



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

MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO

Mario Rosendo Huitz Menchú

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, enero de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO DE CIZALLADO,
PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO ROSENDO HUITZ MENCHÚ

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, ENERO DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Roberto Mayorga Rouge
EXAMINADOR	Ing. David Enrique Aldana Fernández
EXAMINADOR	Ing. Luis Gilberto Pineda Sánchez
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel Durán
SECRETARIO	Ing. Efraín Boburg Castellanos

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:

MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 15 de junio de 2010.



Mario Rosendo Huitz Menchú

Guatemala 19 de Septiembre de 2011

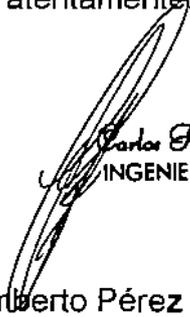
Ingeniero César Ernesto Urquizu Rodas
Director de Escuela Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente.

Ingeniero Urquizu Rodas:

En cumplimiento a la resolución emitida por la Dirección de su Escuela, procedí a asesorar el trabajo de graduación del estudiante: Mario Rosendo Huitz Menchú con carnet No. 8317797 titulado **“Mejoramiento en el uso del equipo de cizallado, plegado y enrollado de lámina de acero”**.

Considero que el trabajo cumple con los requisitos que establece la legislación universitaria, por lo que recomiendo su aprobación e impresión.

Sin otro particular me suscribo atentamente.



Carlos Humberto Pérez Rodríguez
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.REV.EMI.206.011

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO**, presentado por el estudiante universitario **Mario Rosendo Huitz Menchú**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Roberto Valle González
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

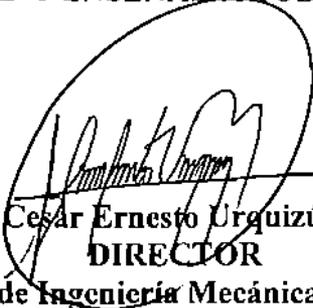
Guatemala, noviembre de 2011.

/mgp



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO**, presentado por el estudiante universitario **Mario Rosendo Huitz Menchú**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



Guatemala, enero de 2012.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al trabajo de graduación titulado: **MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO**, presentado por el estudiante universitario: **Mario Rosendo Huitz Menchú**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, enero de 2012

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por permitirme llegar a este momento.
Mis padres	Luis Cristóbal Huitz y Ana María Menchú Gramajo de Huitz por todo su apoyo y comprensión.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por la formación recibida.
Mi asesor	Ingeniero Carlos Humberto Pérez Rodríguez, por su tiempo y esfuerzo para la conclusión de este trabajo de graduación.
Mi revisor	Ingeniero Roberto Valle por su valiosa motivación y tiempo invertido en este proyecto.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES.....	1
1.1. Materiales	1
1.1.1. Propiedades de los materiales	3
1.2. Hierro y acero	7
1.2.1. Estructura de los metales.....	8
1.2.2. Deformación.....	9
1.2.3. Obtención del hierro.....	13
1.2.4. Obtención del acero.....	14
1.2.5. Diversas calidades de aceros.....	15
1.3. Antecedentes.....	16
1.3.1. Industria metalmeccánica	17
1.3.2. Transformación por medio de corte y formado.....	18
1.4. Antecedentes de la empresa	27
1.4.1. Fundación	27
1.4.2. Régimen comercial.....	28
1.4.3. Desempeño previo	28

2.	SITUACIÓN ACTUAL.....	31
2.1.	Diagnóstico de la empresa	31
2.1.1.	Procesos de conformación	35
2.1.1.1.	Cizallado	35
2.1.1.2.	Plegado.....	39
2.1.1.3.	Enrollado.....	42
2.1.2.	Controles	45
3.	PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO	
	DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO ..	47
3.1.	Procesos de conformación	47
3.1.1.	Cizallado	48
3.1.1.1.	Definición de la capacidad instalada de	
	cizallado.....	48
3.1.1.2.	Factores a tomar en cuenta	50
3.1.2.	Plegado	56
3.1.2.1.	Definición de la capacidad instalada de	
	plegado	56
3.1.2.2.	Factores a tomar en cuenta	62
3.1.3.	Enrollado	63
3.1.3.1.	Definición de la capacidad instalada de	
	enrollado	63
3.1.3.2.	Factores a tomar en cuenta	64
3.2.	Controles	67
3.2.1.	Recepción de trabajos	68
3.2.2.	Entrega de trabajos.....	71
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL MEJORAMIENTO EN EL USO DEL	
	EQUIPO DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE.....	
	LÁMINAS DE ACERO	73

4.1.	Diagrama de flujo de operaciones	75
4.2.	Operación del equipo de cizallado.....	76
4.2.1.	Solicitud de la pieza	76
4.2.2.	Diagrama de la pieza	76
4.2.3.	Cizallado	77
4.2.4.	Verificación.....	79
4.2.5.	Ejemplos	79
4.3.	Operación del equipo de plegado	86
4.3.1.	Solicitud de la pieza	86
4.3.2.	Diagrama de la pieza	86
4.3.3.	Plegado	87
4.3.4.	Verificación.....	88
4.3.5.	Ejemplos	88
4.4.	Operación del equipo de enrollado	96
4.4.1.	Solicitud de la pieza	96
4.4.2.	Diagrama de la pieza	97
4.4.3.	Enrollado	98
4.4.4.	Verificación.....	98
4.4.5.	Ejemplos	98
5.	EL ACERO Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE	109
5.1.	El desarrollo sostenible.....	109
5.2.	Historia.....	110
5.3.	Diagrama de desarrollo sostenible.....	116
5.4.	Conformación de acero y las tres “p” para el desarrollo sostenible.....	117
5.4.1.	Conformación de acero y preservación del medio ambiente (<i>planet</i>)	117
5.4.2.	Conformación de acero y plano social (<i>people</i>)	119

5.4.3. Conformación de acero y eficacia económica
(*profit*) 120

CONCLUSIONES..... 123

RECOMENDACIONES..... 125

BIBLIOGRAFÍA..... 127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Probeta típica	4
2. Diagrama esfuerzo vs. deformación	5
3. Curva esfuerzo vs. deformación	10
4. Ángulo de cizallado	20
5. Juego entre cuchillas	21
6. Plegadora mecánica	25
7. Plegadora hidráulica	25
8. Plegadora hidráulica mecánica	26
9. Efecto de cizallado	35
10. Cizalla hidráulica	36
11. Cuchillas de cizalla	37
12. Plegado	39
13. Plegadora	39
14. Matriz	41
15. Punzón	41
16. Soporte	42
17. Enrollado de láminas	42
18. Enrolladora de lámina de 3 rodillos	43
19. Datos técnicos	44
20. Ángulo de cizallado	50
21. Arco	53
22. Torsión	54
23. Comba	55

24.	Problemas frecuentes en las piezas cizalladas.....	55
25.	Matriz 16-25.....	56
26.	Punzón H.....	57
27.	Matriz y punzón 63.....	61
28.	Máquina enrolladora de tres rodillos distribución piramidal.....	63
29.	Solución de “P”.....	66
30.	Escuadrado de lámina.....	67
31.	Diagrama de flujo de las operaciones.....	75
32.	Ordenes de trabajo 1100 y 1101.....	105
33.	Enrollado (pasos 1 a 6).....	107
34.	Enrollado (pasos 7 a 12).....	108
35.	Desarrollo sostenible.....	116

TABLAS

I.	Descripción de productos.....	32
II.	Descripción de productos.....	33
III.	Cizallas Promecan Mebusa.....	38
IV.	Plegadoras Promecan Mebusa.....	40
V.	Cizalla hidráulica tipo 3100 A 12.....	48
VI.	Designación ASTM A36 (Sistema Métrico).....	49
VII.	Longitud de corte.....	49
VIII.	Ángulo de cizallado.....	51
IX.	Juego entre cuchillas.....	52
X.	Prensa plegadora hidráulica modelo RG 123.....	56
XI.	Tabla de plegado.....	58
XII.	Tabla de plegado matriz 16.....	59
XIII.	Tabla de plegado matriz 25.....	59
XIV.	Tabla de plegado matriz 50.....	60
XV.	Tabla de plegado matriz 63.....	61

XVI.	Tabla de plegado matriz 80.....	62
XVII.	Capacidad de enrollado	64
XVIII.	Modelo de una orden de trabajo	70
XIX.	Designación ASTM A-36 (Sistema Inglés).....	73
XX.	Equivalencias entre sistema métrico y sistema inglés	74
XXI.	Longitud de cizallado en pulgadas.....	76
XXII.	Ángulo de cizallado (pulgadas).....	77
XXIII.	Juego entre cuchillas (pulgadas).....	78
XXIV.	Orden de trabajo número 1 000	80
XXV.	Análisis de costos de orden de trabajo 1 000	81
XXVI.	Orden de trabajo número 1 005	82
XXVII.	Orden de trabajo número 1 010	83
XXVIII.	Orden de trabajo número 1 012	84
XXIX.	Orden de trabajo número 1 014	85
XXX.	Longitud de plegado en pulgadas	87
XXXI.	Orden de trabajo número 1 025	89
XXXII.	Orden de trabajo número 1 026	90
XXXIII.	Análisis de costos de orden 1 025	91
XXXIV.	Orden de trabajo número 1 027	92
XXXV.	Orden de trabajo número 1 028	93
XXXVI.	Orden de trabajo número 1 029	94
XXXVII.	Orden de trabajo número 1 030	95
XXXVIII.	Datos técnicos de enrolladora de lámina	97
XXXIX.	Orden de trabajo número 1 087	99
XL.	Orden de trabajo número 1 088	100
XLI.	Orden de trabajo número 1 089.....	101
XLII.	Orden de trabajo número 1 090	102
XLIII.	Orden de trabajo número 1 100	103
XLIV.	Orden de trabajo número 1 101	104

XLV. Análisis de costos de orden de trabajo 1 100	106
---	-----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área en milímetros cuadrados
CV	Caballo de vapor
Ø	Diámetro
e	Espesor de la lámina de acero
F	Fuerza
GPM	Golpes por minuto
Kg	Kilogramos
Kg/mm²	Kilogramos por milímetro cuadrado
Lb	Libras
Lb/pulgada²	Libras por pulgada cuadrada
PSI	Libras por pulgada cuadrada
□	Longitud

\geq	Mayor o igual que
\square	Mayor que
\leq	Menor o igual que
\square	Menor que
mm	Milímetros
mm²	Milímetro cuadrado
KPSI	Mil libras por pulgada cuadrada
P	Parte plana inicial en el enrollado
π	Pi, igual a 3.14159
'	Pies
”	Pulgadas
σ	Sigma, esfuerzo igual a fuerza por unidad de área
t	Tonelada
t/m	Tonelada por metro

GLOSARIO

Aleación	Es una mezcla homogénea, de propiedades metálicas, que está compuesta de dos o más elementos, de los cuales, al menos uno es un metal.
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials.</i>
Chapa	Lámina de acero delgado.
Cizallado	Corte de una material por medio de una herramienta de corte de dos filos.
Decapado	Proceso mediante el cual se limpian las superficies de un elemento, previo a la aplicación de una pintura o cualquier recubrimiento.
Enrollado	Plegado de una lámina de acero en forma cilíndrica, lograda al hacerla pasar entre unos cilindros en disposición piramidal.
Estricción	En el ensayo de resistencia a la tracción; es la reducción de la sección que se produce en la zona de la rotura.

Flexión	Es el tipo de deformación que presenta un elemento estructural alargado, en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.
Fluencia	En el ensayo de resistencia a la tracción, se caracteriza por un rápido incremento de la deformación sin aumento apreciable de la carga aplicada.
Lámina negra	Lámina de acero al carbón, estructural, que cumple con la norma ASTM A-36.
ONG	Organización no gubernamental.
Plegado	Doblado de un material por medio de un punzón y una matriz.
Resiliencia	Es una magnitud que cuantifica la cantidad de energía por unidad de volumen que almacena un material al deformarse elásticamente, debido a una carga aplicada.
SME	<i>Society of Manufacturing Engineers.</i>
Viga acartelada	Viga de sección variable.
Viga H	Elemento estructural con perfil en forma de I; la dimensión del peralte y la del ala son iguales.

Viga U	Elemento estructural con perfil en forma de canal.
Viga WF	Elemento estructural con perfil en forma de I; la dimensión del peralte es mayor que la dimensión del patín.
WWF	<i>World Wide Fund for nature.</i>

RESUMEN

El mejoramiento en el uso del equipo de cizallado, plegado y enrollado de láminas de acero se inicia con un marco teórico acerca del acero, sus propiedades y calidades. Se centra en el estudio de la formabilidad del acero estructural que se comercializa comúnmente en Guatemala.

Continúa con la definición de los procesos de conformación de piezas de lámina de acero y la maquinaria utilizada para estos; así como su utillaje necesario.

El plan de mejora tomó forma con la investigación acerca de las capacidades y forma de operación de las máquinas de cizallado, plegado y enrollado con que cuenta la empresa, lo que luego permitió definir el proceso de operación de cada una.

La implementación del plan de mejora exigió la determinación de los factores importantes que se deben tener en cuenta tanto en la etapa de planeación de las piezas a conformar, como en las etapas de operación propiamente dichas.

Utilizando los factores mencionados anteriormente, se podrá optimizar el uso del equipo para lograr conformar espesores más grandes o longitudes mayores.

Debido a que se parte de una lámina de acero de un precio considerable y al hecho de que no se pueden enmendar los errores cometidos, por la misma naturaleza de las operaciones, es importante el adecuado control. Se definen controles sencillos pero suficientes, para el adecuado seguimiento del proceso a través de todas sus etapas

La importancia del desarrollo sostenible se refleja en la interacción del proceso de conformación de piezas de lámina de acero, con la economía, el ambiente y las personas.

OBJETIVOS

General

Desarrollar un plan de mejora en el uso del equipo de los procesos de cizallado, plegado y enrollado utilizados para la conformación de piezas de lámina de acero.

Específicos

1. Definir los procesos de conformación de láminas de acero para delimitar el trabajo de mejoramiento.
2. Determinar la capacidad instalada actual del equipo para fijar los rangos de trabajo.
3. Optimizar la capacidad instalada de conformación de piezas de láminas de acero, para su mejor aprovechamiento.
4. Tecnificar los procesos actuales de conformación de piezas de láminas de acero, para evitar los errores.
5. Promover las ventajas de la óptima conformación del acero para un desarrollo sostenible.

INTRODUCCIÓN

La industria metal-mecánica es la industria que proporciona soporte a todas las demás industrias; dentro de ésta se encuentra el proceso de conformación de piezas de láminas de acero para equipos, tales como depósitos de almacenamiento para la industria alimenticia y de productos químicos, así como de vigas y columnas para la construcción, por mencionar solo dos aplicaciones.

La conformación del acero debe ser impulsada, ya que cumple con las exigencias para ser considerada dentro de las industrias de desarrollo sostenible; debido a que el acero es el material más reciclado del mundo, el tiempo de ejecución de equipos y construcción es más rápido que con otros materiales y al ser del tipo de transformación seca, las obras son más agradables y minimizan las molestias para la vecindad.

En el presente trabajo se hace una propuesta del mejoramiento en el uso del equipo de cizallado, plegado y enrollado de láminas de acero y su implementación, así como diversos modelos para la ejecución de órdenes de trabajo y su respectivo análisis de costos. Se analiza al final la optimización de los recursos naturales de acuerdo con el desarrollo significativo del ser humano y en función del desarrollo sostenible.

El tema propuesto será de mucha utilidad al estudiante universitario o profesional que esté interesado en la conformación de piezas o equipos a partir de los procesos aquí expuestos.

1. ANTECEDENTES GENERALES

El tema que se va a abordar, en relación con el mejoramiento en el uso del equipo de cizallado, plegado y enrollado de láminas de acero, tiene su campo de aplicación en la industria metalmeccánica y dentro de esta, en la industria de la conformación. Desde el punto de vista de la industria de la conformación de láminas de acero, el principal requisito que las láminas de acero deben tener es una buena formabilidad. Se define formabilidad de una lámina, como su capacidad para deformarse por un proceso específico de conformado, cizallado, plegado o enrollado, desde su forma original plana hasta la pieza final, sin que se presente falla en el material, ya sea por fractura o por estricción; es decir la facilidad de un material para sufrir deformación plástica sin defectos.

La formabilidad es una situación compleja, ya que en su descripción intervienen diversos factores, que interactúan simultáneamente durante el proceso de conformado de una pieza, estos son: el material de la lámina, el proceso en sí, y la forma y acabado final deseado; que a su vez depende de diversos parámetros.

El tema a desarrollar, referente al mejoramiento en el uso del equipo de cizallado, plegado y enrollado de láminas de acero, remite al estudio de los materiales de ingeniería.

1.1. Materiales

Hasta hace relativamente poco tiempo (mediados del siglo X) los metales y sus aleaciones fueron los materiales de uso masivo para proyectos de

ingeniería; y aunque hoy han sido desplazados de muchos campos de aplicación por otros materiales, continuarán siendo una alternativa importante en la selección de materiales.

Algunos de los materiales de uso corriente son: el hierro (Fe) el cual al igual que la mayoría de los metales no se utiliza solo, sino combinado con otro elemento denominado aleante y que para el caso del hierro es el Carbono, formando el compuesto (aleación) conocido como acero; el Oro (Au) y la Plata (Ag), así como el Cromo, el Níquel, el Vanadio y el Titanio, son apenas algunos ejemplos.

También se utilizan compuestos con características especiales, tales como:

- Cerámicos: son compuestos químicos con contenidos de elementos metálicos (Al, Fe, Zn, etc.) y no metálicos (Si, O, N, C). Algunos de los usualmente conocidos son: ladrillo, vidrio, porcelana, alúmina.
- Polímeros: son esencialmente moléculas orgánicas (C e H), organizadas en cadenas gigantes con elevados pesos moleculares. Algunos de los más utilizados son el polietileno (bolsas de basura), cloruro de polivinilo P.V.C. (fabricación de tuberías), poliéster (utilizado en algunas telas sintéticas), y el polietilenterftalato PET (como recipientes de gaseosas y bebidas).
- Semiconductores: son materiales que se comportan como aislantes eléctricos, pero que al cambiarles algunas condiciones como la temperatura, la presión, luz, o alguna otra condición física, cambian su comportamiento de aislantes a conductores eléctricos, lo que hace que

encuentren su mayor campo de aplicación en la fabricación de componentes electrónicos tales como tarjetas, microchips, entre otros.

- Materiales compuestos: son fabricados mediante la combinación (no unión, ni mezcla) de dos o más materiales, buscando obtener propiedades que estos no poseen de manera individual. El concreto y la fibra de vidrio, son materiales con las características mencionadas.

1.1.1. Propiedades de los materiales

Pueden ser categorizadas en tres grupos:

- Propiedades mecánicas: describen la forma como un material se comporta cuando está siendo sometido a la acción de cargas (fuerzas) o esfuerzos (fuerza por unidad de área). Los más importantes son:
 - Resistencia a la tracción: para determinarla se toma una probeta y se somete a la aplicación de carga, como muestra en la figura 1.

Los resultados de esta se grafican en una curva Esfuerzo vs Deformación (ver figura 2); de esta manera se determinan algunas características particulares del material como el esfuerzo de fluencia (esfuerzo al cual el material cambia su comportamiento de elástico a plástico), el esfuerzo máximo que puede soportar el material y el esfuerzo de rotura.

Figura 1. Probeta típica

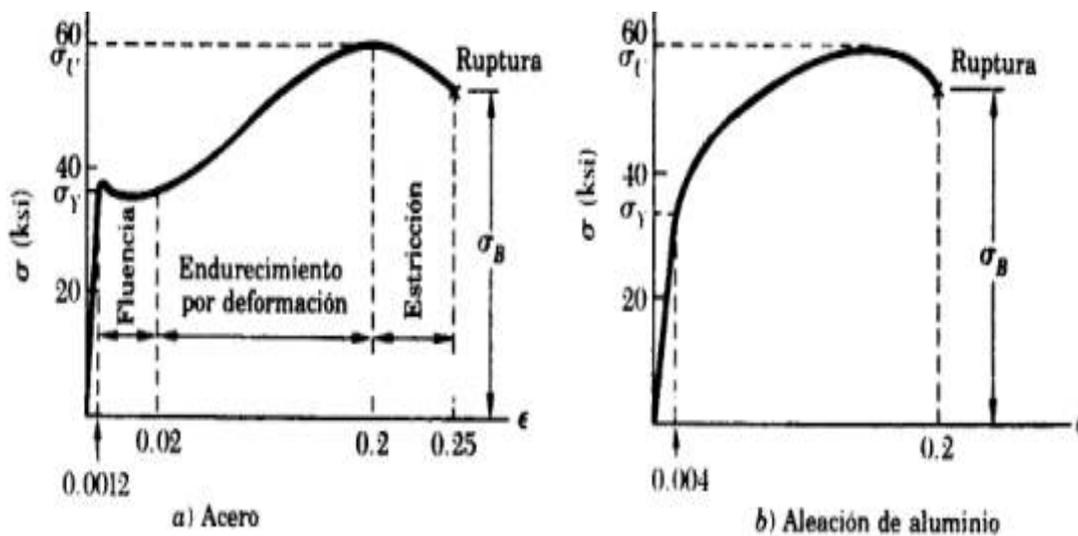


Fuente: www.angelfire.com/pro2/resmat/U02/01diagramaesfuerzo/diaesf.htm. Consulta: marzo de 2011

- Rigidez: con base en la curva esfuerzo - deformación se puede hallar una relación entre estas variables, denominada Módulo de Young; a medida que esta se hace más grande, se considera que el material es más rígido, ya que se necesitan esfuerzos muy grandes para lograr pequeñas deformaciones.
- Ductilidad: tiene que ver con la capacidad que tiene un material para deformarse antes de romperse. Algunos materiales no admiten prácticamente ningún tipo de deformación antes de la ruptura, a estos se les denomina materiales frágiles; mientras que aquellos que experimentan grandes deformaciones antes de la ruptura se denominan materiales dúctiles.
- Dureza: es la resistencia que pone un material a ser penetrado o rayado.

- Tenacidad: indica la capacidad que presenta el material de absorber energías de impacto (resistencia al impacto), entendiendo impacto como un golpe repentino que se proporciona al material. Los materiales dúctiles son de muy buena tenacidad, mientras que los rígidos (o frágiles) presentan baja resistencia al impacto.

Figura 2. **Diagrama esfuerzo vs. deformación**



Fuente: www.angelfire.com/pro2/resmat/U02/01diagramaesfuerzo/diaesf.htm.
 Consulta: marzo de 2011

- Propiedades físicas
 - Comportamiento eléctrico de los materiales: algunos materiales permiten el paso de corrientes eléctricas a través de ellos, y por esto son denominados conductores eléctricos; otros materiales no presentan esta característica y por eso son llamados aislantes eléctricos; existen otros materiales que bajo algunas condiciones especiales (temperatura, presión, luz, etc.) se pueden comportar

como aislantes o conductores eléctricos y son conocidos como semiconductores.

- Comportamiento magnético de los materiales: la mayoría de los materiales están expuestos a la interacción con campos magnéticos, y algunos pueden llegar a convertirse en materiales magnéticos o interferir en el comportamiento de estos.
- Comportamiento óptico de los materiales: hace relación a la interacción de los materiales con radiaciones electromagnéticas viajando en forma de ondas de partículas electromagnéticas denominadas fotones.
- Comportamiento térmico de los materiales: cuando los materiales son expuestos a cambios de temperatura, sufren alteraciones apreciables en sus propiedades mecánicas, físicas y químicas. Algunos de ellos conducen muy lentamente el calor a pesar de estar expuestos a elevadas temperaturas, proporcionándoles excelentes aplicaciones como aislantes térmicos; por lo cual son conocidos como materiales refractarios. Además, requieren grandes cambios de temperatura para modificar de manera apreciable sus propiedades, lo que les confiere una buena estabilidad térmica.
- Propiedades tecnológicas: estas propiedades indican el comportamiento del material al trabajarlo. Pueden nombrarse las siguientes:

- Colabilidad: se denominan colables los materiales que funden y pueden colarse en moldes a temperaturas rentables, por ejemplo fundición gris, plomo, estaño y aleaciones de cobre.
- Maleabilidad: son maleables los materiales sólidos que por la acción de fuerzas admiten una variación plástica de la forma, conservando su cohesión, por ejemplo en el recalcado, la embutición, el prensado y el plegado.
- Mecanizabilidad: se dice que son mecanizables por corte o arranque de virutas, aquellos materiales en los que, aplicando fuerzas tecnológicamente razonables, puede romperse la cohesión de sus partículas.
- Soldabilidad: son soldables los materiales en los que, por unión de las sustancias respectivas (soldadura por presión o por fusión) puede conseguirse una cohesión local.
- Templabilidad: indica que la dureza del material puede modificarse por transposición de partículas.

1.2. Hierro y acero

El hierro (Fe) no es comercialmente un metal de alta pureza, sino que contiene otros elementos químicos que tienen un gran efecto sobre sus propiedades físicas y mecánicas. La magnitud y distribución de estos elementos dependen del método de fabricación. El acero es una aleación maleable de hierro y carbono, que contiene generalmente ciertas cantidades de manganeso.

1.2.1. Estructura de los metales

Los líquidos tienen una ordenación atómica irregular, con cuerpos amorfos (amorph, del griego = sin forma). Toman la forma del recipiente que los contiene.

Los metales han de tener la dureza y resistencia adecuadas a su empleo, ser lo suficiente elásticos y poseer, en determinadas condiciones, una gran capacidad de dilatación. Esto puede conseguirse mediante los correspondientes tratamientos. Para comprender las propiedades de los materiales es preciso conocer la estructura de los metales.

En estos, los átomos forman retículas espaciales de estructura regular. Si las retículas están limitadas por superficies planas, se habla de cristales.

Observando al microscopio superficies de metales pulidas y decapadas, se pueden ver partes irregularmente limitadas: son las superficies de corte de figuras geométricas. Se reconoce entonces que los metales se componen de partículas de forma regular (cristales).

La forma de los cristales depende de cómo se ordenen los iones metálicos dentro del grano, al pasar del estado líquido al sólido. El empaquetamiento de esferas (orientación iónica) en cristales, puede dar un cubo (sistema cúbico) o columnas hexagonales (sistema hexagonal).

Si se dibujan solo los centros de los iones metálicos y se marca las limitaciones geométricas con rectas imaginarias, se obtiene la retícula espacial. La forma de la retícula depende de las fuerzas electrostáticas. Así como por ejemplo, el hierro α , el cromo, el wolframio y el molibdeno poseen una retícula cúbica centrada en el cuerpo, con ocho iones en los vértices y un ion central; el

hierro γ , el aluminio y el cobre, forman una redícula cúbica centrada en las caras, con ocho iones en los vértices y seis en las caras; el magnesio, el cinc y el titanio tienen una redícula hexagonal.

La redícula cúbica más sencilla, en la cual solo los vértices están ocupados por iones metálicos, no cristaliza ningún metal.

La maleabilidad de los metales depende de la estructura reticular.

En la conformación por fuerzas mecánicas, los iones metálicos se desplazan entre sí. La resistencia al desplazamiento está condicionada notablemente a la obstaculización espacial de los iones metálicos. Las redículas más maleables son las cúbicas centradas en el cuerpo; y las menos maleables, las hexagonales. Debido a la densidad de la ordenación iónica, el peligro de rotura al doblar magnesio y cinc es mayor que con el acero y el cobre.

1.2.2. Deformación

La fuerza que actúa entre las partículas más pequeñas de una misma sustancia se llama cohesión. El campo de atracción de dos partículas es de $50/1\ 000\ 000$ mm. La fuerza entre dos partículas es realmente muy pequeña, pero como en un trozo de metal hay muchas partículas, para dividirlo han de emplearse fuerzas considerables, capaces de vencer la cohesión.

Las partículas de una sustancia, como consecuencia de las fuerzas reticulares o moleculares, pueden aferrarse a otros cuerpos. Por ejemplo, el agua a las paredes del recipiente, el polvo y la tiza a los cuerpos sólidos. La fuerza de atracción entre las partículas de dos sustancias se llama adherencia.

La cohesión evita que otro cuerpo dañe la superficie de la substancia, es decir, que deje huella en él o lo penetre. La fuerza que se opone a esto se llama dureza y depende de la magnitud de la cohesión.

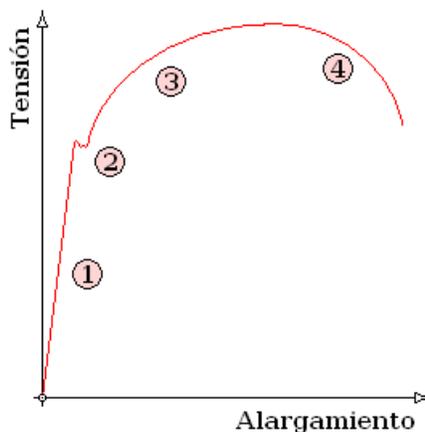
La energía calorífica reduce la dureza del material, ya que aumenta el movimiento oscilatorio de las partículas, de forma que aumenta la distancia entre ellas y disminuye la cohesión.

La dureza es la resistencia que pone un cuerpo a ser penetrado por otro más duro.

El ensayo de tracción de un material consiste en someter una probeta normalizada (ver figura 1) realizada con dicho material, a un esfuerzo axial de tracción creciente, hasta que se produce la rotura de la probeta.

En el ensayo se mide la deformación (alargamiento) de la probeta entre dos puntos fijos de la misma, a medida que se incrementa la carga aplicada y se representa gráficamente en función de la tensión (carga aplicada dividida por la sección de la probeta).

Figura 3. **Curva esfuerzo vs. deformación**



Fuente: http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_tracci3n.
Consulta: marzo de 2011

En general la curva tensión-deformación así obtenida, presenta cuatro zonas diferenciadas (ver figura 3).

Existen dos tipos de deformaciones:

- **Elásticas:** en esta zona (1) las deformaciones se reparten a lo largo de la probeta y son de pequeña magnitud y si se retirara la carga aplicada, la probeta recuperaría su forma inicial. El coeficiente de proporcionalidad entre la tensión y la deformación se denomina módulo de elasticidad o de Young y es característico del material; así, todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad aunque sus resistencias puedan ser muy diferentes. La tensión más elevada que se alcanza en esta región se denomina límite de fluencia y es el que marca la aparición de este fenómeno.

Pueden existir dos zonas de deformación elástica la primera recta y la segunda curva siendo el límite de proporcionalidad el valor de la tensión que marca la transición entre ambas. Generalmente este último valor carece de interés práctico y se define entonces un límite elástico (convencional o práctico) como aquél para el que se produce un alargamiento prefijado de antemano (0,2%, 0,1%, etc.) y que se obtiene trazando una recta paralela al tramo proporcional (recto) con una deformación inicial igual a la convencional.

La fluencia o cedencia es la deformación brusca de la probeta sin incremento de la carga aplicada. El fenómeno de fluencia se da cuando las impurezas o los elementos de aleación bloquean las dislocaciones de la red cristalina impidiendo su deslizamiento, mecanismo mediante el cual el material se deforma plásticamente. Alcanzado el límite de fluencia

se logra liberar las dislocaciones produciéndose la deformación bruscamente. La deformación en este caso también se distribuye uniformemente a lo largo de la probeta pero concentrándose en las zonas en las que se ha logrado liberar las dislocaciones (bandas de Luders).

No todos los materiales presentan este fenómeno, en cuyo caso la transición entre la deformación elástica y plástica del material no se aprecia de forma clara.

- Plásticas: si se retira la carga aplicada en dicha zona la probeta recupera solo parcialmente su forma, quedando deformada permanentemente. Las deformaciones en esta región son más acusadas que en la zona elástica. Llegado un punto del ensayo, las deformaciones se concentran en la parte central de la probeta apreciándose una acusada reducción de la sección de la probeta, momento a partir del cual las deformaciones continuarán acumulándose hasta la rotura de la probeta por esa zona.

La estricción es la responsable del descenso de la curva esfuerzo-deformación; realmente las tensiones no disminuyen hasta la rotura, sucede que lo que se representa es el cociente de la fuerza aplicada (creciente) entre la sección inicial y cuando se produce la estricción, la sección disminuye; efecto que no se tiene en cuenta en la representación gráfica. Los materiales frágiles no sufren estricción ni deformaciones plásticas significativas rompiéndose la probeta de forma brusca.

Terminado el ensayo, se determina la carga de rotura última o resistencia a la tracción, la máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial, el alargamiento en (%) y la estricción en la zona de la rotura. Otras

características que pueden determinarse mediante el ensayo de tracción son la resiliencia y la tenacidad, que son respectivamente las energías elásticas y total absorbidas, y que vienen representadas por el área comprendida bajo la curva esfuerzo-deformación hasta el límite elástico en el primer caso, y hasta la rotura en el segundo.

1.2.3. Obtención del hierro

Si de un mineral –el óxido metálico- se quiere obtener el metal, debe eliminarse el oxígeno. La reducción se consigue con la ayuda de reductores, es decir, elementos con gran avidez por el oxígeno, como el hidrógeno y el monóxido de carbono; hallándose el óxido metálico en estado líquido o sólido.

Por reducción se entiende la sustracción de oxígeno de los óxidos. En un alto horno, los óxidos minerales se reducen a metal con coque y monóxido de carbono como reductor.

Los procesos que se desarrollan en un alto horno pueden representarse en forma simplificada como se indica a continuación:

- En la zona de precalentamiento el mineral desprende azufre y agua.
- En la zona de reducción, el mineral es reducido a óxido de hierro (II) por la acción del monóxido de carbono ascendente.
- En la zona de carburación tiene lugar otra reducción a hierro metálico. Al mismo tiempo el hierro absorbe carbono, silicio, manganeso, azufre y fósforo.

- En la zona de fusión se funde completamente el mineral. Las impurezas se combinan con cal para formar la escoria. El hierro bruto líquido y encima la escoria más ligera, van a parar a la parte inferior del bastidor. A determinados intervalos de tiempo, se deja salir (sangra) el caldo (en los modernos altos hornos por una abertura común).

En los procedimientos de reducción directa, el mineral de hierro se desliza lentamente por gravedad a un horno de cuba. El gas reductor calentado a 800 °C entra en sentido contrario al mineral, eliminando el oxígeno contenido en aquél. Se forma así la esponja de hierro, que se elabora hasta obtener acero. La metalización del mineral tiene lugar por vía directa, es decir, sin fase líquida.

1.2.4. Obtención del acero

El acero se obtiene por transformación química del hierro bruto a temperaturas superiores a los 1,600 °C. En esta transformación se desprende el carbono en forma de dióxido de carbono, formando los óxidos de azufre y fósforo (escoria).

Si se hace pasar aire u oxígeno por el caldo, el fósforo se oxida formando óxido de fósforo; el azufre forma dióxido de azufre, el silicio a su vez dióxido de silicio, el manganeso forma óxido de manganeso y el carbono, dióxido de carbono.

La eliminación de los acompañantes P, S, Si y Mn, existentes todavía en el hierro bruto, así como del porcentaje de C, demasiado alto, se llama afinado.

1.2.5. Diversas calidades de aceros

El acero es un material versátil. Según su pureza, aditivos aleados y tratamiento, es blando o duro, resistente a la tracción, al desgaste, a la corrosión y al calor.

El acero se puede forjar, laminar y fundir, así como mecanizar con o sin arranque de viruta.

Afinar el acero es limpiarlo (reducir las sustancias acompañantes), recarburarlo (fijar el contenido correcto de carbono) y alearlo (añadir elementos de aleación).

Según el contenido de elementos de aleación, las clases de acero se subdividen en aceros no aleados y aleados. Los aceros no aleados se subdividen a su vez en aceros básicos, de calidad y finos; los aleados solo en aceros de calidad y aceros finos.

Los aceros básicos son aquellos cuyas propiedades, tales como resistencia a la tracción, límite de fluencia y alargamiento de rotura, están dentro de límites determinados.

Los aceros de calidad, en lo que respecta a características superficiales, soldabilidad y conformación en frío y en caliente, están fabricados con gran cuidado. Pueden ser no aleados y aleados.

Los aceros finos son todos los aceros aleados y no aleados que se diferencian de los de calidad por su mayor homogeneidad y ausencia de inclusiones no metálicas (P y S, 0.035% como máximo). Se funden con el mayor cuidado, consiguiéndose así una textura especialmente uniforme.

Según su empleo se dividen en: acero cementado, bonificado, rápido, resistente al calor, a los ácidos y a la oxidación, y acero para muelles. Aceros especialmente puros son los aceros al vacío.

Los aceros no aleados son los que se obtienen cuando no se sobrepasan los siguientes porcentajes (el carbono no cuenta aquí como componente de la aleación): 0.5% de Si, 0.8% de Mn, 0.1% de Al, o 0.1% de Ti, o 0.25% de Cu.

Los aceros de baja aleación poseen hasta el 5% de componentes aleados.

Los aceros de alta aleación poseen más del 5% de componentes aleados. Sin embargo, no deben contener en conjunto más del 0.045% de fósforo (P) y azufre (S).

El acero moldeado es acero colado en moldes. Comparado con la fundición gris y la fundición maleable, posee una resistencia mecánica mayor.

1.3. Antecedentes

La conformación de piezas de láminas de acero es una parte muy extendida e indispensable en la sociedad contemporánea industrializada. Un examen de la mayoría de máquinas y productos revelaría la presencia de partes conformadas de acero; son usadas ampliamente en herramientas, máquinas, vehículos, electrodomésticos, equipo de oficina, equipo eléctrico y electrónico, contenedores, edificios, y en la mayoría de los productos manufacturados. La industria de conformación de piezas de láminas de acero forma parte de las industrias comprendidas dentro de la industria metalmeccánica.

1.3.1. Industria metalmeccánica

La industria metalmeccánica, es el sector que comprende las maquinarias industriales y las herramientas proveedoras de partes a las demás industrias metálicas, siendo su insumo básico el metal y las aleaciones de hierro, para su utilización en bienes de capital productivo, relacionados con el ramo.

La metalmeccánica, estudia todo lo relacionado con la industria metálica, desde la obtención de la materia prima, hasta su proceso de conversión en acero y después el proceso de transformación industrial para la obtención de láminas, alambres, placas, etc. los cuales puedan ser procesados, para finalmente obtener un producto de uso cotidiano.

Un profesional de la industria metalmeccánica, es aquel que es capaz de ejecutar tareas productivas de instalación y mantenimiento de estructuras y artefactos metálicos, gracias a procesos que se llevan a cabo de acuerdo con normas técnicas de calidad.

Los principales productos asociados a la metalmeccánica son los repuestos y autopartes para vehículos, los receptores de radio, TV, los aparatos de telefonía, los refrigeradores, los congeladores y los aires acondicionados industriales.

La metalmeccánica produce equipos de TV, radio y comunicación. Es importante aclarar que, cuando se habla de la producción de artefactos electrónicos, tal vez se desvíe a lo que es la definición de metalmeccánica. Sin embargo, de acuerdo con la clasificación de la metalmeccánica, todos estos artefactos son incluidos, hasta algunos completamente electrónicos como un televisor LCD.

La industria primaria más importante que aporta insumos a la industria metalmecánica es la minería, y los sectores más beneficiados de los insumos de metalmecánica son la industria manufacturera, que consume casi un 50% de los derivados, incluyendo la construcción y la agricultura que, en conjunto, consumen aproximadamente un 30% de los insumos metalmecánicos producidos en el país.

Los países más desarrollados en la rama metalmecánica del mundo son: Estados Unidos, Japón, China, Alemania y España, los cuales mantienen filiales de multinacionales en varias naciones, para la importación de sus maquinarias y la puesta en marcha de su tecnología de vanguardia, para un mayor desarrollo industrial en esta rama fundamental de la minería.

1.3.2. Transformación por medio de corte y formado

La tecnología de conformación por deformación es tan antigua como el hombre del período Neolítico. Pero al analizar el presente, puede verse que los procesos de conformación por deformación se caracterizan, generalmente, por ser procesos (Lange, 1997) de alta productividad, con bajos costes de producción por pieza, con bajo consumo de material y con cualidades de producto diseñadas especialmente para la función.

La tecnología de deformación moderna emergió con énfasis en aspectos de precisión, control y seguridad de procesos; según Lange, se caracteriza por los siguientes criterios u objetivos, además de los mencionados anteriormente: producción de determinados componentes con tolerancias muy estrechas, producción de componentes de geometría compleja con una tolerancia cercana a la de la forma finalizada, procesos de alta calidad controlados y la deliberada disminución del consumo de material y energía.

La tecnología por deformación posee un amplio abanico de procesos de lámina de acero y de deformación en masa.

Si dentro de los procesos de conformación por deformación se hace énfasis en los de conformación de lámina de acero, se puede apreciar que en los últimos años, este tipo de procesos ha alcanzado una gran importancia en el mundo industrial. La lámina de acero se utiliza ampliamente como material base en productos industriales y de consumo, a causa de su fácil maleabilidad para poder convertirla en formas complejas.

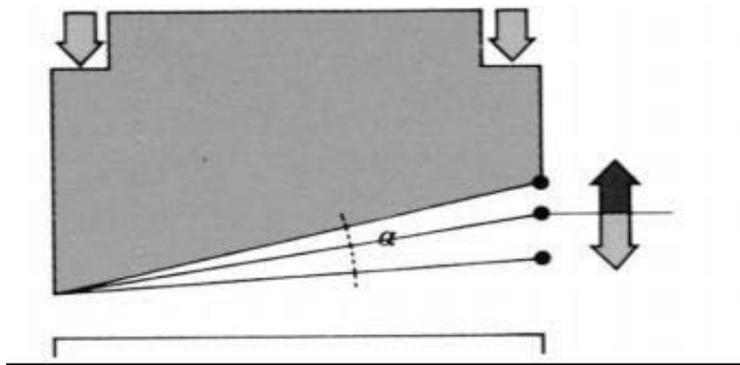
Los componentes de láminas de acero se usan ampliamente en varias industrias como en la aeroespacial, en la electrónica, en herramientas de máquinas, en refrigeración y aire acondicionado, etc. Estos componentes forman una parte importante de la actividad de fabricación, porque además del punto de vista funcional o estructural para el que han sido diseñados, también tienen una gran importancia desde el punto de vista estético porque se usan como cerramientos para cubrir los productos, y por lo tanto son visibles al mundo exterior. También cabe destacar el rol que forman en el desarrollo del transporte (la aeronáutica, el ferrocarril, los vehículos de transporte por carretera y los barcos), ya que en todos estos medios de transporte su efectividad depende en gran parte de la reducción de su peso.

Actualmente, la industria de conformación de piezas de lámina de acero está bajo gran presión, debido a la globalización del mercado, al corto ciclo de vida de los productos, la alta demanda de calidad y los cortos plazos de entrega. Para ser competitivo en este mercado las empresas productoras de componentes de lámina de acero deben obtener suficiente flexibilidad de producción para fabricar rápidamente varios productos de lámina de acero con una calidad aceptable.

El cizallado es un proceso por el cual las láminas de acero son cortadas en piezas de menor ancho y largo. Estas piezas, la mayoría de las veces, son usadas en subsecuentes procesos como el plegado y el enrollado. Ya que el cizallado es usualmente el paso inicial en una serie de procesos, es esencial que la pieza cizallada sea exacta para poderla trabajar.

El término cizallado se deriva de la forma en que las cuchillas se encuentran progresivamente de un extremo al otro, al igual que en un par de tijeras ordinario. El ángulo en el que las cuchillas están alineadas una respecto de la otra se llama ángulo de cizallado, y a la separación de las cuchillas se le llama juego entre cuchillas.

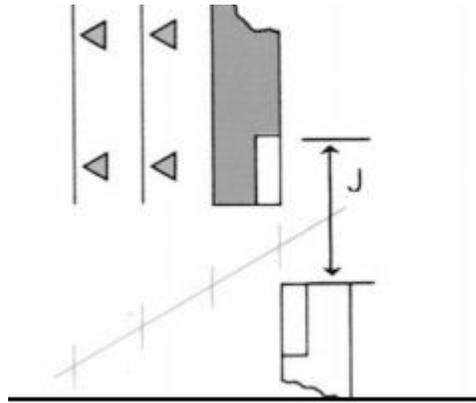
Figura 4. **Ángulo de cizallado**



Fuente: MEBUSA. Cizallas hidráulicas. p. 2.

El principio del cizallado es simplemente que las cuchillas al acercarse y hacer contacto con el material que se va a cortar, penetran el material hasta que la resistencia a la tensión es superada y se crea una fisura, llamada plano de deslizamiento, en ambos lados.

Figura 5. **Juego entre cuchillas**



Fuente: MEBUSA. Cizallas hidráulicas. p. 2.

Durante el proceso de cizallamiento, la cuchilla superior continúa bajando, liberando la pieza cortada de la lámina de acero original; la pared de la cuchilla roza contra la pieza cortada dando lugar a un área bruñida que se extiende a lo largo de la lámina de acero donde la cuchilla hace contacto. La pieza cortada roza contra la pared de la cuchilla inferior dando lugar a una segunda área de bruñido en el acero.

Para ser considerado cizallado, el proceso de corte debe ser a lo largo de una línea recta en la lámina de acero.

El cizallado ofrece varias ventajas sobre la mayoría de los procesos de corte de metales; ya que al ser un proceso sin viruta, los desechos o chatarra son eliminados. El proceso de corte es mucho más rápido debido a que las cuchillas no tienen que cortar a través de todo el espesor de la lámina de acero, como se requiere en algunos de los procesos de corte de metal.

En lugar de eso las cuchillas sólo penetran parcialmente en la lámina de acero, logrando un plano de deslizamiento que separa el material.

El cizallado es más económico que otras operaciones de corte porque no hay herramental costoso requerido para producir piezas exactas.

Las cizallas son utilizadas para cortar aceros medios de alta resistencia. En general, las láminas de acero no deberían ser de más dureza que Rc 30.

La capacidad de corte de las cizallas usualmente es desde calibres muy delgados, 1 mm, hasta los 38 mm de espesor y desde 1 220 mm hasta 6 010 mm de ancho.

La resistencia a la tensión comúnmente es usada como indicador de la carga de cizallamiento, pero no es el único factor.

Aunque las cizallas son fabricadas en una gran variedad de tamaños y estilos para satisfacer las necesidades de los fabricantes, pueden ser clasificadas de acuerdo con la forma en que la cortina superior es accionada:

- Cizallas manuales: la cortina superior es accionada por una palanca manual. La capacidad de las cizallas manuales es usualmente limitada a un espesor máximo de 1,5 mm y a un ancho de 1 320 mm. Este tipo de cizalla es usado frecuentemente en talleres que no necesitan cortar metales frecuentemente sino solo de forma ocasional. Entre las ventajas de estas cizallas están su precio accesible y que ocupan poco espacio.
- Cizallas mecánicas: en una cizalla mecánica, dos excéntricas en el eje principal mueven la cortina en un plano vertical. El eje principal está

activado por una caja reductora accionada por un motor eléctrico y una faja en “V”. La cuchilla superior está instalada en la cortina superior con cierta inclinación de un extremo al otro.

Las cizallas livianas operan a velocidades de 80 gpm, mientras que las que excedan 12,7 mm, operan a velocidades arriba de 50 gpm. Con estas velocidades y las técnicas de manejo adecuado, 20 a 30 operaciones por minuto pueden ser producidas. La capacidad de este tipo de cizalla puede ser de hasta 38 mm de espesor y 6 096 mm de ancho.

Las ventajas de las cizallas mecánicas son la velocidad con la que operan y la alta tasa de producción. Ya que el ciclo es rígido e inflexible, el golpe no puede ser ajustado; tiene que ser completado. Se puede producir daño por sobrecarga en la cizalla y en las cuchillas porque el descenso de la cortina no se puede parar a la mitad del ciclo. El desgaste es otra desventaja que se produce en el embrague.

- Cizalla hidráulica: la cortina se acciona directamente utilizando cilindros hidráulicos con piezas mecánicas para mover la cortina verticalmente. Las cuchillas de la cizalla hidráulica son aseguradas de la misma forma que en una cizalla mecánica. Las cizallas hidráulicas están limitadas a una velocidad de entre 8 a 15 gpm. La capacidad de cizallado puede ser tan gruesa como 38 mm y tan ancha como 10 668 mm.

Una ventaja significativa de la cizalla hidráulica sobre la mecánica es que esta se detiene cuando la capacidad es excedida. Esto impide el daño a la cizalla en sí, pero las cuchillas pueden dañarse por el resultado de una carga concentrada. Otra característica importante de la cizalla hidráulica

es el control, ya que el operador puede ajustar la longitud del golpe para cortar materiales de diferente dureza y espesor.

- Cizalla neumática: la potencia en una cizalla neumática está proveída por uno o dos cilindros de aire acondicionado, para mover la cortina en un plano vertical.

Este tipo de cizalla es normalmente usado para cortar láminas de acero delgadas, aproximadamente de 1 mm. Cualquier sobrecarga hace que la cizalla se detenga antes que ocurra algún daño. Sus ventajas serían su costo inicial bajo y su bajo mantenimiento.

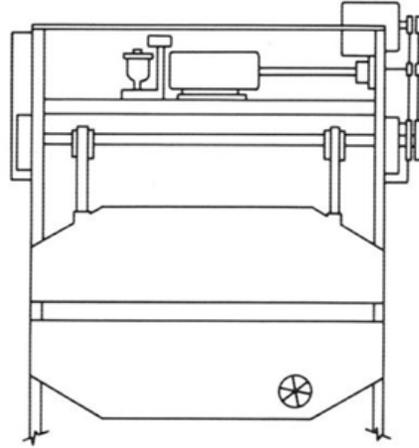
El plegado es un método por el cual se producen piezas llevando a la lámina de acero más allá de su punto de fluencia, pero sin llegar a su punto de rotura. Las fuerzas aplicadas durante el formado son en dirección contraria, al igual que en el cizallado. Estas fuerzas están más dispersas, resultando en una deformación plástica de la lámina de acero más que en una fisura.

En el largo y variado campo del plegado de láminas de acero, varios tipos de máquinas plegadoras son usadas.

Los principales tipos de máquinas usadas para plegar láminas de acero se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Plegadoras mecánicas: el trabajo es desarrollado por medio de la energía liberada de un volante accionado por un motor eléctrico. Estas máquinas normalmente tienen 3 pulgadas o 4 pulgadas de carrera del golpe.

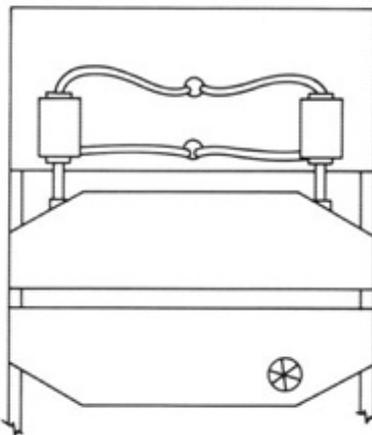
Figura 6. **Plegadora mecánica**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 470.

- Plegadoras hidráulicas: máquinas compactas con bastidor en forma de “C” son compatibles con una gran diversidad herramental. El aceite a alta presión en los cilindros hidráulicos provee la fuerza, que es dirigida hacia abajo en la mayoría de modelos. La carrera del golpe usualmente excede las 6 pulgadas.

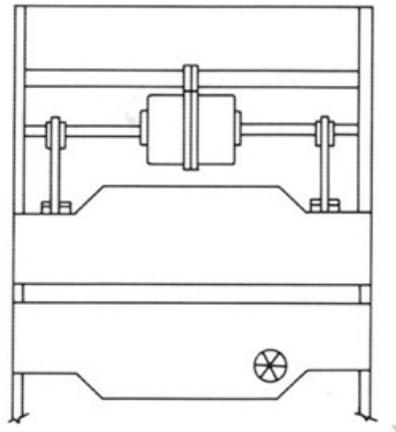
Figura 7. **Plegadora hidráulica**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 470.

- Plegadoras hidráulicas-mecánicas: estas combinan los principios hidráulicos y mecánicos. En operación, el aceite fuerza un pistón que mueve unos brazos que empujan la cortina hacia la mesa.

Figura 8. **Plegadora hidráulica mecánica**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 470.

- Plegadoras neumáticas: son máquinas de bajo tonelaje.
- Plegadoras manuales: conocidas también como plegadoras de delantal; operadas manualmente para plegar láminas de acero delgadas.

El plegado es un proceso por el cual una pieza de metal es colocada entre el dado superior y el dado inferior y doblado a través de la fuerza y presión ejecutada por una cortina descendente. La plegadora es un tipo especial de prensa que consiste en una cortina larga y angosta y una mesa. Casi cualquier tipo de doblez se puede lograr usando una plegadora. Esta versatilidad ha llevado a su uso extendido en la industria metal-mecánica.

Las plegadoras pueden ser usadas para hacer prototipos, pocas piezas, así como para largos lotes de producción en serie.

El enrollado de láminas de acero en cilindros o segmentos cilíndricos es llevado a cabo en máquinas que tienen dos o más rodillos que rotan y curvan la lámina de acero conforme pasa entre ellos. Se pueden obtener cilindros circulares así como elípticos. Un tipo de máquina que usa tres tipos de rodillos puede emplearse para formar conos truncados. Este tipo de forma es usado en tolvas, graneleras, tanques de almacenamiento, etc. Cualquier lámina de acero plegada convencionalmente, puede ser enrollada en estas máquinas. El espesor de las láminas de acero comúnmente usadas en el enrollado, va desde 1,5 mm hasta 254 mm.

El diámetro mínimo de la pieza que se va a enrollar depende del tipo de máquina, diámetro de los rodillos y de la resiliencia del material. El diámetro máximo está limitado principalmente por el espacio de trabajo disponible y las consideraciones de manipulación. El ancho de la lámina de acero que va a enrollarse, está limitado por la longitud de los rodillos en la máquina.

Las máquinas enrolladoras son hechas en una gran variedad de modelos y tamaños, sin embargo, pueden ser clasificadas por el número de rodillos. La máquina de tres rodillos puede ser clasificada en tipo piramidal o de apriete.

1.4. Antecedentes de la empresa

1.4.1. Fundación

La empresa para la cual se realizó este proyecto, fue fundada en el año de 1990, como comercializadora de productos de acero.

1.4.2. Régimen comercial

La empresa se organizó desde su fundación como una sociedad anónima.

1.4.3. Desempeño previo

Dentro de las empresas que comercializan productos de acero hay que diferenciar entre las que se especializan en los productos de acero plano y perfilería, de las que comercializan principalmente varilla de acero para la construcción, más conocidas como ferreterías. La empresa en estudio se encuentra entre las primeras.

La conformación de piezas mediante el cizallado, plegado y el enrollado de láminas de acero, se ha llevado a cabo por empresas pertenecientes a la industria metalmeccánica, la mayoría de ellas conforman piezas para usarlas en sus procesos subsecuentes para entregar un producto final, ya sea como muebles, gabinetes, estructuras, etc.

Las máquinas necesarias para los procesos de cizallado, plegado y enrollado, por lo general son caras y deben comprarse fuera de Guatemala ya que no existe oferta nacional de las mismas; por lo que hay muchas empresas que no cuentan con estas aun cuando dentro de sus insumos necesitan de piezas conformadas de acero. Esta carencia la suplen las empresas como la que es materia de estudio, que pone a disposición de los clientes la maquinaria para que puedan desarrollar sus proyectos.

A principio de la década de los noventa existían en Guatemala dos empresas que se dedicaban a la conformación de piezas de acero (algunos talleres pequeños contaban con maquinaria liviana para la conformación de

alguno de los tres procesos que aquí se estudian) y varias que se dedicaban a la comercialización de productos de acero, pero ninguna que fusionara las dos actividades, siendo esta empresa la pionera en ofrecerlo.

La ventaja competitiva que se logró fue la de simplificar las tareas de los clientes al ya no tener que comprar estas las láminas de acero con un proveedor, transportarla al lugar de conformación y luego a sus empresas, sino que solo deben solicitar sus piezas de acero y recibirlas ya conformadas.

Como se mencionó anteriormente, la empresa inició sus actividades comercializando productos de acero, tales como:

- Lámina rolada en frío: se obtiene reduciendo el lingote de acero por múltiples pasadas en el tren de laminación a una temperatura inferior a la de cristalización del acero, lo que produce un endurecimiento por trabajo en frío.
- Lámina rolada en caliente: se obtiene reduciendo el lingote de acero por múltiples pasadas en el tren de laminación a una temperatura superior a la de cristalización del acero, por lo que no hay un cambio significativo en las propiedades mecánicas de la lámina de acero, es más suave y dúctil que la lámina de acero rolada en frío.
- Hierro plano
- Hierro angular
- Hierro redondo
- Hierro T
- Vigas U
- Vigas H y WF

- Láminas galvanizadas
- Láminas de acero inoxidable, las cuales son más resistentes a la corrosión que las láminas de acero; esto se obtiene al agregar a la aleación elementos como el cromo, molibdeno y el níquel.
- Láminas de aluminio.

En el año 1992 se inició en la conformación de piezas de acero mediante el cizallado y el plegado.

En el año 1993 se adicionó el enrollado de láminas de acero.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1. Diagnóstico de la empresa

La empresa en estudio fue fundada con el objetivo de comercializar productos de acero para atender a la industria metalmecánica; con el devenir del tiempo y el desarrollo del negocio fue claro que existía una oportunidad en la conformación de piezas de lámina de acero por medio del cizallado, plegado y enrollado, dándose la adquisición de la maquinaria para tales propósitos.

La compañía cuenta con tres ubicaciones en la ciudad de Guatemala que se utilizan con doble propósito: como sala de ventas y como bodegas. En una de las ubicaciones, en la zona 12, con un área de 2 000 metros cuadrados, se encuentran instaladas las máquinas que sirven para prestar los servicios de cizallado, plegado y enrollado de láminas de acero. El propósito de la empresa es satisfacer la demanda creciente de sus productos y servicios de una manera más eficiente.

Las líneas de productos de acero con que se cuenta son en su mayoría importadas, es una extensa variedad que alcanza más de mil productos. Aquí se presenta el detalle de la línea de productos laminados, ya que estos son los que además de comercializarlos se conforman en piezas.

Tabla I. Descripción de productos

DESCRIPCIÓN	PESO (Libras)	PRECIO (Q)
Lámina negra 0.60 mm X 4' X 8'	31,00	124,00
Lámina negra 0.60 mm X 4' X 10'	38,60	154,40
Lámina negra 0.70 mm X 4' X 8'	36,10	144,40
Lámina negra 0.70 mm X 4' X 10'	45,00	180,00
Lámina negra 1/32" X 3' X 6'	23,20	92,80
Lámina negra 1/32" X 3' X 7'	27,00	108,00
Lámina negra 1/32" X 3' X 8'	30,85	123,40
Lámina negra 1/32" X 4' X 8'	41,15	164,60
Lámina negra 1/32" X 4' X 10'	51,45	205,00
Lámina negra 1 mm X 3' X 8'	38,60	154,40
Lámina negra 1 mm X 4' X 8'	51,45	205,80
Lámina negra 1 mm X 4' X 10'	64,35	257,40
Lámina negra 3/64" X 3' X 8'	46,30	185,20
Lámina negra 3/64" X 4' X 8'	61,75	247,00
Lámina negra 3/64" X 4' X 10'	77,15	308,60
Lámina negra 1/16" X 4' X 8' RF	81,80	327,20
Lámina negra 1/16" X 3' X 6' RC	46,00	184,00
Lámina negra 1/16" X 3' X 7' RC	54,00	216,00
Lámina negra 1/16" X 3' X 8' RC	61,70	246,00
Lámina negra 1/16" X 4' X 8' RC	82,30	329,20
Lámina negra 1/16" X 4' X 10' RC	102,89	411,56
Lámina negra 3/32" X 4' X 8'	122,50	411,56
Lámina negra 3/32" X 4' X 10'	153,15	612,60
Lámina negra 1/8" X 3' X 6'	91,70	366,80
Lámina negra 1/8" X 3' X 8'	122,50	490,00
Lámina negra 1/8" X 4' X 8'	163,35	653,40
Lámina negra 1/8" X 4' X 10'	204,15	816,00
Lámina negra 1/8" X 4' X 20'	408,35	1 633,40
Lámina negra 1/8" X 6' X 20'	613,60	2 454,40
Lámina negra 3/16" X 3' X 6'	137,85	551,40
Lámina negra 3/16" X 3' X 8'	183,75	735,00
Lámina negra 3/16" X 4' X 8'	245,10	980,40
Lámina negra 3/16" X 4' X 10'	306,25	1 225,00
Lámina negra 3/16" X 6' X 20'	918,75	3 675,00
RF = rolado en frío		
RC = rolado en caliente		

Fuente: elaboración propia.

Tabla II. Descripción de productos

DESCRIPCIÓN	PESO (Libras)	PRECIO (Q)
Lámina negra 1/4" X 4' X 8'	326,70	1 306,80
Lámina negra 1/4" X 4' X 10'	408,35	1 633,40
Lámina negra 1/4" X 6' X 20'	1 225,30	4 901,20
Lámina negra 5/16" X 4' X 8'	408,40	1 633,60
Lámina negra 5/16" X 4' X 10'	510,55	2 042,20
Lámina negra 5/16" X 6' X 20'	1 532,10	6 128,40
Lámina negra 3/8" X 4' X 8'	490,20	1 960,80
Lámina negra 3/8" X 4' X 10'	612,45	2 449,80
Lámina negra 3/8" X 6' X 20'	1 837,90	7 351,60
Lámina negra 1/2" X 4' X 8'	653,55	2 614,20
Lámina negra 1/2" X 4' X 10'	816,65	3 266,60
Lámina negra 1/2" X 6' X 20'	2 450,55	9 802,20
Lámina negra 5/8" X 4' X 8'	817,00	3 268,00
Lámina negra 5/8" X 4' X 10'	1 020,80	4 083,20
Lámina negra 5/8" X 6' X 20'	3 062,90	12 251,60
Lámina antiderrapante 3/32" X 4' X 8'	156,00	670,80
Lámina antiderrapante 1/8" X 4' X 8'	196,00	842,80
Lámina antiderrapante 3/16" X 4' X 8'	278,00	1 195,40
Lámina antiderrapante 1/4" X 4' X 8'	360,00	1 548,00
Lámina acero inoxidable 4' X 8' Calibre 24	31,50	630,00
Lámina acero inoxidable 4' X 8' Calibre 22	43,75	875,00
Lámina acero inoxidable 4' X 8' Calibre 20	49,00	980,00
Lámina acero inoxidable 4' X 8' Calibre 18	64,85	1 297,00
Lámina acero inoxidable 1/16" X 4' X 8'	80,40	1 608,00
Lámina acero inoxidable 3/32" X 4' X 8'	107,35	2 147,00
Lámina acero inoxidable 1/8" X 4' X 8'	160,65	3 213,00
Lámina acero inoxidable 3/16" X 4' X 8'	275,60	5 512,00
Lámina acero inoxidable 1/4" X 4' X 8'	367,45	7 349,00
Lámina aluminio 4' X 8' Calibre 24	11,45	400,75
Lámina aluminio 4' X 8' Calibre 22	14,25	498,75
Lámina aluminio 4' X 8' Calibre 20	14,55	509,25
Lámina aluminio 4' X 8' Calibre 18	18,10	633,50
Lámina aluminio 1/16" X 4' X 8'	27,80	973,00
Lámina aluminio 3/32" X 4' X 8'	40,75	1 426,25
Lámina aluminio 1/8" X 4' X 8'	56,50	1 977,50

Fuente: elaboración propia.

Los servicios de conformación de piezas ofrecidos son el cizallado, el plegado y el enrollado de láminas de acero. Durante años la empresa en estudio ha llevado a cabo estos procesos de conformación de piezas de lámina de acero, para satisfacer la demanda de sus clientes, sin mayores cambios ni actualizaciones, encontrando como principales problemas los siguientes:

- Empirismo en la toma de decisión de cuáles piezas se pueden conformar y cuáles no, basados principalmente en la experiencia de los operarios que han aprendido a prueba y error. Con el pasar del tiempo se han producido cambios de operarios, perdiendo la experiencia acumulada y teniendo que reiniciar el proceso de aprendizaje. Debido a que la curva de aprendizaje es larga y que el ensayo y error resulta en desperdicio de tiempo y material, este empirismo afecta grandemente la rentabilidad de la empresa.
- El desconocimiento en detalle de la capacidad de las máquinas y el utillaje disponible, ha provocado daño a la maquinaria al excederse dicha capacidad.
- La deficiente operación de la maquinaria ha causado averías, inutilizando alguna de las máquinas en los momentos más inoportunos y por largos periodos de tiempo.
- Problemas de calidad de las piezas terminadas.

El personal con que cuenta la empresa es de veinticuatro personas, cinco de las cuales pertenecen al área administrativa, seis son personal de ventas y las restantes son personal operativo. La rotación de personal es muy

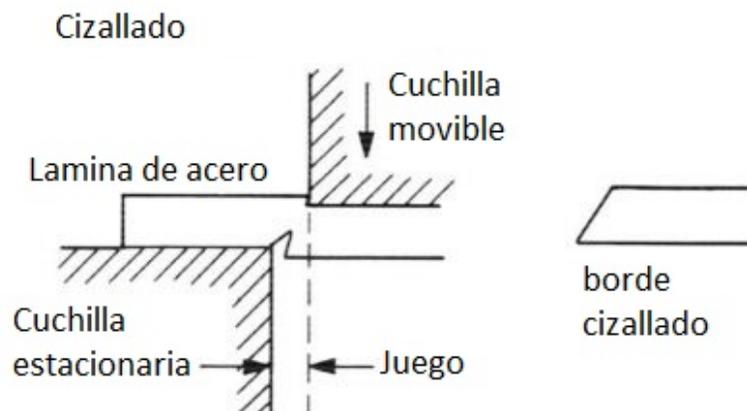
baja debido a que las personas trabajan por períodos largos de tiempo en esta empresa.

2.1.1. Procesos de conformación

2.1.1.1. Cizallado

Es cortar un material por medio de una herramienta de corte de dos filos, la cizalla, en la cual los filos se mueven el uno hacia el otro. El término cizallado se deriva de la forma en que las cuchillas se encuentran progresivamente de un extremo al otro, al igual que en un par de tijeras ordinario. El ángulo en el que las cuchillas están alineadas una respecto de la otra se llama ángulo de cizallado, y la distancia de separación de las cuchillas se llama juego entre cuchillas.

Figura 9. Efecto de cizallado



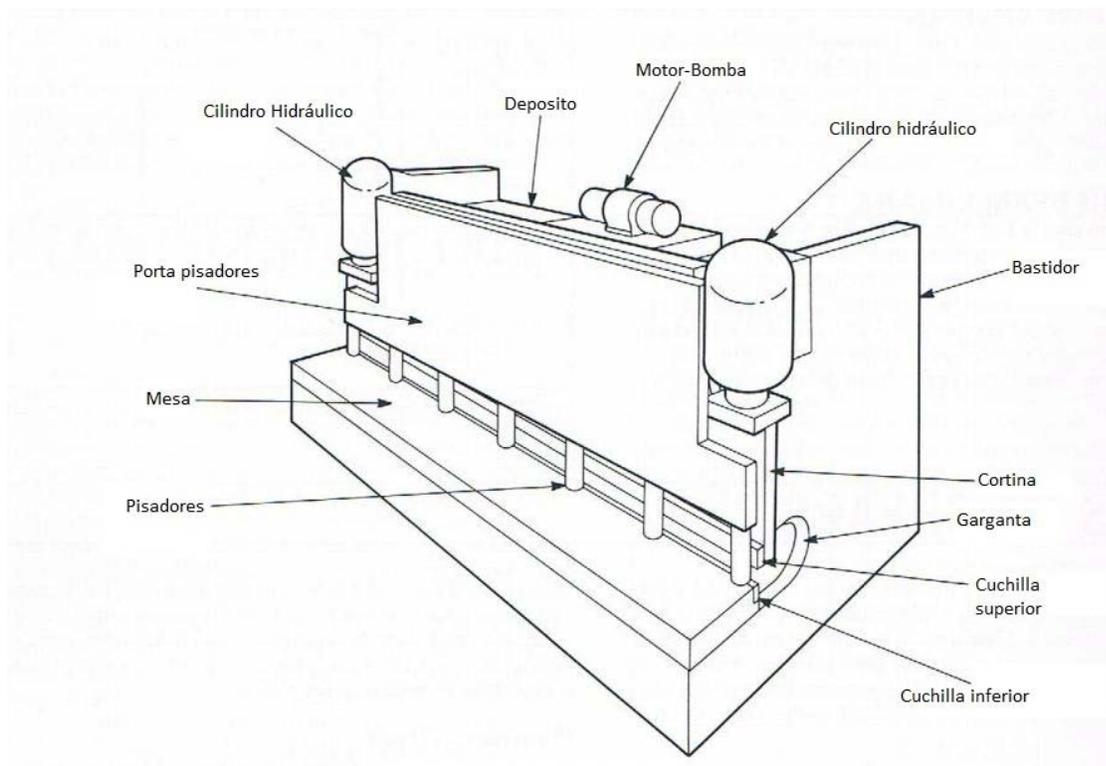
Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 94.

El cizallado es una operación de corte de lámina de acero a lo largo de una línea recta, por medio de dos cuchillas para separar el metal. En el cizallado, una pieza angosta de material es deformada plásticamente hasta el punto en que se forma una fisura en la parte que está en contacto con las cuchillas. Esta fisura luego se expande para provocar una separación completa.

Se utiliza para producir piezas a las dimensiones adecuadas, para usarse planas o ser conformadas luego por plegado o enrollado.

- Maquinaria con que se cuenta: Para realizar el proceso de cizallado se cuenta con una cizalla hidráulica marca Mebusa de los años '80 (no hay registro exacto del año), modelo 3100 de fabricación española.

Figura 10. **Cizalla hidráulica**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 463.

No se pudo encontrar información técnica de esta cizalla hidráulica por la antigüedad del modelo.

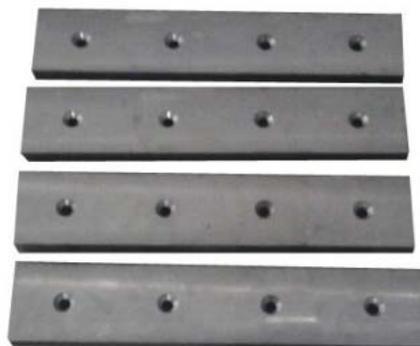
Se sabe que la longitud de las cuchillas es de 3 100 mm, el motor eléctrico trifásico es de 30 caballos de vapor de potencia, el arranque es estrella delta, y que la capacidad nominal es de 12 mm.

No existe distribuidor en Guatemala de estas cizallas. El fabricante, Promecan Mebusa está radicado en Bilbao, España. Su sitio en internet está en construcción y renovación, sin embargo, proporcionó las características técnicas (ver tabla 3), con la salvedad que estas no corresponden a la máquina solicitada sino a versiones más modernas.

Comparando la información disponible con la proporcionada, se observa que el modelo que más se acerca a la cizalla hidráulica con que se cuenta es el modelo 3112 C. El cuello de cisne, garganta, es de 550 mm y la potencia de 60 CV.

- Útiles: los útiles o herramental que utiliza esta cizalla hidráulica son las cuchillas que soportan el esfuerzo de corte, tienen un largo total de 3 110 mm, una altura de 76 mm y ancho de 19 mm; hay una cuchilla superior movable y una inferior cada una con cuatro filos.

Figura 11. **Cuchillas de cizalla**



Fuente: MEBUSA. Cizallas hidráulicas. p. 2.

Tabla III. Cizallas Promecan Mebusa

Características técnicas / Main technical characteristics

MODELOS MODEL		2104	2010	3104	3106 S	3106 C	3112 C	3116 C	4005 S	4005 C	4008 C	4010 C	6106 C	6108 C
CARACTERÍSTICAS CHARACTERISTICS														
LONGITUD NOMINAL* MM. NOMINAL LENGHT* MM.		2.100	2.040	3.100	3.100	3.100	3.100	3.100	4.040	4.040	4.040	4.040	6.100	6.100
ESPESOR NOMINAL* MM. NOMINAL THICKNESS* MM.		4	10	4	6	6	12	16	5	5	8	10	6	8
CAPAC. SUPLEMENTARIA* MM. SUPPLEMENTARY CUTTING CAPACITY* MM.		-	12x800	-	8x1.200	8x1.200	14x1.500 16x1.300	18x2.300 20x2.000	6x1.600	10x1.600	6x1.600	12x2.000		
CADENCIA CORTES/MIN. CUTTING STROKES/MIN		25/60	15/60	30/100	30/58	32/58	12/22	9/16	20/55	20/55	19/50	18/45	18/50	12/50
VARIACION DEL ANGULO DE CORTE CUTTING RAKE ANGLE		1°30' Fijo	0°3'/2°30'	1°30' Fijo	0°25'/1°5'	0°25'/1°5'	0°5'/2°	0°30'/2° Máx. 3°30'	0°29'/1°14'	0°29'/1°14'	0°45'/1°2'	0°50'/1°25' Máx. 1°55'	0°15'/1°15'	0°15'/1°15'
POTENCIA CV. POWER CV.		5	12,5	7,5	15	15	60	40	12,5	12,5	25	30	25	40
CUELLO DE CISNE MM. DEEP THROAT MM.		60	500	60	60	510	550	500	60	500	500	500	500	500
DIMENSIONES EN MM. DIMENSIONS MM.	LONGITUD LENGHT	2.940	2.230	3.875	3.480	3.480	3.550	3.700	4.230	4.270	4.370	4.370	6.420	6.430
	ANCHURA WIDTH	1.860	2.130	1.875	2.177	2.240	2.240	2.640	2.290	2.310	2.290	2.290	2.750	2.750
	ALTURA HIGH	1.510	1.705	1.530	1.705	1.705	1.940	2.200	1.705	1.705	1.810	1.810	2.300	2.500
PESO APROXIMADO KG. MAX WEIGHT KG.		2.725	5.700	3.900	7.050	7.600	10.500	16.500	9.700	11.000	12.400	12.900	20.000	26.000

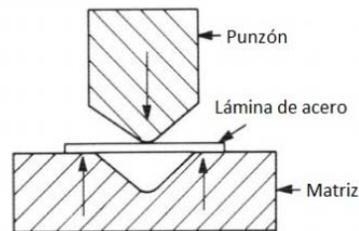
* Para acero dulce 40/45 Kg./mm².
* For Steel 40/45 Kg./mm².

Fuente: MEBUSA. Cizallas hidráulicas. p. 4.

2.1.1.2. Plegado

En el plegado, un cuerpo sólido se conforma plásticamente por la sollicitación a flexión. La pieza se dobla hasta que apoye entre el punzón de plegado y la matriz. Es posible formar los perfiles más diversos. Por medio de este proceso se producen piezas llevando a la lámina de acero más allá de su punto de fluencia, pero sin llegar a su punto de rotura.

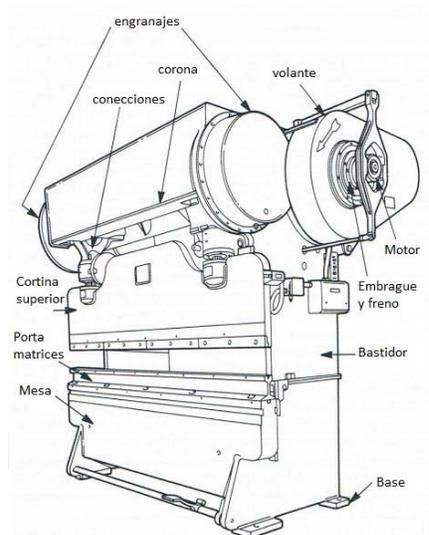
Figura 12. Plegado



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 97.

- Maquinaria con que se cuenta: para realizar el proceso de plegado se cuenta con una prensa plegadora hidráulica marca Mebusa de los años '80 (no hay registro exacto del año), modelo RG 123 de fabricación española.

Figura 13. Plegadora



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 467.

A través de la investigación documental se encontró un catálogo del fabricante de finales de los años setenta donde se puede identificar la plegadora hidráulica modelo RG 123.

Tabla IV. Plegadoras Promecan Mebusa

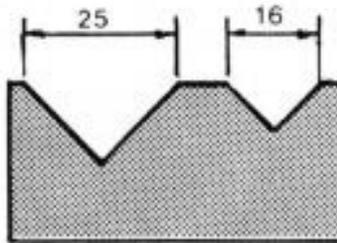
MODELOS	Fuerza (Tn.)	Longitud de los tableros (mm.)	Longitud máx. (mm.)	Distancia entre montantes (mm.)	Cuello de cisne (mm.)	Curso del tablero (mm)	Paso entre tableros (mm.)	mm./seg.			Potencia del motor (C)	mm.			Profundidad del foso	Peso (Tn.)
								Aproximación	Trabajo	Retrociso		Longitud	Anchura	Altura s/ el suelo		
30-12 *	30	1200	1251	1020	200	100	300	20	17	80	4	1310	1080	1765		1,4
30-12A *	30	1200	1251	1020	200	100	300	45	17	80	4	1310	1080	1765		1,4
40-20	40	2000	2085	1690	200	100	300	45	17	80	5,5	2050	1135	1965		2,3
40-25	40	2500	2505	2190	200	100	300	45	17	80	5,5	2550	1135	1980		2,8
65-20	65	2000	2085	1660	400	100	300	45	7	60	4	2050	1485	1970		2,9
65-25	65	2500	2505	2160	400	100	300	45	7	60	4	2550	1485	1980		3,7
65-30	65	3050	3100	2660	400	100	300	45	7	60	4	3050	1485	2000		4
90-25	90	2500	2505	2160	400	100	300	45	7	70	5,5	2550	1655	2070		4,2
90 30	90	3050	3100	2660	400	100	300	45	7	80	5,5	3050	1655	2180		4,8
122	120	2100	2200	1720	400	100	300	38	9	60	12,5	2200	1650	2050		4
123	120	3050	3100	2600	400	100	300	38	9	70	12,5	3050	1750	2130		6,2
124	120	4050	4100	3700	400	100	300	38	9	80	12,5	4100	1750	2550		9,2

Fuente: MEBUSA. Plegadoras hidráulicas. p. 4.

Las principales características son la fuerza de 120 toneladas y la longitud de plegado igual a 3 100 mm.

- Útiles: los útiles con que se cuenta son un juego de punzones y matrices, seccionados con un largo total de 3,100 mm.

Figura 14. **Matriz**



Fuente: MEBUSA. Útiles estándar. p. 3.

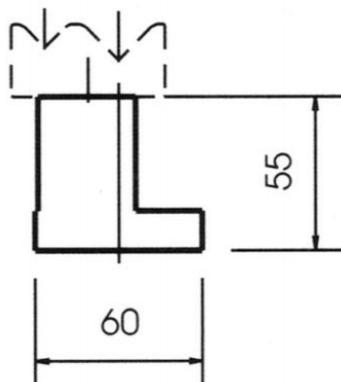
Figura 15. **Punzón**



Fuente: MEBUSA. Útiles estándar. p. 3.

Los útiles se encuentran fraccionados en 6 partes, son de fabricación española, por lo que pueden usarse en plegadoras de tipo europeo, ya que los de fabricación norteamericana difieren en la forma de sujeción.

Figura 16. **Soporte**

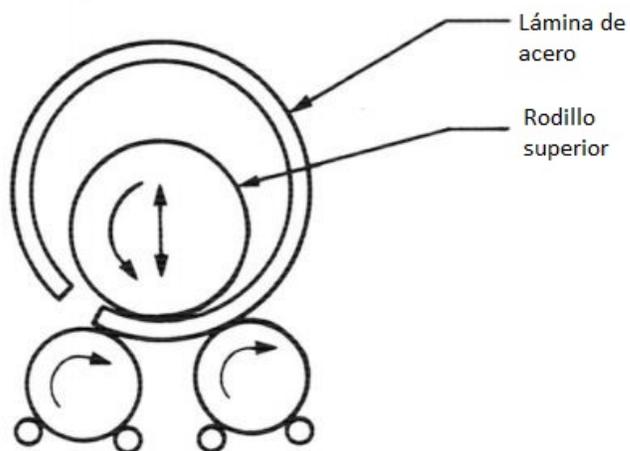


Fuente: MEBUSA. Útiles estándar. p. 3.

2.1.1.3. **Enrollado**

En el plegado cilíndrico o enrollado, un cuerpo sólido se conforma plásticamente por la solicitación a flexión, el momento flector se hace por medio de unos rodillos o cilindros, las piezas planas adquieren forma cilíndrica o cónica.

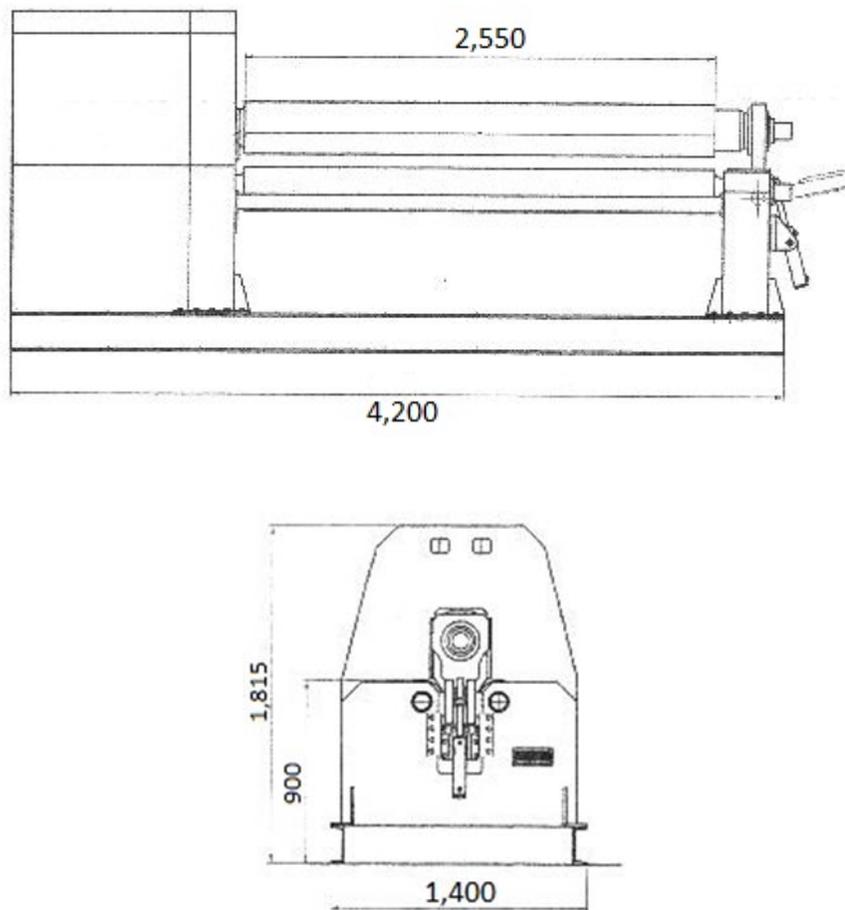
Figura 17. **Enrollado de láminas**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 478.

- Maquinaria con que se cuenta: para el enrollado de láminas de acero se cuenta con una máquina marca Pentiri de fabricación italiana, de tres rodillos, modelo Delta 280, del año 2006.

Figura 18. **Enrolladora de lámina de 3 rodillos**



Fuente: PENTIRI. Manual de operación. p. 16.

Figura 19. **Datos técnicos**

MACHINE MODEL: DELTA 280/25 2550 X 16 MM.
SERIAL NO: A881/06 -
MANUFACTURER: PENTIRI
MANUFACTURING YEAR: 2006

FOR PLATE WITH YIELD POINT = 240 N/mm² (24 KG/mm²) -

USEFUL LENGTH:	mm 2550
MAX THICKNESS:	mm 16
Ø OF THE TOP ROLL:	mm 275
Ø OF THE BOTTOM ROLLS:	mm 235
MIN. OBTAINABLE Ø ON NOMINAL CAPACITY:	1,4 x Ø of TOP ROLL
MAX CAPACITY ON CONE BENDING: CAPACITY	75% OF NOMINAL
ROLLING SPEED, FIX:	m/min 5,5
CURRENT:	A 18
TOTAL INSTALLED POWER:	KW 11
TENSION:	VOLT 220-440
NATURE OF THE CURRENT:	ALTERNATE
FREQUENCY:	HZ 60
NUMBER OF PHASES:	3 + GROUNDING
MACHINE'S DIMENSIONS, length x width x height:	mm 4350 x 1400 x 1815
NET WEIGHT OF THE MACHINE:	kg 8480
HEIGHT OF THE WORKING TABLE, approx.:	mm 1000
CONTROL DESK'S DIMENSIONS, length x width x height:	mm 800 x 800 x 1500
NET WEIGHT OF THE CONTROL DESK:	KG 20

Fuente: PENTIRI. Manual de operación. p. 17.

- Útiles: esta máquina no requiere de útiles adicionales o de recambio para su operación.

2.1.2. Controles

En la actualidad, los controles para los procesos de cizallado, plegado y enrollado de lámina de acero, se llevan a cabo de la siguiente forma:

- Recepción de trabajos: se realiza un diagrama de la pieza que se va a conformar con sus medidas; y se especifica el material de donde debe partirse.
- Entrega de trabajos: con el diagrama realizado al inicio, se procede a entregar las piezas y a cuantificar las operaciones realizadas.

3. PROPUESTA DE MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO

3.1. Procesos de conformación

En el sector industrial guatemalteco existe la necesidad de conformar piezas de acero por medio de cizallado, plegado y enrollado, para la fabricación de equipos diversos; la empresa en estudio, intenta satisfacer esa necesidad pero existe la posibilidad de hacerlo de una mejor forma y para eso se plantean las siguientes acciones:

- Identificar y definir la capacidad instalada.
- Definir los factores que se deben tomar en cuenta a la hora de la planificación de la conformación de piezas de acero.
- Identificar tareas de mantenimiento.
- Identificar los problemas que se presentan frecuentemente e indicar cómo prevenirlos.
- Definir los procedimientos y controles, de tal forma que se puedan minimizar los errores, y cumplir con exactitud y eficiencia lo solicitado.

3.1.1. Cizallado

3.1.1.1. Definición de la capacidad instalada de cizallado

Para encontrar la capacidad de corte de la cizalla hidráulica se hacen algunos cálculos, partiendo de la información siguiente, encontrada en una placa de la cizalla:

Tabla V. **Cizalla hidráulica tipo 3100 A 12**

Longitud máxima de corte	3 100	mm
Longitud de corte con regla de escuadra	3 060	mm
Capacidad de corte (e)	15	mm
con longitud de corte (l)	2 100	mm
con calidad de chapa 40 a 45 Kg/mm ²		

Fuente: elaboración propia.

En Guatemala, el acero que se comercializa para la conformación de piezas, debe cumplir con la norma ASTM A 36, cuyas propiedades mecánicas se presentan a continuación:

Tabla VI. **Designación ASTM A-36**

Esfuerzo de fluencia mínima	Esfuerzo especificado de ruptura en tensión	Porcentaje de alargamiento mínimo en perfiles	Porcentaje de alargamiento mínimo en placas y barras
Kg/mm²	Kg/mm²	2"...21%	2" ...23%
25.31	40.78 a 56.25	8"...20%	8" ...20%

Fuente: elaboración propia.

Si se utiliza la definición de esfuerzo como la fuerza por unidad de área que soporta un material, entonces se tiene que:

$\sigma = \frac{F}{A}$							
σ es el esfuerzo de corte en Kg/mm ² F es la fuerza en Kg A es el área de corte en mm							
$\sigma = 45 \text{ Kg/mm}^2$ $A = 2\ 100 * 15 = 31\ 500 \text{ mm}^2$							
entonces $F = 1\ 417\ 500 \text{ Kg}$							
Se conoce F y σ , y se quiere determinar la capacidad de corte (e) para $l = 3\ 100 \text{ mm}$							
$A = e * l$							
$A = \frac{F}{\sigma}$							
igualando		$e \times l = F/\sigma$		entonces		$l = \frac{F}{(e \times \sigma)}$	
				si $e=10 \text{ mm}$ se tiene que		$l = 3\ 150 \text{ mm}$	

Se repite para los diferentes espesores y se puede hacer la siguiente tabla:

Tabla VII. Longitud de corte

e (mm)	□(mm)
≤ 10	3 150
12	2 625
15	2 100

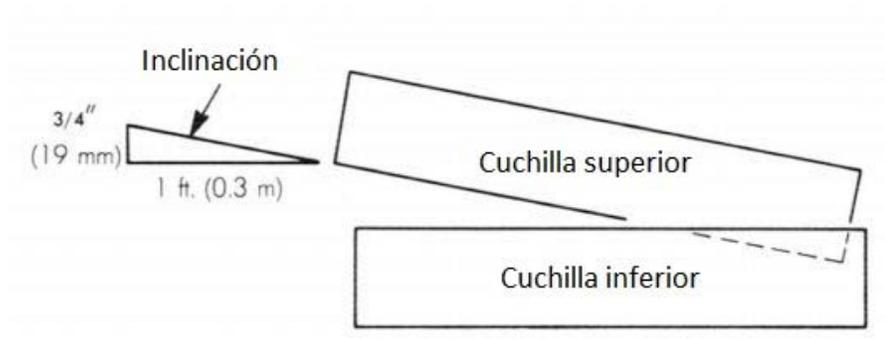
Fuente: elaboración propia.

3.1.1.2. Factores a tomar en cuenta

Antes de empezar la operación de cizallado hay que definir algunas variables que ayudaran a utilizar el equipo de mejor forma:

- Material a cortar: este deberá ser acero estructural ASTM A 36, con una resistencia a la tensión de 45 Kg/mm² y un porcentaje de carbono de \pm 0.18%.
- Espesor: el espesor del material deberá tener como máximo 15 mm.
- Largo: el largo máximo de corte es de 3 100 mm pero este estará en función del espesor, según se calculó anteriormente.
- Ángulo: se debe seleccionar el ángulo apropiado en función del espesor de la lámina. El ángulo de cizallado es la pendiente formada entre la cuchilla inferior y la superior.

Figura 20. **Ángulo de cizallado**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 478.

Generalmente el ángulo de cizallado se expresa en un solo número, $\frac{3}{4}$, lo que significa que la cuchilla se levanta $\frac{3}{4}$ " por cada pie de largo. En el sistema métrico se expresaría como 19/300, significando que la cuchilla superior se levanta 19 mm por cada 300 mm de longitud de corte.

La longitud de encaje de las cuchillas también puede ser usada para designar el ángulo de cizallado. Conforme el ángulo de cizallado decrece, la longitud de encaje de la cuchilla superior se incrementa. Esto resulta en una mayor fuerza de cizallado requerida, ya que hay una mayor cantidad de metal para ofrecer resistencia a la cuchilla conforme se desliza sobre la lámina de acero. Incrementando el ángulo de cizallado, decrece el encajamiento de la cuchilla superior y la fuerza de cizallamiento requerida.

El ángulo de cizallado debería ser lo más bajo posible para reducir la cantidad de deformación en la pieza terminada. Un ángulo de cizallado mayor reduce la fuerza necesaria pero aumenta la deformación del material. Dado que la máquina que se está evaluando es una cizalla hidráulica, se le puede graduar el ángulo de cizallado, contrario a lo que sucedería si la cizalla fuera mecánica.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se pueden definir los diferentes ángulos de acuerdo con las marcas presentes en la cizalla.

Tabla VIII. **Ángulo de cizallado**

ÁNGULO	ESPEJOR (mm)
A	0.5 \square e \leq 2
B	2 \square e \leq 4
C	4 \square e \leq 10
D	10 \square e \leq 15

Fuente: elaboración propia.

- Juego entre cuchillas. es la separación entre la cuchilla superior (movible) y la inferior (fija). Hay dos extremos en la elección del juego entre cuchillas respecto del espesor de la lámina de acero que se esté cizallando: uno es que exista un juego insuficiente y por consiguiente las fisuras no se encuentren alineadas, dando como resultado que se necesite una segunda fractura produciendo la deformación del material; el otro extremo es que el juego entre cuchillas sea excesivo, por consiguiente la fuerza de cizallado se desperdicia porque se produce el plegado de la lámina de acero.

De acuerdo con el manual de SME, el juego entre cuchillas debe ser igual al 8% del espesor de la lámina de acero que se va a cizallar.

Tabla IX. **Juego entre cuchillas**

ESPESOR (mm)	JUEGO ENTRE CUCHILLAS (mm)
0,5 \square e \leq 2	0,16
2 \square e \leq 4	0,30
4 \square e \leq 6	0,48
6 \square e \leq 10	0,64
10 \square e \leq 14	0,96
14 \square e \leq 18	1,28
18 \square e \leq 20	1,52

Fuente: elaboración propia.

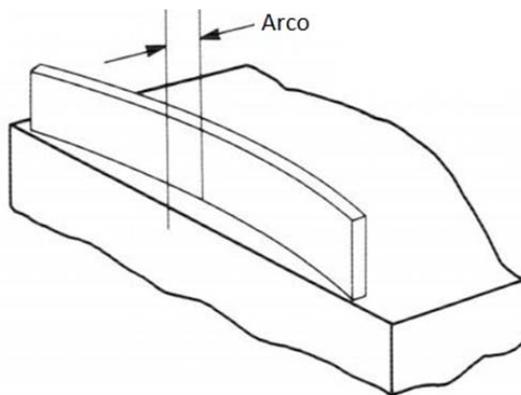
- Mantenimiento. el mantenimiento adecuado proporcionará muchas horas de operación sin problemas. Las tareas de mantenimiento más importantes son la lubricación y el afilado de las cuchillas.

El inapropiado afilado de las cuchillas afecta la fuerza necesaria de cizallado, la calidad del corte e incrementa el desgaste lateral de las cuchillas, produciendo fallas por fatiga. Estas fallas consisten en

astilladuras y quebraduras a lo largo de las cuchillas. Además debe removerse más material en el reafilado.

- Problemas recurrentes: cuando una lámina de acero se cizalla para quitarle las orillas de fabricación, la parte que cae del corte no importa porque irá a parar a la chatarra; sin embargo, si la pieza cortada que cae de la cizalla servirá para un proceso subsecuente, es importante que sea una pieza plana y recta. Usualmente la pieza que queda en la mesa de la máquina estará plana y recta; pero en la que cae, se han observado los siguientes problemas:
 - Arco: cuando se cizallan tiras estrechas de lámina de acero con un ángulo de cizallado grande, estas tienden a presentar arqueado en su forma final; para evitar esto, se debe reducir el ángulo de cizallado. A través de la experiencia se ha encontrado que partir de 100 mm de ancho en piezas cortadas prácticamente se reduce totalmente el arqueado.

Figura 21. **Arco**

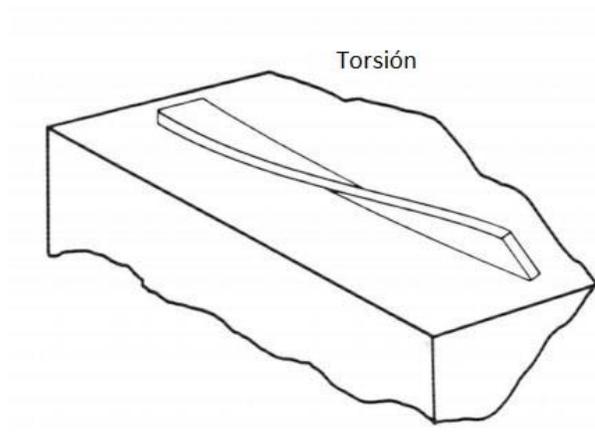


Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 475.

En la práctica, es difícil que se pueda reducir el ángulo de cizallado lo suficiente para que desaparezca el arco; lo mejor será evitar cortar piezas cuyo ancho sea inferior a la distancia del borde de la cuchilla al centro del eje de los pisadores, esto es 25 mm.

- Torsión: la pieza cortada presenta retorcimiento. Este problema es proporcional al ángulo de cizallado y al ancho de la pieza cortada. Los materiales suaves se retuercen más que los materiales duros y las tiras de lámina de acero más gruesas se retuercen más que las tiras de lámina de acero más delgadas. La velocidad de la cizalla afecta la torsión, a más velocidad de cizallado menos torsión. Por observación se ha concluido que cuando el ancho de la pieza de corte es mayor o igual a ocho veces el espesor del material, se reduce la torsión.

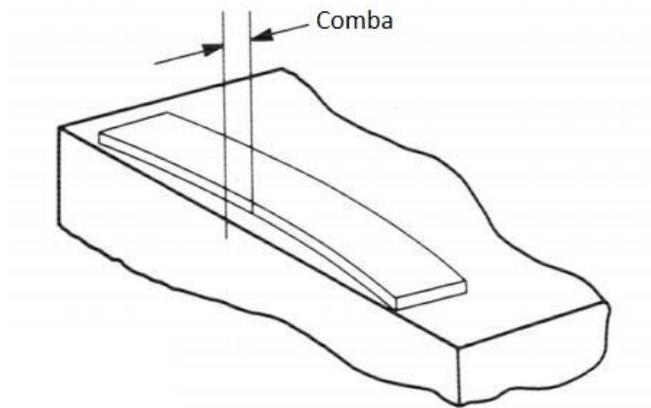
Figura 22. **Torsión**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 475.

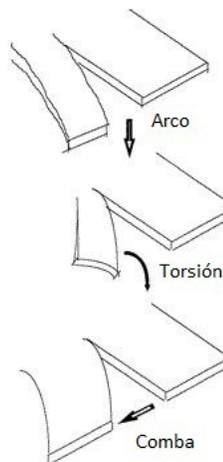
- Comba: este problema hace que la pieza cortada tenga una forma convexa, principalmente se debe a que no hubo suficiente agarre de los pisadores, por lo que se puede reducir asegurando que la pieza quede bien presionada por los mismos.

Figura 23. **Comba**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 475.

Figura 24. **Problemas frecuentes en las piezas cizalladas**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 475.

3.1.2. Plegado

3.1.2.1. Definición de la capacidad instalada de plegado

Se buscó información en la plegadora hidráulica y se recabó la siguiente información:

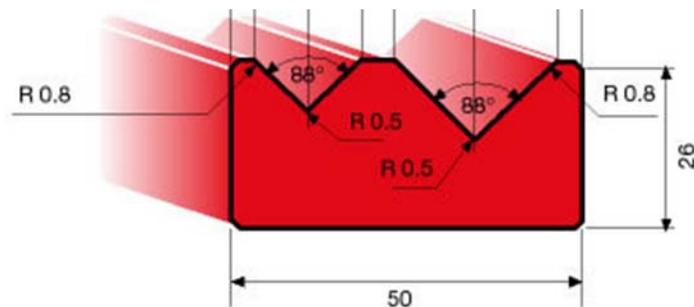
Tabla X. Prensa plegadora hidráulica modelo RG 123

Fuerza	120	Toneladas
con calidad de chapa 40 a 45 Kg/mm ²		
Datos obtenidos por medición:		
Longitud máxima de doblez	3 100	mm
Distancia entre montantes	2 600	mm
Cuello de cisne	400	mm

Fuente: elaboración propia.

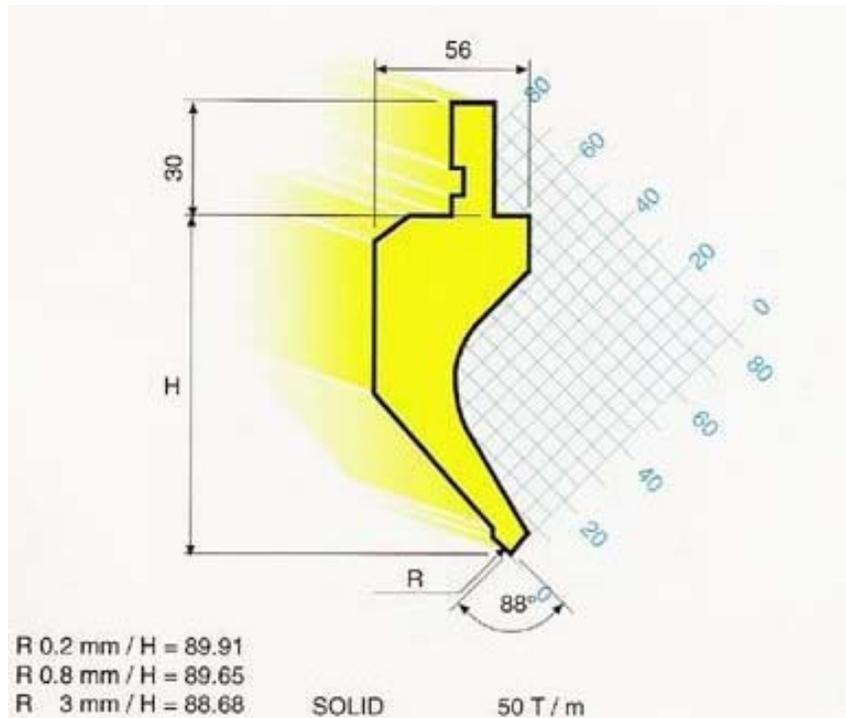
Además se procedió a medir el utillaje, dando las siguientes medidas:

Figura 25. Matriz 16-25



Fuente: MEBUSA. Útiles estándar. p. 3.

Figura 26. **Punzón H**

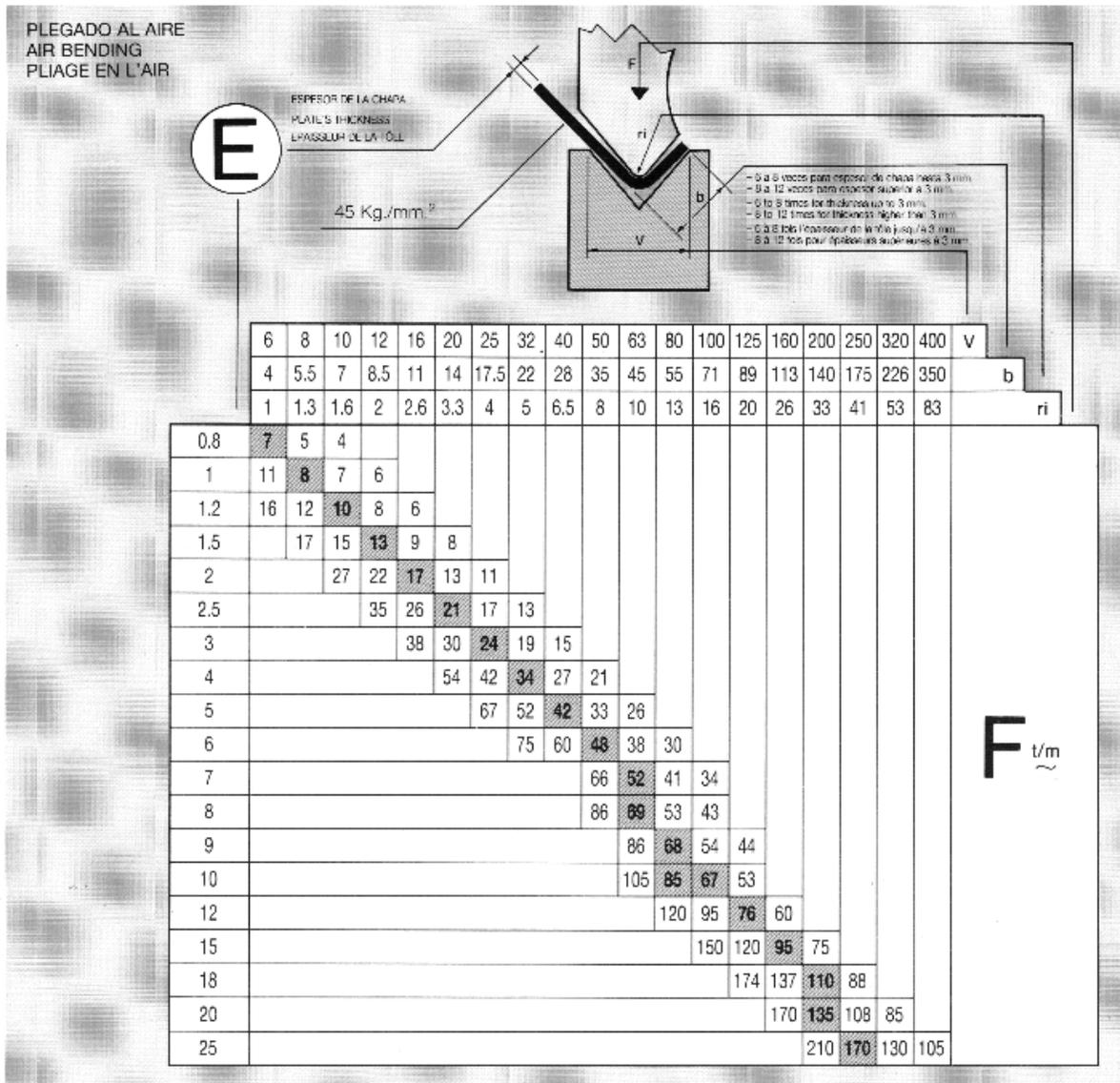


Fuente: MEBUSA. Útiles estándar. p. 3.

En las operaciones de plegado es de suma utilidad la gráfica de plegado, la cual es proporcionada por los fabricantes de prensas plegadoras; esta se muestra a continuación:

Tabla XI. Gráfica de plegado

Abaco de plegado / Bending chart / Abaque de pliage



Fuente: MEBUSA. Útiles estándar. p. 5.

Utilizando la tabla de plegado y las dimensiones tomadas de los útiles, se obtienen los resultados siguientes:

Tabla XII. Tabla de plegado matriz 16

ABERTURA V (mm)	Longitud mínima del borde (mm)	Radio interno (mm)	Espesor del material (mm)	Espesor del material	Fuerza (t/m)
16	11	2,6	2,0		17
16	11	2,6	1,5	1/16"	9
16	11	2,6	1,2	3/64"	6
Nota: Los espesores que se muestran en pulgadas son los equivalentes a las medidas comerciales					

Fuente: elaboración propia.

El lado de la matriz con abertura de 16 mm se puede usar para plegar lámina de acero de hasta 2 mm de espesor; en el sistema inglés, que es como se comercializa en Guatemala, sería de hasta 1/16"; utilizando 9 t/m de fuerza, lo que posibilita utilizar el largo total de plegado de 3 100 mm. El borde mínimo de plegado y el radio interno permanecerían constantes en 11 mm y 2,6 mm, respectivamente.

Tabla XIII. Tabla de plegado matriz 25

ABERTURA V (mm)	Longitud mínima del borde (mm)	Radio interno (mm)	Espesor del material (mm)	Espesor del material	Fuerza (t/m)
25	17,5	4	3,0	1/8"	24
25	17,5	4	2,5	3/32"	17
25	17,5	4	2,0		11
Nota: Los espesores que se muestran en pulgadas son los equivalentes a las medidas comerciales					

Fuente: elaboración propia.

El lado de la matriz con abertura de 25 mm, se puede usar para plegar lámina de acero de hasta 3 mm de espesor, en el sistema inglés, que es como se comercializa en Guatemala, sería de hasta 1/8"; utilizando 24 t/m de fuerza lo que posibilita utilizar el largo total de plegado de 3 100 mm. El borde mínimo de plegado y el radio interno permanecerían constantes en 17,5 mm y 4 mm, respectivamente.

Como se puede apreciar en el análisis anterior, en ninguno de los casos se utiliza la capacidad total de la plegadora, que es de 120 toneladas. A continuación se hace el ejercicio anterior para tratar de encontrar cuál sería el espesor máximo a plegar, dadas las 120 toneladas que la plegadora provee.

Tabla XIV. **Tabla de plegado matriz 50**

ABERTURA V (mm)	Longitud mínima del borde (mm)	Radio interno (mm)	Espesor del material (mm)	Espesor del material	Fuerza (t/m)
50	35	8	6	1/4"	48
50	35	8	5	3/16"	33
50	35	8	4		21
Nota: Los espesores que se muestran en pulgadas son los equivalentes a las medidas comerciales					

Fuente: elaboración propia.

En el cuadro anterior se puede ver que al escoger una matriz con una abertura de uve de 50 mm, se podrían plegar láminas de acero de hasta 5 mm (3/16") en un largo de 3 100 mm y hasta 6 mm (1/4"), en un largo de 2 500 mm. En el primer caso, utilizando una capacidad de 102 toneladas y en el segundo, la capacidad máxima de 120 toneladas.

Si se quisiera plegar lámina de acero de 6.35 mm (1/4") utilizando la longitud total de plegado, 3,100 mm, el análisis sería el siguiente:

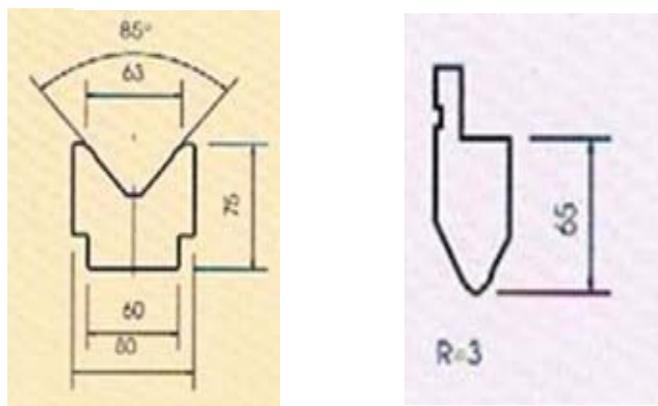
Tabla XV. **Tabla de plegado matriz 63**

ABERTURA V (mm)	Longitud mínima del borde (mm)	Radio interno (mm)	Espesor del material (mm)	Espesor del material	Fuerza (t/m)
63	45	10	7		52
63	45	10	6	1/4"	38
63	45	10	5	3/16"	26

Fuente: elaboración propia.

Si se utiliza una matriz con abertura de uve de 63 mm, se necesitaría una fuerza de plegado de 118 toneladas para plegar lámina de acero de espesor 6 mm (1/4") a lo largo de 3 100 mm; se estaría llevando la plegadora hidráulica a su capacidad total. La insistencia del por qué utilizar la longitud total de plegado es porque las longitudes de las láminas de acero más usuales en Guatemala son de 2 440 mm (96 pulgadas) y 3 050 mm (120 pulgadas). Lo que se estaría buscando es aprovechar las láminas de acero de hasta 3 100 mm en toda su extensión. En este caso se tendrían que utilizar los útiles que se muestran a continuación:

Figura 27. **Matriz y punzón 63**



Fuente: MEBUSA. Útiles estándar. p. 6.

Si se quisiera plegar lámina de acero más gruesa, se tendría el siguiente análisis:

Tabla XVI. **Tabla de plegado matriz 80**

ABERTURA V (mm)	Longitud mínima del borde (mm)	Radio interno (mm)	Espesor del material (mm)	Espesor del material	Fuerza (t/m)
80	55	13	10	3/8"	85
80	55	13	9		68
80	55	13	8	5/16"	53
Nota: Los espesores que se muestran en pulgadas son los equivalentes a las medidas comerciales					

Fuente: elaboración propia.

Con una matriz con abertura de uve de 80 mm se podría plegar lámina de acero de hasta 10 mm (3/8") en una longitud de plegado de 1 410 mm, con un borde mínimo de 55 mm y un radio interno de 13 mm. Una vez más lo que se busca es lograr plegar las medidas de lámina de acero más comerciales, estas son 1 220 mm X 2 440 mm y 1 220 mm X 3 050 mm; en este caso se podría ofrecer el plegado en 9,5 mm (3/8") y 7,9 mm (5/16") a lo ancho de la lámina de acero, sin exceder la capacidad de 120 t de la plegadora.

3.1.2.2. Factores a tomar en cuenta

Antes de empezar la operación de plegado hay que definir algunas variables que ayudarán a utilizar el equipo de mejor forma:

- Material a plegar: este deberá ser acero estructural ASTM A 36, con las propiedades mecánicas descritas arriba.

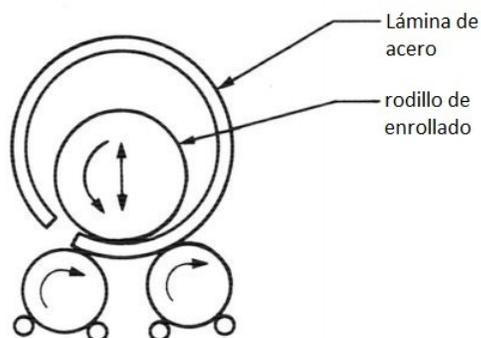
- **Espesor:** el espesor del material está determinado por el utillaje disponible y la fuerza de la prensa plegadora, en este caso 120 t.
- **Largo:** el largo máximo de plegado es de 3 100 mm.
- **Medidas:** debido a que el espesor del material suma a las dimensiones finales de las piezas, es importante definir si las dimensiones de las piezas son internas o externas.

3.1.3. Enrollado

3.1.3.1. Definición de la capacidad instalada de enrollado

Las máquinas enrolladoras de lámina de acero de tres rodillos en disposición piramidal, tienen un rodillo superior montado entre los dos rodillos inferiores. Los rodillos inferiores no se pueden ajustar. El rodillo superior se ajusta verticalmente para controlar el diámetro del cilindro que se va a conformar. Los dos rodillos inferiores son seguidores y el rodillo superior rota al contacto con la lámina de acero.

Figura 28. **Máquina enrolladora de tres rodillos distribución piramidal**



Fuente: SME. Tool and manufacturing engineers handbook. p. 478.

De la placa de información en la máquina y de algunas medidas, se tiene lo siguiente:

Tabla XVII. **Capacidad de enrollado**

Longitud máxima de enrollado	2 550	mm
Espesor máximo	16	mm
para acero estructural con límite de fluencia de 24 kg/mm ²		
Ø del rodillo superior	275	mm
Ø de los rodillos inferiores	235	mm

Fuente: elaboración propia.

3.1.3.2. Factores a tomar en cuenta

Antes de empezar la operación de enrollado hay que definir algunas variables que ayudarán a utilizar el equipo de mejor forma:

- Diámetro: el diámetro máximo está en función de lo que sea práctico de maniobrar, mientras que el diámetro mínimo que se puede enrollar está en función del diámetro del rodillo superior de la siguiente forma:

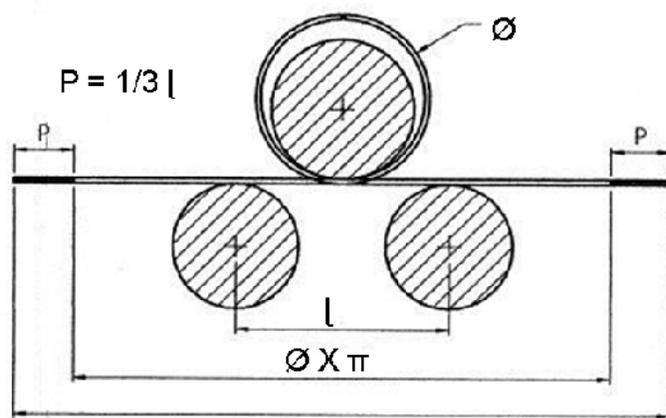
Por lo que se obtiene lo siguiente:

Ø del rodillo superior igual a: 275 mm

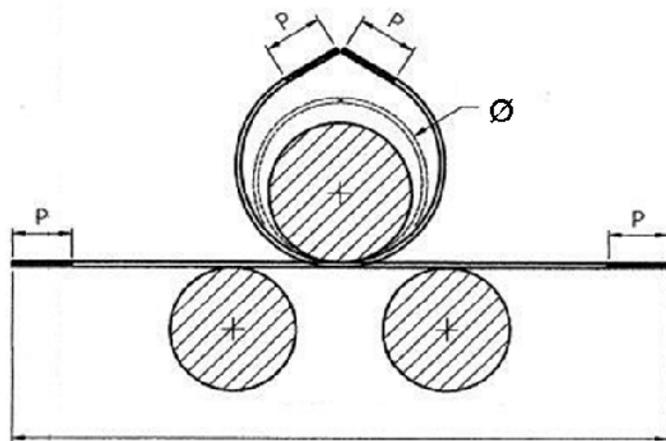
Ø mínimo obtenible igual a: 385 mm
en acero ASTM A36

- Largo: el largo máximo a enrollar será de 2 550 mm según la información proporcionada por el fabricante. Para el caso del enrollado de conos, este largo disminuye en 25 % o sea que el largo máximo es de 1 912 mm. Si se trata de encontrar a qué equivaldría en las medidas de lámina de acero que se comercializa usualmente en Guatemala, se diría que puede enrollarse lámina de acero para formar un cilindro con altura máxima de 2 440 mm (96”).
- Espesor: el espesor máximo de lámina de acero que se puede enrollar es de 16 mm, equivalente a 5/8” en el Sistema Inglés.
- Material a enrollar: de acuerdo con la información del fabricante de la máquina, las especificaciones están dadas para un acero con esfuerzo de fluencia de 24 kg/mm², que es el acero estructural ASTM A-36, que se ha mencionado anteriormente.
- Problemas recurrentes: como se mencionó anteriormente, esta máquina enrolladora es del tipo piramidal de tres rodillos; el nombre piramidal viene de la disposición de los rodillos. Estas máquinas no tienen el doblado inicial, por lo que los primeros milímetros en ambas puntas no serán enrollados, permanecerán planos. Esta parte plana inicial es igual al segmento rectilíneo tangente a los dos rodillos, cuando el rodillo superior está más cerca de los rodillos inferiores. En la práctica, esta parte inicial que no se enrolla es igual a un tercio de la distancia entre centros de los rodillos inferiores, como se muestra en la figura siguiente.

Figura 29. Solución de "P"



$$\varnothing X \pi + 2P$$



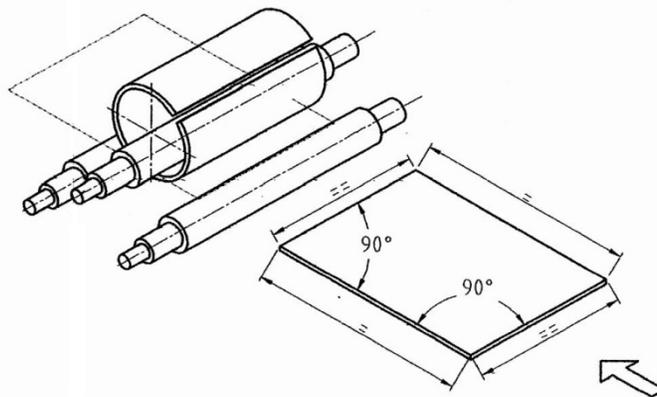
$$\varnothing X \pi + 2P$$

Fuente: PENTIRI. Manual de operación. p. 25.

La forma de salirle al paso a este problema es agregarle al desarrollo del cilindro una longitud igual a dos veces "P" para cortarla luego antes de cerrar el cilindro enrollado. Otra solución posible es doblar los extremos de la pieza a enrollar en una plegadora tratando de darle la curvatura deseada.

Otro problema que se presenta frecuentemente es que el cilindro enrollado no sea un cilindro perfecto debido a que no se preparó adecuadamente la pieza inicial a cilindrar; la pieza inicial debe ir escuadrada en sus cuatro esquinas y tener lados paralelos como se muestra en la figura.

Figura 30. **Escuadrado de lámina**



Fuente: PENTIRI. Manual de operación. p. 22.

3.2. **Controles**

Conociendo la importancia que la pieza final satisfaga las expectativas del cliente y llene la función para la cual fue diseñada, pero que a la vez sea un procedimiento sencillo que pueda ser ejecutado por personal de ventas, que no necesariamente sea técnico en la conformación de piezas de lámina de acero,

se diseñó una forma que en una misma hoja presente todos los detalles de las piezas a conformar, que además sirva para que quien las solicite, pueda firmar para expresar su acuerdo con lo allí estipulado y tenga el visto bueno del jefe de taller, de que las piezas se conformaron según lo solicitado.

Es importante hacer énfasis en la correcta elaboración de la orden de trabajo, ya que si se incurre en errores, estos son demasiado costosos; la lámina de acero es cara, y generalmente no se puede arreglar o reparar, sino que hay que hacer las piezas defectuosas, desde el principio nuevamente.

3.2.1. Recepción de trabajos

En esta operación se deben llenar en la orden de trabajo los siguientes campos:

- Vendedor: se anota el nombre del vendedor responsable de la venta.
- Fecha: se anota la fecha de elaboración de la orden de trabajo.
- Nombre: se anota el nombre de la persona o empresa que solicita la orden de trabajo.
- Descripción del material que se va a trabajar: se especifica el material a trabajar dando su espesor, ancho y largo; en las casillas C _____, D _____, R _____ se marca si las piezas que se van a conformar tienen operaciones de cizallado C, plegado o dobléz D y enrollado o rolado R; en el espacio vacío a su derecha, se especifica la cantidad de operaciones respectivas.

- Diagrama de trabajo: se dibujan las piezas acotadas y los diagramas de cizallado, plegado y/o enrollado.
- Firma: el solicitante, cliente, firma de conformidad con los diagramas de trabajo.
- No. de factura: una vez se tienen los datos de operaciones y material a conformar, se procede a la facturación para poder trasladar el material de bodega al taller de conformado.

3.2.2. Entrega de trabajos

El jefe de taller ha participado en todo el proceso, desde la recepción del material a conformar con la copia de la factura y la orden de trabajo, hasta la finalización de la pieza ya conformada. Sin embargo, antes de firmar el visto bueno de la orden de trabajo, debe confirmar lo siguiente:

- Dimensiones de la pieza conformada.
- Número de piezas útiles.
- Número de piezas sobrantes.
- Número de operaciones.
- Cotejar el material y las operaciones facturadas con las efectuadas realmente.

Luego de la verificación y realizadas las rectificaciones necesarias, se entregan las piezas conformadas, estampando el sello de entregado y solicitando la firma de quien recibe.

Se procede a archivar la orden de trabajo para futura referencia.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL MEJORAMIENTO EN EL USO DEL EQUIPO DE CIZALLADO, PLEGADO Y ENROLLADO DE LÁMINAS DE ACERO

Se ha observado que la mayoría de información con que se cuenta de los fabricantes de las máquinas está dada en dimensiones del Sistema Métrico, sin embargo es de uso común entre quienes comercializan lámina de acero estructural y quienes la utilizan, el uso del Sistema Inglés para designar las dimensiones del material a conformar; es por eso que se presentan inicialmente las equivalencias entre ambos sistemas.

Tabla XIX. **Designación A. S. T. M. A-36**
sistema métrico y sistema inglés

Esfuerzo de fluencia mínima	Esfuerzo especificado de ruptura en tensión	Porcentaje de alargamiento mínimo en perfiles	Porcentaje de alargamiento mínimo en placas y barras
Kg/mm²	Kg/mm²	2" ...21%	2" ...23%
25.31	40.78 a 56.25	8" ...20%	8" ...20%
1000 lb/pulg²	1000 lb/pulg²	2" ...21%	2" ...23%
36	58 a 80	8" ...20%	8" ...20%

Fuente: elaboración propia

Tabla XX. **Equivalencias entre sistema métrico y sistema inglés**

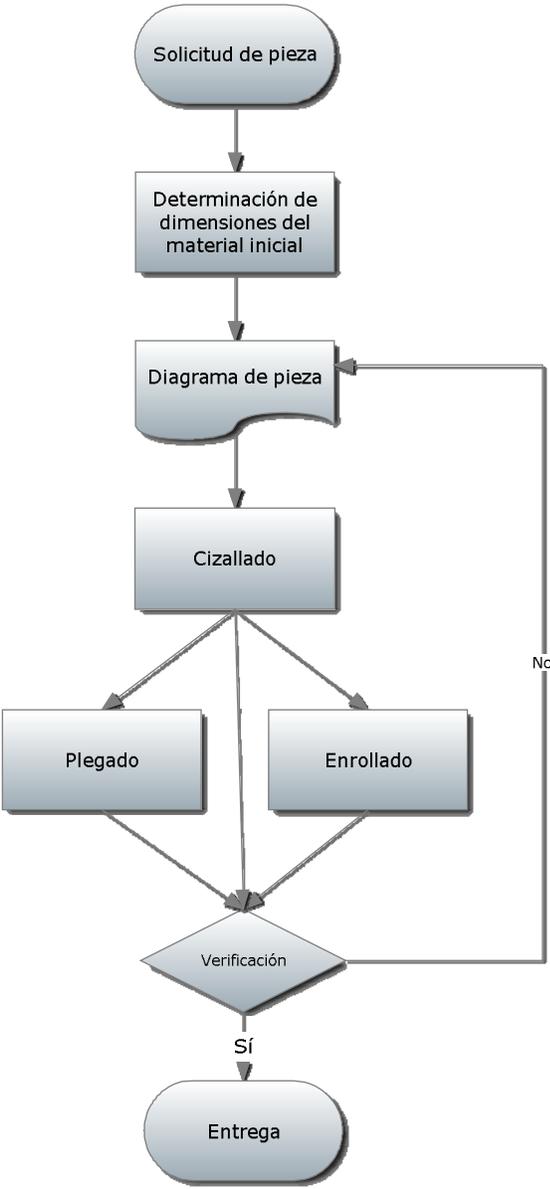
LÁMINA DE ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-36							
SISTEMA MÉTRICO				SISTEMA INGLÉS			
espesor (mm)	ancho (mm)	largo (mm)	peso (kg)	espesor (pulgadas)	ancho (pulgadas)	largo (pulgadas)	peso (lb)
0.79	910	2,440	13.89	1/32	36	96	30.63
0.79	1,220	2,440	18.52	1/32	48	96	40.84
0.79	1,220	3,050	23.16	1/32	48	120	51.05
1.59	910	2,440	27.79	1/16	36	96	61.26
1.59	1,220	2,440	37.05	1/16	48	96	81.68
1.59	1,220	3,050	46.31	1/16	48	120	102.10
2.38	910	2,440	41.68	3/32	36	96	91.89
2.38	1,220	2,440	55.57	3/32	48	96	122.52
2.38	1,220	3,050	69.47	3/32	48	120	153.14
3.18	910	2,440	55.57	1/8	36	96	122.52
3.18	1,220	2,440	74.10	1/8	48	96	163.35
3.18	1,220	3,050	92.62	1/8	48	120	204.19
3.18	1,829	6,096	277.86	1/8	72	240	612.58
4.76	910	2,440	83.36	3/16	36	96	183.77
4.76	1,220	2,440	111.15	3/16	48	96	245.03
4.76	1,220	3,050	138.93	3/16	48	120	306.29
4.76	1,829	6,096	416.79	3/16	72	240	918.86
6.35	910	2,440	111.15	1/4	36	96	245.03
6.35	1,220	2,440	148.19	1/4	48	96	326.71
6.35	1,220	3,050	185.24	1/4	48	120	408.38
6.35	1,829	6,096	555.73	1/4	72	240	1,225.15
7.94	910	2,440	138.93	5/16	36	96	306.29
7.94	1,220	2,440	185.24	5/16	48	96	408.38
7.94	1,220	3,050	231.55	5/16	48	120	510.48
7.94	1,829	6,096	694.66	5/16	72	240	1,531.44
9.53	910	2,440	166.72	3/8	36	96	367.55
9.53	1,220	2,440	222.29	3/8	48	96	490.06
9.53	1,220	3,050	277.86	3/8	48	120	612.58
9.53	1,829	6,096	833.59	3/8	72	240	1,837.73
12.70	910	2,440	222.29	1/2	36	96	490.06
12.70	1,220	2,440	296.39	1/2	48	96	653.41
12.70	1,220	3,050	370.48	1/2	48	120	816.77
12.70	1,829	6,096	1,111.45	1/2	72	240	2,450.30
15.88	910	2,440	277.86	5/8	36	96	612.58
15.88	1,220	2,440	370.48	5/8	48	96	816.77
15.88	1,220	3,050	463.10	5/8	48	120	1,020.96
15.88	1,829	6,096	1,389.31	5/8	72	240	3,062.88
19.05	910	2,440	333.44	3/4	36	96	735.09
19.05	1,220	2,440	444.58	3/4	48	96	980.12
19.05	1,220	3,050	555.73	3/4	48	120	1,225.15
19.05	1,829	6,096	1,667.18	3/4	72	240	3,675.46

Fuente: MEBUSA. Accesorios. p. 8.

4.1. Diagrama de flujo de operaciones

A continuación se presenta el diagrama de flujo de las operaciones.

Figura 31 **Diagrama de flujo de las operaciones**



Fuente: elaboración propia

4.2. Operación del equipo de cizallado

De acuerdo con el flujo de operaciones definido anteriormente, se procede a definir cada una de las operaciones.

4.2.1. Solicitud de la pieza

Es la operación en la que el cliente explica al jefe de taller qué es lo que necesita, ya sea con una muestra, con un dibujo o una pieza donde debe ensamblar y se determina el material de donde se debe partir para conformar la pieza.

4.2.2. Diagrama de la pieza

Esta operación consiste en hacer un diagrama de la pieza con todas sus dimensiones y características deseadas. Es aquí donde se debe tomar en cuenta la capacidad de la cizalla, que adaptándola a las medidas comerciales de la lámina de acero quedaría de la siguiente forma:

Tabla XXI. **Longitud de cizallado en pulgadas**

TIPO 3100 A 12	
Datos para lámina de acero ASTM A-36	
Con esfuerzo de ruptura entre 58 y 80 kpsi	
espesor	Longitud máxima de corte (pulgadas)
≤ 3/8"	120
1/2"	96
5/8"	72

Fuente: elaboración propia.

Si es posible ejecutar la pieza solicitada, entonces se pasa a la operación siguiente.

4.2.3. Cizallado

Lo primero que se debe realizar es el diagrama de corte de la pieza solicitada, especificando lo siguiente:

- Dimensiones de la lámina de donde se debe partir
- Número de operaciones que van a llevarse a cabo
- Número de piezas útiles
- Número de sobrantes

Luego se ajusta la cizalla hidráulica de la siguiente forma:

- Cambio de ángulo de cizallado: una vez determinado el espesor de la lámina de acero a cizallar se escoge el ángulo de cizallado requerido.

Tabla XXII. **Ángulo de cizallado (pulgadas)**

ÁNGULO	ESPESOR (pulgadas)
A	$1/32 \leq e \leq 3/32$
B	$3/32 \leq e \leq 3/16$
C	$3/16 \leq e \leq 3/8$
D	$3/8 \leq e \leq 5/8$

Fuente: elaboración propia.

- Ajuste del juego entre cuchillas: una vez más, utilizando el espesor de la lámina de acero que se va a cizallar se obtiene de la tabla que define el juego entre cuchillas, el correspondiente a ese espesor.

Tabla XXIII. **Juego entre cuchillas (pulgadas)**

ESPESOR (pulgadas)	JUEGO ENTRE CUCHILLAS (pulgadas)
1/32 \square e \leq 3/32	0.0063
3/32 \square e \leq 3/16	0.0118
3/16 \square e \leq 1/4	0.0189
1/4 \square e \leq 3/8	0.0252
3/8 \square e \leq 1/2	0.0378
1/2 \square e \leq 5/8	0.0504
5/8 \square e \leq 3/4	0.0598

Fuente: elaboración propia.

- Acciones importantes:
 - Antes de proceder al cizallado, se deben limpiar las cuchillas y aceitar la cuchilla inferior con aceite de alta presión; como resultado del corte la cuchilla superior se aceitará.
 - No cizallar nunca sin que la pieza que se va a cortar, esté bien sujeta por los pisadores.
 - No cizallar nunca una pieza de anchura inferior al espesor de la lámina de acero.

- Evitar cortar láminas de acero que hayan sido cortadas con oxiacetileno previamente.
- Se procede a efectuar el cizallado

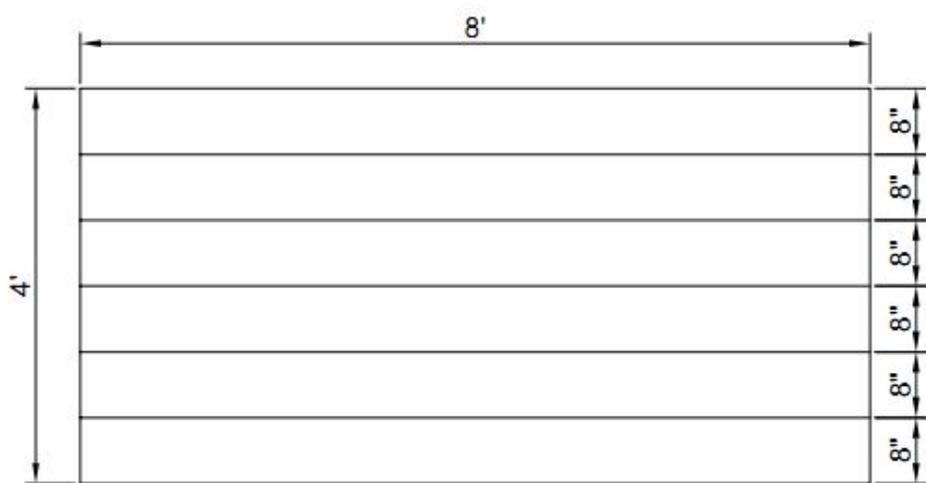
4.2.4. Verificación

Se procede a la medición de las dimensiones de la pieza cortada y se coteja con el diagrama de corte y el diagrama de la pieza; si es aceptada, se pasa para la entrega al cliente y si no es aceptada, se regresa para su corrección.

4.2.5. Ejemplos

En las páginas siguientes se incluye el análisis de costo y los diversos modelos de las órdenes de trabajo, de acuerdo con el diagrama solicitado.

Tabla XXIV. Orden de trabajo número 1 000

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1525
HOJA No. 1 DE 1	NOMBRE: Especialistas en aceros	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR <input checked="" type="checkbox"/> C _____ <input type="checkbox"/> D _____ <input type="checkbox"/> R _____		
5 Láminas negras de 1/8" X 4' X 8'		
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 25
 <p style="text-align: center;">5 Láminas Negras 1/8" X 4' X 8'</p> <p style="text-align: center;">Piezas: 30 planos de 1/8" X 8" X 96"</p>		
FIRMA _____ Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____		

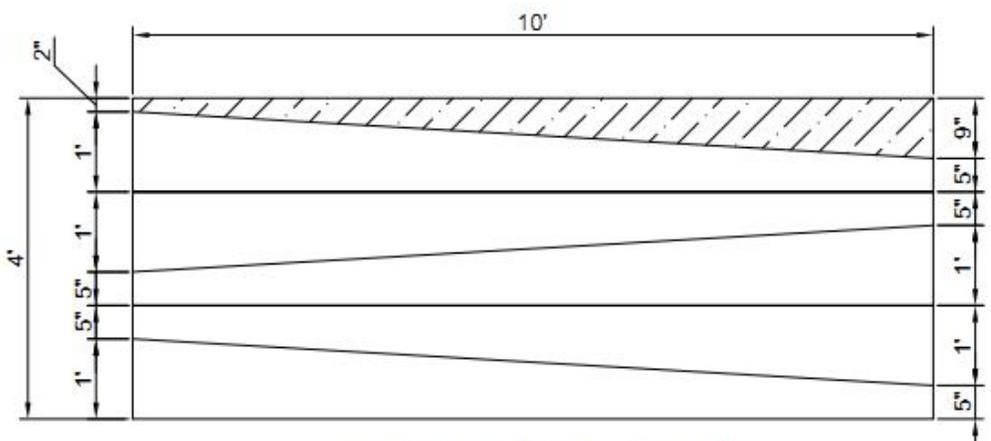
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Análisis de costos de orden de trabajo 1 000**

No. de orden de trabajo	1 000
Cliente	Especialistas en aceros, S. A.
Descripción de la lámina usada	1/8" X 4' X 8'
Cantidad	5
Peso (Lb)	816,75
Costo (Q)	3 267,00
Piezas:	30
Peso por pieza (Lb)	27,23
Costo por pieza (Q)	108,90
No. de cortes	25
Costo de cortes (Q)	250
Costo por pieza terminada (Q)	117,23

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. Orden de trabajo número 1 005

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1530
HOJA No. 1 DE 1	NOMBRE: JCM Estructuras	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/>		
7 Láminas negras de 3/8" X 4' X 10'		
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 35
 <p style="text-align: center;">7 Láminas Negras 3/8" X 4' X 10'</p> <p style="text-align: center;">Piezas: 35 cartelas de 3/8" X 12" X 5" X 120" Sobrantes: 1 cartela de 3/8" X 9" X 2" X 120"</p>		
FIRMA _____ Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. Orden de trabajo número 1 010

VENDEDOR:	Mario Huitz	FECHA:	19/03/2011	No. DE FACTURA	P1535
HOJA No.	1	DE	1	NOMBRE:	Estructuras CT
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR					
C <input checked="" type="checkbox"/> _____ D <input type="checkbox"/> _____ R <input type="checkbox"/> _____					
3 Láminas negras de 1/4" X 4' X 10'					
DIAGRAMA DE TRABAJO			No. DE OPERACIONES 27		
<p>3050</p> <p>medidas en mm</p> <p>1220</p> <p>2650 400</p>					
3 Láminas Negras de 1/4" X 4' X 8'					
Piezas: 24 planos de 1/4" X 150 mm X 2,650 mm					
Sobrantes: 3 plano de 1/4" X 20 mm X 2,650 mm					
3 plano de 1/4" X 400 mm X 1,220 mm					
FIRMA _____ Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____					

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. Orden de trabajo número 1 012

VENDEDOR:		FECHA:	19/03/2011	No. DE FACTURA	P1536
HOJA No.	1	DE	1	NOMBRE:	Estructuras metalicas
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR <input checked="" type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> R					
3 Láminas negras de 1/4" X 6' X 20'					
DIAGRAMA DE TRABAJO			No. DE OPERACIONES 33		
medidas en mm				cortes a 6.10 m de largo	
				3 Láminas Negras 1/4" X 6' X 20'	
FIRMA _____		_____			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIX. Orden de trabajo número 1 014

VENDEDOR:	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1538
HOJA No. 1 DE 1	NOMBRE:	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR <input checked="" type="checkbox"/> C _____ <input type="checkbox"/> D _____ <input type="checkbox"/> R _____		
1 Láminas negras de 3/16" X 4' X 10'		
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 40
1 Lamina Negra 3/16" X 4' X 10'		
FIRMA _____ Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____		

Fuente: elaboración propia.

4.3. Operación del equipo de plegado

A diferencia de lo que sucede con el cizallado que puede ser una operación aislada, en el plegado casi siempre se parte de una pieza previamente cortada.

4.3.1. Solicitud de la pieza

Es la operación en la que el cliente explica al jefe de taller qué es lo que necesita ya sea con una muestra, con un dibujo o una pieza donde debe ensamblar y se determina el material de donde se debe partir para conformar la pieza.

Es importante tomar en cuenta que:

- La lámina de acero sea conforme la norma ASTM A36
- La lámina de acero no sea cortada con oxiacetileno previamente
- El largo de la pieza no exceda las 120 pulgadas de largo

4.3.2. Diagrama de la pieza

Esta operación consiste en hacer un diagrama de la pieza con todas sus dimensiones; en el plegado es importante tomar en cuenta si las dimensiones son internas o externas, ya que de esto dependerá el cálculo de las dimensiones de la pieza que se va a cortar.

También se debe tomar en cuenta la capacidad de la plegadora hidráulica y de su utillaje determinado anteriormente, que en resumen sería:

Tabla XXX. **Longitud de plegado en pulgadas**

MODELO RG 123	
Datos para lámina de acero ASTM A-36	
Con esfuerzo de fluencia mínima de 36 kpsi	
espesor	Longitud máxima de plegado (pulgadas)
≤ 1/8"	120
3/16"	120
1/4"	96
3/8"	48

Fuente: elaboración propia.

La fuerza que ejerce la plegadora hidráulica es suficiente como para doblar la lámina de acero de 3/8" de espesor; la limitante aquí son los utillajes disponibles, ya que como se vio anteriormente, solo se puede plegar lámina de hasta 1/8" de espesor, en un largo de 120".

4.3.3. Plegado

En el diagrama de plegado de la pieza solicitada se debe especificar:

- Dimensiones de la pieza cortada de donde se debe partir.
- Dimensiones de la pieza que se va a plegar, especificando los espesores.
- Número de operaciones que se llevarán a cabo.
- Número de piezas.

La plegadora hidráulica se debe ajustar de la siguiente forma:

- Elección del utillaje a usar: según las tablas definidas anteriormente, usando el espesor de la lámina de acero que va a plegarse, se escoge la abertura “V” de la matriz, de donde se obtiene el radio interno de plegado, así como la longitud mínima de borde (ver tablas XII y XII).
- Regulación de la fuerza según la tabla de plegado

Usando la tabla de plegado (ver tabla XI) se introduce el espesor de la lámina de acero que se va a plegar y la abertura de la matriz para encontrar las fuerzas de plegado; en la tabla de plegado se muestra resaltada la fuerza óptima que permite plegar sin peligro de ruptura del material. Se regula la fuerza en la plegadora hidráulica.

Se procede al plegado de la lámina de acero.

4.3.4. Verificación

Se procede a la medición de las dimensiones de la pieza plegada y se coteja con el diagrama de la pieza; asimismo, se verifican los ángulos; si es aceptada, se pasa para la entrega al cliente y si no es aceptada, se regresa para su corrección.

4.3.5. Ejemplos

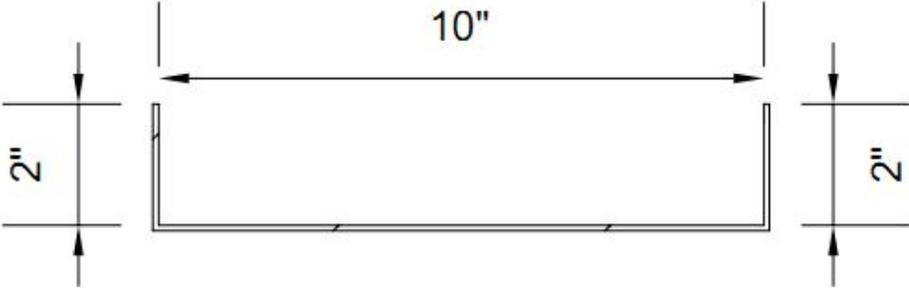
En las páginas siguientes se incluye el análisis de costo y los diversos modelos de las órdenes de trabajo, de acuerdo con el diagrama solicitado.

Tabla XXXI. Orden de trabajo número 1 025

VENDEDOR:	Mario Huitz	FECHA:	19/03/2011	No. DE FACTURA	P1540
HOJA No.	1	DE	2	NOMBRE:	Especialistas en aceros
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR	C <input checked="" type="checkbox"/> 8 D <input checked="" type="checkbox"/> 12 R <input type="checkbox"/> _____				
2 Láminas negras de 3/32" X 4' X 8'					
DIAGRAMA DE TRABAJO	No. DE OPERACIONES 20				
<p>The diagram shows a rectangular metal plate with a total length of 96 inches and a total width of 48 inches. On the left side, there are four vertical folds, each 2 inches wide and 14 inches apart, with a 6-inch margin at the bottom. A horizontal cut line is shown 6 inches from the bottom edge. A 6-inch margin is also shown at the right edge. A hatched area at the bottom right indicates a cut-off section. A dashed line indicates a fold, and a solid line indicates a cut.</p>					
<p>2 Láminas de $\frac{3}{32}$" X 4' X 8'</p> <p>Piezas: 6 planos de $\frac{3}{32}$" X 14" X 90"</p> <p>Sobrantes: 2 planos de $\frac{3}{32}$" X 6" X 48"</p> <p>2 planos de $\frac{3}{32}$" X 6" X 90"</p>					
FIRMA	_____	Vo. Bo.	_____	VENDEDOR	_____

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. Orden de trabajo número 1 026

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1540
HOJA No. 2 DE 2	NOMBRE: Especialistas en aceros	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> _____ D <input checked="" type="checkbox"/> _____ R <input type="checkbox"/> _____		
2 Láminas negras de 3/32" X 4' X 8'		
DIAGRAMA DE TRABAJO	No. DE OPERACIONES	20
 <p>Hacer seis piezas en lámina de 3/32" X 90" de largo</p>		
FIRMA _____ Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____		

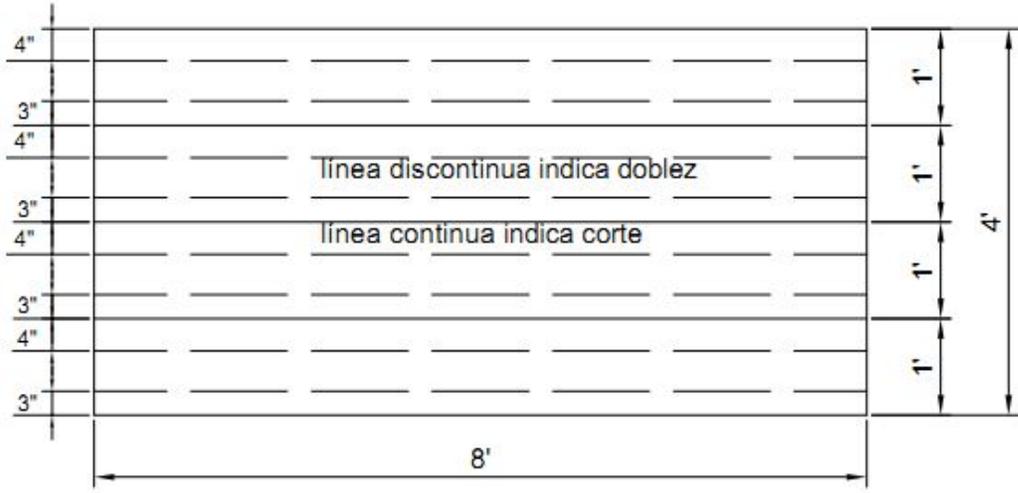
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Análisis de costos de orden 1 025**

No. de orden de trabajo	1 025 / 1 026
Cliente	Especialistas en aceros, S. A.
Descripción de la lámina usada	3/32" X 4' X 8'
Cantidad	2
Peso (Lb)	245,00
Costo (Q)	980,00
Piezas:	6
Peso por pieza (Lb)	40,83
Costo de material por pieza (Q)	163,33
No. de cortes	8
Costo de cortes (Q)	80
No. de dobleces	12
Costo de dobleces (Q)	144
Costo por pieza terminada (Q)	200,67

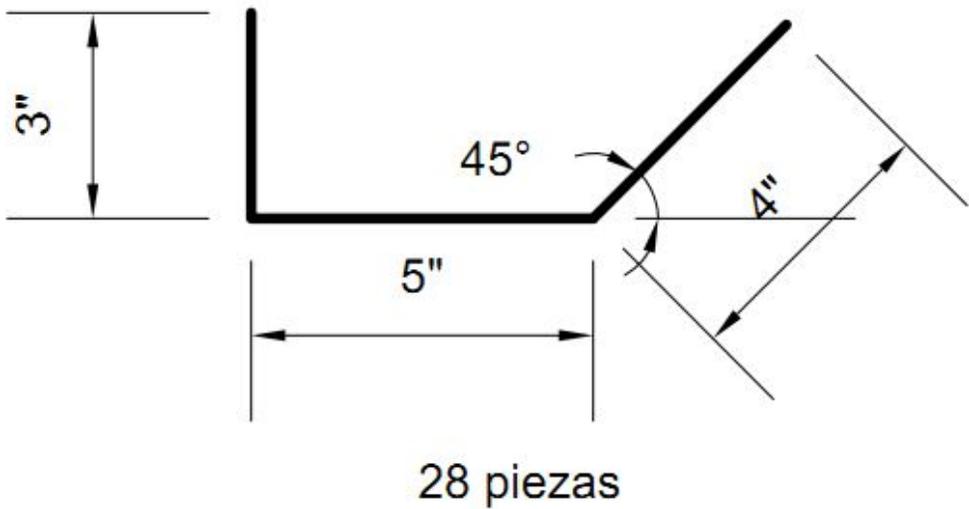
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. Orden de trabajo número 1 027

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1545
HOJA No. 1 DE 2	NOMBRE: Techos universales	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> 21 D <input checked="" type="checkbox"/> 56 R <input type="checkbox"/>		
7 Láminas galvanizadas 4' X 8' calibre 26		
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 77
 <p>The diagram shows a vertical stack of 7 horizontal sheets. The total height is 4 feet. Each sheet is 8 feet long. The sheets are separated by 1-foot gaps. On the right side, a vertical dimension line indicates the total height of 4 feet, with four 1-foot segments. On the left side, vertical dimension lines indicate the thickness of each sheet and gap: 4", 3", 4", 3", 4", 3", 4", 3". A dashed line across the middle sheets is labeled 'línea discontinua indica dobléz' (discontinuous line indicates fold), and a solid line is labeled 'línea continua indica corte' (continuous line indicates cut).</p>		
7 Láminas galvanizadas 4' X 8' Calibre 26		
Piezas: 28 planos de 1' calibre 26		
FIRMA _____ Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____		

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXV. Orden de trabajo número 1 028

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA/
HOJA No. 2 DE 2	NOMBRE: Techos universales	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR <input checked="" type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> R		
7 Láminas galvanizadas 4' X 8' calibre 26		
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 77
 <p>28 piezas</p>		
FIRMA _____	Vo. Bo. _____	VENDEDOR _____

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVI. Orden de trabajo número 1 029

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1546
HOJA No. 1 DE 1	NOMBRE: Multigranos	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR <input checked="" type="checkbox"/> C <input checked="" type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> R		
10 Láminas negras de 3/32" X 4' X 10'		
DIAGRAMA DE TRABAJO	No. DE OPERACIONES	5
medidas en pulgadas		
10 Láminas negras de $\frac{3}{32}$ " X 4' X 10'		
Piezas: 20 piezas de $\frac{3}{32}$ " X 48" X 60"		
FIRMA _____	Vo. Bo. _____	VENDEDOR _____

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. Orden de trabajo número 1 030

VENDEDOR: Mario Huitz		FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1546
HOJA No. 1	DE	NOMBRE: Multigranos	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> D <input checked="" type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/>			
10 Láminas negras de 3/32" X 4' X 10'			
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES	5
20 piezas de 3/32" X 60" de largo			
FIRMA _____		Vo. Bo. _____	VENDEDOR _____

Fuente: elaboración propia.

- El cliente solicita un cilindro especificando el diámetro y la altura

Se parte de la fórmula de perímetro de un cilindro:				
$P = \pi \times \emptyset$				
donde:				
P es el perímetro del cilindro				
\emptyset es el diámetro del cilindro				

4.4.2. Diagrama de la pieza

Aquí se hace un diagrama del cilindro que va a conformarse, especificando el diámetro, la altura y su perímetro. Las limitantes en este caso vienen dadas en la siguiente tabla:

Tabla XXXVIII. **Datos técnicos de enrolladora de lámina**

Longitud máxima de enrollado	100	pulgadas
Espesor máximo	5/8	pulgadas
para acero estructural con límite de fluencia de 36 kpsi		
\emptyset mínimo a enrollar	15	pulgadas
\emptyset máximo a enrollar	88	pulgadas

Fuente: elaboración propia.

El diámetro máximo se define en función de lo que sea práctico manipular; por experiencia se sabe que un cilindro con diámetro de hasta 2 440 mm (96") es manipulable con los montacargas, en los espacios por donde debe moverse y en los camiones para la entrega. Arriba de ese diámetro aun cuando sea posible conformarse, debe evitarse.

Este diámetro máximo está pensado para un espesor de lámina de acero de 6,35 mm (1/4"); para espesores de lámina de acero mayores a este, se reduce en proporción al peso adicional.

4.4.3. Enrollado

En el diagrama de enrollado de la pieza solicitada se debe especificar:

- Dimensiones de la pieza cortada de donde se debe partir.
- Dimensiones de la pieza que se va a enrollar.
- Número de piezas.
- Verificar el paralelismo y escuadre de los lados.
- Corregir los extremos planos doblando en la plegadora la longitud "P", en ambos lados de acuerdo a la curvatura deseada.

La enrolladora hidráulica se debe ajustar de la siguiente forma:

- Alinear el extremo de la lámina con el rodillo inferior.
- Aplicar fuerza con el rodillo superior para que exista arrastre.

Se procede al enrollado incrementando la fuerza que ejerce el rodillo superior en las diferentes pasadas, hasta lograr la curvatura deseada.

4.4.4. Verificación

Se procede a la medición de las dimensiones de la pieza enrollada y se coteja con el diagrama de la pieza; si es aceptada, se pasa para la entrega al cliente y si no es aceptada, se regresa para su corrección.

4.4.5. Ejemplos

A continuación se presentan modelos de órdenes de trabajo de enrollados, de acuerdo con el diagrama solicitado; incluyéndose también el análisis de costo.

Tabla XXXIX. Orden de trabajo número 1 087

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1540
HOJA No. 1 DE 4	NOMBRE: Gases del sur	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> _____ D <input type="checkbox"/> _____ R <input checked="" type="checkbox"/> _____		
Ver detalle en cada orden		
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES
<p style="text-align: right;">medidas en centímetros</p>		
FIRMA _____	Vo. Bo. _____	VENDEDOR _____

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. Orden de trabajo número 1 088

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 19/03/2011	No. DE FACTURA P1540
HOJA No. 2 DE 4	NOMBRE: Gases del sur	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> 1 D <input type="checkbox"/> R <input checked="" type="checkbox"/> 1		
1 Láminas negras de 1/4" X 4' X 10'		
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 2
<p>305</p> <p>122</p> <p>← enrollar a Ø 88.90 cm</p> <p>medidas en centímetros</p> <p>279.29</p> <p>25.71</p> <p>1 Lámina Negra de 1/4" X 4' X 10'</p>		
FIRMA _____	Vo. Bo. _____	VENDEDOR _____

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. Orden de trabajo número 1 089

VENDEDOR: Mario Huitz		FECHA: 25/03/2011	No. DE FACTURA P1540
HOJA No. 3	DE 4	NOMBRE: Gases del sur	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> 6 D <input type="checkbox"/> R <input checked="" type="checkbox"/> 1			
0.5 Láminas negras de 1/4" X 4' X 8'			
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 7	
<p style="text-align: center;">medidas en centímetros</p>			
FIRMA _____		Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. Orden de trabajo número 1 090

VENDEDOR: Mario Huitz		FECHA: 25/03/2011	No. DE FACTURA 1540
HOJA No. 4	DE 4	NOMBRE: Gases del sur	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input type="checkbox"/> 6 D <input type="checkbox"/> R <input checked="" type="checkbox"/> 1			
0.5 Láminas negras de 1/4" X 4' X 8'			
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 7	
FIRMA _____		Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIII. Orden de trabajo número 1 100

VENDEDOR: Mario Huitz		FECHA: 25/03/2011	No. DE FACTURA P1550
HOJA No. 1	DE 2	NOMBRE: Distribuidora de combustibles	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> 2 D <input type="checkbox"/> R <input checked="" type="checkbox"/> 2			
3 Láminas negras de 3/16" X 4' X 10' y 1 Láminas negras de 3/16" X 4' X 8'			
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES	6
<p>medidas en metros</p> <p>0.78 0.78</p> <p>1.22</p> <p>1 Lamina Negra 3/16" X 4' X 10'</p> <p>Ø1.22</p> <p>1.22</p> <p>1 Lamina Negra 3/16" X 4' X 8'</p> <p>Ø1.22</p> <p>2.44</p>			
FIRMA _____		Vo. Bo. _____	VENDEDOR _____

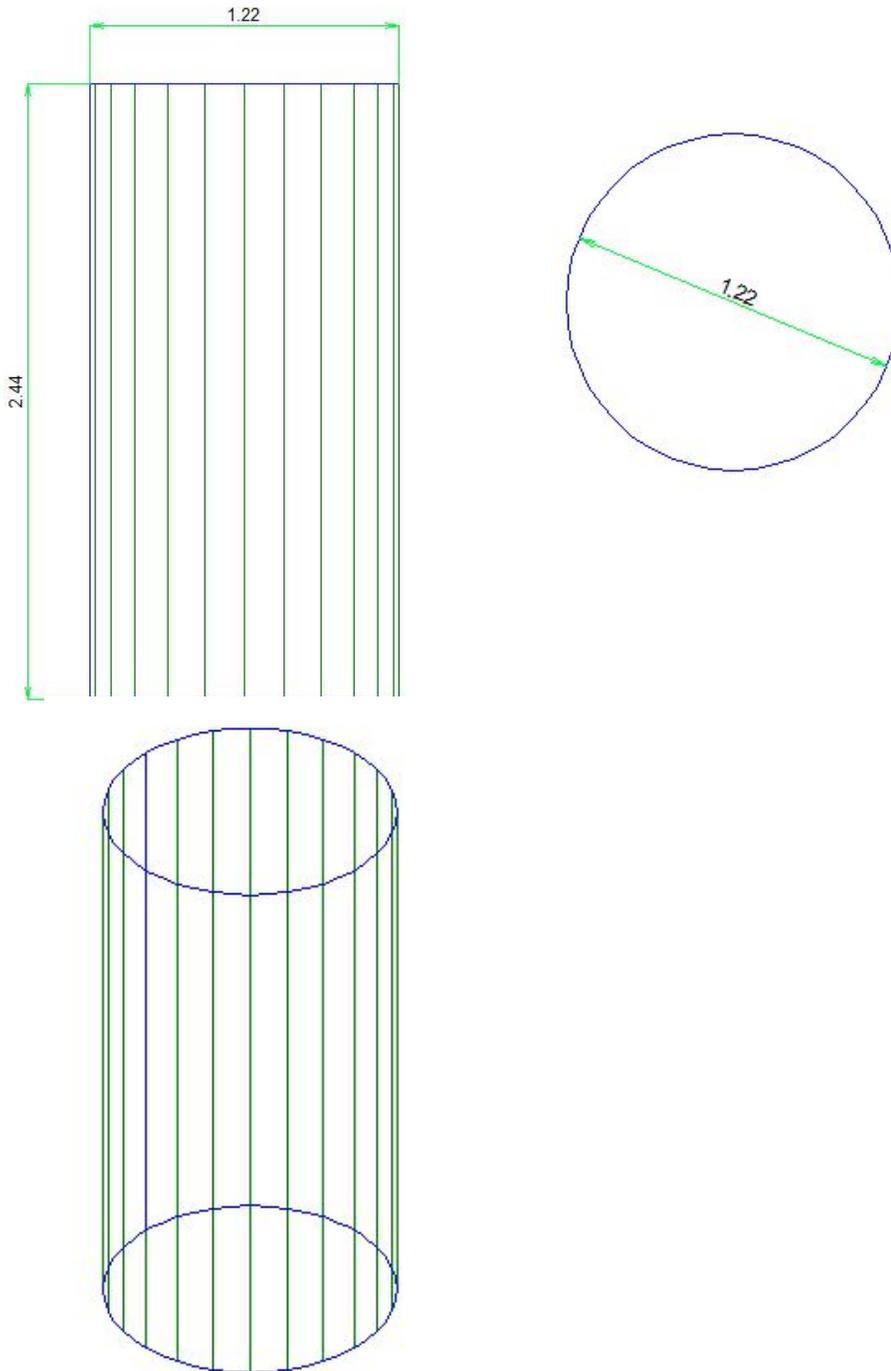
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. Orden de trabajo número 1 101

VENDEDOR: Mario Huitz	FECHA: 25/03/2011	No. DE FACTURA 1550
HOJA No. 2 DE 2	NOMBRE: Distribuidora de combustibles	
DESCRIPCION DEL MATERIAL A TRABAJAR C <input checked="" type="checkbox"/> _____ D <input type="checkbox"/> _____ R <input checked="" type="checkbox"/> _____		
3 Láminas negras de 3/16" X 4' X 10' y 1 Láminas negras de 3/16" X 4' X 8'		
DIAGRAMA DE TRABAJO		No. DE OPERACIONES 6
medidas en metros		
FIRMA _____ Vo. Bo. _____ VENDEDOR _____		

Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Órdenes de trabajo 1100 y 1101



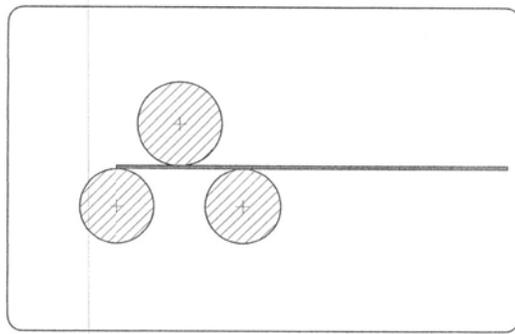
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Análisis de costos de orden de trabajo 1 100**

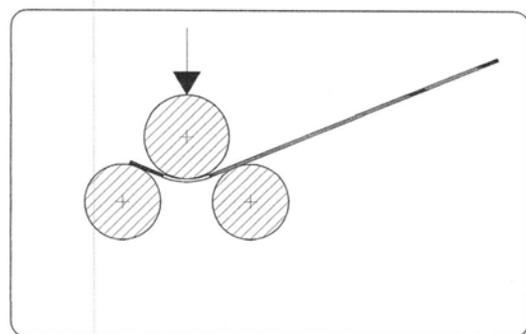
No. de orden de trabajo	1 100 / 1 101
Cliente	Distribuidora de combustibles
Descripción de la lámina usada	3/16" X 4' X 10'
Cantidad	3
Descripción de la lámina usada	3/16" X 4' X 8'
Cantidad	1
Peso (Lb)	1 163,85
Costo (Q)	4 655,40
Piezas:	2
Peso por pieza (Lb)	581,93
Costo de material por pieza (Q)	2 327,70
No. de cortes	2
Costo de cortes (Q)	30
No. de enrollados	2
Costo de enrollados (Q)	500
Costo por pieza terminada (Q)	2 592,70

Fuente: elaboración propia.

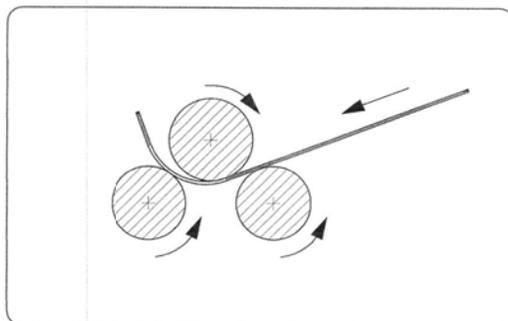
Figura 33. Enrollado (pasos 1 a 6)



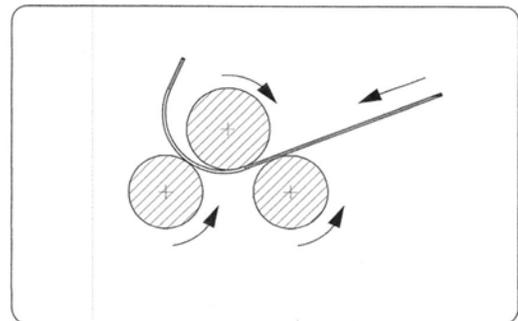
Paso 1



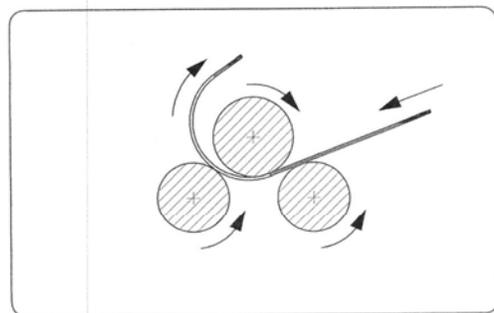
Paso 2



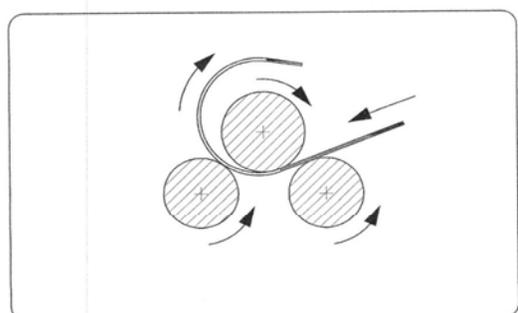
Paso 3



Paso 4



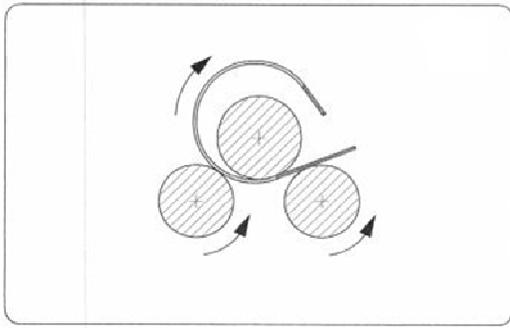
Paso 5



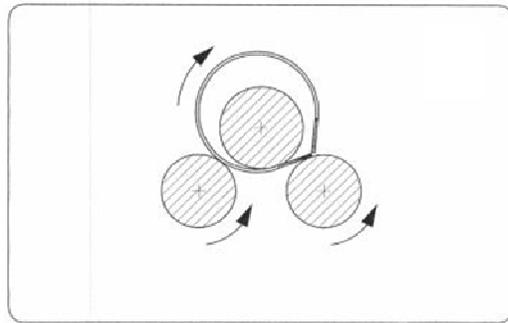
Paso 6

Fuente: PENTIRI. Manual de operación. p. 25.

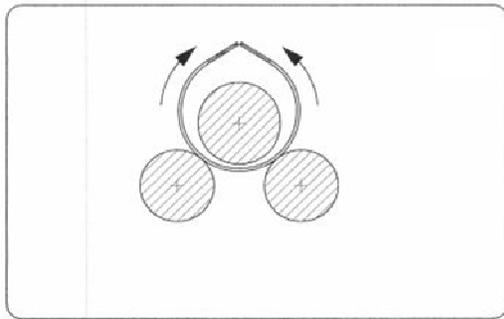
Figura 34. Enrollado (pasos 7 a 12)



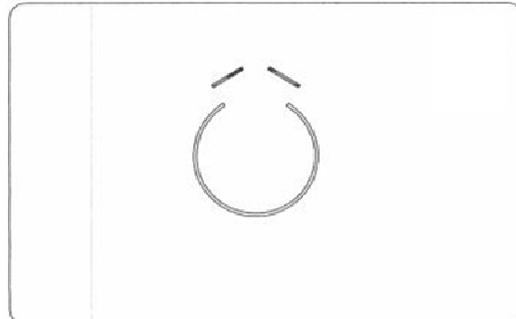
Paso 7



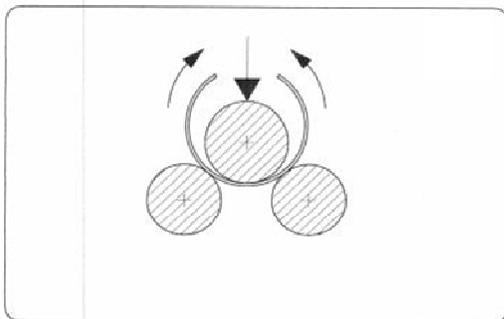
Paso 8



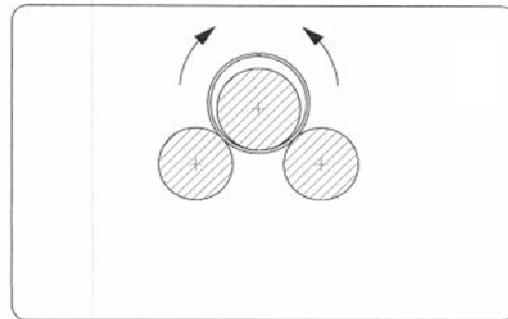
Paso 9



Paso 10



Paso 11



Paso 12

Fuente: PENTIRI. Manual de operación. p. 28.

5. EL ACERO Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

Desde la producción del acero hasta la utilización de las piezas conformadas de lámina de acero en diferentes aplicaciones, se toma en cuenta la interacción con el ambiente. La industria del acero ha estado involucrada en el reciclaje y las iniciativas de reutilización, desde inicios del siglo pasado. Las industrias del acero han reducido su consumo energético y su emisión de CO₂ en más del 20% desde 1990. El compromiso con el desarrollo sostenible es una tendencia a nivel mundial y se debe participar de ella.

5.1. El desarrollo sostenible

El ser humano ha evolucionado y progresado significativamente; en los últimos decenios más que en toda la historia de la humanidad, si bien es cierto que esta evolución ha transformado y mejorado la calidad de vida de los humanos, también lo es que ha repercutido en nuestro medio ambiente; a tales extremos que muchas especies han desaparecido, el clima se ha tornado cambiante y muchas de las catástrofes naturales se han atribuido a la mano del hombre; por tal razón desde 1987, la Comisión de la Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, redactó el informe “Nuestro futuro común”, con el objetivo de hacer conciencia en el mundo entero y los diferentes sectores de actividad económica, sobre el uso adecuado del medio ambiente.

En síntesis, el desarrollo sostenible se basa en la búsqueda de la equidad entre el desarrollo económico, el medio ambiente y el progreso social. La definición generalizada de este término es “un desarrollo que satisfaga las

necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las generaciones del futuro, para atender sus propias necesidades”.

Las empresas, la administración pública y la sociedad en general, deben de trabajar conjuntamente con el fin de aunar los tres universos que se han venido ignorando en los últimos tiempos; la economía, el medio ambiente y el progreso social. No existe o debería de existir un desarrollo que no tome en cuenta que la economía debe de ser eficaz, tomando en cuenta el desarrollo humano de manera equitativa y que al final sea ecológicamente tolerable. Si en la búsqueda de desarrollo se dañan los ecosistemas y/o se vela por los intereses de unos pocos a expensas de la mayoría, esto no es desarrollo.

5.2. Historia

La forma de pensar que dio lugar a la Revolución Industrial del siglo XIX, introdujo criterios esencialmente de crecimiento económico. Estos se pueden encontrar en el cálculo del Producto Nacional Bruto, que se remonta a la década de 1930.

Las correcciones se hicieron en la segunda mitad del siglo XIX en el ámbito social, con la aparición de la organización sin ánimo de lucro y el sindicalismo. El término "económico y social" forma parte del vocabulario.

Pero los países desarrollados (o países del Norte) se dieron cuenta en la década de los años setenta, que su prosperidad se basaba en el uso intensivo de recursos naturales finitos, y que, por consiguiente, además de las cuestiones económicas y sociales, un tercer aspecto estaba descuidado: el medio ambiente. Por ejemplo, la huella ecológica mundial excedió la capacidad "biológica" de la Tierra, para reponerse a mediados de esta época.

Para algunos analistas, el modelo de desarrollo industrial no es sostenible en términos medioambientales, lo que no permite un "desarrollo", que pueda durar. Los puntos críticos son el agotamiento de los recursos naturales (como las materias primas y los combustibles fósiles), la destrucción y fragmentación de los ecosistemas y la pérdida de diversidad biológica; lo que reduce la capacidad de resistencia del planeta.

El desarrollo (industrial, agrícola, urbano) genera contaminaciones inmediatas y pospuestas (por ejemplo, la lluvia ácida y los gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático y a la explotación excesiva de los recursos naturales, o la deforestación de la selva tropical). Esto provoca una pérdida inestimable de diversidad biológica en términos de extinción (y por lo tanto irreversibles) de las especies de plantas o animales. Esta evolución provoca un agotamiento de los combustibles fósiles y de las materias primas que hace inminente el pico del petróleo y el acercamiento al agotamiento de muchos recursos naturales vitales.

Al problema de la viabilidad se añade un problema de equidad: los pobres son los que más sufren la crisis ecológica y climática, y se teme que el deseo legítimo de crecimiento en los países subdesarrollados hacia un estado de prosperidad similar, basado en principios equivalentes, implique una degradación aún más importante y acelerada de la biosfera.

Además, los desastres industriales de los últimos treinta años (de Chernóbil, Seveso, Bhopal, Exxon Valdez, Fukushima etc.) han llamado la atención a la opinión pública y a asociaciones como WWF, Amigos de la Tierra o *Greenpeace*, entre otras.

Los impactos ambientales que han causado grandes catástrofes naturales, la pérdida de pulmones naturales y de especies, tanto animales como vegetales, han llevado a que surjan entidades y comisiones que se preocupen por el bienestar del medio ambiente. El concepto de desarrollo sostenible refleja una creciente conciencia acerca de la contradicción que puede darse entre desarrollo, primariamente entendido como crecimiento económico y mejoramiento del nivel material de vida, y las condiciones ecológicas y sociales para que ese desarrollo pueda perdurar en el tiempo.

Esta conciencia de los costos humanos, naturales y medioambientales del desarrollo y el progreso, ha venido a modificar la actitud de despreocupación o justificación que al respecto imperó durante mucho tiempo. La idea de un crecimiento económico sin límites y en pos del cual todo podía sacrificarse, vino a ser reemplazada por una conciencia de esos límites y de la importancia de crear condiciones de largo plazo, que hagan posible un bienestar para las actuales generaciones; que no se haga al precio de una amenaza o deterioro de las condiciones de vida futuras de la humanidad.

Es por ello que surge la necesidad de cuidar nuestro medio, legalizar y reglamentar a través de organizaciones que se encarguen de evitar su deterioro. Estas organizaciones existen concretamente desde 1972 hasta nuestros días; entre las más destacados cabe mencionar:

- ONU (1972), se reúne por primera vez para evocar el impacto ambiental que han generado las grandes industrias, dando origen a la UNEP (United Nations Environment Program) por sus siglas en inglés.

- Informe Brundtland elaborado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (1987): en el que se formaliza por primera vez el concepto de desarrollo sostenible.
- Segunda Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro (1992): se da amplia información sobre el tema; se centra la idea de los tres pilares del desarrollo sostenible; progreso económico, justicia social y preservación del ambiente. Los jefes de estado firman compromisos ambientales a 10 años futuro con la consigna de “Pensar global, actuar local”.

Liderado por *Maurice Strong*, Secretario General de la Cumbre de la Tierra en Río, se crea el Consejo de la Tierra para promover la implementación de los acuerdos de la Cumbre de la Tierra y apoyar la formación de los Consejos Nacionales para el Desarrollo Sostenible.

- Maurice Strong, como presidente del Consejo de la Tierra, junto con Mikhail Gorbachev, presidente de la organización Cruz Verde Internacional (1994): lanzan una iniciativa de la sociedad civil para redactar la Carta de la Tierra. El gobierno holandés ofreció el apoyo financiero inicial.
- El Consejo de la Tierra y Cruz Verde Internacional inician un nuevo proceso internacional de consulta ideado para desarrollar una Carta de la Tierra de los pueblos (1995): expertos internacionales y oficiales gubernamentales se reúnen en el Taller de la Carta de la Tierra en La Haya. Se designa al Consejo de la Tierra como la Secretaría Internacional de la Iniciativa.
- El Consejo de la Tierra inicia la redacción de la Carta de la Tierra con vistas al Foro de Río + 5 (1996): se elabora y difunde un resumen del documento y un informe sobre derecho internacional relevantes para la

Carta de la Tierra. A finales de este año se establece una Comisión para supervisar el proceso de redacción de la Carta. Los Sres. Strong y Gorbachev presidieron conjuntamente la Comisión.

- La Comisión de la Carta de la Tierra se reúne en el Foro de Río + 5 (1997): al término del Foro se hace público un Borrador que servirá de referencia de la Carta de la Tierra a manera de "documento en desarrollo". Se siguen organizando y promoviendo continuas consultas internacionales.
- Diversos grupos se unen a la Iniciativa de la Carta de la Tierra (1998): se crearon comités nacionales de la Carta de la Tierra en más de 35 países. Estos grupos llevan a cabo consultas sobre dicho Borrador y comienzan a utilizarlo como herramienta educativa.
- II Borrador de la Carta de la Tierra (1999): continúan las consultas internacionales. El número de comités nacionales de la Carta de la Tierra asciende a 45.
- Los comisionados de la Carta de la Tierra se reúnen en París, Francia (2000): para aprobar el texto final del documento y comenzar a planificar la siguiente fase de la Iniciativa de la Carta de la Tierra, que será supervisada por un Comité Directivo. Los retos esenciales son la difusión, apoyo e implementación de la Carta de la Tierra por la sociedad civil, empresas y gobiernos, y el respaldo al uso educativo de la Carta en colegios, universidades y en programas de educación no formal. En junio se produce el lanzamiento público oficial de la segunda fase de la Iniciativa de la Carta de la Tierra, en el Palacio de la Paz de La Haya.

- La Iniciativa de la Carta de la Tierra realiza un importante esfuerzo para conseguir el aval de la Cumbre Mundial para el Desarrollo Sostenible en Johannesburgo (2002): durante esta Cumbre muchos líderes gubernamentales y ONG declararon su apoyo a la Carta de la Tierra, pero el reconocimiento formal de la Carta de la Tierra por parte de las Naciones Unidas no fue en firme.
- La Carta de la Tierra ya ha sido traducida a treinta y dos idiomas (2005): se ha difundido ampliamente alrededor del mundo y ha sido avalada por más de 2 400 organizaciones, incluyendo UNESCO, UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) y el ICLEI (Consejo Internacional de Gobiernos Locales para la Sostenibilidad). Entre los años 2000 y 2005 se ha llevado a cabo una evaluación estratégica, tanto interna como externa, de las actividades emprendidas por la Iniciativa de la Carta de la Tierra.

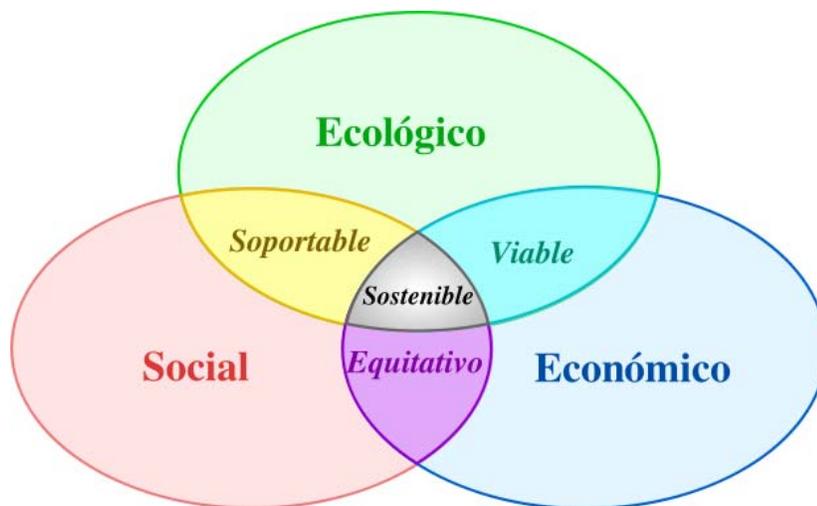
En noviembre se celebró en Ámsterdam una importante reunión de Carta de la Tierra + 5. En este evento se concluyó que hasta la fecha había sido mucho lo que se había logrado y que el éxito futuro de la Iniciativa dependía de una planificación estratégica de largo alcance, gestionándose así la transición de la Iniciativa hacia una tercera fase.

- Nuevo Consejo Internacional de la Carta de la Tierra con veintitrés miembros para reemplazar al Comité Director y supervisar los programas centrales y el personal de la Secretaría (2006): el Consejo y la Secretaría se organizan como Carta de la Tierra Internacional (CTI).
- La Carta de la Tierra ya ha sido traducida a cuarenta idiomas (2008): ha sido avalada por 4 600 organizaciones, lo que representa el interés de

cientos de millones de personas. El Consejo de CTI asume un nuevo plan estratégico a largo plazo que se enfoca en la expansión descentralizada de la Iniciativa de la Carta de la Tierra. Se forman seis nuevos equipos de trabajo independientes para promover la expansión descentralizada en las áreas de Empresa Privada, Educación, Medios de Comunicación, Religión, Naciones Unidas y Juventud.

5.3. Diagrama de desarrollo sostenible

Figura 35. **Desarrollo sostenible**



Fuente: APTA. Desarrollo sostenible. p. 3.

El ámbito del desarrollo sostenible puede dividirse conceptualmente en tres partes: ecológico, económico y social. Se considera el aspecto social por la relación entre el bienestar social con el medio ambiente y la bonanza económica. El triple resultado es un conjunto de indicadores de desempeño de una organización en las tres áreas.

Deben satisfacerse las necesidades de la sociedad como alimentación, ropa, vivienda y trabajo, pues si la pobreza es habitual, el mundo estará encaminado a catástrofes de varios tipos, incluidas las ecológicas. Asimismo, el desarrollo y el bienestar social, están limitados por el nivel tecnológico y los recursos y capacidad del medio ambiente, para absorber los efectos de la actividad humana. Ante esta situación, se plantea la posibilidad de mejorar la tecnología y la organización social, de forma que el medio ambiente pueda recuperarse al mismo ritmo que es afectado por la actividad humana.

5.4. Conformación de acero y las tres “p” para el desarrollo sostenible

5.4.1. Conformación de acero y preservación del medio ambiente (*planet*)

El acero se deriva del hierro, uno de los minerales más abundantes en nuestro planeta; sin embargo es importante hacer poner de manifiesto que también se puede producir acero procedente de chatarras; es decir; acero recuperado y reciclado. La parte de producción de acero nacida del reciclaje de chatarra alcanza el 40% de la producción mundial de acero. Las aguas utilizadas son sistemáticamente depuradas y su reciclaje permite reducir el uso de reservas naturales.

En los últimos decenios, el consumo de energía y las emisiones de CO₂ para la producción del acero se han reducido a la mitad; gracias a los dispositivos de filtraciones y recuperación de gases y polvos.

El 93% de todo el metal producido en el mundo es acero. Este material es relativamente bajo en precio, combina la resistencia y la posibilidad de ser tratado, pudiendo adecuar sus propiedades a las necesidades específicas mediante aleaciones, tratamientos térmicos, tecnologías de superficie,

tecnologías de unión, etc... El acero está presente en todo cuanto nos rodea y gracias a sus excelentes atributos ha contribuido al desarrollo y progreso de la humanidad, sin el cual, el concepto de bienestar no se entendería; manteniendo sin duda este papel en el futuro.

Todos los productos generados de desechos son reutilizados; ya sea en la construcción de carreteras como balastro o en la fabricación de cemento.

Gracias a sus propiedades, el acero puede ser reciclado en forma infinita e indefinidamente al 100%, sin perder ninguna propiedad; por lo que al final de su vida útil, un producto puede transformarse en otro material sin perder su calidad.

Por sus virtudes magnéticas, que no se encuentran en ningún otro material, el acero se puede seleccionar fácilmente entre otros tipos de residuos, facilitando el reciclaje.

El acero es el material más reciclado en el mundo con una tasa de reciclaje de aproximadamente el 67%; mucho mayor a la que tienen otros materiales como el papel, cartón y plástico.

Mediante el reciclaje de acero se ahorra el uso de recursos naturales, como los minerales vírgenes, el consumo de agua, el uso de combustibles y una considerable cantidad de emisiones de CO₂ se dejan de emitir.

El acero posee un largo ciclo de vida como en los puentes, carros, estructuras de edificios; por ello no es posible satisfacer el consumo de acero como lo requiere la sociedad; por lo tanto es necesario seguir produciéndolo a partir del mineral de hierro.

El acero, además de sus cualidades de reciclaje, es seguro, ya que no deja contaminantes en el medio. El reciclaje no solo es beneficioso al ambiente, sino que también genera beneficios económicos y sociales, mediante la creación de empleos sustentables.

5.4.2. Conformación de acero y plano social (*people*)

El acero posee entre sus características, la versatilidad que le permite ser, transformado, moldeado, modificado, cortado, o procesado, dependiendo de los requerimientos personales de los individuos o de empresas al utilizar diferentes estructuras que lo contengan; dándole un valor agregado al ser transformado, según determinadas necesidades.

Las transformaciones del acero contribuyen al desarrollo social y económico de la comunidad en que se opera, ya que proporciona trabajo y a su vez proporciona capacitación a las personas que operan en esta industria; convirtiéndose en mano de obra calificada.

Cuando se trabaja en construcción con acero, le da a la persona la comodidad de un área de trabajo más limpia, además de ser más seguro porque no existen agentes contaminantes en él; disminuye la incidencia de accidentes y daños a la persona, por ser un tipo de construcción más rápida, los montajes son breves y se evita por lo general trabajar a niveles elevados por largos períodos.

Generalmente, al trabajar en espacios reducidos, se utilizan grúas o elevadores que facilitan y agilizan el trabajo. El único inconveniente que genera es el ruido; que queda reducido a un mínimo por la rapidez con la que se hacen los montajes.

Las construcciones en acero pueden fácilmente transformarse y adaptarse a nuevas necesidades; también hacerlas más atractivas, versátiles y mejorar la calidad del hábitat, modificando los espacios útiles. La transformación del acero permite diseños arquitectónicos modernos, vistosos y llamativos; llenado las exigencias de un entorno social y ecológicamente satisfactorio. Las estructuras en acero van evolucionando según las demandas del cliente, se adaptan a las exigencias del ambiente y de las personas.

5.4.3. Conformación de acero y eficacia económica (*profit*)

El acero es un material económico; en primer lugar porque proviene de un mineral que se encuentra en gran cantidad en nuestro planeta; además posee la capacidad de ser reciclable en un 100%, pudiéndose convertir en otro producto de acero sin perder sus cualidades; y por lo tanto es reutilizable, en cualquier transformación que se le haya dado.

El acero es un material respetuoso con el ambiente, no solo por ser completamente reciclable, sino porque posee una gran durabilidad en comparación con otros materiales; exige cantidades relativamente bajas de energía para su producción.

La resistencia mecánica del acero reduce la cantidad de materiales necesarios a igualdad de rendimiento y seguridad, en relación con otros materiales utilizados para los mismos fines. Una turbina generadora de energía eólica produce el 80% más de energía que lo que se invierte en su construcción, instalación y mantenimiento de la misma.

Las estructuras realizadas con acero permiten ahorrar tiempo en el montaje y desmontaje; estas generalmente son realizadas en fábrica, y solo deben de ser montadas en el lugar que se necesiten.

El acero no genera desperdicios o suciedades por lo que no se invierte tiempo ni recursos en la limpieza.

Prácticamente, las construcciones en acero son libres de mantenimiento o suelen ser fáciles de mantener. Hay que observar las condiciones específicas del acero, por ejemplo: si es acero inoxidable no necesita tratamiento; de no serlo, la aplicación de anticorrosivos y la limpieza constante de ellos los hace duraderos y fáciles de mantener. El acero es sobre todo un material limpio y fácil de usar porque no produce polvo ni vertidos y genera pocos desechos, por lo que no hay necesidad de usar equipo especial para resolver esos problemas.

CONCLUSIONES

1. El estudio de los procesos de conformación de piezas de lámina de acero permitió un mejor entendimiento de las posibilidades de cada máquina y por consiguiente la tecnificación de las operaciones; comprobando la necesidad de adquirir útiles adicionales para el funcionamiento a su máxima capacidad del equipo de plegado y obteniendo así la posibilidad de plegar lámina de acero de mayor espesor, con el uso de un juego de punzón y matriz de mayor abertura.
2. Se puede cizallar lámina de acero de mayor espesor reduciendo el largo del corte y aumentando el ángulo de cizallado; así como también reducir la zona plana en un enrollado de lámina de acero, al plegar los extremos con una curvatura similar al diámetro final del cilindro que se va a conformar.
3. Se optimizó el proceso de conformación de piezas definiendo un esquema de actividades y factores que deben tomarse en consideración, desde la solicitud de la pieza hasta la entrega de esta; apoyándose con el diseño de una forma de orden de trabajo para interpretar y realizar el diagrama de conformación, que a su vez sirva de autorización por parte del cliente para realizar el trabajo.
4. Las operaciones de cizallado se pueden cuantificar restando uno al número de piezas incluyendo los sobrantes. La cuantificación de las operaciones que se van a realizar al momento de solicitar la pieza conformada, ha permitido que todas sean facturadas.

5. Se pueden cizallar piezas de longitud ilimitada, ya que el equipo de cizallado cuenta con la característica de corte progresivo que emula a una tijera en su acción de corte. La limitante está dada por los largos existentes de láminas de acero y su practicidad para moverlas.

6. .La conformación de piezas de lámina de acero es una actividad que debe incentivarse, ya que cumple con los requisitos para ser considerada dentro del campo del desarrollo sostenible.

RECOMENDACIONES

1. Para que los usuarios de equipos de conformación de piezas de lámina de acero optimicen el uso de estos, se hace necesaria la creación, divulgación y traducción de información.
2. Promover la formación de técnicos en conformación de piezas de lámina de acero.
3. Incentivar la creación de una biblioteca donde se incluyan tanto los manuales de las máquinas de cizallado, plegado y enrollado de láminas, como los libros técnicos sobre la materia.
4. Crear un capítulo dentro de la gremial de la industria metalmecánica, adscrita a la Cámara de Industria de Guatemala, de la industria de la conformación de piezas de lámina de acero.
5. Continuar el mejoramiento en el equipo de cizallado, plegado y enrollado de lámina de acero por medio de la capacitación constante del personal operativo, y de la supervisión necesaria para que se cumplan los procedimientos sugeridos.
6. Implementar el mantenimiento preventivo en lugar del mantenimiento contra avería que se usa actualmente.
7. Promover el desarrollo sostenible mediante la concientización al personal, sobre la necesidad de heredar a las siguientes generaciones, un mejor mundo del que tenemos.

BIBLIOGRAFÍA

1. APPOLD, Hans, et al. *Tecnología de los metales*. Francisco Besante y Miguel Jubera. (trad.) Edición Especial. Barcelona: Reverté, 1984. 413 p. ISBN: 84-291-6014-0.
2. BAUMEISTER, Theodore; AVALLONE, Eugene; BAUMEISTER III, Theodore. *Manual del Ingeniero Mecánico*. Responsables Grupo de especialistas. 2a ed. en español. México: McGraw-Hill, 1984. III Tomos. ISBN: 0-07-004123-7.
3. GERLIN, Henrich. *Alrededor de las máquinas-herramientas*. 2a ed. alemana. Barcelona: Reverté, 1981. 226 p. ISBN: 84-291-6050-7.
4. LASHERAS, José; ARIAS, Héctor. *Procedimientos de fabricación y control*. 4a ed. Barcelona: Cedel, 1972. 488 p.
5. LOCKYER, K. *Control de la producción*. Bernardo de Allende. (trad.) 2a ed. en español. México: Editora Técnica, 1978. 250 p.
6. MABIE, Hamilton; OCVIRK, Fred. *Mecanismos y dinámica de maquinaria*. México: Limusa, 1981. 632 p. ISBN: 968-18-0610-7.
7. REIN, J. *Moldes, matrices y estampados*. Barcelona: Cultural, 1981. 223 p.

8. SPOTTS, M.F. *Proyecto de elementos de máquinas*. Alejandro Rodríguez de Torres. (trad.) 2a ed. Barcelona: Reverté, 1982. 684 p. ISBN: 84-291-6086-3.
9. Society of Manufacturing Engineers (SME) *Tool and manufacturing engineers handbook*. 4ta. ed. Estados Unidos: McGraw-Hill, 1984. 899 p. ISBN: 0-87263-135-4.
10. MEBUSA. *Manual de cizalla hidráulica*. España: Metalúrgica Burceña. Promecan, 1975. 49 p.
11. _____ *Manual de plegadora hidráulica*. España: Metalúrgica Burceña Promecan, 1975. 40 p.
12. Compañía Siderúrgica de Guadalajara. *Manual para la construcción en acero*. México: CSG, 1993. 351 p.
13. PENTIRI. *Manual de operación*. Italia: Pentiri, 2005. 84 p.
14. GONZÁLEZ, Luis. *Diagrama esfuerzo - deformación* [en línea]. Disponible en web: <http://www.angelfire.com/pro2/resmat>. [Consulta: marzo de 2011].
15. APTA. *Desarrollo sostenible*. Francia: Apta, 2003. 12 p.
16. POSE, Alberto. *Acero* [en línea]. Disponible en web: http://enciclopedia.us.es/index.php/Ensayo_de_tracción. [Consulta: marzo de 2011].