a respaldar la teoría que el paso entre dientes debe ser menor al espesor de la tubería a cortar para obtener mayor número de cortes sin afectar la sierra rápidamente, siendo el mejor rendimiento para tubería de 3,5 mm y grado C.

4.3.4. Sierra de 270 dientes

La tendencia para la Z270 es de muy pocos cortes sin importar el calibre.

Figura 44. Registro de Z270 respecto a cortes, calibre y grado de dureza



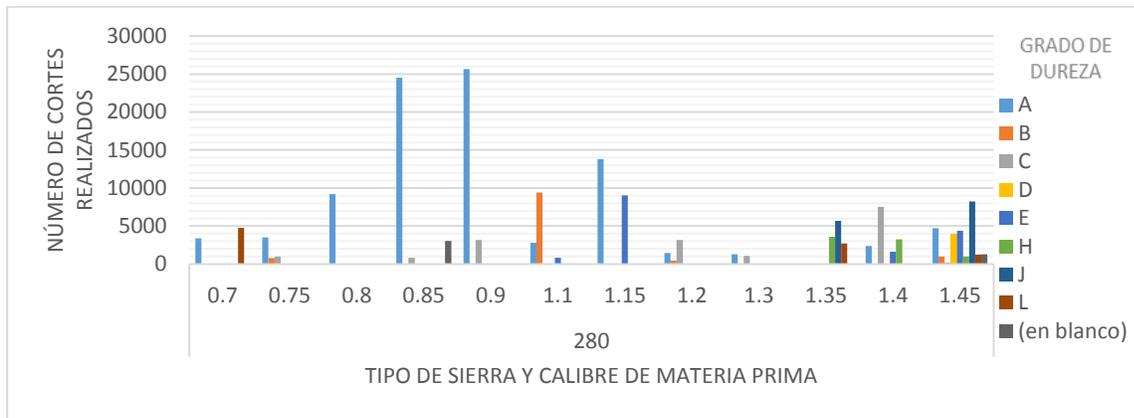
Fuente: elaboración propia.

El mayor rendimiento para esta sierra se mostró con materia prima de grado A para calibres de 1,8 al 2,0 mm, seguido con dureza tipo L y calibre 2,35 mm. Le sigue el grado C para calibres de 3 a 3,5 mm. En general, los rendimientos de esta sierra fueron bajos pero estables para calibres entre 3 mm y 3,3 mm, por lo cual se hace la recomendación de emplear esta sierra entre los calibres de 2,1 mm hasta un máximo de 3,3 mm sin considerar el grado de dureza.

4.3.5. Sierra de 280 dientes

La sierra Z280 funciona mejor para cortes de bajo calibre.

Figura 45. Registro de Z280 respecto a cortes, calibre y grado de dureza



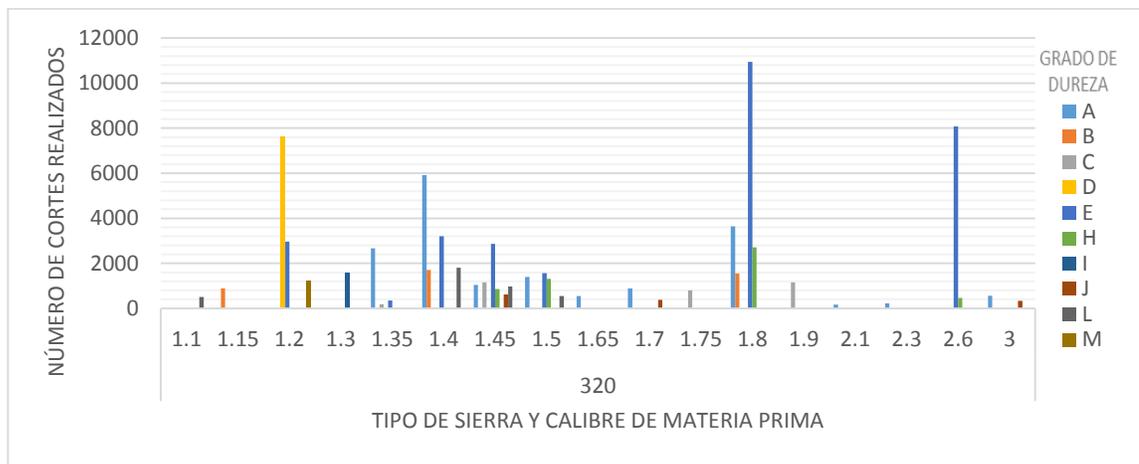
Fuente: elaboración propia.

La Z280 muestra una de las mejores eficiencias con la mayoría de materia prima respecto a sus durezas. Tiene un rendimiento similar tanto en grado A como en grado B para calibres entre 0,85 a 1,2 mm. Se recomienda su uso para calibres que van desde 0,7 mm a los 2,0 mm para obtener rendimientos máximos de hasta 25 000 cortes, esto mientras los dientes sean biselados con el tipo BW para la mejora en la evacuación de viruta y así evitar posibles incrustaciones de viruta entre dientes.

4.3.6. Sierra de 320 dientes

Para la sierra de 320 dientes tiene un alto uso para calibres que comprenden entre 1,2 a 1,5.

Figura 46. Registro Z320 respecto a cortes, calibre y grado de dureza



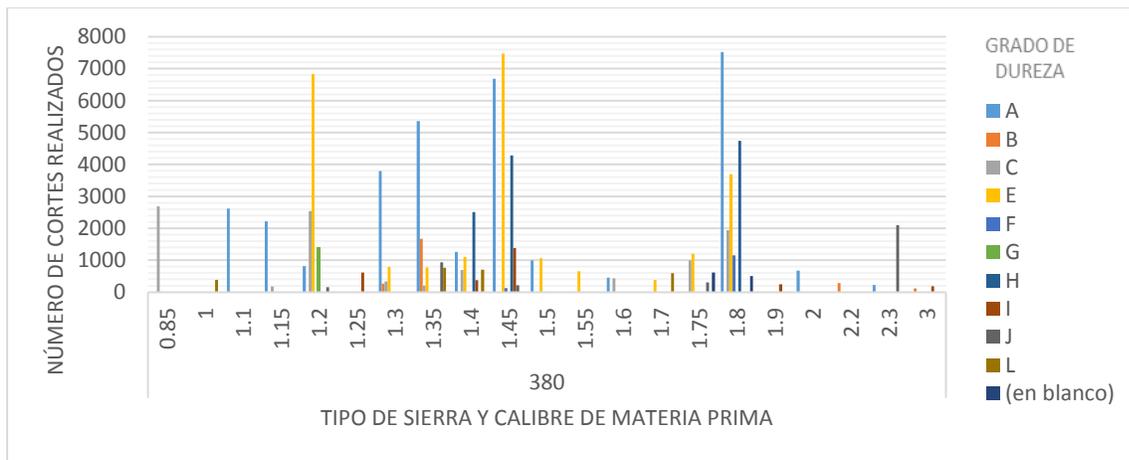
Fuente: elaboración propia.

Esta sierra muestra buen rendimiento para grado D, E y A; para calibres 1,2 mm, 1,4 mm, 1,8 mm y 2,6 mm, respectivamente. La máxima eficiencia de cortes es de aproximadamente 11 000 cortes. Por tanto, es recomendable emplear esta sierra para tuberías de a partir de 1 mm de espesor hasta los 3 mm, presentando algunas variaciones entre calibres. Hay que considerar que posiblemente ha sido muy poco empleada para calibres entre 1,9 mm a 2,5 mm, ameritando más pruebas y de conformidad a lo analizado, seguramente presentará un buen registro de cortes para esos calibres.

4.3.7. Sierra de 380 dientes

En grado A y E se mantiene la mayor eficiencia para calibres 1,2 mm, 1,45 mm y 1,8 mm, con un máximo de 7 500 cortes para estos calibres. De igual manera, se comprende un buen uso de esta sierra para calibres entre 1,0 mm a 3,0 mm.

Figura 47. Registro Z380 respecto a cortes, calibre y grado de dureza



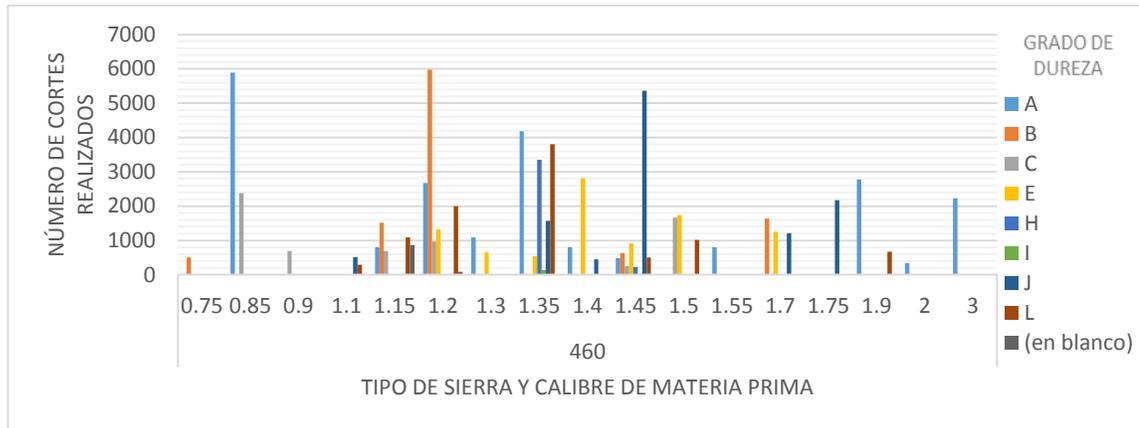
Fuente: elaboración propia.

La velocidad de trabajo lineal del molino se recomienda que no sea empleada en su máximo, dado que esto obliga a la cortadora a aumentar las revoluciones por minuto en el disco, ocasionando que el torque pico del motor aumente y arriesgando a que exista ruptura de dientes en la sierra o material atascado entre dientes.

4.3.8. Sierra de 460 dientes

La Z460 trabaja mejor para grado A, B y H en calibres que van desde 1,2 mm de espesor hasta 1,45 mm.

Figura 48. Registro Z460 respecto a cortes, calibre y grado de dureza



Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, se recomiendan más pruebas desde el 1 mm de espesor hasta los 3 mm, dado que el paso entre dientes de esta sierra es de 4,09 mm, razón por la cual no debería tener mayor complicación dado que se aproxima al calibre ideal que debería cortar.

4.4. Registro de cortes realizados por las sierras

Para este apartado se contó con el aporte de Tubex S. A. para el estudio de dos sierras: Z280 y Z240. Se controlaron variables en el afilado (paso, profundidad, ángulo de ataque y desnudo, entre otras) y variables para la tubería a cortar (espesor, dureza y dimensiones). A dichas sierras se les dio seguimiento por alrededor de tres meses continuos, obteniendo los siguientes registros para cada una:

Tabla XLVI. Programación de afilado en Rekord 500 CNC para Z280

Afilado	1er.	2do.	3ro	4to	
Tipo de diente	CURVO	CURVO	CURVO	CURVO	
Diámetro de la sierra	450	447	443	438	mm
Número de dientes	280	280	280	280	
Paso del diente	5,04	5,01	4,97	4,91	mm
Profundidad del diente	2,17	*2,26	*2,23	*2,21	mm
Espesor de mola	2,50	2,50	2,00	2,00	mm
Pasadas	2	2	1	1	
Diferencia de altura	0	0	0	0	mm
Eliminación de garganta [A]	0,6	0,6	0,6	0,6	
Eliminación del pecho [B]	0,02	0,02	0,02	0,02	mm
Velocidad de labor	14	14	14	14	s/d
Ángulo de ataque	19	19	19	19	deg
Ángulo de posicionamiento	10,04	9,93	9,82	9,77	
Ángulo del diente desnudo (alfa)	12	12	12	12	deg

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVII. Registro de cortes Z280

Fecha	Descripción	Cortes	Observaciones
23/08/2018	1 ¼" Ch. 20 Cuadrado	3 047	Nueva
23/08/2018	1 ¼" Ch. 20 Cuadrado	491	
24/08/2018	¾" Doct. Cal. 0,73mm	3 645	
25/08/2018	¾" Ch. 20 Cuadrado	3 931	Subtotal: 11 114
28/08/2018	1x2" Cal. 0,75mm	1 337	1er. afilado
30/08/2018	1x1" Cal. 0,90mm	3 339	
01/09/2018	1x1" Cal. 0,90mm	2 984	Subtotal: 7 660
15/09/2018	5/8" Cal. 0,75mm Circular	717	2do. afilado
18/09/2018	5/8" Cal. 0,75mm Circular	1 042	
20/09/2018	5/8" Cal. 0,75mm Circular	3 354	Subtotal: 5 513
03/11/2018	--	5 073	3er. afilado
08/11/2018	1" Cal. 0,90mm Circular	2 345	4to. afilado
12/11/2018	1" Cal. 0,80mm Circular	2 483	Subtotal: 4 828

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLVIII. Programación de afilado en Rekord 500 CNC para Z240

Afilado	1er.	2do.	3ro.	4to.	5to.	6to.	7to.	
Tipo de diente	CURVO	CURVO	CURVO	CURVO	CURVO	CURVO	CURVO	
Diámetro de la sierra	600	596	594	590	587	586	579	mm
Número de dientes	240	240	240	240	240	240	240	
Paso del diente	7,85	7,79	7,77	7,72	7,68	7,67	7,58	mm
Profundidad del diente	3,42	3,42	*3,50	*3,47	*3,46	*3,44	*3,41	mm
Espesor de mola	2	2	2	3	3	3	3	mm
Pasadas	1	1	2	1	1	2	2	
Diferencia de altura	0	0	0	0	0	0	0	mm
Eliminación de garganta [A]	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	
Eliminación del pecho [B]	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	mm
Velocidad de labor	14	14	14	14	14	14	14	s/d
Ángulo de ataque	12	14	14	14	14	16	16	deg
Ángulo de posicionamiento	9,98	9,86	9,78	9,65	9,61	9,58	9,55	
Ángulo del diente desnudo (alfa)	16	12	12	12	12	12	12	deg

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. Registro de cortes Z240

Fecha	Descripción	Cortes	Observaciones
23/08/2018	1 ¼" Ch. 20 Cuadrado	1 545	Nueva
30/08/2018	2" Ch. 22 Circular	124	1er. Afilado
12/09/2018	1 ¼" BPE 1,40 mm	20	2do. Afilado
26/09/2018	2x2" Cal. 1,50 mm	35	3er. Afilado
11/10/2018	3x3" Cal. 1,40 mm	45	4to. Afilado
20/10/2018	2" Cal. 2,65 mm	789	5to. Afilado
24/10/2018	1 ½" Cal. 3,05 mm	38	6to. Afilado
29/10/2018	3" Ducto Negro Cal. 3,81mm	229	7mo. Afilado

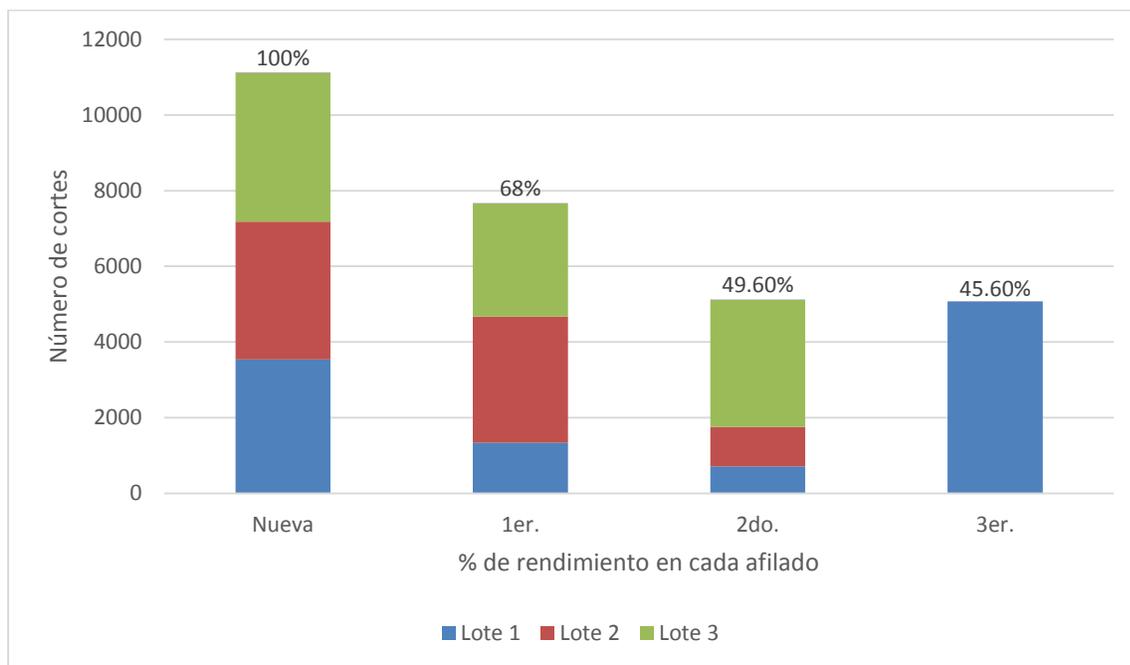
Fuente: elaboración propia.

Durante el afilado de las sierras se contó con dos molas de 3 mm de espesor que afectaron el acabado, en algunos casos se requirió dos pasadas para el afilado. Por lo cual se tomaron medidas correctivas detalladas en la sección 5.4.1, basándose en la asignación de una mola en específico para cada sierra.

4.4.1. Rendimiento porcentual

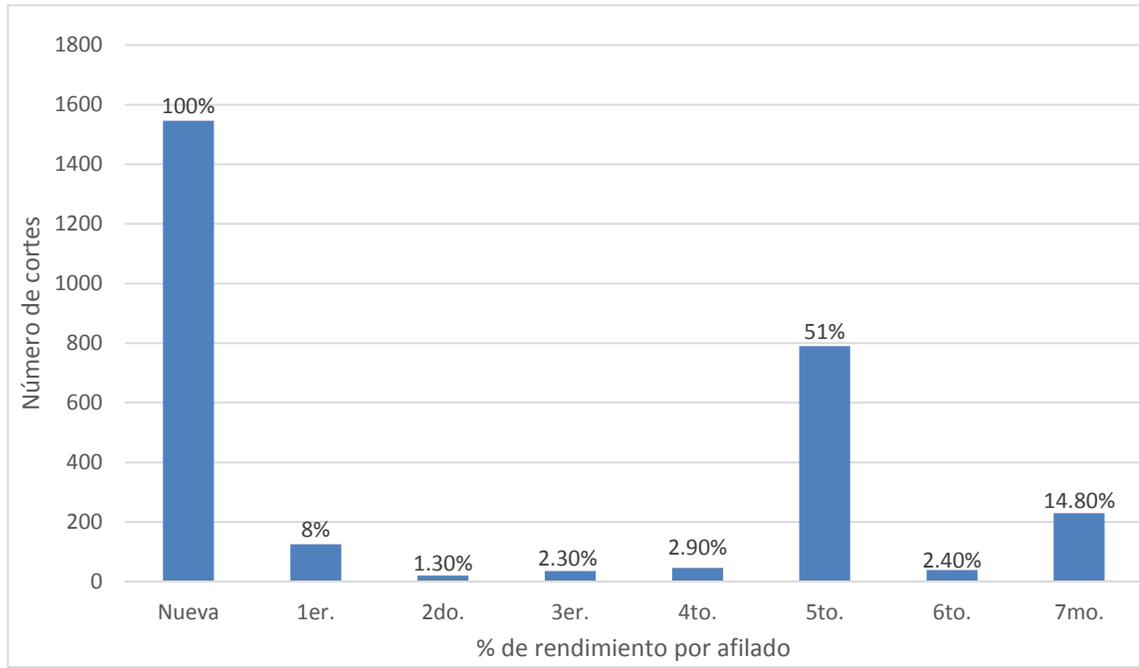
El rendimiento porcentual de las sierras de prueba se encuentra en los siguientes gráficos:

Figura 49. Rendimiento de cortes de prueba en sierra Z280



Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Rendimiento de cortes de prueba en sierra Z240



Fuente: elaboración propia.

En la sierra Z280 el rendimiento de la misma es decreciente con curva suavizada, por lo cual se mantiene un rendimiento esperado con la asignación de tuberías y modelo de afilado planteado. No es el mismo caso para la sierra Z240. Esta mostró variaciones en el rendimiento de corte y su eficiencia pico de 51 % se dio en el quinto afilado realizado. Al emplearse nueva sierra se trabajó con materia prima de espesor de 0,9 mm y las venideras rondaban entre espesores de 1 mm hasta 2,5 mm. El cambio significativo llegaría al quinto afilado en que se modificó el ángulo de ataque de 16° a 18°. Esto permitió un mejor rendimiento de la sierra, además de trabajar con una materia prima de 3 mm de espesor, que se aproxima al espesor ideal para una sierra con paso muy grande entre dientes.

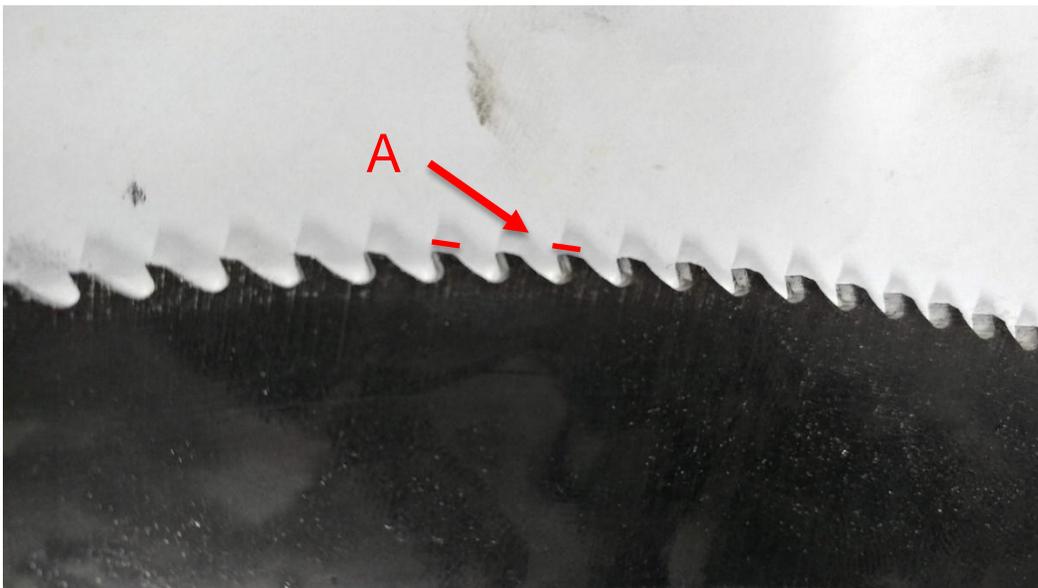
4.5. Estudio metalográfico en las sierras

Para esta sección únicamente se consideraron las características físicas y el desgaste progresivo de las hojas de las sierras, dado que no se permitió hacer un análisis metalúrgico de la composición de los dientes de las sierras y hacer una comparación teórica de las especificaciones de los proveedores.

4.5.1. Observaciones

Los resultados muestran una disminución progresiva de 4 mm por cada afilado en la sierra Z240 y de 3 mm en la sierra Z280. Durante el afilado surgieron algunos problemas en el acabado, razón por la cual fue necesario dos pasadas en algunos casos para afilar los dientes.

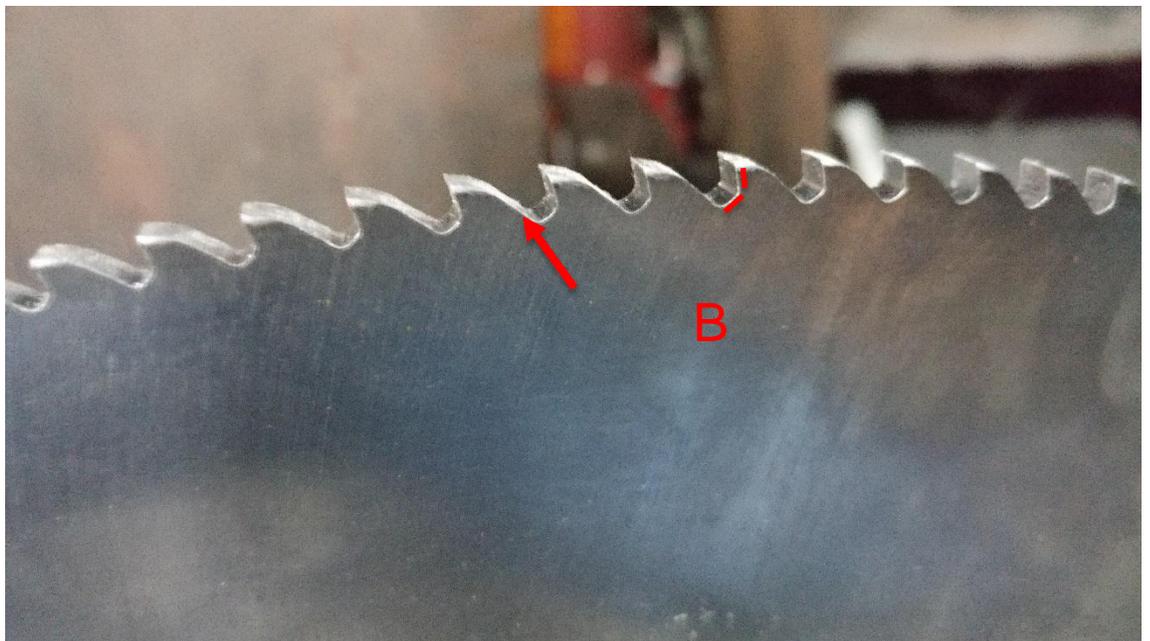
Figura 51. Planicie en espalda de dientes



Fuente: elaboración propia.

Cerca de un tercio del total de dientes de la sierra Z240 fue mal afilado en la parte [A], motivo por el cual se hizo un segundo afilado para mantener la simetría. El motivo por el cual se presentó esta situación fue en parte por el desgaste no uniforme de la sierra en la cortadora del molino. Al ser una tubería hueca, no todos los dientes se distribuyen sobre el área que se corta, ocasionando este problema al afilar. Además, tras el primer afilado, se cayó en cuenta de que existe una gran incertidumbre en el cálculo automático de la profundidad del diente, afilando 0,2 mm menos de lo debido.

Figura 52. **Gradas en el pecho del diente**



Fuente: elaboración propia.

En la sierra Z280 se formaron gradas en la parte del pecho de los dientes. Esto generaría una mala evacuación de la viruta y, por ende, mal rendimiento. Justo donde inicia el semicírculo de la profundidad del diente hasta la parte más baja se observan dos gradas. Estas gradas fueron generadas por el uso

inadecuado de una mola de 3 mm de espesor cuando el paso entre dientes es de tan solo 5 mm, no respetando que la mola sea de un máximo del 50 % de espesor que la distancia entre dientes. Fue necesario desgastar uno de los laterales de la mola para tener una finura y libertad en el afilado entre dientes. En la sección 5,4 se hacen las respectivas correcciones y sugerencias para evitar nuevamente un mal procedimiento.

4.5.2. Comparación teórica

La siguiente tabla hace una comparación de las características físicas de ambas sierras al iniciar y al finalizar las pruebas:

Tabla L. Comparaciones físicas de sierras tras pruebas

	Z280		Z240	
	Nueva [mm]	Última prueba [mm]	Nueva [mm]	Última prueba [mm]
Diámetro externo	450	438	600	579
Paso entre dientes	5,04	4,91	7,85	7,58
Profundidad del diente	2,17	*2,21	3,42	*3,41

Fuente: elaboración propia.

En la sierra Z280 hubo una disminución de 12 mm en el diámetro externo en cuatro afilados, esto a un ritmo de pérdida de 3 mm por afilado. El paso entre dientes disminuyó en 0,03 mm por afilado. La profundidad del diente aumentó, esto se dio al ser corregido manualmente el cálculo, ya que la CNC hacía uso de un decimal por operación, ocasionando una mala aproximación decimal.

En el caso de la sierra Z40 hubo una reducción de 21 mm en el diámetro externo, siendo reducido aproximadamente en 3 mm por afilado. El paso entre dientes se redujo en 0,27 mm por afilado. La profundidad del diente se mantuvo casi similar a su inicio, esto debido a que también se modificó el cálculo a 0,45 por el paso, para corregir el cálculo automático de la CNC. Con 7 afilados esta sierra muestra mayor desgaste temprano que la Z280 y en parte se debe a su mal rendimiento con distintos tipos de tubería, por lo cual resulta de poca utilidad a largo plazo.

4.6. Manejo de desperdicios

En el manejo de residuos y desechos se maneja dentro del sistema de gestión el documento interno IT-14-8. 1-1, en cuya última revisión se agregó la inspección. Se cambia de código el documento ajustándose a la nueva codificación por transición de la norma ISO 14001:2015.

4.6.1. Lubricantes

Clasificados como desechos contaminados. Estos provienen del diésel, *thinner*, barniz, aguas emulsivas, aceites, entre otros. El recipiente que corresponde según la clasificación de desechos es el tonel de metal color gris, debe usar tapadera para aislar los contaminantes de su entorno y su respectiva rotulación. Por último será puesto en el área de almacenamiento temporal para poner a disposición del proveedor externo. Esto quiere decir que será vendido para un reciclaje o reutilización.

4.6.2. Viruta

Catalogado como un residuo especial, que son aquellos generados por proceso. En este caso por la soldadura de la tubería en el molino. El tipo de tonel para contener este residuo es de metal, color negro y no es necesario el uso de tapadera, dado que no es un contaminante perjudicial para las personas y su entorno.

4.6.3. Chatarra

La chatarra, al igual que la viruta, es un residuo especial, al cual se hace referencia en este documento como la rebaba, orilla de tubería, tubos abiertos, residuos de fleje, entre otros. El almacenamiento de esta chatarra puede estar en el mismo contenedor de viruta. Es decir, tonel de metal color negro y sin necesidad de uso de tapadera.

Clasificados los desechos se procede al último inciso agregado al control de desechos: la inspección. A través del registro Control operacional para el manejo de los desechos RE-SG-8. 1-1. Este se realiza una vez al mes, para mantener una retroalimentación con los jefes inmediatos de los re-resultados obtenidos. En el área de anexos se puede estudiar a mayor profundidad la ficha de procesos para el manejo de residuos, y se detalla el proceso que se lleva a cabo según ISO 14001:2015. La ficha de procesos está basada en la ISO 9001:2015 para describir la secuencia de pasos y para clasificación de los desperdicios.

4.7. Análisis y diagnóstico de propuesta implementada

Se analizan los ocho tipos de sierras a de acuerdo a sus características evaluadas y se determina un cuadro resumen de posibles cortes a realizar de acuerdo al calibre de la materia prima.

4.7.1. Cuadro de resumen

Dados los registros de los últimos dos años, los pronósticos realizados con el modelo de regresión múltiple, las recomendaciones de fabricantes de sierras y la experimentación de afilado, se dejan las siguientes recomendaciones de sierras a emplear según el espesor de materia prima a cortar, inserto el número máximo de cortes según la sierra:

Tabla LI. **Recomendación de sierras según espesor de materia prima y eficiencia máxima de cortes posibles**

Sierra	0,7 a 1,0 mm	1,1 a 1,5 mm	1,6 a 2,0 mm	2,1 a 2,5 mm	2,6 a 3,0 mm	3,1 en adelante
160	x	20 100	23 500	22 700	x	x
190	x	x	x	x	x	10 300
240	x	x	x	x	x	7 600
270	x	x	x	19 000	17 000	x
280	28 800	26 000	25 400	x	x	x
320	x	23 900	22 000	17 600	16 200	4 300
380	x	22 400	22 600	16 800	10 800	8 600
460	x	23 900	19 400	14 400	12 700	9 500

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro aparecen el máximo de cortes que pueden hacer las sierras en su vida útil en los grupos de espesores recomendados. Hay otras casillas marcadas con “x”, para las cuales no se recomienda emplear las sierras, ya que

estas pueden rendir muy poco o, en el peor de los casos, estropear los dientes de los discos. La estimación del máximo de cortes se hizo en el siguiente orden de criterios:

- Según historial: si la sierra cuenta con suficiente información del tipo de calibres que cortó hasta ser discontinuada, se procede a tomar los tres grupos más altos de corte según los calibres y se promedia para luego ser redondeado al centenar más próximo. Tal es el caso de la sierra Z240 hasta la sierra Z460.
- Según pronóstico: tal es el caso para la sierra Z160 Y Z190, cuyo historial es escaso. Se emplea el modelo estadístico de regresión lineal múltiple que se planteó en el tercer capítulo, empleando la información existente y asignando a los grupos de calibre que mejor se adecúan respecto al paso entre dientes de las sierras.

5. SEGUIMIENTO Y MEJORA

5.1. Capacitación a personal

La capacitación de los involucrados se entregó en tres fases:

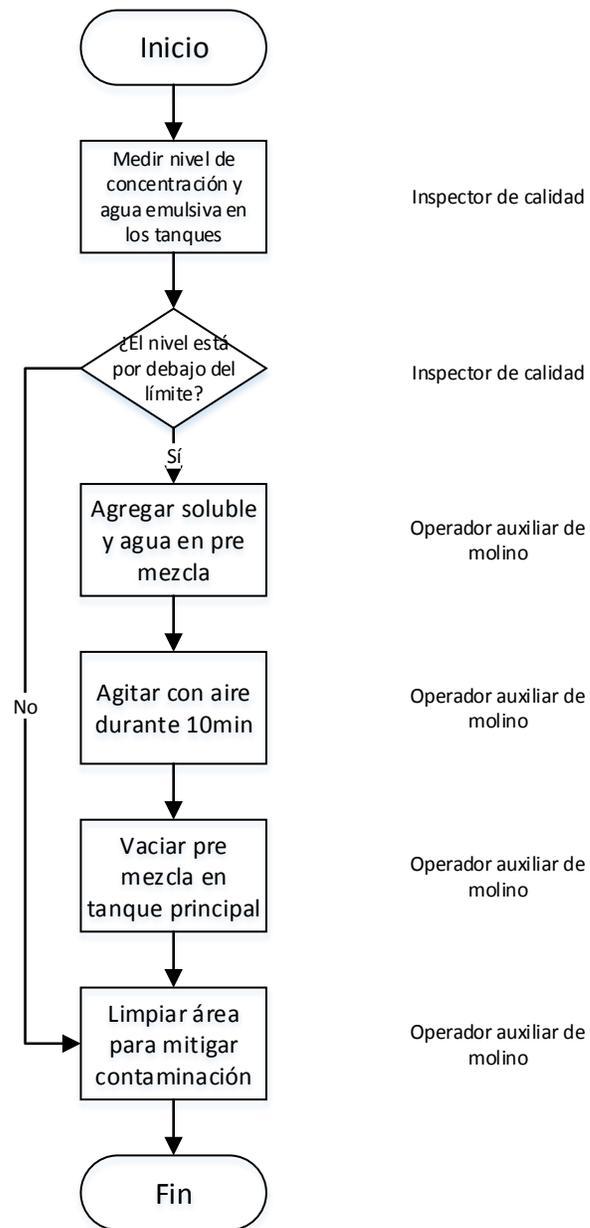
- Verbal
- Teórico
- Seguimiento

La forma verbal y práctica es la más inmediata y sencilla de dar a entender a los trabajadores en molinos y afilado. Esto permite aclarar dudas conforme a la práctica. La parte teórica es tan solo un recordatorio de procedimientos, que en su mayoría están detallados. La parte de seguimientos se refiere a todos los formularios y registros que se deben hacer como parte de un seguimiento y mejora continua, acorde a la ISO 9001:2015. En los siguientes subtítulos se detalla la capacitación:

5.1.1. Lubricación de sierras en el corte

En esta parte se tomó de referencia los documentos del procedimiento de preparación de agua emulsiva del molino 604, mismos que aplican para el molino 483 y la CNC Rekord 500. Por políticas de privacidad se omite la formulación, se detalla el procedimiento que deben seguir cada semana y que consiste en los siguientes pasos:

Figura 53. **Proceso de lubricación de sierras**



Fuente: elaboración propia.

5.1.2. Limpieza de viruta

Para la limpieza de viruta se hizo únicamente una capacitación verbal, la cual inició estableciendo dos parámetros: la observación constante y la compactación. Estos debido a que, luego de la soldadura, se remueve inmediatamente la costra y cada minuto aproximadamente se extrae toda esa chatarra producida con un gancho para ingresarla a la compactadora donde posteriormente se obtienen atados de 0,5 metros cúbicos aproximadamente. Es muy importante llevar el control cada minuto para evitar obstrucciones en la línea por la viruta, resguardando la seguridad de los operadores y del molino (para visualización de la situación consultar la figura 38).

5.1.3. Seguridad industrial

Con el fin de resguardar la seguridad de los trabajadores, se realizó una matriz de riesgos en el molino 604, donde se señalan los mayores peligros. Se trabajó con base en el Acuerdo Gubernativo 229-2014 y sus reformas. Para la identificación de los peligros y tipos de riesgos se consideraron las recomendaciones de la Norma Técnica Guatemalteca 13 000. Adjunto en los anexos se encuentra un modelo de matriz. Se dio a conocer a la gerencia de producción los siguientes resultados para considerar cambios en posibles accidentes o riesgos:

Figura 54. Matriz de riesgos del molino 604

EMPRESA: TUBEX, S. A.		FECHA: 05/11/2018											
ÁREA: Molino 604		RESPONSABLE: Mario Posadas											
Tarea	Peligro	Riesgo	Requerimiento legal	Índice de personas expuestas "a"	Índice de procedimientos existentes "b"	Índice de capacitación "c"	Índice de exposición de riesgo "d"	Índice de probabilidad (a+b+c+d)	Índice de severidad	Índice de riesgo	Nivel de riesgo	Riesgo significativo	Medida de control
Transportar bobina al devanadero	Mecánico	Aplastamiento	AG 229-2014 Arts. 472-504	1	2	2	3	8	3	24	IMPORTANTE	Sí	No suspender la carga por más de 1.0 m y distanciarse de la misma por 1.5m
Ajustar bobina a devanadora	Mecánico	Atrapamiento	AG 229-2014 Arts. 421-459	1	2	2	3	8	2	16	MODERADO	NO	
Empalmar las colas de las bobinas	Eléctrico	Intoxicación, fuego o explosión	AG 229-2014 Arts. 201-210	1	2	1	3	7	3	21	IMPORTANTE	Sí	Uso de EPP para soldadura horizontal
Regulación y fijación del floop	Mecánico	Golpeado con	AG 229-2014 Arts. 230-266	1	2	1	3	7	2	14	MODERADO	NO	
Soldadura y limpieza de viruta	Eléctrico	Intoxicación, fuego o explosión	AG 229-2014 Arts. 201-210	1	2	1	3	7	2	14	MODERADO	NO	
Doscordonar	Mecánico	Atrapamiento	AG 229-2014 Arts. 505-516	1	2	1	3	7	1	7	TOLERABLE	NO	
Calibrado y sizing	Mecánico	Atrapamiento	AG 229-2014 Arts. 505-516	1	1	2	3	7	2	14	MODERADO	NO	
Cabezas turcas	Mecánico	Atrapamiento	AG 229-2014 Arts. 505-516	1	1	1	3	6	2	12	MODERADO	NO	
Cortadora	Físico	Ruido	AG 229-2014 Arts. 182-193	1	2	1	3	7	3	21	IMPORTANTE	Sí	Uso obligatorio de tapones y orejeras dado que puede superar los 90 dB de ruido pico
Transporte a cama de evacuación	Mecánico	Atrapamiento	AG 229-2014 Art. 507	1	2	1	3	7	1	7	TOLERABLE	NO	
Descargar tuberías	Mecánico	Aplastamiento	AG 229-2014 Arts. 421-459	1	2	1	3	7	1	7	TOLERABLE	NO	

Fuente: elaboración propia.

De la matriz de riesgo anterior se considera importante el uso obligado del EPP al aplicar soldadura horizontal a las colas de las bobinas a empalmar, con base en el Acuerdo Gubernativo 229-2014, artículos 201-210. La otra medida de control es para las cortadoras relacionadas al ruido producido, donde debe haber uso de tapones y orejeras permanentemente, donde rigen los artículos 182 a 193 del mismo acuerdo.

5.2. Ventajas y beneficios

A continuación se presentan ventajas y beneficios del actual sistema de trabajo dentro del área de producción, en algunos casos se implementó un nuevo método de trabajo.

5.2.1. Rotación de personal

La rotación de personal en molino continúa siendo de la misma forma: 2 jornadas laborales de 8 horas, más horas extras cuando la producción aumenta. De no haber horas extras, las jornadas son únicamente diurna y mixta, evitando así el pago de horas extras por servicios no requeridos, significando un ahorro de dinero para la empresa. En el caso del área de afilado, únicamente se cuenta con el apoyo de dos empleados, ambos en jornada diurna pero con horario de inicio distinto para cubrir diversos problemas de afilado y soldadura que se presenten a lo largo de la jornada y poder apoyar a los molinos.

5.2.2. Mantenimiento de sierras

En el mantenimiento de sierras se logró implementar un sistema de afilado que permite devolver el afilado inicial de cada sierra para aproximarse al rendimiento inicial, comenzando por la calibración del carro de la mola dependiendo del espesor de sierra a afilar, seguido de la asignación correcta de mola para el paso entre dientes de cada sierra. Por último, el registro personalizado de cada sierra para estudiar su historial de cortes respecto a su rendimiento y concluir si el afilado ha sido el adecuado.

5.2.3. Cambio de piezas de molinos

Un cambio general puede llevar desde 2 hasta 4 horas, en el último caso si se quiere hacer ajuste de tubería cuadrada o rectangular a circular. La parte de calibrado para el molino 604 cuenta con cuatro estaciones de rodos laterales (*clusters*) y cuatro verticales (torres verticales), las cuales son la razón principal de las demoras, ya que se pretende que el tubo lleve 0,76 mm más de diámetro

requerido al pasar por el *zising*. Esto hará un trabajo de disminución de diámetro uniformemente, obteniendo el diámetro final requerido.

De igual forma, los bastidores motorizados deben ser calibrados. Cada bastidor cuenta con una estructura fija y dos mandriles motorizados sostenidos por correderas. Deben ser regulados en función del diámetro del tubo. Para sustituir los rodillos es necesario destornillar las virolas, aflojar los tornillos y remover las zapatas. Para sustituir los rodillos del *cluster* es suficiente aflojar los tornillos, retirar el soporte superior y sucesivamente los rodillos desde el soporte inferior. En el caso de la cortadora, no requiere más de 5 min el cambio de la hoja de sierra. El tiraje de prueba dura cerca de 15 min. Si se hace la calibración simultánea con los operadores disponibles (cerca de 8) se puede reducir los cambios en 2,5 horas.

5.2.4. Cantidad producida de tuberías

Con las pruebas realizadas con la sierra Z240 y Z280 se ha reducido significativamente el desgaste de las mismas y ha aumentado el número de cortes hechos en tuberías. En el caso de la Z280 se pasó de 25 671 cortes máximos, según registros de los últimos 2 años, a los 29 115 cortes con tan solo cuatro afilados y la herramienta en continuo uso. Ese es un indicador de que el sistema de asignación de sierra y el método de afilado fueron los correctos para este caso.

5.3. Cuidado ambiental

Dentro del cuidado ambiental se considera lo trabajado en los incisos anteriores acorde a la ISO 14 000 y procedimientos internos establecidos.

5.3.1. Evaluación de los desperdicios

De conformidad con lo expresado en la sección 4,6 sobre el manejo de chatarra, reciclaje y otros derivados, se maneja el procedimiento interno IT – 14-8 1-1, todo normado según la ISO 14 001. En la observación se constató el manejo adecuado de químicos, rotulación y color de toneles para depositar desperdicios, así como un registro mensual que se hace dentro de la empresa cuando se vende o descartan los desechos.

5.4. Acciones correctivas

Las correcciones se dan durante la implementación de la asignación de sierras y hay otras mejoras planteadas para proyectos futuros.

5.4.1. Correcciones en afilado

Durante la implementación de la propuesta se encontraron varios problemas aislados a lo estudiado. El primero de ellos fue el ángulo de ataque y el ángulo desnudo. La sierra Z240 presentó un achatamiento en los dientes al primer afilado respecto a los dientes originales. En parte se debió a la dificultosa tarea de medir ángulos a pequeña escala y de criterio variante según el observador. Luego de ello se constató el uso inadecuado de molas para el afilado. Se empleaban molas de aproximadamente 3 mm de espesor, cuando el espesor de la mola no debe superar el 50 % del paso entre dientes a afilar, para ello se realizó la siguiente tabla de asignación:

Tabla LII. **Asignación de molas para afilado**

Sierra	Paso [mm]	Espesor de mola [mm]
Z160	10,10	3
Z190	7,44	3
Z240	7,85	3
Z270	6,98	3
Z280	5,05	2,5
Z320	5,89	2,5
Z380	4,96	2
Z460	4,10	2

Fuente: elaboración propia.

Dado que no se empleaba la mola adecuada, se obtenían gradas en la garganta del afilado. Ante esto, los técnicos desgastaban un lado de la mola con material abrasivo para llegar a la finura necesaria y poder afilar el fondo del diente sin tocar los laterales que producían las gradas, representando un desgaste inadecuado y desaprovechando la totalidad de la mola, además de manipular a la CNC en el espesor real de la mola, dado que se asignaba un valor aleatorio que no restringiera la operación de la CNC tras superar el 50 % del espesor permitido de la mola.

5.4.2. Correcciones en operación de molinos

Dentro de las correcciones en la operación de corte se ha determinado que las sierras rinden mejor a sus anteriores registros presentados en el capítulo número cuatro, permitiendo la prolongación de vida útil de la herramienta, dado que sí resultó ser de gran importancia asignar sierras respetando que el espesor de la tubería a cortar debe ser mayor al paso entre dientes de la sierra. Esto quiere decir que, si la tubería tiene un espesor de 3 mm, el paso entre dientes de

la sierra asignada debe ser menor a estos 3 mm, pudiendo hacer uso de una sierra Z280.

5.5. Hojas de control

Las hojas de control para el afilado de sierras eran un tema inexistente hasta ahora, así como el de los registros para molino, en que se adicionaron algunos campos. Entre algunos de los nuevos campos a mencionar está la orden de producción, que será identificar en el sistema SAP si se llegara a consultar alguna de las especificaciones de la tubería producida. En el apartado “producto” se encuentra la columna “tubería”, que sirve para identificar si se trabaja tubería negra, galvanizada, API 5L, ASTM A500, industrial, cañería, estructural, entre otras posibles. Siguiendo el orden, se continúa con las dimensiones de tubería, tanto de diámetro externo como de largo. Luego, el calibre que puede ser expresado también en chapa. El último apartado de “producto” es el grado de dureza de la materia prima que se denomina por literales para uso interno.

5.5.1. Formato para el registro del uso de sierras

Se establece el siguiente formato para mantener el registro de las sierras afiladas:

Tabla LIII. Registro de sierras

Orden de producción	Producto					Sierra	Total de cortes	1ra	2da	Retenido	Desperdicio
	Tubería	Dimensiones	Perfil	Calibre	Grado						
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: elaboración propia.

Esto se hace con el único fin de proveer información que permita la retroalimentación para decisiones futuras. A diferencia del cuadro sugerido en la sección 3.8.2, este adiciona el código de sierra empleado y el total de cortes realizados con esa sierra.

5.5.2. Hoja del mantenimiento de las sierras

Para el control del área del afilado se propone el siguiente formato para llevar un historial del rendimiento de cada sierra, según el modelo de afilado implementado en cada caso. Este registro deberá hacerse cada vez que regresa la sierra al área de afilado para un nuevo afilado. Debe ir junto al registro de cortes del área de producción para hacer la entrada de la sierra a afilar. Además, se recomienda colocar en la columna de “observaciones” el número de orden de producción con el cual se empleó la sierra, por si esta última mostrara un bajo rendimiento y para evaluar posibles causas.

Tabla LIV. Registro para afilado

Departamento de Producción
Reporte de afilado

Tubex

Operador: _____ Proceso: _____

Código de sierra:			
Fecha	No. Afilado	Cortes realizados	Observaciones

Fuente: elaboración propia.

El código de sierra es el mismo empleado en el molino, donde se recomienda el siguiente formato: Z#-fecha de despacho en bodega. Un ejemplo sería para una sierra de 280 dientes empleada por primera vez el 28 de junio de 2018, quedando de la siguiente forma el código: Z280-28/06/2018.

5.6. Estadística de resultados

En este apartado se presentan las tablas de eficiencia esperadas de las sierras en los molinos, como también la reducción de tiempo esperado en cambio de sierras y mayor tiempo eficiente en producción de tuberías.

5.6.1. Eficiencia de sierras

Respecto a los registros hechos en sierras, estos son los porcentajes de eficiencia que se espera mejorar en la vida útil de cada sierra, respetando la asignación de sierras según los diferentes grupos de calibre:

Tabla LV. **Porcentaje de rendimiento esperado en cada sierra**

Sierra	0,7 a 1,0 mm	1,1 a 1,5 mm	1,6 a 2,0 mm	2,1 a 2,5 mm	2,6 a 3,0 mm	3,1 en adelante
160	x	15 %	11 %	10 %	x	x
190	x	x	x	x	x	7 %
240	x	x	x	x	x	4 %
270	x	x	x	12 %	11 %	x
280	40 %	35 %	29 %	x	x	x
320	x	27 %	26 %	22 %	18 %	13 %
380	x	22 %	20 %	18 %	15 %	13 %
460	x	27 %	23 %	19 %	17 %	11 %

Fuente: elaboración propia.

Los cálculos de porcentajes están basados en el historial de cortes de los últimos dos años, seccionados por calibre de tubería a cortar y confrontados con el modelo estadístico de probabilidad.

5.6.2. Eficiencia en tiempos de trabajo

En lo que respecta a la eficiencia en tiempos de trabajo, se hace referencia al cambio de piezas para calibrar el molino para una nueva producción.

5.6.2.1. Tiempo eficiente

Con el nuevo modelo de asignación de sierras se ha mejorado hasta en 5 minutos el trabajo ininterrumpido del molino por cambios de sierras. Esto quiere decir que, si se ha trabajado con 40 metros lineales por minuto, se ha logrado producir 250 metros más de tubería. Esto muestra una leve mejora ya que cada cambio de sierra toma entre 5 a 10 minutos.

5.6.2.2. Tiempo muerto

Dentro de los registros generados por el molino 604 se encuentra que los tiempos muertos por cambio de accesorios para el formado de tuberías siguen variando. Los cambios tardan entre 2 a 4 horas, siendo los de mayor tiempo cuando se hace el cambio de tubería rectangular a redonda. Debe ser un nuevo tema a tratar como parte de un estudio con diagramas de procesos, a través de la información diaria que se va recolectando, para encontrar los mayores causantes con diagrama de Pareto y proponer posibles soluciones.

5.7. Criterio de evaluación de resultados

Otros criterios a considerar son el beneficio obtenido respecto al costo. Por las mismas políticas de privacidad, únicamente se limitó a expresar porcentualmente el beneficio respecto a la vida útil de las sierras.

5.7.1. Análisis costo–beneficio

Con la tabla del análisis de rendimiento de sierras de la sección 5.6.1 se espera en promedio el siguiente ahorro y prolongación que beneficiará para cada sierra:

Tabla LVI. **Beneficio porcentual de sierras**

Sierra	Beneficio
Z160	12 %
Z190	7 %
Z240	4 %
Z270	11,5 %
Z280	50 %
Z320	21,2 %
Z380	17,6 %
Z460	19,4 %

Fuente: elaboración propia.

Los porcentajes quieren decir, en el caso de la Z280, que se ahorrará un 50 % del valor de una sierra nueva de este tipo, empleando la asignación de calibres recomendados y respetando el afilado asignado. En este caso, esta es la sierra que mayor beneficio muestra para el corte de tuberías.

5.7.2. Proveedores

Actualmente se trabaja con 2 proveedores para estas sierras analizadas, a los cuales se recomienda solicitar sierras de mayor resistencia a la abrasión, permitiendo operar el molino a mayores velocidades sin que la materia prima se funda por fricción o arriesgarse a una ruptura de los dientes.

5.8. Auditorías

Las auditorías están relacionadas al sistema de gestión de calidad, por lo cual cada vez que se mencione algo relacionado a auditoría, estará sujeto a la ISO 9001:2015 y la ISO 14000.

5.8.1. Internas

La auditoría interna, también llamada de primera parte, tiene sus directrices en la ISO 19011:2011, que son las directrices de auditoría para el sistema de gestión. Toda auditoría se debe evaluar bajo los principios fundamentales que describe la norma: integridad, presentación ecuánime, profesionalismo, confidencialidad, independencia y enfoque basado en evidencias.

Tubex maneja estos formatos donde se inicia con la planificación de los objetivos y el programa de auditoría. Luego de ello se hace la implementación de la auditoría: generalidades, métodos de auditoría, selección de equipo auditor, asignación de responsabilidades, gestionar el resultado del programa de auditoría y el registro del programa de auditoría, seguido por la verificación del programa de auditoría, y se termina con actuar y mejorar el programa de auditoría. En resumen, se aplica la metodología planificar hacer verificar actuar.

En el apéndice se encuentra un modelo de auditoría elaborado, que inicia con el contenido del plan de auditoría. Luego de ello continúa con la lista de verificación requerida por proceso a evaluar. Está el modelo de reporte de hallazgos, el informe de auditoría y, por último, la solicitud de acciones correctivas.

5.8.2. Externas

La auditoría externa puede ser por proveedor-cliente o por tercera parte (proceso de certificación o registro). La primera es conducida para evaluar la habilidad de cumplir con los requisitos del contrato actual o venidero, incluyendo los de calidad. El segundo tipo de auditoría siempre es realizada por un ente independiente de la empresa auditada. El propósito es conducir una auditoría con la evaluación de cumplimiento de terceros, esto también bajo las directrices de la ISO 19011:2015, cuyos principios han incluido el de confidencialidad seguridad de la información. También se incluye el concepto de riesgo de auditoría y riesgo del programa de auditorías.

Ante las auditorías externas se dejan algunas reglas a seguir como auditado:

- Mantener una relación profesional con los auditores basada en la confianza, para minimizar malentendidos y difusión de situaciones adversas.
- Solicitar al ente certificador las credenciales de los profesionales que llegan a auditar, con el propósito de saber qué tipo de auditor llegarán.
- Nunca dejar al auditor solo.
- Suministrar una oficina neutral (con documentos únicamente del SGC).
- No discutir con compañeros frente al auditor.

- No firmar documentos sin entender o leer.
- Suministrar documentos y muestras lo más rápido posible.
- Revisar cada documento antes de proporcionarlo al auditor.
- Responder las preguntas directas y estrictamente.
- No ir más allá del contexto de las preguntas que se realicen.
- Pedir explicaciones si no se entienden las preguntas.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló un modelo de regresión lineal múltiple que demuestra el número de cortes posibles a realizar de cierta sierra considerando el calibre, perfil, diámetro y dureza de la tubería a cortar. Tras emplear el modelo estadístico, gráficas comparativas del historial de sierras empleadas y pruebas en el afilado, se ha logrado mejorar la vida útil de la mayoría de sierras, a excepción de la Z240, siendo la sierra de mayor rendimiento la Z280, tal como lo indica la tabla LIV, para tuberías de acero al carbono de menor calibre.
2. Se logró implementar un modelo de programación CNC para el afilado de cada sierra circular, donde se estableció un desgaste máximo de hasta 0.6 mm en la eliminación de garganta del diente y 0,02 mm para el pecho del mismo, considerando la calibración del equipo y la correcta asignación de molas según sea el paso entre dientes de la sierra, permitiendo un acabado similar al de fábrica.
3. Se redujo costos asociados al afilado con asignación específica de molas para diferentes grosores de sierras de conformidad con la norma alemana DIN 1 840, que establece las dimensiones mínimas aceptables para las sierras circulares de alta velocidad y las recomendaciones del fabricante de la CNC, permitiendo un desgaste uniforme en las molas, extensión en la vida útil de estas y acabados precisos en los dientes de sierra, sin la necesidad de recurrir a una segunda pasada en el afilado, lo cual minimiza tiempo en el mismo.

4. Se mantuvo la velocidad lineal estándar previamente establecida en los molinos tras evaluar el desgaste abrupto que presentaban las sierras al trabajar a su máxima velocidad de producción, ya que esto obligaba al motor del carro de la cortadora a trabajar a su máxima potencia y esto producía también desgaste por abrasión entre los dientes de la sierra y la tubería a cortar. Así mismo, esto producía más paros en la línea por cambio constante de sierras e implicaba reducir el tiempo de vida de la sierra.

5. El mayor acto inseguro identificado en molinos fue el empleo de las manos para verificar y rectificar el enderezado de las tuberías, para la cual se sugirió el empleo de herramientas de mano como los medidores de ángulo para el final de la estación de trabajo. Respecto a condiciones inseguras se encontró el ruido inevitable que produce la cortadora, superando los 90dB, fue necesario sugerir cambio de los tapones de oído desechables por reutilizables para ahorrar costos por cambio de tapones a cada cierto tiempo. El resto del análisis se puede verificar en la matriz de riesgos del molino 604.

6. Se encontró que el mayor retraso en la producción de tubería se debía a cambios de piezas en el área de cabezas turcas, para lo cual se concentró a 2 personas más del personal en la calibración de estas, únicamente cuando se hace el cambio de perfil en la tubería a trabajar, y así se redujo de forma general el porcentaje del tiempo que tomaba realizar ajustes. Los tiempos muertos no lograron relacionarse con el tiempo que lleva hacer estos cambios, ya que no se cuenta con informes con mediciones específicas.

7. En porcentaje promedio, tomado de la tabla LIV, se mejoró en un 18,6 % el rendimiento de las sierras con el nuevo método de calibración para su afilado, respecto a lo hecho antes de su implementación y estándares.

RECOMENDACIONES

1. Realizar capacitaciones programadas para los operadores de maquinaria. Dichas capacitaciones debes incluir los manuales de operación de la maquinaria, explicaciones técnicas del funcionamiento y evaluaciones. Esto con el fin de mejorar conocimientos y habilidades del personal al momento de resolver problemas técnicos de operación.
2. En la configuración CNC para el afilado se debe ingresar manualmente el valor de profundidad del diente, ya que existe una discrepancia en el cálculo automático de por lo menos 0,3 mm. No hacer esto implica que la geometría de los dientes se verá afectada y también aumentará el desgaste producido tras cada pasada.
3. Emplear la tabla de asignación de molas para respetar que el espesor de mola no supera el 50 % de la distancia entre dientes, según recomendaciones de fabricantes de la CNC Rekord 500. A su vez, emplear una bitácora de uso de las molas para estimar el tiempo de vida aproximado de estas y poder usar esta información para bodega de suministros y compras.
4. Buscar el asesoramiento técnico de los proveedores de las cortadoras para la correcta interpretación que muestran los paneles en tiempo real. Esto con el fin de identificar con anticipación cambios abruptos en la potencia de trabajo y desgaste de dientes en las sierras.

5. Utilizar herramientas manuales como los medidores de ángulo para verificar el enderezado de las tuberías al final del molino sin exponer las manos de los trabajadores. También sustituir los tapones de oído desechables por plásticos reutilizables y, para quienes laboran cerca de la cortadora, debe ser obligatorio el uso de orejeras de conformidad con el Acuerdo Gubernativo 229-2014 y sus reformas.
6. Darle continuidad a la eficiencia en cambio de piezas en los molinos mediante el empleo de diagramas hombre-máquina, haciendo un análisis del historial de los reportes de tiempos muertos. Esto permitirá identificar y tomar decisiones en el área de planificación de producción, para asignar la secuencia de producción y reducir la cantidad de ajustes necesarios en molinos.
7. Considerar la discontinuación de las sierras Z160, Z190 y Z240, debido a su bajo rendimiento de corte y a tener uno de los mayores pasos entre dientes que perjudican el continuo arranque de viruta al cortar. Esto sucede por trabajar con sierras de mayor paso que el calibre de tubería a cortar.

BIBLIOGRAFÍA

1. AGUIRRE, L.; ARBOLEDA, J.; NORIEGA, J. *Análisis y evaluación de los procesos de corte de planchas de acero en el sector industrial de la Ciudad de Loja, caso práctico, proceso de corte con plasma*. [en línea].
<<https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16830/3/Aguirre,%20Luis,%20Arboleda,%20Johnny,%20Noriega,%20Juan%20Carlos.pdf>>. [Consulta: enero de 2019].
2. APPAIAH, M.; NAYAK, R. *Design of a saw blade for a power tool attachment*. <<http://journals.saintgits.org/paper-submission/uploads/article/14-07-14-53.pdf>>. [Consulta: enero de 2019].
3. BACA, G. *Fundamentos de ingeniería económica*. México: Editorial McGraw-Hill, 2007. 592 p.
4. BOOTHROYD, G. *Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramientas*. [en línea].
<<https://es.scribd.com/document/254281723/fundamentos-del-corte-de-metales-y-de-las-maquinas-herramienta-geoffrey-boothrotd-pdf>>. [Consulta: enero de 2019].
5. Businaro. *Rekord 500 CNC: manuale operativo*. 5ta. ed. Bolonia, Italia: Editorial Persiceto. 2017. 117 p.

6. CARDONA, S. *Interpretación general de los requisitos de la norma ISO 9001:2015. Transición a Norma ISO 9001:2015*. Seminario llevado a cabo en la Escuela de Comercio Exterior de AGEXPORT, ciudad de Guatemala, Guatemala. Marzo de 2017.
7. *Data table for: Steel grades*. 2018. [en línea]. <<http://www.steel-grades.com/Steel-grades/Tool-steel/s>>. [Consulta: febrero de 2019].
8. Julia Utensili S. P. A. *Catálogo HSS*. 2018. [en línea]. <<http://www.firstcut.co.za/Downloads/ProductBrochures/CircularSawJulia.pdf>>. [Consulta: febrero de 2019].
9. GARCÍA, J.; JÁUREGUI, A. *Diseño de un sistema automático de corte y distribución de perfiles metálicos*. [en línea]. <<http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/12057/DISE%C3%91OSIST.pdf?sequence=1>>. [Consulta: febrero de 2019].
10. MALDONADO, E. *Disminución del desgaste y fallas, por medio de la aplicación de lubricación en el proceso de producción de tubería de acero en la planta Tubac, S.A.* [en línea]. <http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0745_M.pdf>. [Consulta: enero de 2019].
11. SANGUESA, M. *Acciones de mejora de un ingeniero de mantenimiento en una empresa metalmecánica, en los ámbitos de la maquinaria de afilado, la gestión por procesos basada en la norma ISO 9001:2008 y el Lean Manufacturing*. [en línea]. <<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27626/Trabajo%20fi>>

nal%20de%20M%C3%A1ster.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
[Consulta: enero de 2019].

12. SOLER, R.; BERGES, L.; ALTEMIR, J. *Estudio de las características del aserrado y su análisis económico*. [en línea]. <https://www.researchgate.net/profile/Luis_Berges-Muro/publication/261848362_Estudio_de_las_caracteristicas_del_aserrado_y_su_analisis_economico/links/560bb36a08aed467d7ad84f6/Estudio-de-las-caracteristicas-del-aserrado-y-su-analisis-economico.pdf>. [Consulta: marzo de 2019].

13. ZAVALA, Gustavo. *Optimización y mejora de la eficiencia en la manufactura de tubos de ½" a 4", en una fábrica de tubos de acero*. [en línea]. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1983_IN.pdf. [Consulta: enero de 2019].

APÉNDICES

Apéndice 1. Plan de auditoría

CONTENIDO DEL PLAN DE AUDITORIA

Proposito /Objetivo: _____

Alcance: _____

Documentos de Referencia: _____

Equipo Auditor: _____

Lugar y Fecha: _____

Agenda de la Auditoria (itinerario)

Datos Adicionales (Según apliquen)

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Lista de verificación de auditoría

LISTA DE VERIFICACIÓN DE AUDITORIA

Proceso: _____

Auditoría No. _____ Fecha: ____ / ____ / ____ Hoja No. ____ de ____

Ref. No.	Requisito	Cumplimiento de Actividad (Respuesta Si / No / No aplica)	Comentarios / Observaciones

REF: 1

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Solicitud de acciones correctivas**

SOLICITUD DE ACCIÓN CORRECTIVA

SAC No : __ DE: __

INFORME DE AUDITORIA No.: _____

DESCRIPCIÓN DE LA NO CONFORMIDAD:	
NO CONFORMIDAD EN DIFERENCIA CON:	
AUDITOR (NOMBRE Y FIRMA)	REPRESENTANTE AREA AUDITADA
ACCION CORRECTIVA A SER TOMADA: RESPUESTA:	FECHA LIMITE DE
RESPONSABLE (PUESTO, NOMBRE Y FIRMA) FECHA:	
ACCION DE SEGUIMIENTO Y HALLAZGOS:	
AUDITOR (NOMBRE Y FIRMA) FECHA	
ACCION CORRECTIVA COMPLETA – CIERRE	
AUDITOR LIDER (NOMBRE Y FIRMA): FECHA:	

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de procesos

TUBEX, S. A.		Nombre: FICHA DE PROCESO		Código: IT-14-8. 1-1	
Elaborado por: Mario Posadas	Aprobado por: Coordinador SIG	Fecha de aprobación: 18.12.17	Fecha de vigencia: 15.10.18	Página: 161	Versión: 6
INDICADORES DEL PROCESO					
Porcentaje de reducción de desperdicios.					

PROCESO: Manejo de residuos y desechos

PROPÓSITO: Guía para llevar a cabo las actividades de manejo de residuos y desechos en planta de formado TUBEX, S.A.

LÍDER: Jefes de turno

Procesos Proveedores:	Entradas:	Salidas / Resultados:	Procesos Clientes:
Supervisores/Jefes de turno	Clasificación de los desechos	Desechos orgánicos, inorgánicos, biodegradables, especiales	Personal operativo
Personal operativo	Identificación de recipientes según clasificación de desechos	Desechos separados de acuerdo a la identificación de recipientes	Jefe de bodega
Jefe de bodega	Almacenamiento temporal y disposición final	Inspección	Descarte de desechos y reciclaje

Actividades del proceso:

1. Separación de los desechos.
2. Contener el desecho en tonel según sea su tipo y el color asignado de tonel.
3. Separar los desechos con letreros alusivos, ventilación natural y poner a disposición los desechos al proveedor externo.

Fuente: Tubex, S.A.

Anexo 2. Procesos interrelacionados

TUBEX, S. A.		Nombre: FICHA DE PROCESO			Código: IT-14-8.1-1	
Elaborado por: Mario Posadas	Aprobado por: Coordinador SIG	Fecha de aprobación: 18.12.17	Fecha de vigencia: 15.10.18	Página: 2 de	Versión: 6 200	
PROCESOS INTERRELACIONADOS						
N/A						
RECURSOS NECESARIOS PARA LA OPERACIÓN DEL PROCESO						
RECURSO HUMANO		INFRAESTRUCTURA (EDIFICIOS, EQUIPOS, SERVICIOS ASOCIADOS Y DE APOYO)			DOCUMENTOS DEL PROCESO	
Jefes de turno Supervisores Jefes de bodega Personal operativo	Tonelles E.P.P. Área de bodega Área de galvanizado	Manejo de los desechos RE-SG-8.1-1 Manejo de residuos y desechos IT-14-8.1-1 ISO 14001:2015				

Fuente: Tubex, S.A.

