



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA
BAROLADORA DE CHAPA METÁLICA DE HASTA 12MM DE
ESPESOR”**

**USCA TIUQUINGA, DIEGO ARMANDO;
VIZUETE VIZUETA, FRANKLIN ORLANDO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROPUESTAS TECNOLÓGICAS

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2018

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-04-13

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

USCA TIUQUINGA DIEGO ARMANDO

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BAROLADORA DE
CHAPA METÁLICA DE HASTA 12mm DE ESPESOR”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Javier Enrique Orna Chávez
DIRECTOR

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2017-04-13

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparado por:

VIZUETE VIZUETA FRANKLIN ORLANDO

Titulado:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BAROLADORA DE
CHAPA METÁLICA DE HASTA 12mm DE ESPESOR”**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Javier Enrique Orna Chávez
DIRECTOR

Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes
ASESOR

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: USCA TIUQUINGA DIEGO ARMANDO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BAROLADORA DE CHAPA METÁLICA DE HASTA 12mm DE ESPESOR”**

Fecha de Examinación: 2018-06-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez DIRECTOR			
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Angel Rigoberto Guamán Mendoza
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VIZUETE VIZUETA FRANKLIN ORLANDO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BAROLADORA DE CHAPA METÁLICA DE HASTA 12mm DE ESPESOR”**

Fecha de Examinación: 2018-06-15

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Rigoberto Guamán Mendoza PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Javier Enrique Orna Chávez DIRECTOR			
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Angel Rigoberto Guamán Mendoza

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

USCA TIUQUINGA DIEGO ARMANDO

VIZUETE VIZUETA FRANKLIN ORLANDO

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Nosotros, Diego Armando Usca Tiuquina, y Franklin Orlando Vizuet Vizuet declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que proviene de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

USCA TIUQUINGA DIEGO ARMANDO

Cédula de Identidad: 060388752-2

VIZUETE VIZUETA FRANKLIN ORLANDO

Cédula de Identidad: 060410733-4

DEDICATORIA

La presente tesis, la dedico a nuestro señor padre del cielo, a mis amados padres María Teresa Tiuquinga Y Luis Adolfo Usca, gracias a mi madre por todo el apoyo brindado, que cada día hizo su mayor esfuerzo para que pueda levantarme con mucho optimismo y saber que este sacrificio al final tendría esta recompensa sobre todo por guiarme para ser una persona de bien e inculcarme muchos valores que hasta el día de hoy me han servido, y a mi padre que ha sabido satisfacer mis necesidades como estudiante y me ha impulsado con sus consejos, mil gracias por todo ese cariño mis amados padres, gracias queridos hermanos que a pesar de una situación económicamente dura, han contribuido directa o indirectamente para poder seguir adelante en mis estudios, en especial a ti querida hermana que eres como nuestra segunda madre en casa y fuera de ella Norma Isabel Usca Tiuquinga gracias por todo, por último y no menos importante pero más amado, a mi querida esposa Sandra Pilataxi que me apoyo moral y económicamente para cumplir con alegría este objetivo, a mis amig@s que compartimos momentos felices y tristes gracias por esa amistad sincera.

Diego Armando Usca Tiuquinga

Agradezco a Dios en primera instancia por haberme dado salud, vida y la sapiencia necesaria para poder culminar mi carrera, a mis amados padres Laura Vizueta Ruiz y Vicente Vizuete Negrete por haberme brindado todo su cariño, amistad, ya que siempre han sido mi guía y mi apoyo incondicional en cada momento de mi vida, en los cuales hemos compartido momentos buenos y malos que la vida nos ha puesto y los hemos sabido superar, mi madre que mediante sus consejos y ejemplos de vida me ha sabido inculcar valores morales como el respeto, la sencillez, humildad y comprensión para mi desarrollo personal, ya que siempre ha sido y será un pilar muy importante en mi vida; mi padre que ha sabido inculcarme valores éticos y morales, como la veracidad, la lealtad y a nunca dejarme caer ante una situación mala que se presente en la vida, me ha brindado a cada instante su cálido afecto para seguir adelante; también agradezco a mis amig@s verdaderos quienes con consejos me han ayudado a que no decaiga y me han impulsado a seguir adelante y llegar a mi meta que fue la de concluir mi carrera.

Franklin Orlando Vizuete Vizueta

AGRADECIMIENTO

Un profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica por la formación como profesional, a mis familiares y amigos que han estado en esos momentos tan necesarios por ser parte de este logro tan anhelado alcanzado.

Diego Armando Usca Tiuquina

Un profundo agradecimiento a mi familia por su apoyo de toda índole brindado, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela Ingeniería Mecánica por abrirme las puertas de la institución para llenarme de conocimientos y poder defenderme de las adversidades laborales futuras, en especial a los docentes tutores, por su desempeño, su permanente ayuda, sus conocimientos, en el cual me han permitido realizar este trabajo.

Franklin Orlando Vizuete Vizueta

CONTENIDO

RESUMEN
ABSTRACT
INTRODUCCION

CAPÍTULO I		Pág.
1	ANTECEDENTES	
1.1	Planteamiento del problema	1
1.2	Justificación	1
1.2.1	<i>Justificación teórica</i>	2
1.2.2	<i>Justificación metodológica</i>	2
1.2.3	<i>Justificación práctica</i>	2
1.2.4	<i>Alcance</i>	3
1.3	Objetivos.....	3
1.3.1	<i>Objetivo general</i>	3
1.3.2	<i>Objetivos específicos</i>	3
2	MARCO REFERENCIAL PARA LA MÁQUINA BAROLADORA DE CHAPA METALICA	
2.1	Tipos de conformado	5
2.1.1	<i>Procesos y conformado de rolado</i>	5
2.1.2	<i>Por fundición y colada</i>	6
2.1.3	<i>Por maquinado</i>	6
2.1.4	<i>Por ensamble y unión</i>	6
2.1.5	<i>Deformación plástica</i>	6
2.1.6	<i>Tipos de rolado</i>	10
2.1.6.1	<i>Rolado de planos</i>	11
2.1.6.2	<i>Rolado de no planos</i>	11
2.1.7	<i>Tipos de máquinas baroladoras</i>	11
2.1.7.1	<i>Baroladora manual</i>	11
2.1.7.2	<i>Baroladora mecánica</i>	12
2.1.7.3	<i>Roladora de tres rodillos</i>	13
2.1.7.4	<i>Roladora tipo Pinch</i>	14

2.1.7.5	<i>Roladora tipo zapato Tsih</i>	14
2.1.7.6	<i>Roladora manual</i>	15
2.1.7.7	<i>Roladora universal para perfiles</i>	16
2.1.7.8	<i>Roladora de cuatro rodillos</i>	16
2.1.7.9	<i>Roladora neumática Tech</i>	17
2.1.7.10	<i>Roladora hidráulica Tech</i>	18
2.1.8	<i>Características de los materiales a rolar y de los rodillos para rolar</i>	18
2.1.9	<i>Metodologías de procesos de diseño de una máquina baroladora de chapa metálica</i>	20
3	METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BAROLADORA DE CHAPA METÁLICA HASTA 12mm	
3.1	Metodología para el diseño de la máquina de chapa metálica	26
3.1.1	<i>Tendencias de diseño</i>	26
3.2	Consideraciones para la determinación de las especificaciones	28
3.3	Determinación de las especificaciones para la máquina baroladora.....	28
3.3.1	<i>Despliegue de la función de calidad (QFD)</i>	28
3.3.2	<i>Especificaciones técnicas</i>	34
3.3.3	<i>Análisis funcional</i>	35
3.3.4	<i>Definición de módulos</i>	36
3.3.5	<i>Estudio de módulos y alternativas para la solución de la máquina baroladora de chapa metálica</i>	37
3.3.5.1	<i>Encendido de la máquina</i>	37
3.3.5.2	<i>Transmisión</i>	38
3.3.5.3	<i>Rolado</i>	41
3.3.5.4	<i>Salida</i>	43
3.3.6	<i>Alternativas de solución</i>	43
3.3.1.5	<i>Alternativas de solución para cada módulo</i>	45
3.3.7	<i>Evaluación de soluciones</i>	48
3.3.8	<i>Criterios de evaluación del módulo</i>	49
3.3.9	<i>Características de componentes del prototipo de la máquina</i>	51
4	DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA LA MÁQUINA BAROLADORA	

4.1	Dimensionamiento	52
4.1.1	<i>Cálculo de fuerzas en el proceso</i>	52
4.1.1.1	<i>Análisis de la fuerza en el curvado</i>	55
4.1.1.2	<i>Momento resultante</i>	57
4.1.1.3	<i>Cálculo de la fuerza de curvado</i>	57
4.1.1.3.1	<i>Material a curvar</i>	58
4.1.1.3.2	<i>Perfil rectangular para el acero al carbono A36</i>	58
4.1.1.3.3	<i>Perfil rectangular para el acero al carbono A307</i>	60
4.1.1.4	<i>Análisis de las fuerzas inferiores</i>	62
4.1.1.4.1	<i>Cálculo de las fuerzas en los cilindros inferiores</i>	62
4.1.1.4.2	<i>Cálculo de la fuerza de rozamiento en los rodillos inferiores</i>	62
4.1.1.4.3	<i>Cálculo del torque en el rodillo inferior</i>	63
4.1.1.5	<i>Análisis de la fuerza en el rodillo superior</i>	63
4.1.1.5.1	<i>Cálculo de la fuerza en el rodillo superior</i>	63
4.1.1.5.2	<i>Cálculo del torque en el rodillo superior</i>	63
4.1.1.6	<i>Torque distribuido</i>	64
4.1.1.6.1	<i>Cálculo de la potencia requerida del motor</i>	64
4.1.1.6.2	<i>Determinación de la velocidad de trabajo máxima de la máquina baroladora de chapa metálica</i>	64
4.1.1.6.3	<i>Diseño y cálculo para la selección de cadena</i>	65
4.1.1.7	<i>Cálculos para la potencia del diseño</i>	66
4.1.1.8	<i>Cálculos para la potencia admitida</i>	67
4.1.1.9	<i>Cálculos para la distancia entre centros para la cadena</i>	67
4.1.1.10	<i>Cálculos para la distancia entre centros para la cadena</i>	67
4.1.1.10.1	<i>Diseño y cálculo del rodillo (catalina)</i>	68
4.1.1.11	<i>Para un pre-diseño</i>	71
4.1.1.12	<i>Recalculando</i>	72
4.1.1.12.1	<i>Factor de modificación</i>	73
4.1.1.12.2	<i>Factor de forma</i>	73
4.1.1.12.3	<i>Factor confiabilidad</i>	73
4.1.1.13	<i>Peso del eje y del rodillo</i>	74
4.1.1.13.1	<i>Peso para un diámetro de 2,5 plg</i>	74
4.1.1.13.2	<i>Peso para un diámetro de 2plg</i>	74

4.1.1.13.3	<i>Peso total del eje</i>	74
4.1.1.13.4	<i>Peso del rodillo.....</i>	75
4.1.1.13.5	<i>Peso del eje + el rodillo</i>	75
4.1.1.14	<i>Cálculo del tornillo de potencia</i>	75
4.1.1.14.1	<i>Cálculo del avance</i>	75
4.1.1.14.2	<i>Cálculo del diámetro medio</i>	76
4.1.1.14.3	<i>Cálculo del diámetro menor</i>	76
4.1.1.14.4	<i>Cálculo del diámetro del collarín.....</i>	76
4.1.1.14.5	<i>Cálculo de la fuerza en cada tornillo</i>	77
4.1.1.14.6	<i>Cálculo del torque para subir la carga.....</i>	78
4.1.1.14.7	<i>Cálculo del torque para bajar la carga</i>	79
4.1.1.14.8	<i>Cálculo del esfuerzo de torsión y compresión del cuerpo.....</i>	79
4.1.1.14.9	<i>Cálculo del esfuerzo axial normal nominal.....</i>	80
4.1.1.14.10	<i>Cálculo del esfuerzo en los apoyos.....</i>	80
4.1.1.14.11	<i>Cálculo del esfuerzo flexionante en la raíz.....</i>	80
4.1.1.14.12	<i>Cálculo del esfuerzo de Von Mises</i>	80
4.1.1.14.13	<i>Cálculo del esfuerzo cortante máximo.....</i>	81
4.1.1.14.14	<i>Cálculo del esfuerzo equivalente</i>	81
4.1.1.14.15	<i>Cálculo del factor de seguridad.....</i>	82
4.1.1.14.16	<i>Cálculo de la flexión del tornillo de potencia.....</i>	82
4.1.1.14.17	<i>Cálculo del diseño de la palanca.....</i>	83
4.1.1.14.18	<i>Cálculo de la longitud de la palanca.....</i>	84
4.1.1.14.19	<i>Selección del rodamiento de bolas</i>	84
4.1.1.14.20	<i>Rodamientos de bolas en los extremos</i>	86
4.1.2	<i>Análisis de resultados en ANSYS.....</i>	88
5	ANÁLISIS DE COSTOS, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD PARA LA MÁQUINA BAROLADORA	
5.1	Costos fijos	93
5.2	Costos indirectos.....	95
5.3	Costos fijos totales.....	96
6	PRUEBAS Y RESULTADOS	
6.1	Materiales y métodos.....	100
6.2	Conclusiones.....	100

6.3	Recomendaciones	101
-----	-----------------------	-----

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Ventajas y desventajas de la deformación plástica	7
Tabla 2-2: Propiedades de los materiales	10
Tabla 1-3: Metodología para el diseño y construcción propuesta por los autores.....	27
Tabla 2-3: Especificaciones técnicas para la máquina baroladora	34
Tabla 3-3: Primera alternativa	45
Tabla 4-3: Segunda alternativa	46
Tabla 5-3: Tercera alternativa.....	47
Tabla 6-3: Evaluación de criterio	49
Tabla 7-3: Evaluación de soluciones respecto a la fiabilidad.....	50
Tabla 8-3: Evaluación de soluciones respecto a la capacidad	50
Tabla 9-3: Evaluación de soluciones respecto a la dimensión	50
Tabla 10-3: Evaluación de soluciones respecto al costo	50
Tabla 11-3: Conclusiones y selección de la mejor alternativa	51
Tabla 1-4: Propiedades mecánicas para los materiales A36, A307.....	58
Tabla 2-4: Datos obtenidos de la selección de cadena	65
Tabla 3-4: Datos obtenidos de la potencia.....	65
Tabla 4-4: Datos obtenidos de la selección de cadena	66
Tabla 5-4: Datos obtenidos de la selección de cadena	66
Tabla 6-4: Láminas de acero inoxidable.....	89
Tabla 1-5: Costos de mano de obra	93
Tabla 2-5: Costos de material e insumos	94
Tabla 3-5: Costos de maquinaria y equipos.....	95
Tabla 4-5: Costos para la investigación.....	95
Tabla 5-5: Costos fijos totales	96
Tabla 6-5: Manual de seguridad del funcionamiento de la baroladora	97
Tabla 7-5: Manual de seguridad del funcionamiento eléctrico de la baroladora.....	98
Tabla 8-5: Manual de mantenimiento de la máquina baroladora	99

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Deformación plástica	8
Figura 2-2: Deformación plástica de los aceros	8
Figura 3-2: Curva esfuerzo deformación unitaria de un material elastoplástico.....	9
Figura 4-2: Disminución de zona elástica por el aumento del momento flexionante ...	9
Figura 5-2: Baroladora manual.....	12
Figura 6-2: Baroladora mecánica	13
Figura 7-2: Roladora de tres rodillos	13
Figura 8-2: Roladora tipo Pinch	14
Figura 9-2: Roladora de zapato Tsih	15
Figura 10-2: Roladora manual.....	15
Figura 11-2: Roladora universal para todo tipo de perfiles.....	16
Figura 12-2: Roladora de cuatro rodillos.....	17
Figura 13-2: Roladora neumática Tech	18
Figura 14-2: Curva esfuerzo – Deformación real y de Ingeniería para los aceros	19
Figura 15-2: Curva esfuerzo – Deformación unitaria real e ingenieril	20
Figura 16-2: Ciclo básico de diseño	24
Figura 1-3: Especificaciones	30
Figura 2-3: Rodillo de placa hidráulico PR-1003-4	31
Figura 3-3: Rodillo de placa hidráulico PR-1003-4	32
Figura 4-3: Función primaria de la máquina baroladora	35
Figura 5-3: Funciones secundarias	36
Figura 6-3: Accionamiento eléctrico	38
Figura 7-3: Engranajes	39
Figura 8-3: Por cadena.....	39
Figura 9-3: Por bandas.....	40
Figura 10-3: Rolado por tres rodillos	42
Figura 11-3: Rolado por cuatro rodillos	43
Figura 12-3: Alternativas de solución	44
Figura 13-3: Alternativa de solución I.....	46
Figura 14-3: Alternativa de solución II	47

Figura 15-3: Alternativa de solución III.....	48
Figura 16-3: Denominación de los componentes de la máquina.....	51
Figura 1-4: Disposición inicial de los rodillos	53
Figura 2-4: Disposición de los rodillos en el proceso de curvado.....	53
Figura 3-4: Viga simplemente apoyada.....	53
Figura 4-4: Diagrama de fuerzas sobre la lámina en el barolado	53
Figura 5-4: Diagrama de cuerpo libre de la viga cortada	55
Figura 6-4: Diagrama de cuerpo libre de la viga cortada	57
Figura 7-4: Perfil rectangular para el acero al carbono A36	58
Figura 8-4: Perfil rectangular para el acero al carbono A307	60
Figura 9-4: Diagrama de carga distribuida para el rodillo	68
Figura 10-4: Diagrama de fuerzas cortantes para el rodillo	69
Figura 11-4: Diagrama de fuerzas cortantes para el rodillo	69
Figura 12-4: Diagrama de fuerzas para el eje.....	69
Figura 13-4: Diagrama de fuerzas cortantes para el eje	70
Figura 14-4: Diagrama de momentos flectores para el eje.....	70
Figura 15-4: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín	73
Figura 16-4: Factores de confiabilidad del límite de resistencia a fatiga	73
Figura 17-4: Diseño ANSYS – Momento en el Rodillo.....	89
Figura 18-4: Diseño ANSYS – Deformación del conjunto.....	90
Figura 19-4: Diseño ANSYS – Deformación de la placa (a)	90
Figura 20-4: Diseño ANSYS – Deformación de la placa (b).....	91
Figura 21-4: Diseño ANSYS – Deformación de la placa (c)	91
Figura 22-4: Diseño ANSYS – Esfuerzo de la placa (a).....	92
Figura 23-4: Diseño ANSYS – Esfuerzo de la placa (b).....	92

SIMBOLOGÍA

h	Altura	mm
A_1	Área del rectángulo	m^2
A_2	Área del triángulo	m^2
l	Avance	mm
b	Base	mm
F_{\min}	Carga mínima	Kgf
f	Coefficiente de fricción	adimensional
μ	Coefficiente de rozamiento	adimensional
C	Compresión que sufre la placa	N
Y_{max}	Deformación máxima de la plancha	m
d	Diámetro	mm
d_c	Diámetro collarín	cm
dm	Diámetro medio	cm
dr	Diámetro menor	cm
c	Distancia del eje neutro a la fibra en estudio más alejada	m
y_Y	Distancia al eje neutro	m
L	Distancia entre apoyos	m
e	Distancia entre centros	cm
e	Espesor	mm
σ_f	Esfuerzo de fluencia normal por flexión	Pa
K_a	Factor de modificación de condición superficial	adimensional
K_b	Factor de modificación del tamaño	adimensional
K_c	Factor de modificación de la carga	adimensional
K_d	Factor de modificación de la temperatura	adimensional
K_e	Factor de confiabilidad	adimensional
K_g	Factor de modificación de efectos varios	adimensional
n	Factor de seguridad	adimensional
F_S	Factor de servicio	adimensional
F	Fuerza	N

F_{A36}	Fuerza aplicada para el acero al carbono A36	N
F_{A307}	Fuerza aplicada para el acero al carbono A307	N
F_m	Fuerza aplicada por una sola persona	Kgf
F_{ct}	Fuerza en cada tornillo de potencia	Kgf
V	Fuerza de corte	N
F	Fuerza de curvado	N
F_c	Fuerza de la catalina	N
$F_{c.i.}$	Fuerza de rozamiento en los rodillos inferiores	N
$F_{c.s.}$	Fuerza de rozamiento en los rodillos superiores	N
I_x	Inercia respecto al eje x	m^4
lp	Longitud del tornillo de potencia	cm
E	Módulo de Young	N/ m^2
M	Momento	Nm
M_f	Momento flector	Nm
M_{fi}	Momento flector interno	Nm
I	Momento de inercia	m^4
z	Número de hilos de entrada	adimensional
p	Paso	cm
P_{at}	Potencia admitida	Hp
P_D	Potencia del diseño	Hp
$r_{catalina}$	Radio de la catalina	m
$r_{rodillo}$	Radio del rodillo	m
V	Rapidez máxima de trabajo	m/s
$R_{Ax}; R_{Ay}; R_{By}$	Reacciones de apoyos	N
P	Relación de transmisión	adimensional
$i_m; i$	Relación de transmisión	adimensional
$i_{c/r}$	Relación de transmisión entre rodillo-catalina	adimensional
S_{ut}	Resistencia a la rotura del Acero 1020	MPa
S_y	Resistencia a la fluencia del Acero 1020	MPa
$C1$	Selección de cadena	adimensional
$\sum MA$	Sumatoria de momentos en "A"	N.mm
$\sum Fy$	Sumatoria de fuerzas en "y"	N

T_{catalina}	Torque de la catalina	Nm
T_{rodillo}	Torque del rodillo	Nm
U	Torque distribuido	Nm
T_i	Torque en el rodillo inferior	Nm
T_s	Torque en el rodillo superior	Nm
T_s	Torque para subir la carga	Kgf.cm
T_b	Torque para bajar la carga	Kgf.cm
T	Tracción que sufre la placa	N
V	Velocidad de la catalina	m/s

LISTA DE ABREVIACIONES

ASME	American Society of Mechanical Engineers
AISI	American Iron and Steel Institute
QFD	Quality Function Deployment

LISTA DE ANEXOS

- A** Tablas para la selección de cadenas, velocidad del motor y potencia del motor
- B** Tablas de factores para el eje
- C** Tablas del catálogo DIPAC
- D** Tablas para selección de rodamientos
- E** Tabla de la casa de la calidad

RESUMEN

En la rama de Ingeniería Mecánica se presenta con mucha frecuencia la necesidad de diseñar y construir máquinas que mejoren y ayuden a resolver problemas, como en este caso es la máquina baroladora de chapa metálica, para así poder reducir gastos y tiempo al contratar servicios adicionales. Durante los últimos años se ha visto como el país ha ido creciendo en la industria en donde requieren de servicios como es el conformado para doblar láminas de hasta 12 mm de espesor. Se planteó una metodología integrada para hallar la mejor alternativa de solución, la cual consta de 4 etapas, en cada una de ellas con varias actividades dónde se utilizó métodos para su solución las cuales son: Estudios previos, se realizó un estudio de campo, métodos para el rolado en láminas de acero. Diseño de concepto, determinación de requerimientos en base a la matriz QFD, Análisis funcional, selección de la mejor alternativa, estudio de componentes. Diseño de materialización, se utilizó fórmulas para el dimensionamiento de los principales componentes de la máquina y selección de los elementos. Diseño de detalle, se presenta los documentos necesarios para la fabricación como son planos de piezas, memorias de cálculo. Tanto para el acero al carbono A36 y A307 se hizo los cálculos respectivos, con la finalidad de trabajar con la mayor fuerza, ya que está expuesta a aplicaciones con menores propiedades mecánicas. Finalmente, como resultado de la evaluación se logró construir la máquina baroladora cumpliendo con las respectivas expectativas y parámetros que se encuentran dentro del diseño, la cual fue evaluada por un análisis en ANSYS, ya que es un proceso de flexión pura, pues la deformación plástica ocurre debido a la aplicación de momentos de flexión dando como resultado que en el proceso de barolado se tenga la capacidad de doblar hasta 12 mm de espesor. Llegando a la conclusión que con la implementación de un sistema de transmisión mecánico, se logró reducir el esfuerzo físico del operador y el tiempo de operación de la misma; y se recomienda un mantenimiento adecuado de la máquina.

PALABRAS CLAVES: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MÁQUINA BAROLADORA DE CHAPA METÁLICA>, <BAROLADO>, <ANSYS (SOFTWARE)>, <ROLADO>, <CHAPA METÁLICA>, <CONFORMADO>, <LAMINADO>, <DOBLADO>

ABSTRACT

In the branch of Mechanical Engineering, the need to design and build machines that improve and help solve problems is very frequent, as in this case, it is the sheet metal bending machine, in order to reduce costs and time when contracting additional services. In recent years it has been seen how the country has been growing in the industry where they require services such as forming to bend sheets up to 12 mm thick. An integrated methodology was proposed to find the best alternative solution, which consists of 4 stages, in each of them with several activities where methods were used for their solution, which are: previous studies, a field study was carried out, methods for rolling steel sheets. Design of concept, a specification of requirements based on the QFD matrix, functional analysis, selection of the best alternative, a study of components. Design materialization, formulas were used for the dimension of the main components of the machine and selection of the elements. Detailed design, the necessary documents for the manufacture are presented, such as part drawings, calculation memories, for carbon steel A36 and A307, the respective calculations were made, with the purpose of working with the greatest force, since it is exposed to applications with less mechanical properties. Finally, as a result of the evaluation, it was possible to build the bending machine complying with the respective expectations and parameters that are within the design, which was evaluated by an ANSYS analysis, since it is a pure bending process, since the plastic deformation occurs due to the application of bending moments, resulting in the bending process has the ability to bend up to 12 mm thick. Concluding that with the implementation of a mechanical transmission system, it was possible to reduce the physical effort of the operator and the operation time of the same and an adequate maintenance of the machine is recommended.

KEY WORDS <TECHNOLOGY AND SCIENCE OF ENGINEERING>,<BENDING MACHINE WITH METALLIC SHEET>, <BENDING>, < ANSYS (SOFTWARE)>, <METAL SHEET>, < SHAPED>, <LAMINATE>, <BENT>.

INTRODUCCIÓN

Una de las más importantes operaciones del conformado mecánico es el proceso de barolado de planchas, perfiles y tubería estructural, en el cual, dichos elementos son obligados a tomar una forma curva, cilíndrica. En algunos casos forma cónica; esto se logra por movimiento o flujo plástico mediante la aplicación de una fuerza extrema. Debido a la forma del perfil, pueden presentarse adicionalmente tensiones por compresión y esfuerzos de tracción locales que harán difícil la operación del doblado. Se sujeta la pieza de trabajo sólidamente en un extremo doblándola con piezas auxiliares o por medio de golpes de martillo aplicándolos en el sentido de la fuerza de flexión. Para conservar lo mejor posible el perfil, es necesario enderezar al mismo tiempo con el martillo. (GUANO, 2006)

En la industria metal mecánica existe una variedad de máquinas herramientas para realizar diferentes actividades manufactureras en perfiles, planchas, aceros etc. aplicándoles a los mismos algún tipo de transformación, ensamble o reparación. Una de las operaciones más comunes es el proceso de doblado realizado que define el curvado como el proceso de deformación plástica o permanente que sufre un material tras aplicar sobre el mismo un determinado momento flector. El curvado se efectúa en frío, ya que sólo los espesores muy gruesos requieren un calentamiento previo. (ARAVENA, 2010)

CAPÍTULO I

1 ANTECEDENTES

Este tipo de máquinas constan de, tres rodillos universales que pueden rolar las planchas de acero en forma de barril, en forma circular, forma cónica, etc. El rodillo superior se diseña para la resistencia a la deformación, con dos rodillos inferiores que se fijan simétricamente al rodillo superior. El rodillo principal asciende y desciende en el centro de la de simetría entre los otros dos rodillos inferiores. Hoy en día se manejan baroladoras con motores para transmitir el giro a los rodillos controladas manualmente y otras con control automatizado por medio de PLC's, pantallas "touch screen", "panels view" y diferentes componentes de automatización los cuales proporcionan un acabado más limpio, preciso, con mayor velocidad en el proceso y eficiencia. (CÓRDOVA, 2012)

1.1 Planteamiento del problema

En Ecuador, la mayoría de pequeñas y medianas industrias para realizar los trabajos de barolado se han implementado métodos manuales no favorables, que generan gastos extras y pérdida de tiempo al contratar servicios adicionales elevando el costo del producto final, específicamente para la empresa "ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MAQUINARIA AGRÍCOLA CARLOS VILLACRÉS", ya que al no contar con lasherramientas adecuadas que le permita realizar los procesos de barolado necesarios, y al no disponer de una maquinaria óptima que le faculte resolver este problema; por lo cual se realizará el estudio del mecanismo más apto para el diseño y construcción de la máquina baroladora.

1.2 Justificación

1.2.1 *Justificación teórica*

El Ecuador actualmente es un país en vías de desarrollo, que exige de profesionales técnicos y capaces del crecimiento en la industria del país. Las prestaciones que brindará la máquina, van dirigidas a empresas quienes requieran de los servicios para el conformado estructural. Utilizando los conocimientos adquiridos en el área de diseño y la recopilación de información se va a disponer de un documento con información detallada, ya que se convierte en una guía para otras empresas que se vean reflejados para el desarrollo de este tipo de máquina baroladora, al no encontrarse una metodología específica en la literatura para el diseño de máquinas baroladoras de láminas, también desde el punto de vista de la productividad, este tipo de máquina permitirá al empresario obtener un ahorro considerable con la cuál operan en la misma planta, por tanto se optimiza la productividad.

1.2.2 *Justificación metodológica*

Este proyecto contempla el conjunto constituido por el marco referencial, metodología del diseño y la máquina en sí para el proceso de barolado donde hallaremos los esfuerzos y las deformaciones reales que existen en este proceso de conformado para planchas de acero logrando así datos óptimos para el diseño de la baroladora, reduciendo esfuerzos innecesarios.

1.2.3 *Justificación práctica*

Este es un proyecto propuesto por la empresa, directamente a los autores del presente documento y asumido a la vez como un gran reto y responsabilidad, ya que se tiene que administrar recursos de la empresa y optimizarlos al máximo. Se va a disponer de una máquina baroladora de chapa metálica capaz de doblar láminas de diferente espesor de hasta 12 mm, con lo cual satisface la demanda en función de producción y garantiza un incremento de la productividad, una disminución significativa de los costos con un aumento de la calidad del producto elaborado y la optimización del tiempo empleado.

1.2.4 Alcance

Contempla el correcto proceso de rolado donde hallaremos los esfuerzos y las deformaciones reales que existen en este proceso de conformado para doblar láminas de hasta 12 mm de espesor, logrando así los datos optimizados para el diseño de la baroladora, reduciendo esfuerzos innecesarios obtenidos mediante métodos tradicionales de diseño en base al material y diámetro de barolado más exigente que requiera rolar la empresa de ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MAQUINARIA AGRÍCOLA CARLOS VILLACRÉS, con esto se asegurara que la baroladora puede ser utilizada para todos los materiales con los que trabaja la empresa y para la prestación de servicios para proyectos tanto internos como externos.

Como parte del proyecto se contempla toda la ingeniería conceptual e ingeniería de detalle, incluyendo toda la documentación que se desarrollara en cada uno de estas etapas de la ingeniería, mediante el diseño del equipo se obtendrá un costo aproximado de la fabricación incluyendo costos de los materiales y elementos que se requieran, costos de mano de obra del personal calificado que se requiere para su construcción, entre otros costos directos e indirectos que implican la construcción del equipo, esto servirá para que la empresa realice un análisis exhaustivo de cual alternativa es la mejor tanto financiera como tecnológicamente para ellos.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Diseñar y construir una máquina baroladora de chapa metálica hasta 12 mm de espesor para la empresa “ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MAQUINARIA AGRÍCOLA CARLOS VILLACRÉS”.

1.3.2 Objetivos específicos

- Realizar el estudio del estado del arte de la máquina baroladora de chapa metálica.

- Diseñar la máquina baroladora de acuerdo a las especificaciones requeridas por la empresa y que cumpla con las características de resistencia y funcionalidad.
- Investigar acerca de las cargas que van a soportar los perfiles al momento del barolado. Estudiar el fenómeno de deformación y el comportamiento de diferentes materiales y secciones durante el proceso de barolado.
- Comprobar el diseño mediante el análisis y simulación de los componentes del equipo, mediante la utilización de un software especializado.

CAPÍTULO II

2 MARCO REFERENCIAL PARA LA MÁQUINA BAROLADORA DE CHAPA METÁLICA

En el presente capítulo se realizara el estudio bibliográfico de los procesos de conformado, deformación plástica, flexión, doblado, rolado, tipo de máquinas dobladoras de piezas, normas y materiales que se utilizaran. Servirá como base teórica para el proceso de diseño y construcción de nuestra baroladora de láminas en los siguientes capítulos.

2.1 Tipos de conformado

2.1.1 *Procesos y conformado de rolado*

El conformado de piezas se lo realiza de varias formas encontrando entre las más importantes: Por fundición y colada, por deformación plástica, por maquinado, por ensamble y unión. (IZA, 2007)

Se define como proceso de rolado al pasar una plancha de acero por dos o más rodillos, generando presión entre los rodillos para obtener la forma deseada de la plancha. Generalmente se utiliza este proceso para obtener formas tubulares de la plancha, a pesar que se puede obtener cualquier forma de revolución. (QUITO, 2016)

El barolado es un proceso de conformado por flexión que consiste en deformar plásticamente láminas o perfiles metálicos al hacerlos pasar por medio de rodillos.

Existen diversos métodos de barolado los cuales dependen del material a utilizar o simplemente del equipo que puede variar por el número de rodillos o posición de estos. (CÓRDOVA, 2012)

2.1.2 *Por fundición y colada*

Es un proceso que se utiliza para colar o moldear, el material en forma líquida, se introduce en una cavidad preformada llamada molde. El molde tiene la configuración exacta de la parte que se va moldear o colar. Después de que el material llena el molde, se endurece y adopta la forma, la cual es la forma de la pieza, luego se abre o se rompe el molde y se extrae la pieza. (IZA, 2007)

2.1.3 *Por maquinado*

Este proceso se utiliza para conformar partes de materiales, es preciso y puede producir una tersura de superficie difícil de lograr con otros procesos de formación, se lleva a cabo su forma con el uso de una herramienta de corte. (IZA, 2007)

2.1.4 *Por ensamble y unión*

La función básica de los procesos de ensamble es unir dos o más partes entre sí para formar un conjunto o subconjunto completo. La unión de las partes se puede lograr con métodos permanentes como soldadura de arco o de gas, soldadura blanda o dura o con el uso de adhesivos basados en resinas epoxi y no permanentes las sujeciones realizadas con sujetadores mecánicos (tornillos, pasadores, chavetas, remaches, etc.) (IZA, 2007)

2.1.5 *Deformación plástica*

Es un proceso de formación por el cual un material en estado sólido cambia su forma, esto es posible por la aplicación de esfuerzos mayores que el límite de fluencia pero menores que el límite de rotura como flexión, compresión, cizallado y tensión ya sea por formado en frío o en caliente. (IZA, 2007)

Tabla 1-2: Ventajas y desventajas de la deformación plástica

Ventajas:	Desventajas:
<ul style="list-style-type: none">• Tiene un acabado brillante y bastante exacto.• Mejora la resistencia, la maquinabilidad.• El metal dúctil se vuelve más duro y resistente a medida es deformado plásticamente.	<ul style="list-style-type: none">• La reducción de la ductilidad y el aumento de la resistencia a la tensión limitan la cantidad de operaciones de formado que se pueden realizar a las partes.• Requiere mayores fuerzas por que los metales aumentan su resistencia debido al endurecimiento por deformación.

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

El modelo más próximo al análisis de la deformación del material en el predoblado es el de una viga en voladizo con carga distribuida; donde las láminas, perfiles y varillas metálicos actúan como vigas, el empotramiento lo realizan los rodillos que ajustan a la lámina, y la carga o fuerza inclinada es realizada por el rodillo barolador. Si las cargas sobre una viga son lo suficientemente grandes como para hacer que el esfuerzo sea mayor que la resistencia a la fluencia se dice que la viga sufre flexión inelástica. Este efecto es el que se va a aprovechar para el conformado mediante el barolado, lo que se desea es causar un esfuerzo lo suficientemente grande sobre las láminas o perfiles a barolar de tal manera que queden deformadas permanentemente y obtengan la forma deseada por el operario, como es el caso del predoblado y deformado de la lámina. (CÓRDOVA, 2012)

Para la mayoría de los materiales metálicos, la deformación elástica únicamente persiste hasta deformaciones de alrededor de 0,002. A medida que el material se deforma más allá de este punto, la tensión deja de ser proporcional a la deformación (La ley de Hooke deja de ser válida), y ocurre una deformación plástica, la cual es permanente, es decir, no recuperable. (QUITO, 2016)

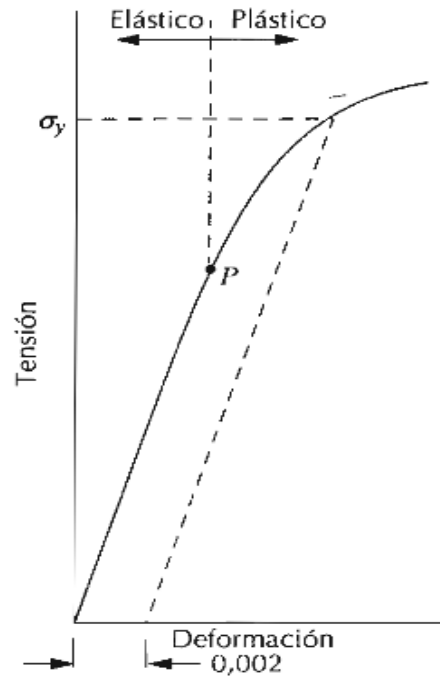


Figura 1-2: Deformación plástica

Fuente: (QUITO, 2016)

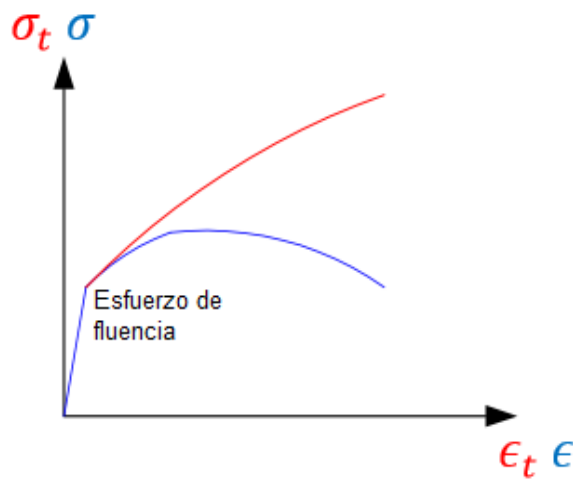


Figura 2-2: Deformación plástica de los aceros

Fuente: (QUITO, 2016)

Para analizar la flexión inelástica de una viga se debe asumir que es una flexión elastoplástica. La flexión elastoplástica se presenta en aquellos materiales que se apegan a la ley de Hooke hasta el límite de proporcionalidad, que supone el mismo esfuerzo del límite de fluencia. (QUITO, 2016)

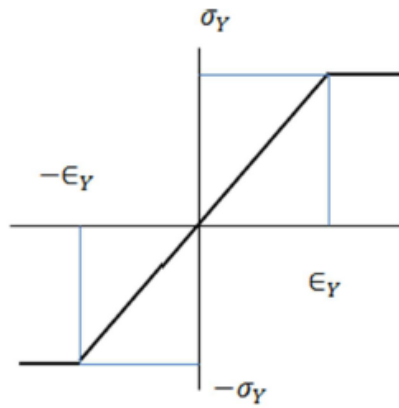


Figura 3-2: Curva esfuerzo deformación unitaria de un material elastoplástico

Fuente: (QUITO, 2016)

Otro concepto que cabe revisar es el momento elástico plástico máximo. Al momento que una viga se flexiona, llega un punto donde las fibras exteriores sufren un endurecimiento debido a que han sobrepasado el límite elástico, y pasan a la zona plástica. Mientras el momento flexionante se incrementa, disminuye en profundidad la zona elástica, hasta que se llegue a un punto donde la zona sobre el eje neutro llegue a ser totalmente plástica al igual que la zona bajo el eje neutro. Esto se puede ver en la Figura 4. Donde (a) muestra el perfil de la sección de la viga trapezoidal elastoplástica. (b) y (c) se muestra una deformación elástica, pero a partir de (d) se observa la fluencia de las fibras exteriores hasta que al final (f) se observa una deformación totalmente plástica. (QUITO, 2016)

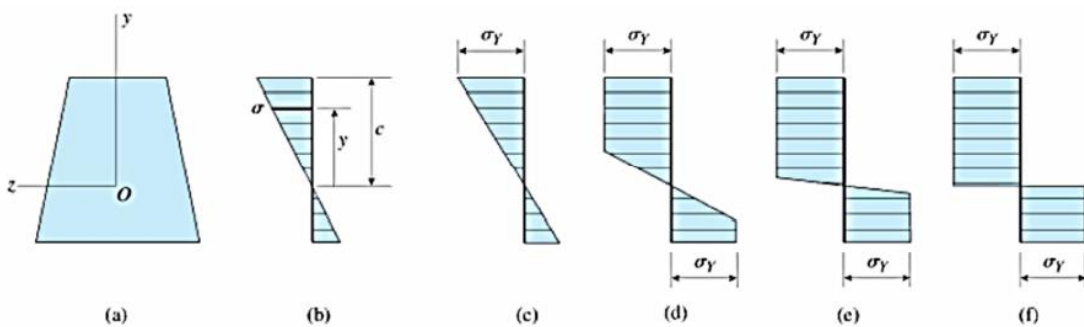


Figura 4-2: Disminución de la zona elástica por el aumento del momento flexionante

Fuente: (QUITO, 2016)

La mayoría de los sólidos se deforman al someterse a una carga externa. Hasta cierta carga límite, el sólido recobra sus dimensiones originales cuando se le descarga, esta carga se conoce como límite elástico. La recuperación de las dimensiones originales al

eliminar la carga es lo que caracteriza el comportamiento elástico. Si se sobrepasa el límite elástico, el cuerpo retiene cierta deformación permanente cuando deja de actuar la carga, entonces se dice que el material tuvo un comportamiento elástico. Todas las propiedades de un metal dependen de la estructura reticular y se ven afectadas por la deformación plástica donde algunas propiedades aumentan y otras disminuyen. (SHIRLEY, 2016)

Tabla 2-2: Propiedades de los materiales

Aumentan	Disminuyen
<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a la tensión. - Dureza. - Reactividad química. - Resistencia a la cadencia o fluencia 	<ul style="list-style-type: none"> - Ductilidad - Conductividad eléctrica - Resistencia a la corrosión

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

2.1.6 Tipos de rolado

Se llama rolado al proceso de conformado mecánico por flexión, que consiste en deformar plásticamente láminas o perfiles metálicos al hacerlos pasar por medio de rodillos. Uno de ellos superior que se desliza verticalmente hasta que roce al material y con movimiento del resto de los rodillos hace posible su funcionamiento y a su vez el precurvado de la pieza de trabajo. El rolado es muy utilizado para doblar materiales diversos y de secciones diferentes, teniendo estas variadas aplicaciones, se puede doblar perfiles, planchas, barras, etc., de acuerdo al equipo, uso o requerimiento deseado. A continuación se presenta los tipos de rolados existentes. (IZA, 2007)

2.1.6.1 Rolado de planos

Se refiere al trabajo que consiste en doblar lámina utilizando un radio relativamente amplio con el propósito fundamental de obtener la forma curva deseada. Se emplea este proceso en general para la fabricación de cilindros para tanques, conos para decantadores, otras formas cilíndricas tales como las chimeneas de las estufas o bajantes -de canales, etc. (IZA, 2007)

2.1.6.2 Rolado de no planos

En esta categoría se encuentran los procesos de rolado de perfiles, para lo cual las máquinas para este tipo se encuentran equipadas con soporte de apertura, cierre manual, extensiones para incorporar rodillos para el curvado de perfiles, pedales para la rotación de los rodillos y protecciones de seguridad. El rolado de perfiles en general se emplea para la fabricación de arcos arquitectónicos, pórticos curvos, arcos para túneles, etc. (IZA, 2007)

2.1.7 Tipos de máquinas baroladoras

En general las baroladoras son de mucha utilidad para el doblado ya sea de láminas o de perfiles metálicos, en las empresas como en los talleres mecánicos básicamente se puede encontrar formadas por tres y cuatro rodillos de cuya disposición depende su clasificación. (IZA, 2007)

2.1.7.1 Baroladora manual

Conocidas así porque el movimiento requerido se obtiene manualmente, fuerza del hombre; esta es aprovechada para obtener el trabajo deseado, para esto se utilizan dispositivos mecánicos que disminuyen el esfuerzo que debe realizar la persona, como se muestra en la Figura 5-2, la fuerza del hombre es aprovechada de manera adecuada, ya que el sistema de transmisión que poseen estos tipos de equipos hacen que la fuerza empleada sea mínima y necesaria. (GUAMÁN, 2011)



Figura 5-2: Baroladora manual

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.2 *Baroladora mecánica*

Estos tipos de equipos obtienen la fuerza de trabajo mediante la transmisión de la fuerza por medio de un motor acoplado a un mecanismo cinético, el cual consta de algunos dispositivos, los más usados: conjunto tornillo sin fin-rueda, conjunto de bandas-poleas, conjunto de tren de ruedas dentadas y conjunto mixtos, una máquina de este tipo se encuentra en la Figura 6-2. El motor generador del movimiento principal generalmente corresponde a motores eléctricos, usados debido a que estos ofrecen mayores prestaciones de esfuerzo y seguridad, la potencia a ser seleccionada en estos equipos depende primordialmente del tipo y espesor del perfil a ser trabajado. (GUAMÁN, 2011)



Figura 6-2: Baroladora mecánica

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.3 *Roladora de tres rodillos*

Estas pueden ser de rodillos simétricos o asimétricos, el rodillo superior es fijo mientras que los otros rodillos inferiores tienen movimiento independiente uno del otro, lo que permite el precurvado de la pieza teniendo como resultado los diámetros requeridos. (IZA, 2007)



Figura 7-2: Roladora de tres rodillos

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.4 Roladora tipo Pinch

Esta roladora se encuentra formada por tres rodillos, cuyos centros forman un triángulo isósceles, su vértice superior es el centro del rodillo de mayor diámetro, el mismo que es graduable y transmite la fuerza de doblez. Los rodillos inferiores son de menor diámetro que el superior, y no tiene tracción, su funcionamiento está dado por el roce con el material; estos rodillos son fijos, En general el movimiento de estos rodillos se lo hace por medio de motores, cuya velocidad de giro de los rodillos es controlada por un sistema de engranajes. (IZA, 2007)



Figura 8-2: Roladora tipo Pinch

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.5 Roladora tipo zapato Tsih

Está formada por tres rodillos, dos de los cuales (los pequeños) transmiten el movimiento, permaneciendo fijos durante su funcionamiento y son graduables dependiendo del espesor del material; en cambio el tercer rodillo es el que da la curvatura del material gracias a su movimiento en dirección diagonal y gira solo por rozamiento con el material; la entrada del material se lo hace por los rodillos fijos, el movimiento es por medio de motores, cuya velocidad de giro de los rodillos es controlada por un sistema de engranajes. (IZA, 2007)



Figura 9-2: Roladora de zapato Tsih

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.6 *Roladora manual*

Está formada por tres rodillos, su funcionamiento es manual. En general el movimiento de los rodillos inferiores se los realiza por medio de una manivela, cuya velocidad de giro es controlada por el operario. En este tipo de roladoras no se necesita de un esfuerzo grande ya que el rolado se lo realiza en lámina fina o delgada. (IZA, 2007)



Figura 10-2: Roladora manual

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.7 Roladora universal para perfiles

Formada por tres rodillos, uno superior fijo y dos inferiores que tienen movimiento independiente uno del otro, todos con tracción motorizada y superficie lisa, lo que permite obtener un curvado óptimo con cualquier tipo de perfil sin dañar su superficie. (IZA, 2007)



Figura 11-2: Roladora universal para todo tipo de perfiles

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.8 Roladora de cuatro rodillos

Este tipo de roladoras tienen el rodillo superior fijo y los tres rodillos inferiores con movimientos independientes, lo que permite el pre curvado en una sola vez teniendo como resultado diámetros perfectos. (IZA, 2007)



Figura 12-2: Roladora de cuatro rodillos

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.9 Roladora neumática Tech

Son roladoras de placa de cuatro rodillos, el rodillo superior es fijo y con movimiento del resto de los rodillos basculante, lo que permite el precurvado en una sola vez teniendo como resultados diámetros exactos. Dos rodillos tienen tracción (superior y pinzador) y trabajan con un motor y reductor eléctrico. Estas roladoras poseen panel de mandos programable para ciclo automático. Equipada con soporte de apertura y cierre neumático controlado desde el panel de mandos, una velocidad de avance, un soporte vertical con movimiento manual, dos reglas para escuadrar la entrada de la lámina y protecciones de seguridad. (IZA, 2007)



Figura 13-2: Roladora neumática Tech

Fuente: (INDUSTRIAL, 2008)

2.1.7.10 *Roladora hidráulica Tech*

Roladoras de placa de cuatro rodillos, el superior es fijo y los tres rodillos inferiores con movimiento independiente uno de los otros, lo que permite el pre curvado en una sola vez teniendo diámetros perfectos. Dos rodillos tienen tracción (superior y pinzador) y trabajan con dos motores y reductores hidráulicos; con panel de mandos programable para ciclo automático. Equipada con soporte de apertura y cierre hidráulico controlado desde el panel de mandos, una velocidad de avance, un soporte vertical con movimiento, reglas para escuadrar la entrada de la lámina y protecciones de seguridad. (IZA, 2007)

2.1.8 *Características de los materiales a rolar y de los rodillos para rolar*

Uno de los metales más utilizados en la industria es el acero, debido a sus buenas prestaciones, propiedades mecánicas, físicas y tecnológicas. El acero que se utiliza con mayor frecuencia para la construcción de puentes, edificios, automóviles, estructuras y máquinas, es el acero A36, produciéndose en varias formas como son: láminas, perfiles, tubos, barras, entre otras. Y para explosiones, deformación plástica, ensayos

destruictivos, ensayos no destructivos, paneles navales, es el acero ASTM A 131 grado A.

Dentro de sus ventajas está la gran resistencia a tensión, compresión y costo razonable, debido a estas características los materiales a barolar seleccionado en este proyecto de titulación es el acero A36 y el acero ASTM A131 grado A, por lo que las propiedades a utilizar se harán en referencia a estos materiales, y el diseño se realizará en base a estas propiedades, cabe recalcar que se podrán barolar materiales con características similares o de menor valor a las propiedades mecánicas del acero A36 y el acero ASTM A 131 grado A.

Las características del acero estructural tipo A36 se pueden apreciar en las curvas “esfuerzo-deformación unitaria” a tensión, mostrada en la Figura 14-2.

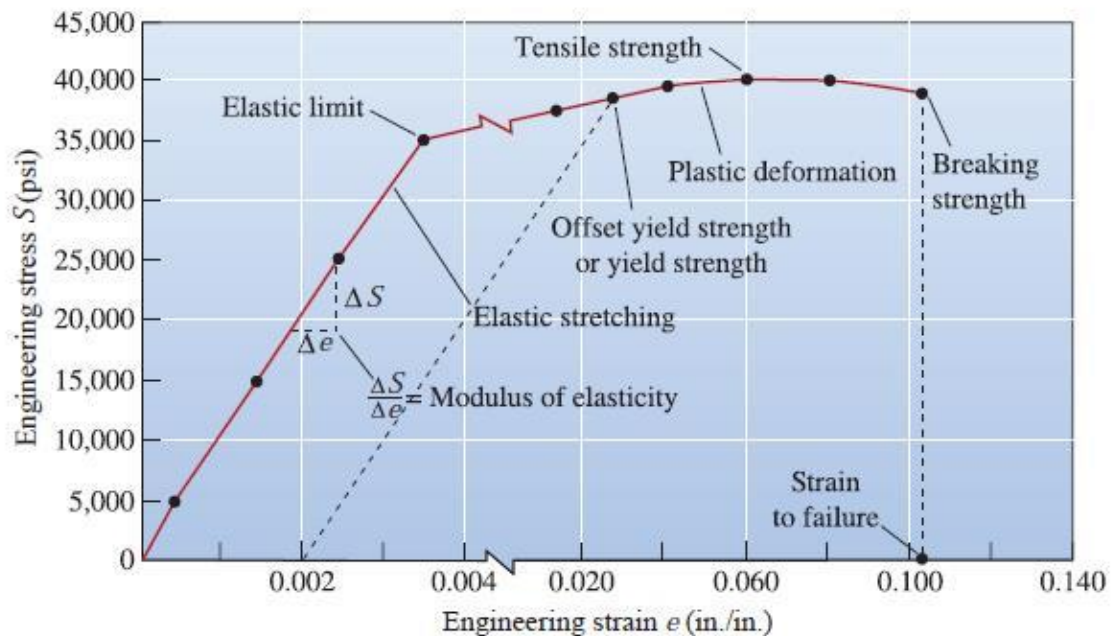


Figura 14-2: Curva esfuerzo – Deformación real y de Ingeniería para los aceros

Fuente: (VIDAL, 2015)

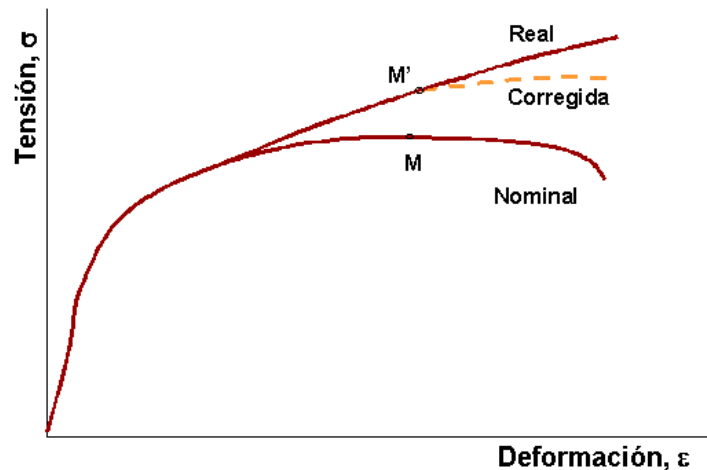


Figura 15-2: Curva esfuerzo – Deformación unitaria real e ingenieril

Fuente: (Useche, 2009)

La diferencia entre la deformación real e ingenieril puede apreciarse claramente. Estas desviaciones resultan del hecho de que los cambios en la longitud y el área de la sección transversal no son uniformes a lo largo de toda la lámina de acero, y en consecuencia los esfuerzos y las deformaciones reales tampoco son uniformes.

2.1.9 Metodologías de procesos de diseño de una máquina baroladora de chapa metálica

Método. Es una forma de proceder específica y ordenada para llegar a un determinado fin. Sus principales características son:

- a) Es un procedimiento racional;
- b) Es un procedimiento general, aplicable a cualquier caso particular;
- c) Es observable y reproducible por cualquier persona. (Riba, 2002 pág. 69)

Diseño. Es el conjunto de actividades designadas para crear y definir todas las determinaciones necesarias para su posterior realización y utilización. El resultado final se expresa mediante maquetas, documentos, y planos. (Romeva, 2002 pág. 70)

Metodología. Estudia los métodos que van a ser aplicados a las actividades de diseño y que responden a dos cuestiones principales: (Riba, 2002 pág. 71)

- Procesos de diseño

El diseño es una parte fundamental en el proceso de elaboración de cualquier producto ya que ingresan una variedad de datos que nos ayudan a tener un enfoque más amplio de lo que se va realizar por ende tenemos diferentes tipos de diseño que detallamos a continuación. (Riba, 2002 pág. 78)

Diseño conceptual. Es la fase inicial de desarrollo de un producto, en particular cuando se trata de diseñar productos innovadores o cuando se requiere generar un diseño completamente nuevo de un producto ya existente. (desing, 1996)

Producto. Es un resultado de la actividad del hombre (en el contexto de esta obra, un objeto, aparato, máquina o sistema; en otros contextos, también un material o un servicio) concebido y realizado para satisfacer alguna de sus necesidades. (Riba, 2002 pág. 70)

- Metodología del diseño

Las actividades de diseño (separadas de las de producción) consisten, pues, en transformar unas necesidades o una idea, en una propuesta de producto y expresarlo en una forma que pueda ser materializado. (Riba, 2002)

Las actividades de desarrollo (que incluyen las de diseño), también previas al lanzamiento del producto, tienen por objeto preparar el entorno productivo para hacer posible su fabricación y comercialización. (Riba, 2002)

- *Ciclo básico del diseño.* Es una parte del método de resolución de problemas cuyas actividades se dirigen desde los objetivos (las funciones) hacia los medios (el diseño). El ciclo básico de diseño utiliza una terminología propia con contenidos (Riba, 2002 pág. 72)

- *Problema práctico.* La realidad no siempre está de acuerdo con nuestros valores y preferencias; por lo tanto, queremos transformar la realidad. El problema se sitúa en el área de los juicios de valor en el dominio mental. (Riba, 2002 pág. 77) (REVELO, 2017)
- *Análisis.* El primer paso parte del enunciado del problema y, en base al análisis de las funciones técnicas, económicas, ergonómicas, y ambientales del producto. (Riba, 2002 pág. 72) (REVELO, 2017)
- *Síntesis.* El segundo paso consiste en la generación de una o varias propuestas para la solución (diseños iniciales, aún no simulados ni evaluados) y a partir de la unión de distintos elementos, ideas y filosofías de diseño (Riba, 2002 pág. 73) (REVELO, 2017)
- *Simulación.* El tercer paso busca obtener el comportamiento del diseño inicial. Dado que este diseño inicial suele estar definido por modelos (estructura funcional, principios de funcionamiento, planos de definición) no siempre adecuados para estudiar sus comportamientos. Comprende dos semipasos diferenciados y varios caminos posibles a recorrer: (Riba, 2002 pág. 73) (REVELO, 2017)

El primer semipaso: busca establecer modelos adecuados de los diseños iniciales (prototipos virtuales o físicos) representativos de uno o más de sus aspectos. (Riba, 2002 pág. 73)

El segundo semipaso: busca obtener el comportamiento de la simulación de los prototipos por medio de la deducción o del ensayo. (REVELO, 2017)

Caminos posibles a recorrer son: (Riba, 2002 pág. 73)

a) La ejecución de prototipos virtuales con modelos informáticos para la obtención de sus comportamientos normalmente se realiza con herramientas informáticas. (Riba, 2002 pág. 73) (REVELO, 2017)

b) La materialización de prototipos físicos totales o parciales para la obtención de sus comportamientos mediante ensayos. (Riba, 2002 pág. 73) (REVELO, 2017)

c) En ciertos aspectos relacionados con los juicios de valor por ejemplo, la estética y otras percepciones, la simulación de los diseños iniciales puede basarse en encuestas en experiencias cualificadas. (Riba, 2002 pág. 73) (REVELO, 2017)

- *Evaluación.* establece la utilidad, la calidad la eficacia, y la aceptación de las soluciones en base a contrastar los comportamientos de los prototipos de los diseños iniciales obtenidos por simulación, ensayo u opinión, con las especificaciones establecidas anteriormente. (Riba, 2002 pág. 73) (REVELO, 2017)
- *Decisión.* Una vez evaluados los comportamientos de las soluciones candidatas, hay que encontrar la mejor alternativa. (Riba, 2002 pág. 74) (REVELO, 2017)

a) Elegir un diseño inicial: es el diseño aceptado que origina la siguiente etapa de proceso de diseño o de fabricación; (Riba, 2002 pág. 74) (REVELO, 2017)

b) Establecer una nueva iteración: se realiza en una de las etapas anteriores especialmente en la síntesis de soluciones con la introducción de determinadas propuestas de mejora; (Riba, 2002 pág. 74) (REVELO, 2017)

c) En casos extremos: aquellos resultados muy desfavorables y la falta de nuevas perspectivas

Los cuales pueden abandonar el diseño. (Riba, 2002 pág. 74) (REVELO, 2017)

En la siguiente Figura 16-2 se resumen todos los pasos para el desarrollo del ciclo básico de diseño.

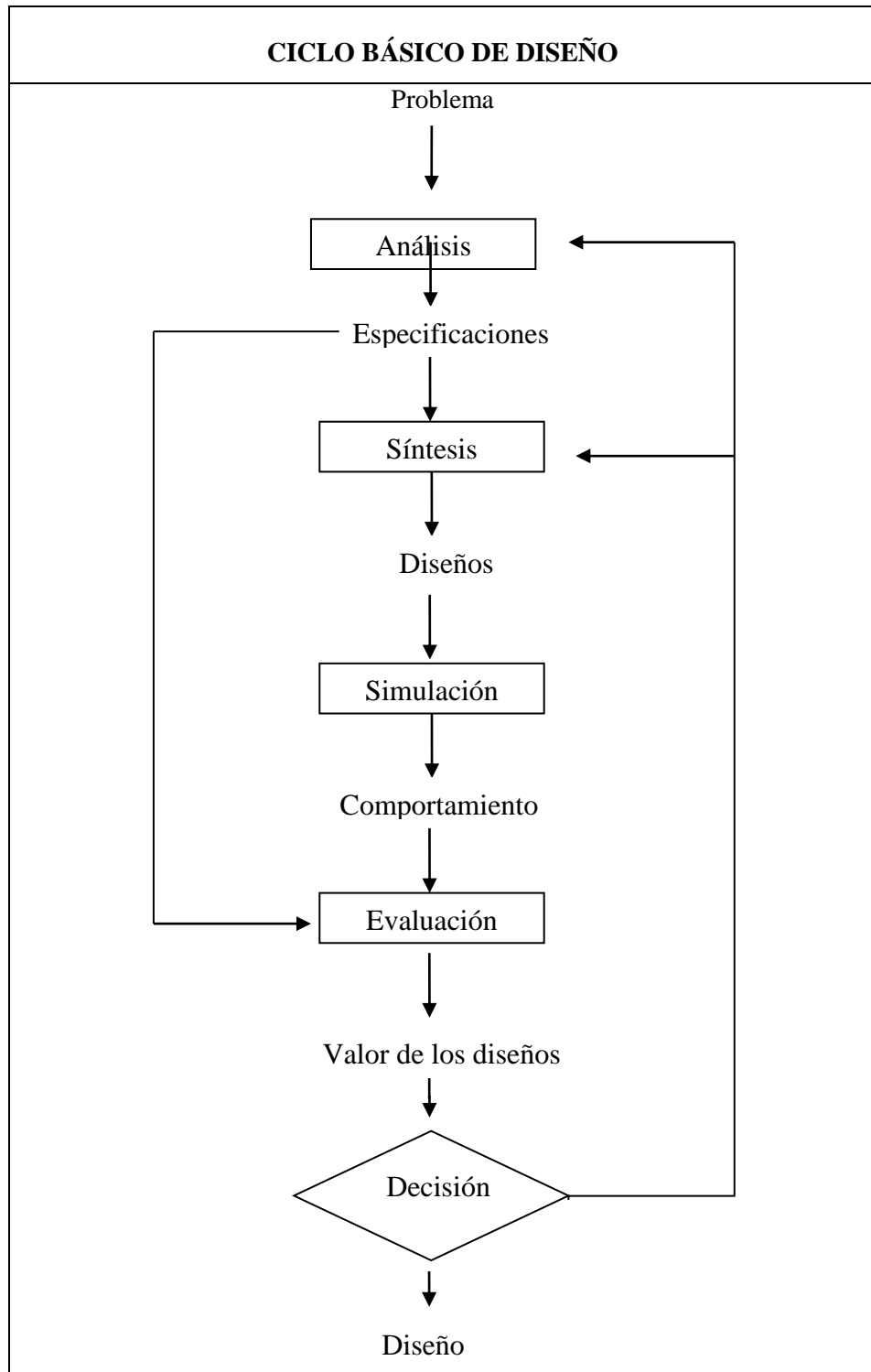


Figura 16-2: Ciclo básico de diseño

Fuente: (Riba, 2002)

El ciclo básico de diseño es la unidad fundamental que aplica de forma iterativa a lo largo del proceso de diseño en una secuencia de espiral convergente donde cada vez las soluciones encontradas se aproximan más a los objetivos y requerimientos del problema. Sin embargo, debido a su carácter general y abstracto, no ofrece el suficiente

alcance para establecer una metodología de diseño, por lo que conviene estructurar el proceso de diseño en grupos de actividades relacionadas que conduzcan a ciertos estados de desarrollo. (Riba, 2002 pág. 78)

Conclusiones:

- El análisis de las diferentes alternativas para el diseño y construcción de la baroladora permite un mejor desempeño, funcionamiento y eficiencia de la máquina.
- La teoría proporcionada contribuye para el conocimiento básico de la baroladora así como su funcionamiento, aplicaciones, tipos y componentes de la misma.
- Para el diseño y construcción de la baroladora se realizará un análisis de alternativas, realizando el estudio de los diferentes tipos de baroladoras que existen en el mercado e industria local, teniendo las siguientes: Sistema Mecánico, Sistema Hidráulico, Sistema Eléctrico. Luego de realizar el estudio de las ventajas y desventajas de cada alternativa se optó por escoger una baroladora de tres cilindros, en la cual el rodillo superior ascienda y los dos inferiores se mantienen fijos.

CAPÍTULO III

3 METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA BAROLADORA DE CHAPA METÁLICA HASTA 12mm

3.1 Metodología para el diseño de la máquina baroladora de chapa metálica

Para establecer una metodología apropiada se realizó un estudio de varios autores del diseño concurrente y siguiendo como metodología propuesta por Carles Riba y Romeva. La ingeniería concurrente se define como un enfoque sistemático para el diseño paralelo e integrado de productos y procesos relacionados incluyendo manufactura con la intención que el desarrollador considere desde el inicio del proyecto con todos sus elementos del ciclo de vida del producto hasta su finalización, eliminación y reciclaje del mismo incluyendo calidad, costo, planeación y requerimientos del usuario. (Ingeniería concurrente y tecnologías de la información, 2004).

3.1.1 *Tendencias de diseño*

Para diseñar la máquina se debe planificar y seguir el proceso establecido para el diseño y construcción de la máquina baroladora lo que facilita al lector el procedimiento con el que fue realizado, la tabla (2) indica la metodología propuesta por los autores para el diseño y construcción de la máquina baroladora la cual nos facilitara los pasos de forma general a seguir para obtener un productos con los estándares requeridos calidad, seguridad, ergonomía.

Tabla 1-3: Metodología para el diseño y construcción propuesta por los autores

1	<ul style="list-style-type: none">• Estudios previos• Formulación del problema• Justificación• Objetivos
2	<ul style="list-style-type: none">• Marco referencial• Tipos de procesos de conformados• Deformación plástica• Tipos y características de máquinas
3	<ul style="list-style-type: none">• Diseño concurrente• Caracterización de la máquina baroladora de chapa metálica• Despliegue de la función de calidad (QFD)• Especificaciones técnicas• Análisis funcional• Selección de la mejor alternativa
4	<ul style="list-style-type: none">• Cálculo de la fuerza necesaria para doblar las láminas• Selección del motor• Diseño de la estructura• Diseño del sistema de transmisión• Diseño de los rodillos• Selección de componentes mecánicos que conforman la máquina
5	<ul style="list-style-type: none">• Construcción de las partes mecánicas de la máquina baroladora de chapa metálica
6	<ul style="list-style-type: none">• Montaje de los componentes que conforman la máquina baroladora de chapa metálica• Pruebas de funcionamiento de la máquina baroladora
7	<ul style="list-style-type: none">• Pruebas diversas• Conclusiones• Recomendaciones

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizúete. 2018

3.2 Consideraciones para la determinación de las especificaciones

El diseño y construcción de la máquina baroladora tiene como objetivo satisfacer los requerimientos del patrocinador cuya actividad actual es el diseño y construcción de elementos metálicos, el método aplicado por el patrocinador es de forma manual con un alto porcentaje de riesgo con exceso de tiempo y un elevado costo el cual produce un retraso en las entregas de los productos con el proceso de rolado, además el rolado manual en la superficie del producto no tiene una forma homogénea con un acabado de baja calidad.

El patrocinador con este modelo quiere lograr una mayor producción en menor tiempo sin riesgos, reducir el número de personas para realizar el proceso de rolado, y especialmente obtener un producto de alta calidad.

3.3 Determinación de las especificaciones para la máquina baroladora de chapa metálica

Se especificará las características técnicas que deberá tener la máquina baroladora, para así satisfacer los requerimientos expuestos por el patrocinador en la función de calidad dado en la matriz QFD, la voz del usuario que nos permitirá tener una idea básica de lo que necesita el usuario.

3.3.1 *Despliegue de la función de calidad (QFD)*

Permitirá al ingeniero determinar las especificaciones técnicas que necesita la máquina, mediante el método de ingeniería concurrente denominado la casa de la calidad o matriz QFD, donde se analiza los requerimientos dados por el usuario o patrocinador, para así obtener un producto de mejor calidad siguiendo una planificación adecuada y tomando en cuenta la vida útil de la máquina. El resultado final de cualquier diseño es la satisfacción del usuario para ello es necesario conocer el comienzo del desarrollo empezando por la denominada voz del usuario. (RIBA, 2002 pág. 177)

- *Voz del usuario.* En este ítem se analizara las características que necesita el usuario, es decir el patrocinador de forma general para la máquina.

- Máquina de fácil operación, de ida y vuelta
- Velocidad bien baja
- Capaz de rolar laminas desde 1mm hasta 12 mm de espesor
- Fácil mantenimiento
- Capacidad del producto sea alto
- Fuente de energía
- Que la transmisión sea efectiva y no cause problema
- Dimensiones 3,5 m de largo, 2 m de ancho y 1,10 m de alto
- Acabado perfecto
- El material no sea tan costoso y que sea resistente

- *Voz del ingeniero.* En esta sección se convierte las necesidades generales del usuario en requerimientos y características técnicas que deben cumplir el diseño y la máquina propuesta, las cuales son.

- La máquina manual, con pulsadores de ida y vuelta y un volante para controlarla
- Velocidad de trabajo baja, máximo 1m/min
- Capacidad de la lámina de 1 mm a 12 mm de espesor,
- Períodos de mantenimiento
- Una de las torres debe de salir en forma axial.
- Transmisión por cadena, bandas engranes
- Motor eléctrico
- Tamaño compacto
- Barolado (rolado) óptimo
- Materiales adecuados

Resultados de la matriz QFD: La máquina baroladora deberá cumplir a cabalidad con las diferentes características técnicas para obtener estos resultados se basó en el diseño del autor Carles Riba y Romeva para realizar la evaluación. (Romeva, 2002).

Para realizar la evaluación de la casa de la calidad tomamos en cuenta las siguientes máquinas:

➤ Competencia 1: Rodillo de placa hidráulico PR-1003-4

El rodillo de placa hidráulico PR-1003-4 sería el perfecto para cualquier taller de fabricación industrial o taller de chapa metálica que tiene una necesidad de enrollar 1/4" de acero blando en 10 pies de ancho. El rodillo de placa hidráulico PR-1003-4 utiliza una caja de engranajes planetario conectado a un motor de 7hp robusto para accionar los rodillos superior e inferior a unos sólidos 16 pies por minuto. Baileigh Industrial utiliza el movimiento del pistón lineal directo para los rodillos laterales o de formación es estándar para más poder de formación. Otros rodillos de placa usan el movimiento orbital para los rodillos laterales que limita el grado de tensión del anillo que puede conseguir; la característica de movimiento directo permite al operador formar diámetros más estrechos con menos trabajo. El rodillo de placa de cuatro rodillos PR-1003-4 utiliza un motor hidráulico de 2 hp industrial para mover los rodillos laterales. Tres lecturas digitales también se incluyen para dar una ubicación exacta del rodillo, cuyo precio es de \$69,995.00 (BAILEIGH, BAILEIGH INDUSTRIAL, 2018)

ESPECIFICACIONES

Item Number	PR-1003-4
Country of Manufacture	Turquía
Formacion de Ancho	120"
Rodillos Motrices	2
Velocidad de Rodillo	16 fpm. (5 mpm)
Diámetro de Rodillo Superior	8.662"
Reajuste de Rodillo	Hydraulic
Diámetro de Rodillo Lateral	7"
Mínimo Diámetro de Moldeado	13"
Motor	7 hp
Energía	220V / 3-phase
Peso del Envío	15,840 lbs.
Dimenciones de Envío	197" x 63" x 67"

Figura 1-3: Especificaciones

Realizado por: (BAILEIGH, BAILEIGH INDUSTRIAL, 2018)



Figura 2-3: Rodillo de placa hidráulico PR-1003-4

Realizado por: (BAILEIGH, BAILEIGH INDUSTRIAL, 2018)

Ventajas

- Ocuparía menor espacio en el taller.
- Fácil desmontaje
- Fácil operación

Desventajas

- Su precio es elevado
 - No cumple con la capacidad máxima de barolado necesaria que requiriere la empresa, la cual necesita barolar planchas de hasta 12 mm de espesor.
 - En el caso de un intercambio de piezas la maquina pararía la producción, debido al tiempo que tardaría en importarse las piezas que se requieren.
- Competencia 2: Curvadoras de chapa, calandra o roladora: de 4 rodillos en posición piramidal con doble precurvado inicial (*TECARSA*)

Máquina curvadora de chapa Maqfort, modelo AHS-30/13 de 4 rodillos en posición piramidal con doble precurvado inicial, sin necesidad de dar la vuelta a la chapa, precurvado y curvado cómodo y sencillo, de accionamiento hidráulico, con normas C.E. y certificado. Capacidad de trabajo 3 100 x 16 - 13 mm, la AHS-30/13 cuenta con rodillos endurecidos y templados por inducción; lector digital a los rodillo laterales; transmisión por rodillos motorizados separadamente a través de motores hidráulicos; además se equipa con dispositivo de curvado de conos; pupitre de mandos centralizado móvil, para

ser operado por una sola persona desde el lugar más seguro y estratégico; dos velocidades ajustables; guías de rodillos orbitales.

Especificaciones Técnicas:

- Longitud de curvado 3 100 mm
- Precurvado en chapa de 3 m de ancho: 13 mm
- Curvado en chapa de 3 m de ancho: 16 mm
- Velocidad de trabajo: 4 m/min
- Medidas exteriores: Longitud 5 855 mm, Ancho 1 611 mm, Altura de la máquina 1 840 mm
- Peso de la máquina: 12 020 kg
- Potencia del motor: 15kw
- Dos velocidades ajustables
- Rodillos endurecidos y cementados, para trabajos en inoxidable, acero, hierro
- Lector digital con programación de cotas a los dos rodillos laterales de pre-curvado, de fácil y rápida programación.



Figura 3-3: Rodillo de placa hidráulico PR-1003-4

Fuente: (TECARSA, INTEREMPRESAS)

Ventajas

- Es semiautomática

- Tiene mayor rango de curvado que nuestra máquina
- Fácil operación, ya que es hidráulica

Desventajas

- Difícil traslado debido a su peso
- Mayor tiempo de dedicación al mantenimiento de la máquina
- En el caso de un intercambio de piezas la maquina pararía la producción, debido al tiempo que tardaría en importarse las piezas que sean necesarias.
- ✓ Conclusiones de la matriz QFD. Como resultado de la matriz los resultados obtenidos de las características técnicas que debemos tomar muy en cuenta para el diseño de la baroladora son las que enumeramos a continuación.
 - *Fácil operación de ida y vuelta con volante:* La máquina baroladora debe constar de pulsadores para la ida y vuelta, y un volante para dirigir el movimiento sin esfuerzo alguno.
 - *Fuente de energía.* Va a constar de un motor eléctrico.
 - *Velocidad de trabajo:* La velocidad con la que trabajen los cilindros debe ser muy baja para poder realizar el trabajo de rolado y estar entre un rango 0,5m/min a 1,5m/min.
 - *Capacidad de la lámina de 1 mm a 12 mm de espesor:* La máquina debe ser capaz de rolar cualquier tipo de láminas metálicas sin tanto esfuerzo hasta 12mm y sin un desgaste considerado de los materiales que están construidos los cilindros.
 - *Mantenimiento:* Debe ser de fácil mantenimiento.
 - *Transmisión:* No debe exceder los decibeles de ruido permitidos, además debe transferir el movimiento y potencia sin trabarse ni romperse a mitad del trabajo.
 - *Dimensiones:* No deben de estar sobredimensionados los componentes de la máquina en ninguno de sus aspectos como por ejemplo: altura, largo, etc.
 - *Materiales:* Deben estar construidos en materiales seleccionados mediante los procesos de diseño para la resistencia a la cual va hacer aplicada.
 - *Elementos del ciclo de vida del producto:* Deben llegar hasta su finalización, eliminación y reciclaje

3.3.2 Especificaciones técnicas

Se especificara los datos técnicos que deberá tener la máquina baroladora de chapa metálica obtenido por medio de la matriz QFD en el Anexo E, y se detalla las características técnicas con más exactitud a continuación.

Tabla 2-3: Especificaciones técnicas para la máquina baroladora

Página 1	Máquina baroladora de chapa metálica hasta 12 mm	Fecha inicial:		
Diseñadores:		Última revisión:		
“ESTRUCTURAS METÁLICAS Y MAQUINARIA AGRÍCOLA CARLOS VILLACRÉS”				
Especificaciones:				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Funcionamiento		D	R	Máquina manual con pulsadores de ida y vuelta con V=1m/min
Fuente de energía		C	R	Motor eléctrico
Transmisión		D	R	Transmite movimiento
Materiales		C	R	
Confiabilidad		D	D	Confiabilidad de 90%.
Mantenimiento		D	R	Fácil mantenimiento, utilización de un sistema de transmisión de potencia por correas y cadena.
Dimensiones		C	D	Dimensiones 3,5 m de largo, 2 m de ancho, 1,10 m de alto.
Capacidad		D	R	Capaz de barolar chapa metálica de 12 mm sin problema alguno

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizueté. 2018

Simbología propuesta

M= Márquetin

C= Cliente

D= Diseño

P= Producción

F= Fabricación

R/D:

R= Requerimiento

D= Deseo

MR= Modificación de requerimiento.

3.3.3 *Análisis funcional*

La función primaria y principal es el rolado de chapa metálica de hasta 12 mm de espesor. Una de las formas de sistematizar la máquina es mediante el método denominado “caja negra” como se muestra en la figura. Donde nos mostrara el cuadro de los diagramas funcionales.

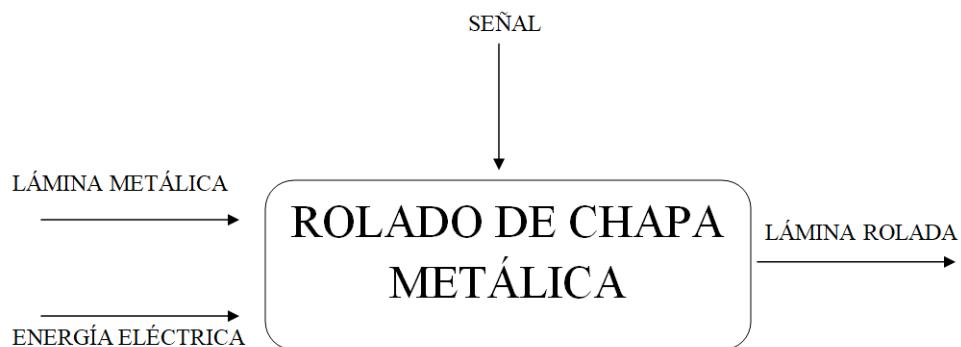


Figura 4-3: Función primaria de la máquina baroladora

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Las señales que ingresa son:

- Láminas metálicas de espesor hasta 12 mm.
- Fuente de energía.
- Señal de encendido.

Las señales que salen son:

- Láminas roladas de varios diámetros.

3.3.4 Definición de módulos

Al realizar y definir las estructura de cada módulo nos facilitara el mantenimiento de la máquina y del producto, además ayudara a la reducción de personal y costos.

Para la definición de módulos se divide en varios bloques funcionales, sin embargo la maquina no cuenta con un proceso complicado se utilizara un solo modulo.

En la figura se muestra la definición del módulo simplificado del proyecto con los procesos respectivos los cuales trabajaran de forma sincronizada.

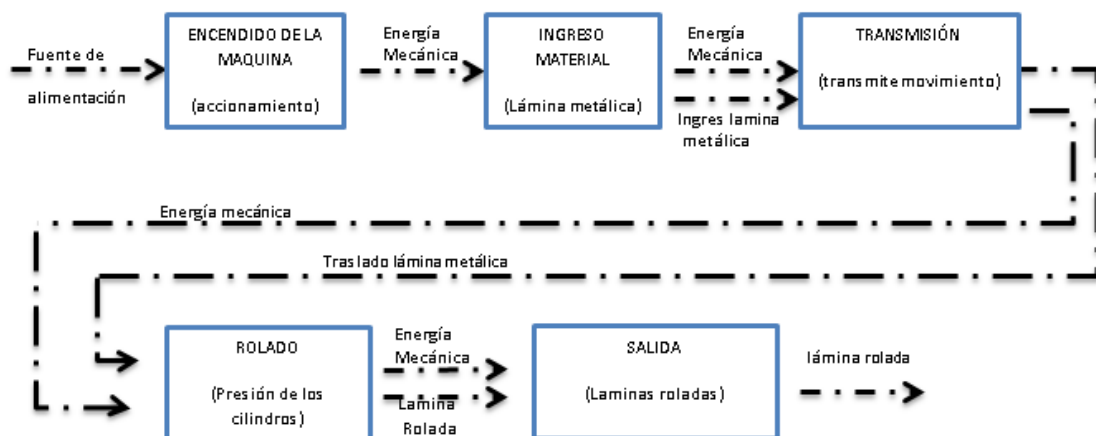


Figura 5-3: Funciones secundarias

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

3.3.5 Estudio de módulos y alternativas para la solución de la máquina

La función principal de la máquina es el rolado sin embargo en la Figura 5-3 anterior nos muestra la estructura modular de la máquina en la cual se analiza cada uno de los sistemas que requieren ser seleccionados y diseñados donde se plantearan alternativas y se elegirá la mejor alternativa para que se adapte a nuestros requerimientos.

Las etapas de funcionamiento que requieren el diseño o selección.

- Encendido de la máquina
- Transmisión
- Rolado
- Salida

3.3.5.1 Encendido de la máquina

Es el principio de funcionamiento de la máquina, se refiere a la alimentación de energía y el accionamiento del equipo que puede ser eléctrico, neumático, manual, hidráulico.

Por motivos de la empresa debe ser eléctrica para este tipo de trabajo solo se analizará el accionamiento eléctrico para la máquina baroladora donde entrara en funcionamiento el motor el cual generara la potencia y velocidad necesaria para el trabajo.

- *Accionamiento eléctrico:* para la generación fuerza y movimiento según estudios bibliográficos para este tipo de máquinas se necesitara un moto reductor con un elevada potencia para mover los rodillos de la maquina baroladora, que es el principal elemento para reducir las revoluciones dadas por el motor y entregar las revoluciones necesarias para realizar el trabajo, será el encargado de garantizar la velocidad para el rolado.



Figura 6-3: Accionamiento eléctrico

Realizado por: (Handel Web, 2014)

Ventajas

- Entrega la velocidad necesaria directa sin instalar un mecanismo adicional para la reducción de velocidad.
- Genera la potencia necesaria para el trabajo de rolado sin problema alguno.
- Fácil instalación.

Desventajas

- Elevado costo económico por el sistema de reducción de velocidad.
- Encontrar la relación de transmisión exacta para la velocidad.

3.3.5.2 Transmisión

Será la encargada de transmitir el movimiento del motor hasta los rodillos, puede ser de algunas formas como: engranajes, cadena, bandas,

➤ Engranajes

Transmite potencia mediante ruedas dentadas construidas en aceros templados lo que permite transmitir pares elevados sin perder la relación de transmisión.



Figura 7-3: Engranajes

Realizado por: (Igemecánica, 2012)

Ventajas

- Elementos de gran precisión
- Relación de transmisión constante
- Construidas en materiales de gran dureza con confiabilidad de un 100 %

Desventajas

- Elevado costo de construcción
- Transmite la potencia solo a pequeñas distancias
 - Por cadena

Transmite elevados pares de potencia mediante cadenas excelentes para los rangos de velocidad entre medias y bajas.

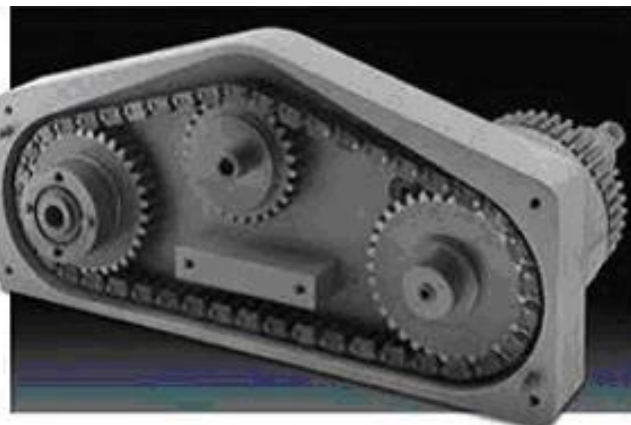


Figura 8-3: Por cadena

Realizado por: (Igemecánica, 2012)

Ventajas

- Transmisión muy robusta
- Transmite elevados pares de fuerza
- Transmite la potencia a mayores distancias
- Excelente para trabajar en medias y bajas velocidades

Desventajas

- Mala para trabajar a velocidades altas
- Requieren de mucha lubricación
- Por bandas

Transmiten el movimiento mediante bandas y poleas son elementos flexibles

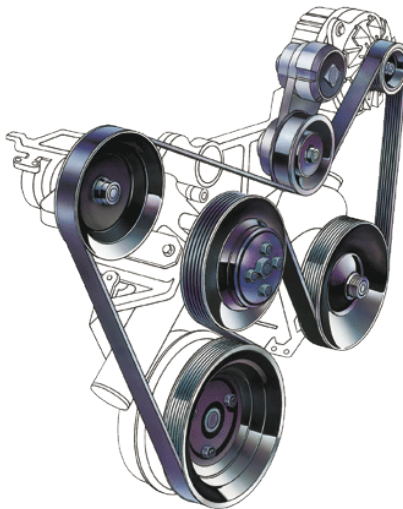


Figura 9-3: Por bandas

Realizado por: (Igemecánica, 2012)

Ventajas

- Excelentes para trabajar en altas velocidades
- Transmisión de potencia a distancias relativamente grandes
- Reducción de costos

Desventajas

- Transmisión muy flexible
- Patinan a la hora de transmitir elevadas potencias
- Vida útil reducida

3.3.5.3 Rolado

Función principal de la máquina donde las láminas serán deformadas mediante rodillos los cuales pueden estar contruidos en acero especial de cedula 80.

Rodillos: son elementos contruidos capaces de soportar fuerzas sumamente grandes, este proceso se lo puede hacer con tres o cuatro rodillos.

Rolado por tres rodillos: El pre-doblado minimiza estas secciones planas sin doblar. Los rodillos de compensación suben para encontrarse con el rodillo superior y doblar el borde delantero de la placa hacia arriba. Entonces, un operador puede pasar la parte plana de la placa a través de los rodillos abiertos y posicionar el borde trasero para el segundo pre doblez. No obstante, el rolado comienza sólo después de que los bordes delantero y trasero son doblados (Thefabricator.com, 2011)

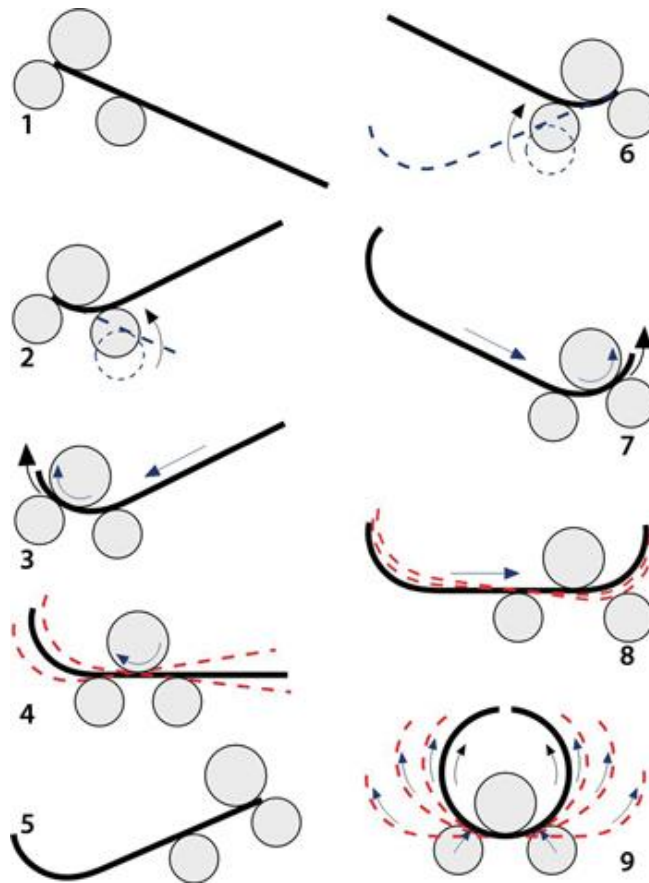


Figura 10-3: Rolado por tres rodillos

Realizado por: (Igemecánica, 2012)

Ventajas:

- Dimensiones relativamente pequeñas en relación a la roladora de 4 rodillos
- Realiza un pre doblado al inicio y final de la placa.

Desventajas

- Construcción de los rodillos elevados.
- Consumo de energía elevado

➤ *Rolado por cuatro rodillos:* Tienen tres rodillos en la parte inferior; un rodillo de sujeción en el centro y un rodillo de compensación en cualquiera de los lados. Esto significa que la máquina puede pre doblar, rolar, y luego hacer el segundo pre doblado (en este caso podría llamarse post doblado) en el borde trasero. Esto le da al sistema de cuatro rodillos un ligero impulso de productividad. (Thefabricator.com, 2011)

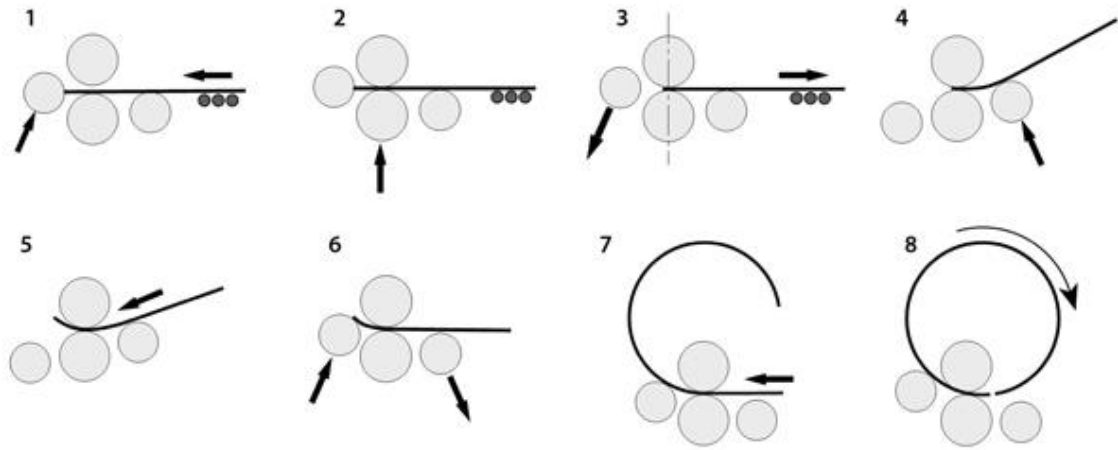


Figura 11-3: Rolado por cuatro rodillos

Realizado por: (Igemecánica, 2012)

Ventajas

- Menor tiempo en realizar el doblado
- Productividad mayor de placas metálicas

Desventajas

- Elevado costo de construcción
- Mayor peso de la máquina
- Dimensiones elevadas en relación a la roladora de 3 rodillos
- Mayor consumo de energía

3.3.5.4 Salida

Módulo final donde entrega el producto terminado para ser verificado por inspección visual y definir su control de calidad.

3.3.6 Alternativas de solución

Las alternativas que se definieron en la sección anterior serán combinadas, teniendo muy en cuenta que sus componentes sean compatibles entre sí obteniendo soluciones viables. Como resultado de estas combinaciones nos muestran tres alternativas viables

de solución partiendo desde su transmisión. En las alternativas encontradas se deben tomar muy en cuenta los requerimientos del cliente mostradas en la Figura 9-3.

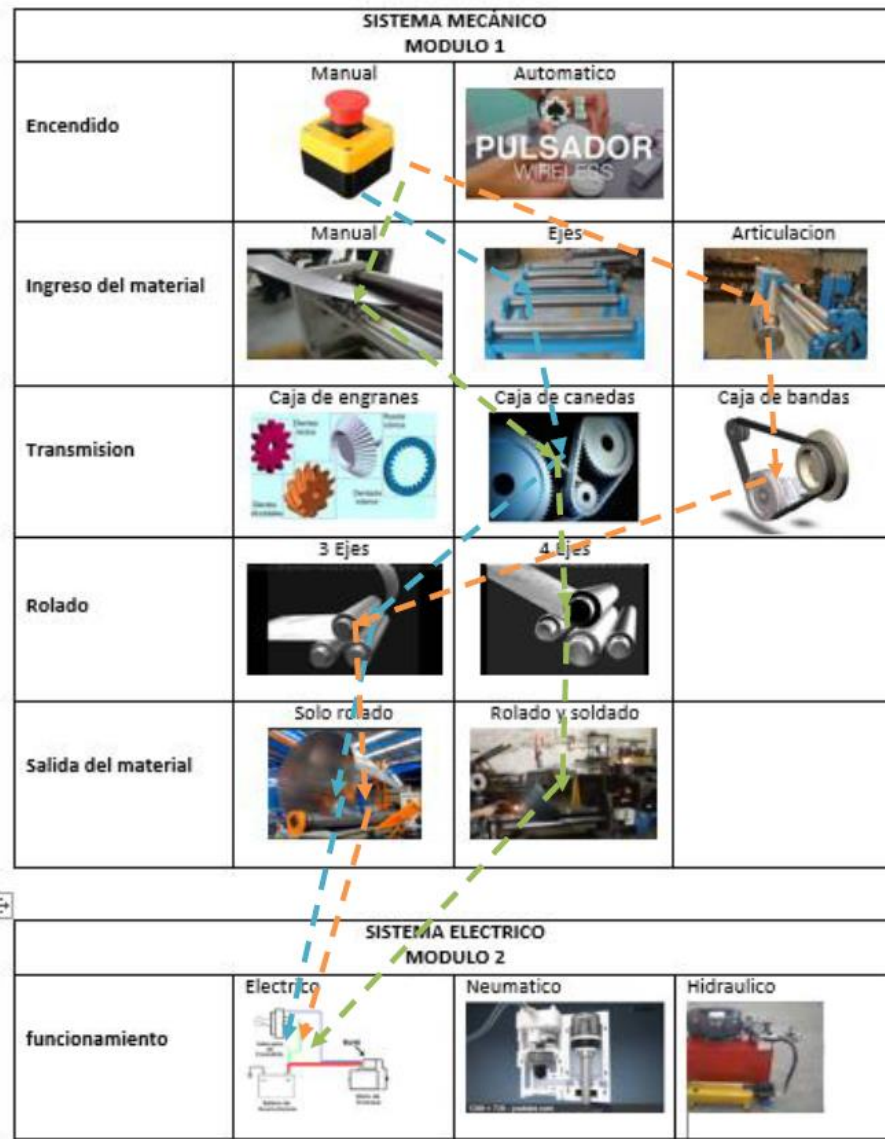


Figura 12-3: Alternativas de solución

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Solución.1  Solución. 2  Solución. 3 

Combinación de Alternativas de diseño para la máquina roladora de chapa metálica.

De las alternativas mostradas se seleccionara la mejor opción mediante el método ordinal corregido de criterios ponderados propuestos por Carles Riba y Romeva.

3.3.1.5 Alternativas de solución para cada módulo

Se realizara una tabla para cada alternativa donde los conceptos de cada una de ellas están basados para el proceso de rolado.

Tabla 3-3: Primera alternativa

Solución 1	Alternativa
Encendido de la máquina	Manual
Ingreso del material	Rodillos
Funcionamiento	Eléctrico
Transmisión	Cadena
Rolado	3 rodillos
Salida	Solo rolado

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

En la primera alternativa planteada por los autores la máquina tiene un accionamiento de forma eléctrica mediante un motor con potencia suficiente para realizar el proceso de rolado, con la transmisión de cadena la cual trabaja sin problema alguno a bajas y medias revoluciones, a distancias relativamente grandes y la capacidad de transmitir altos pares de potencia para los tres rodillos los cuales son los encargados de realizar en si el rolado de la chapa metálica con un predoblez al inicio y al final. Además en su etapa final se realizará una inspección visual la cual definirá la calidad del producto y del proceso.

Desventajas: El tiempo para el proceso de rolado tendrá un % insignificante en comparación a la roladora de 4 rodillos.

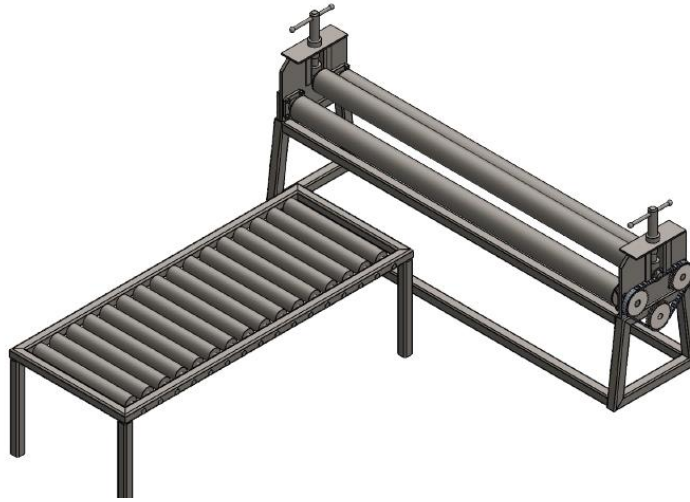


Figura 13-3: Alternativa de solución I

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 4-3: Segunda alternativa

Solución 2	Alternativa
Encendido de la máquina	Manual
Ingreso del material	Manual
Funcionamiento	Eléctrico
Transmisión	Cadena
Rolado	4 rodillos
Salida	Rolado y soldado

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

La alternativa numero dos tendrá el mismo accionamiento de la alternativa 1 y 3 ya que es un requerimiento indispensable del usuario o patrocinador, a diferencia de la número 1 consta de una transmisión por medio de bandas excelentes para el trabajo a largas distancias y altas velocidades pero pésimas para transmitir torques elevados sin embrago capaces de transmitir potencia a un máximo de dos rodillos que realizan el rolado a chapas metálicas de muy bajo espesor.

Desventajas:

Al trabajar a bajas velocidades y un par elevado de potencia, la banda patinara y en tal caso se romperá.

Será imposible llegar a rolar chapa metálica de 12 mm, requerimiento indispensable del patrocinador.



Figura 14-3: Alternativa de solución II

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 5-3: Tercera alternativa

Solución 3	Alternativa
Encendido de la máquina	Manual
Ingreso del material	Articulado
Funcionamiento	Eléctrico
Transmisión	Cadena
Rolado	3 rodillos
Salida	Solo rolado

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Su accionamiento es de forma eléctrica un requerimiento del patrocinador, la transmisión para esta alternativa está basada en engranes construidos en acero capaces de transmitir elevados pares de potencia con una relación de transmisión constante a los 4 rodillos siendo uno de estos un rodillo de compensación, realiza el proceso de rolado con un post doblado de forma rápida que las opciones anteriores.

Desventajas

El costo de construcción es sumamente elevado en comparación de las opciones anteriores. La transmisión por engranes es constante, pero solo trabaja para dimensiones pequeñas.

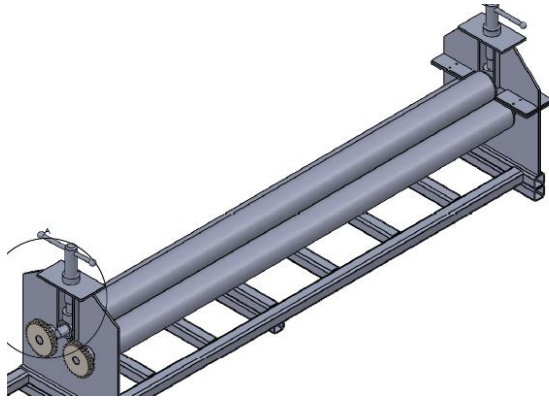


Figura 15-3: Alternativa de solución III

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

3.3.7 *Evaluación de soluciones*

Para tomar una decisión luego de plantear las alternativas se necesita realizar una evaluación de las mismas que sirva para la toma de decisiones.

Alternativas: el número de alternativas según Carles Riba más adecuadas están entre 3 y 6 cuyas características son diferentes. (Romeva, 2002 págs. 59-60)

- *Criterios*. Son establecidos en base a las alternativas que van hacer evaluadas, hay que considerar de forma general, en los métodos de evaluación aparecerá el problema de ponderación de criterios. (Romeva, 2002 págs. 59-60)

- *Método ordinal corregido de criterios ponderados*. Este método es recomendado sin la necesidad de evaluar parámetros para cada propiedad y sin estimar el peso de cada criterio numéricamente, permite obtener resultados globales significativos basados en las tablas donde cada criterio se enfrenta con los otros criterios con la asignación de valores. (Romeva, 2002 págs. 59-60)

Valores

1= es la mejor en columnas o la solución es superior

0.5= Es la equivalente en columnas o la solución es igual

0= la peor en columnas o la solución inferior.

Con estos valores establecidos se procede a evaluar cada uno de los criterios obtenidos de la matriz de calidad y encontrar cuál de ellos tienen más influencias en la máquina.

3.3.8 Criterios de evaluación del módulo

Para la valoración se toma en cuenta los aspectos y parámetros más determinantes que permiten obtener los siguientes criterios de valoración:

- *Precio.* Tomar en cuenta el precio de los elementos que componen la máquina.
- *Capacidad.* Capaz de rolar lamina de 12 mm si problema alguno.
- *Dimensiones.* Debe ser adecuada para instalar en el lugar de trabajo.
- *Fiabilidad.* El funcionamiento debe ser primordial ya que cualquier fallo implica un contratiempo muy serio.

A continuación en la tabla se realiza la evaluación de los pesos específicos para cada uno de los criterios anteriores.

Tabla 6-3: Evaluación de criterio

Fiabilidad > capacidad > dimensiones = Precio						
Criterio	Fiabilidad	Capacidad	Dimensiones	Precio	$\Sigma+1$	Ponderación
Fiabilidad		1	1	1	4	0,4
Capacidad	1		1	1	3	0,3
Dimensiones	0	0		0,5	1,5	0,15
Precio	0	0	0,5		1,5	0,15
Sumatoria					10	1

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizueté. 2018

Tabla 7-3: Evaluación de soluciones respecto a la fiabilidad

Alternativa 1 = Alternativa 2 = Alternativa 3					
Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,333
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,333
Sumatoria				6	1

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 8-3: Evaluación de soluciones respecto a la capacidad

Alternativa 3 > Alternativa 1 > Alternativa 2					
Capacidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		0	1	0,166
Alternativa 3	1	1		2	0,333
Sumatoria				6	1

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 9-3: Evaluación de soluciones respecto a la dimensión

Alternativa 3 = Alternativa 1 = Alternativa 2					
Dimensiones	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0,5	2	0,333
Alternativa 2	0,5		0,5	2	0,333
Alternativa 3	0,5	0,5		2	0,333
Sumatoria				6	1

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 10-3: Evaluación de soluciones respecto al costo

Alternativa 3 = Alternativa 1 = Alternativa 2					
Precio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	1	2,5	0,416
Alternativa 2	0,5		1	2,5	0,416
Alternativa 3	0	0		1	0,166
Sumatoria				6	1

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 11-3: Conclusiones y selección de la mejor alternativa

Conclusión	Fiabilidad	Capacidad	Dimensiones	Precio	Σ	Prioridad
Alternativa 1	0,1332	0,15	0,4995	0,0624	0,3955	1
Alternativa 2	0,1332	0,0498	0,4995	0,0624	0,2953	3
Alternativa 3	0,1332	0,0999	0,4995	0,0249	0,3079	2

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuite. 2018

Luego de realizar el análisis de los criterios para cada módulo se observa que la alternativa número 1 es la opción que cumple con más criterios de evaluación por esta razón tomaremos esta solución compuesta por accionamiento eléctrico con transmisión por cadenas y con tres rodillos para que sea la base fundamental para el diseño.

3.3.9 Características de componentes del prototipo de la máquina baroladora

Con el programa SolidWorks, se indica los componentes de la máquina baroladora, para el diseño los requerimiento son traducidos a criterios técnicos los componentes que tiene la máquina y su funcionamiento para lo cual se describe a continuación.

UNIDAD	DESCRIPCIÓN
16	Tornillos Auto perforantes Galvanizados 5/16"
4	Libras de Electrodo E308L
2	Plancha A53
5	Placas y Bujes
1	Plancha A36
1	Motor Reductor
1	Bastidor
4	Bujes de bronce
12	Prisioneros 3/8"
2	Cilindros
1	Piñones
2	Rosca ACME
1	Tornillo de potencia
1	Cadena doble
22	Pernos

Figura 16-3: Denominación de los componentes de la máquina

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuite. 2018

CAPÍTULO IV

4 DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA LA MÁQUINA BAROLADORA

Una vez llegado al concepto de la máquina presentado en el capítulo 3, en este capítulo se aborda todas las actividades correspondientes al diseño de detalle, el orden de trabajo corresponde al de la metodología propuesta en el capítulo 3 en el cual se encontró la mejor alternativa para el prototipo de la máquina baroladora de chapa metálica; se procede al diseño y selección de elementos mecánicos que componen los diferentes sistemas del prototipo de máquina antes mencionada, para esto se toma en cuenta los principios básicos del diseño, normas, teorías existentes y datos obtenidos.

4.1 Dimensionamiento

El dimensionamiento del prototipo de máquina se basa principalmente en su capacidad, el objetivo de este trabajo es doblar láminas de diferente espesor de hasta 12 mm.

4.1.1 *Cálculo de fuerzas en el proceso*

La fuerza necesaria de barolado depende directamente del momento límite del material ya que con este se produce la deformación plástica o permanente del material.

Se realiza el diagrama de cuerpo libre de la lámina a barolar, donde se encuentra las reacciones R_{Ax} y R_{Ay} ejercidas sobre la lámina junto con el momento límite, la fuerza de barolado y la fuerza de rozamiento como se indica en la Figura 2-4.

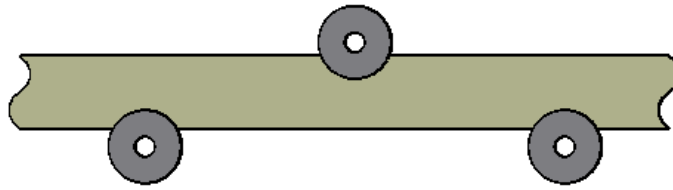


Figura 1-4: Disposición inicial de los rodillos

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

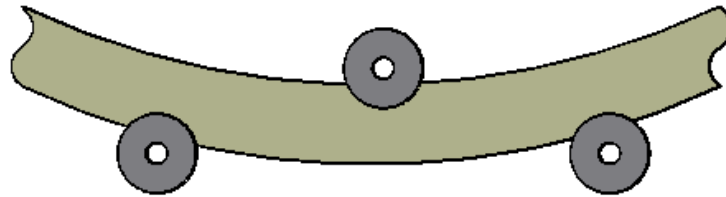


Figura 2-4: Disposición de los rodillos en el proceso de curvado

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

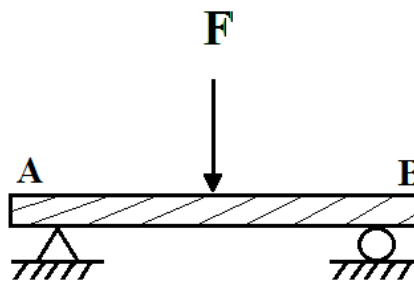


Figura 3-4: Viga simplemente apoyada

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

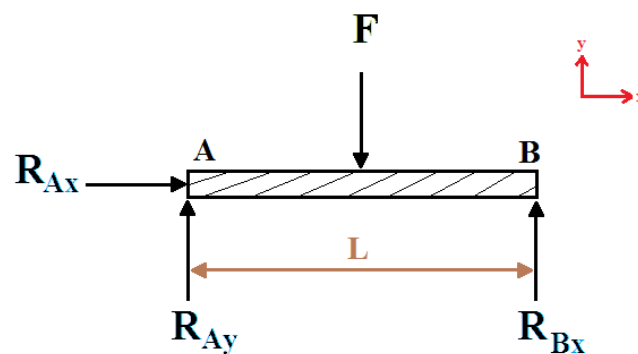


Figura 4-4: Diagrama de fuerzas sobre la lámina en el barolado

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Para poder conocer las reacciones de apoyo, las cuales dependen de la fuerza F, se obtendrá las dos ecuaciones de equilibrio de fuerzas y una ecuación de momento según se muestra la Figura 5-4.

Calculamos la sumatoria de fuerzas en “x”

$$\left(\sum F_x = 0\right) \quad R_{Ax} = 0 \quad (1)$$

Dónde:

F = fuerza de curvado [N]

M = momento [N.m]

L = distancia entre apoyos [m]

$R_{Ax} = R_{Ay} = R_{By}$ = reacciones de apoyos [N]

Calculamos la sumatoria de fuerzas en “y”

$$\left(\sum F_y = 0\right) \quad R_{Ay} - F + R_{By} = 0 \quad (2)$$

$$R_{By} = F - R_{Ay}$$

Calculamos el momento en “A”

$$\left(\sum M_A = 0\right) \quad -F \cdot \frac{L}{2} + R_{By} \cdot L = 0 \quad (3)$$

$$R_{By} = \frac{F}{2}$$

Iguamos la ecuación 2 y ecuación 3, y despejamos R_{Ay}

$$F - R_{Ay} = \frac{F}{2}$$

$$R_{Ay} = \frac{F}{2}$$

De este modo, al obtener las reacciones del apoyo, se puede determinar el momento en el punto central de la viga donde se aplica la fuerza de curvado. Este es el punto en el cual se produce el momento máximo en la sección de la viga.

Para el cálculo del momento, se procede a cortar la viga a una distancia justo antes del punto de aplicación de la fuerza, como se muestra en la siguiente figura.

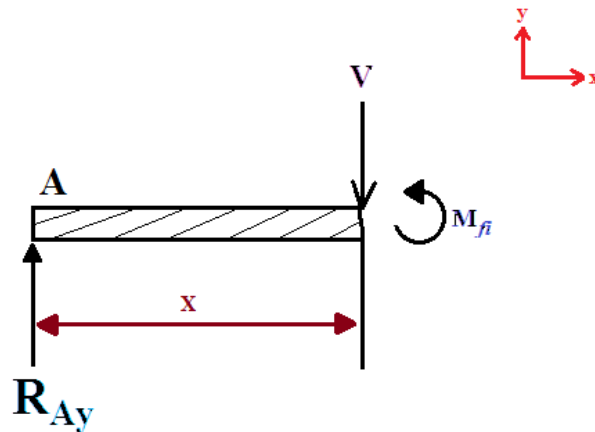


Figura 5-4: Diagrama de cuerpo libre de la viga cortada

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Dónde:

$V =$ fuerza de corte [N]

$$0 \leq x < \frac{L}{2}$$

De este modo, el momento en $x = \frac{L}{2}$ se puede expresar como:

$$M_{fi} = \frac{F \cdot L}{4} \quad (4)$$

Dónde:

$M_{fi} =$ momento flector interno [N. m]

4.1.1.1 *Análisis de la fuerza en el curvado*

Una de las consideraciones más importantes a tomar en cuenta en el instante de calcular la fuerza en el curvado es el esfuerzo normal por flexión, que se produce en la viga debido al momento flector que actúa en el punto de aplicación de la fuerza.

$$\sigma_f = \frac{M_f \cdot c}{I} \quad (5)$$

Dónde:

σ_f = esfuerzo de fluencia normal por flexión	[Pa]
M_f = momento flector	[N.m]
c = distancia del eje neutro a la fibra en estudio más alejada	[m]
I = momento de inercia	[m ⁴]

Despejamos el momento flector:

$$M_f = \frac{\sigma_f \cdot I}{c}$$

La fuerza a determinar debe ser tal que pueda deformar la viga, de manera que el material supere su zona elástica hasta pasar a su zona plástica. De este modo el momento generado en el punto de aplicación de la será llamado momento plástico.

$$M_p = \frac{3}{2} M_f \quad (6)$$

Dónde:

M_f = momento plástico	[N.m]
--------------------------	-------

Se reemplaza la ecuación 5 en la ecuación 6, obteniendo como resultado:

$$M_p = \frac{3}{2} \left(\frac{\sigma_f \cdot I}{c} \right) \quad (7)$$

El momento generado en la viga por la acción de la fuerza aplicada que se expresó en la ecuación 4 se llamará ahora momento plástico, porque la fuerza aplicada deformará al material haciéndolo pasar a su zona plástica, quedando expresada como:

$$F = \frac{4 M_p}{L} \quad (8)$$

4.1.1.2 Momento resultante

A este momento se lo conoce como momento plástico, y es el momento resultante en la sección, el cual debe ser equivalente al momento causado por la distribución de esfuerzos respecto al eje neutro, como el momento de la fuerza $dF = \sigma dA$ alrededor del eje neutro $dM = y(\sigma dA)$, entonces al sumar los resultados en toda la sección transversal.

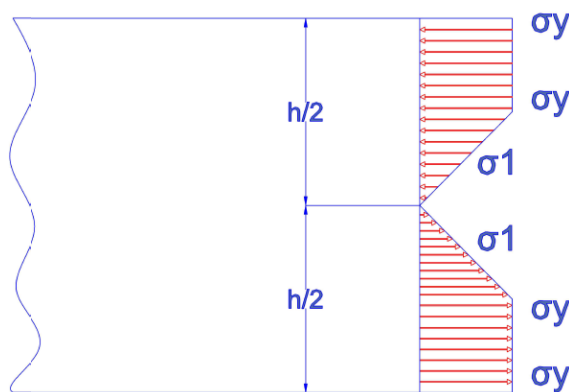


Figura 6-4: Diagrama de cuerpo libre de la viga cortada

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Se obtiene:

$$(M_R)_z = \sum M_z ; \quad M = \int y(\sigma dA)$$

$$T_1 = C_1 = A_1 \sigma_Y = \left(\frac{h}{2} - y_Y\right) \sigma_Y b$$

$$T_2 = C_2 = A_2 \sigma_Y = \frac{1}{2} y_Y \sigma_Y b$$

$$M = T_2 \left(\frac{2}{3} y_Y\right) + C_2 \left(\frac{2}{3} y_Y\right) + T_1 \left[y_Y + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} - y_Y\right)\right] + C_1 \left[y_Y + \frac{1}{2} \left(\frac{h}{2} - y_Y\right)\right] \quad (9)$$

4.1.1.3 Cálculo de la fuerza de curvado

Con la expresión de la fuerza aplicada obtenida anteriormente, se puede realizar los cálculos necesarios para conocerla. No obstante, se debe conocer el material y las secciones transversales mayores de los perfiles a curvar. De este modo se podrán

calcular las distintas fuerzas a aplicar en el curvado y poder diseñar la máquina baroladora con la mayor fuerza de aplicación necesaria.

4.1.1.3.1 Material a curvar

Dentro de los distintos materiales utilizados en la fabricación de los perfiles a utilizar, se ha escogido el acero AISI A36 y el acero al carbono AISI A307, esto debido a que la fuerza que se deberá aplicar tendrá que ser superior a las aplicaciones con menores propiedades mecánicas.

Tabla 1-4: Propiedades mecánicas para los materiales A36, A307

Grado del Acero	Resistencia a la tracción σ_u		Límite de Fluencia σ_y		Alargamiento 50 mm
	$[kg/mm^2]$	[MPa]	$[kg/mm^2]$	[MPa]	
A36	40,82	400	25,51	250	30
A307	59,8	586	24,59	241	60

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizúete. 2018
Fuente: (Boyer, 1985)

4.1.1.3.2 Perfil rectangular para el acero al carbono A36

El mayor perfil de sección transversal rectangular a curvar será de 2 440x1 220x12mm.

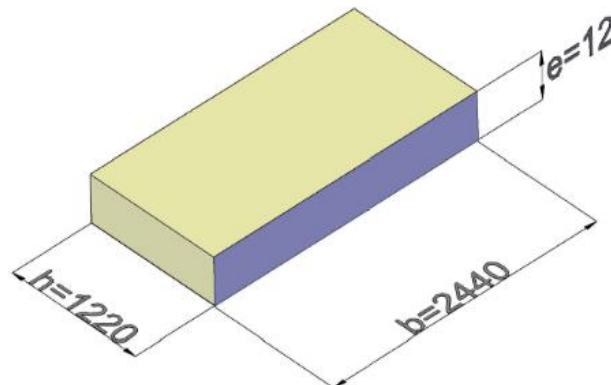


Figura 7-4: Perfil rectangular para el acero al carbono A36

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizúete. 2018

Dónde:

h = altura [mm]

b = base [mm]

e = espesor [mm]

Para calcular la fuerza a aplicar de modo que el perfil pueda deformarse, debemos utilizar la ecuación 10. Esta fuerza depende del material a utilizar como también del momento de inercia, la distancia del eje neutro a la fibra en estudio más alejada y la distancia entre apoyos.

a) Cálculo de la tracción y compresión

Para el cálculo de la tracción y compresión de una placa rectangular se obtiene:

$$\begin{aligned} T_1 = C_1 = A_1 \sigma_Y &= \left(\frac{h}{2} - y_Y \right) \sigma_Y b \\ T_2 = C_2 = A_2 \sigma_Y &= \frac{1}{2} y_Y \sigma_Y b \end{aligned} \quad (10)$$

Dónde:

T = tracción que sufre la placa [N]

C = compresión que sufre la placa [N]

A_1 = área del rectángulo [m^2]

A_2 = área del triángulo [m^2]

y_Y = distancia al eje neutro [m]

$$\begin{aligned} T_1 = C_1 &= \left(\frac{12}{2} - 3 \right) (250)(1\,220) = 915\,000\,N \\ T_2 = C_2 &= \frac{1}{2} (3)(250)(1\,220) = 457\,500\,N \end{aligned}$$

b) Cálculo del momento interno total

$$T_2 = C_2 = A_2 \sigma_Y = \frac{1}{2} y_Y \sigma_Y b \quad (11)$$

$$M = 2(457\,500) \left(\frac{2}{3} \times 3 \right) + 2(915\,000) \left[3 + \frac{1}{2} \left(\frac{12}{2} - 3 \right) \right]$$

$$M = 10\,065\,000 \text{ [N.mm]} = 10\,065 \text{ [N.m]}$$

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo de la fuerza de aplicación en el curvado para el perfil cuadrado de:

$$F_{A36} = \frac{4 (10\,065)}{0,9} = 44\,733,33 \text{ [N]} \approx 45\,000 \text{ [N]}$$

Dónde:

F_{A36} = fuerza aplicada para el acero al carbono A36 [N]

4.1.1.3.3 Perfil rectangular para el acero al carbono A307

Para el radio del segundo cilindro es:

El mayor perfil de sección transversal rectangular a curvar será 2 440x1 220x12mm.

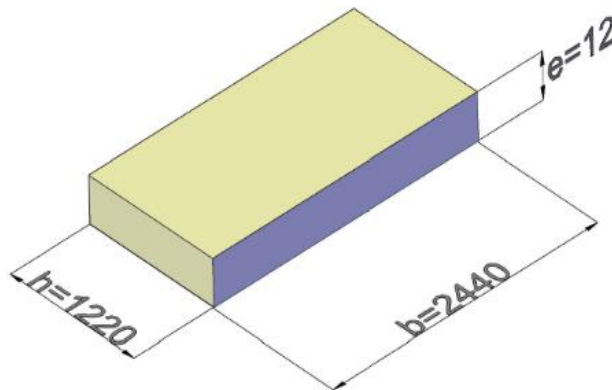


Figura 8-4: Perfil rectangular para el acero al carbono A307

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizueté. 2018

Dónde:

h = altura [mm]

b = base [mm]

e = espesor [mm]

a) Cálculo de la tracción y compresión

Para el cálculo de la tracción y compresión de una placa rectangular se obtiene:

$$\begin{aligned} T_1 = C_1 = A_1 \sigma_Y &= \left(\frac{h}{2} - y_Y \right) \sigma_Y b \\ T_2 = C_2 = A_2 \sigma_Y &= \frac{1}{2} y_Y \sigma_Y b \end{aligned} \quad (12)$$

Dónde:

T = tracción que sufre la placa [N]

C = compresión que sufre la placa [N]

A_1 = área del rectángulo [m^2]

A_2 = área del triángulo [m^2]

y_Y = distancia al eje neutro [m]

$$T_1 = C_1 = \left(\frac{12}{2} - 3 \right) (241)(1\,220) = 882\,060 \text{ N}$$

$$T_2 = C_2 = \frac{1}{2} (3)(241)(1\,220) = 441\,030 \text{ [N]}$$

b) Cálculo del momento interno total

$$M = 2(441\,030) \left(\frac{2}{3} \times 3 \right) + 2(882\,060) \left[3 + \frac{1}{2} \left(\frac{12}{2} - 3 \right) \right]$$

$$M = 9\,702\,660 \text{ [N. mm]} = 9\,702,66 \text{ [N. m]}$$

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo de la fuerza de aplicación en el curvado para el perfil cuadrado de:

$$F_{A307} = \frac{4(9\,702,66)}{0,9} = 43\,122,93 \text{ [N]} \approx 44\,000 \text{ [N]}$$

Dónde:

F_{A307} = fuerza aplicada para el acero al carbono A307 [N]

Como el $F_{A36} > F_{A307}$, por lo tanto se toma en cuenta el valor de 45 000 [N], en donde el diseño se hará basándose en el estudio de esta.

4.1.1.4 Análisis de las fuerzas inferiores

4.1.1.4.1 Cálculo de las fuerzas en los cilindros inferiores

Se toma en cuenta la fuerza de 45 000 [N], para poder calcular la fuerza en los cilindros inferiores.

$$F_{c.i.} = \frac{F}{2} \quad (13)$$

Dónde:

$F_{c.i.}$ = fuerza en los cilindros inferiores [N]

F = fuerza [N]

$$F_{c.i.} = \frac{45\,000}{2} = 22\,500 \text{ [N]}$$

4.1.1.4.2 Cálculo de la fuerza de rozamiento en los rodillos inferiores

$$F_{r.i.} = (F_c)(\mu) \quad (14)$$

Dónde:

F_c = fuerza de rozamiento en los rodillos inferiores [N]

$F_{r.i.}$ = fuerza de rozamiento en los rodillos inferiores [N]

μ = coeficiente de rozamiento [Adimensional]

Como dato tenemos $\mu = 0,74$, entonces:

$$F_{r.i.} = (22\ 500)(0,74) = 16\ 650 \text{ [N]}$$

4.1.1.4.3 Cálculo del torque en el rodillo inferior

$$T_i = F_{r.i.} \left(\frac{d}{2} \right) \quad (15)$$

Dónde:

T_i = torque en el rodillo inferior [N. m]

d = diámetro [m]

$$T_i = 16\ 650 \left(\frac{0,1683}{2} \right) = 1\ 401,1 \text{ [N. m]}$$

4.1.1.5 Análisis de la fuerza en el rodillo superior

4.1.1.5.1 Cálculo de la fuerza en el rodillo superior

$$F_{c.s.} = 2F_{r.i.} \quad (16)$$

Dónde:

$F_{c.s.}$ = fuerza en el cilindros superior [N]

$$F_{c.s.} = 2(16\ 650) = 33\ 300 \text{ [N]}$$

4.1.1.5.2 Cálculo del torque en el rodillo superior

$$T_s = 2(T_i) \quad (17)$$

Dónde:

T_s = torque en el rodillo superior [N. m]

$$T_s = 2(1\ 401,1) = 2\ 802,2 \text{ [N. m]}$$

4.1.1.6 Torque distribuido

$$U + \frac{U}{2} + \frac{U}{2} = T \quad (18)$$

Despejamos:

$$U = \frac{T_i}{2}$$

Dónde:

U = torque distribuido [N. m]

$$U = \frac{1\,401,1 \text{ Nm}}{2} = 700,55 \text{ [N. m]}$$

4.1.1.6.1 Cálculo de la potencia requerida del motor

$$P = F * v \quad (19)$$

Dónde:

P = potencia [HP]

F = fuerza [N]

V = rapidez máxima de trabajo $\left[\frac{m}{s}\right]$

Como datos tenemos:

$v = 0,1 \frac{m}{s}$ (Rapidez máxima de trabajo requerida)

$$P = (45\,000\text{N}) \left(0,1 \frac{m}{s}\right) = 4\,500 \text{ w} = 6,03 \text{ [HP]} \approx 6 \text{ [HP]}$$

4.1.1.6.2 Determinación de la velocidad de trabajo máxima requerida de la máquina

La máquina baroladora requerirá una velocidad de 20 [cm/s]. En donde el motor tiene una potencia de 10 Hp, con una velocidad de entrada de 1 750 revoluciones por minuto. Mientras que para el motorreductor tenemos una relación de transmisión de: $i=34,07$.

$$i_m = \frac{RPM_e}{RPM_s} \quad (20)$$

Despejamos:

$$RPM_s = \frac{RPM_e}{i_m}$$

Dónde:

i_m = relación de transmisión [Adimensional]

$$W_s = \frac{1\,750\text{ rpm}}{34,07} = 51,365\text{ [rpm]}$$

4.1.1.6.3 Diseño y cálculo para la selección de cadena

Parámetros de selección

Potencia = 10 [HP]

Rpm = 51,3648

Datos obtenidos

Tabla 2-4: Datos obtenidos de la selección de cadena

Descripción	Valor	Unidades
Número de cadena	80	-----
Factor de servicio (fs)	1,9	-----
Paso	1	Pulgadas
Número de hileras	2	-----

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018
Fuente: Catálogo Martin pg. 312

Tabla 3-4: Datos obtenidos de la potencia

RPM	100	51,3648	50
Potencia (HP)	6.07	P	3.25

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018
Fuente: Catálogo Martin pg. 316

Potencia(P): Se encuentra dentro de nuestros parámetros.

Datos recomendados, para piñón y la relación de transmisión entre piñón y catalina.

$$z_1 = 19$$

$$i = 2,4$$

4.1.1.7 Cálculos para la potencia del diseño

$$z_2 = (i) * (z_1) \tag{19}$$

Dónde:

i = relación de transmisión [Adimensional]

z_1 = piñón 1 [Adimensional]

z_2 = piñón 2 [Adimensional]

$$z_2 = (18) * (2,4) = 43$$

Tabla 4-4: Datos obtenidos de la selección de cadena

Diámetros	Valor	Unidad
Dp	4,319(10,97)	Pulgadas(cm)
Dc	10,275(26,098)	Pulgadas(cm)

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuite. 2018
Fuente: Catálogo Martin pg. 306

Tabla 5-4: Datos obtenidos de la selección de cadena

	Valor	Unidades
C₁	1,3	-----

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuite. 2018
Fuente: Catálogo Martin pg. 290

(20)

$$P_D = (C_1) * (P)$$

$$P_D = (1,3) * (6HP) = 7,8 [HP]$$

Dónde:

P_D = potencia de diseño [HP]

C_1 = selección de cadena [Adimensional]

4.1.1.8 Cálculos para la potencia admitida

$$P_{at} = \frac{P_D}{F_S} \quad (21)$$

Dónde:

P_{at} = potencia admitida [HP]

F_S = factor de servicio [Adimensional]

$$P_{at} = \frac{7,8 \text{ [HP]}}{1,9} = 4,1 \text{ [HP]}$$

4.1.1.9 Cálculos para la distancia entre centros para la cadena

$$e = D_C + \frac{D_P}{2} \quad (22)$$

Dónde:

e = distancia entre centros [cm]

$$e = 10,275 + \frac{4,319}{2} = 12,43 \text{ [plg]} = 31,54 \text{ [cm]}$$

4.1.1.10 Cálculos de la fuerza en la catalina

$$i_{c/r} = \frac{r_{catalina}}{r_{rodillo}} \quad (23)$$

Dónde:

$i_{c/r}$ = relación de transmisión entre rodillo-catalina [Adimensional]

$r_{catalina}$ = radio de la catalina [cm]

$r_{rodillo}$ = radio del rodillo [cm]

$$i_{c/r} = \frac{\frac{26,098}{2}}{\frac{16,83}{2}} = 1,55$$

$$T_{\text{catalina}} = i_{c/r} * T_{\text{rodillo}} \quad (26)$$

Dónde:

T_{catalina} = torque de la catalina [N. m]

T_{rodillo} = torque del rodillo [N. m]

$$T_{\text{catalina}} = (1,55) * (700,55 \text{ N. m}) = 1\ 085,85 [\text{N. m}]$$

$$F_c = \frac{T_{\text{catalina}}}{r_{\text{catalina}}} \quad (27)$$

Dónde:

F_c = fuerza de la catalina [N]

$$F_c = \frac{(1\ 085,85 \text{ N. m}) * (2)}{0,26098 \text{ m}} = 8\ 321,33 [\text{N}]$$

- Cálculos de la velocidad en la catalina

$$v = (w) * \left(\frac{D_c}{2}\right) \quad (24)$$

Dónde:

v = velocidad de la catalina $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$

$$v = \left(2,24 \frac{\text{rad}}{\text{s}}\right) * \frac{(10,275 \text{ plg}) * (0,0254 \text{ m})}{(2) * (1 \text{ plg})} = 0,13 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$$

4.1.1.10.1 Diseño y cálculo del rodillo

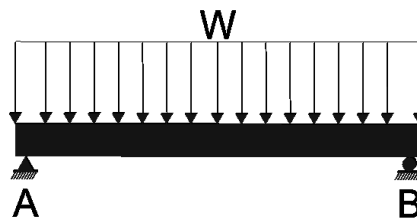


Figura 9-4: Diagrama de carga distribuida para el rodillo

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

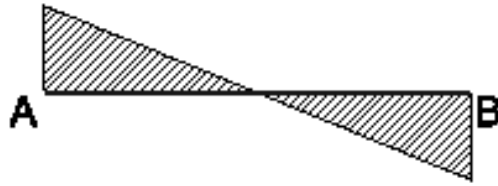


Figura 10-4: Diagrama de fuerzas cortantes para el rodillo

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

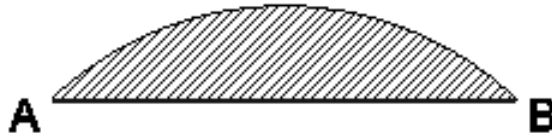


Figura 11-4: Diagrama de fuerzas cortantes para el rodillo

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{By} (3) - 45\,000 (1,5) = 0$$

$$R_{By} = \frac{45\,000 * 1,5}{3} = 22\,500 \text{ [N]}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_{By} + R_{Ay} = 45\,000$$

$$R_{Ay} = 45\,000 - R_{By} = (45\,000 - 22\,500)\text{N} = 22\,500\text{[N]}$$

Dónde:

$\sum M_A$ = sumatoria de momentos en “A” [N. mm]

$\sum Fy$ = sumatoria de fuerzas en “y” [N]

R_{Ay} = reacción en “A” [N]

R_{By} = reacción en “B” [N]



Figura 12-4: Diagrama de fuerzas para el eje

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018



Figura 13-4: Diagrama de fuerzas cortantes para el eje

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

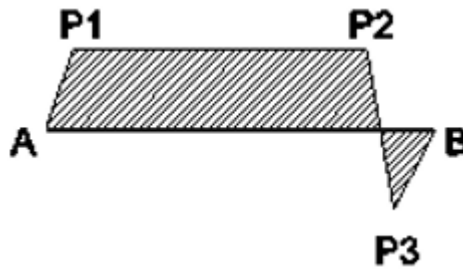


Figura 14-4: Diagrama de momentos flectores para el eje

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Se calcula las reacciones en R_{Fy} y R_{Dy} , aplicando sumatoria de momentos $\sum M_A$ y $\sum Fy$, respectivamente.

$$\sum M_A = 0$$

$$R_{By}(100) + R_{Ay}(3100) + (3250) - R_{Fy}(3200) = 0$$

$$22\,500 * (0,1) + 22\,500 * (3,1) + 8\,321,33 * (3,250) - R_{Fy}(3,200) = 0$$

$$R_{Fy} = 30951,35 \text{ [N]}$$

$$\sum Fy = 0$$

$$R_{Ay} + R_{By} + R_{FC} - R_{Fy} = R_{Dy}$$

$$(22\,500 + 22\,500 + 8\,321,33 - 3\,0951,35)N = R_{Dy}$$

$$R_{Dy} = 22\,369,98 \text{ [N]}$$

Dónde:

$\sum M_A$ = sumatoria de momentos en "A" [N. mm]

$\sum Fy$ = sumatoria de fuerzas en "y" [N]

$P_1 = R_{Ay}$ [N]

$$P_2 = R_{By} \quad [N]$$

$$P_3 = F_C \quad [N]$$

- *Diseño y cálculo del eje*

$$d = \left\{ \frac{16 n}{\pi} \left[4 * \left(\frac{K_f * M_a}{S_e} \right)^2 + 3 * \left(\frac{K_{fs} * T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3} \quad (25)$$

Dónde:

d = diámetro del eje	[mm]
n = factor de seguridad	[Adimensional]
K _a = Factor de modificación de la condición superficial	[Adimensional]
K _b = Factor de modificación del tamaño	[Adimensional]
K _c = Factor de modificación de la carga	[Adimensional]
K _d = Factor de modificación de la temperatura	[Adimensional]
K _e = Factor de modificación de confiabilidad	[Adimensional]
K _g = Factor de modificación de efectos varios	[Adimensional]
S _y = resistencia a la fluencia del Acero 1020	[MPa]
S _{ut} = resistencia a la rotura del Acero 1020	[MPa]

Material 1020 normalizado

$$S_y = 343 \text{ [MPa]}$$

$$S_{ut} = 550 \text{ [MPa]}$$

4.1.1.11 *Para un pre-diseño*

$$k = 0.5 \text{ asumido para un pre diseño}$$

$$S_{e'} = (k) * (S_e)$$

$$S_e = (S_{e'}) * (S_{ut})$$

$$S_e = S_{e'} * S_{ut}$$

$$Se = 0,5 * 0,5 * 550$$

$$Se = 137,5 \text{ [MPa]}$$

$$q = (0,7 - 0,95)$$

➤ Flexión

$$k_f = 1,6$$

➤ Torsión

$$k_t = 1,4$$

$$k_f = 1 + 0,8(1,6 - 1)$$

$$k_f = 1,48$$

$$k_{fs} = 1 + 0,8(1,4 - 1)$$

$$k_{fs} = 1,32$$

$$d = \left\{ \frac{16 n}{\pi} \left[4 * \left(\frac{k_f * M_a}{S_e} \right)^2 + 3 * \left(\frac{k_{fs} * T_m}{S_y} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

Datos:

$$m_{\max} = 2\,440 \text{ [N.m]} \text{ (ANEXO B, Tabla 1)}$$

$$T = 1\,401,1 \text{ [N.m]}$$

$$n = 1,5 \text{ Asumido}$$

$$d = \left\{ \frac{16 * 1,5}{\pi} \left[4 * \left(\frac{1,48 * 2\,440}{137,5 * 10^6} \right)^2 + 3 * \left(\frac{1,32 * 1\,401,1}{343 * 10^6} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0,07416 \text{ [m]}$$

$$d = 75 \text{ [mm]}$$

4.1.1.12 Recalculando

$$K_{total} = (K_a)(K_b)(K_c)(K_d)(K_e)(K_g)$$

4.1.1.12.1 Factor de modificación

$$K_a = a(S_{ut})^b = (4,51) * (550)^{-0,265} = 0,8472 \text{ [Adimensional]}$$

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S _{utr} kpsi	S _{utr} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 15-4: Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 280)

4.1.1.12.2 Factor de forma

$$k_b = 1,51(d)^{-0,157} = 1,51(75)^{-0,157} = 0,766$$

4.1.1.12.3 Factor confiabilidad

$$K_c = 0,814 \text{ [Adimensional]}$$

Confiabilidad, %	Variación de transformación z _a	Factor de confiabilidad k _c
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 16-4: Factores de confiabilidad del límite de resistencia a fatiga

Fuente: (BUDYNAS, y otros, 2008 pág. 285)

$$K_{total} = (K_a)(K_b)(K_c) = 0,528 \text{ [Adimensional]}$$

Dónde:

K_a= Factor de modificación de la condición superficial [Adimensional]

K_b= Factor de modificación del tamaño [Adimensional]

K_c= Factor de modificación de la carga [Adimensional]

$$S_e = 0,5 * k * S_{ut}$$

$$S_e = 0,5 * 0,528 * 550$$

$$Se = 145,2 \text{ [MPa]}$$

$$d = \left\{ \frac{16 * 1,5}{\pi} \left[4 * \left(\frac{1,48 * 2\,440}{145,2 * 10^6} \right)^2 + 3 * \left(\frac{1,32 * 1\,401,1}{343 * 10^6} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}^{1/3}$$

$$d = 0,0728 \text{ [m]}$$

$$d = 73 \text{ [mm]}$$

4.1.1.13 *Peso del eje y del rodillo*

4.1.1.13.1 *Peso para un diámetro de 2,5 plg*

$$1 \text{ metro pesa} = \frac{D^2 * 0,62}{100} \tag{26}$$

$$1 \text{ metro pesa} = \frac{63,5 * 63,5 * 0,62}{100} = 25 \text{ [kgf]}$$

$$3 \text{ metro pesa(parte 1)} = 25 * 3 = 75 \text{ [kgf]}$$

4.1.1.13.2 *Peso para un diámetro de 2plg*

$$1 \text{ metro pesa} = \frac{d^2 * 0,62}{100}$$

$$1 \text{ metro pesa} = \frac{50,8 * 50,8 * 0,62}{100} = 16 \text{ [kgf]}$$

$$0,25 \text{ metro pesa(parte 2)} = (16) * (0,25\text{kg}) = 4 \text{ [kgf]}$$

4.1.1.13.3 *Peso total del eje*

$$3 \text{ metro pesa(parte 1)} + 0,25 \text{ metro pesa(parte 2)} = (75 + 4)\text{kg} = 79 \text{ [kgf]}$$

4.1.1.13.4 Peso del rodillo

$$1 \text{ metro pesa} = 28,26\text{kg}$$

$$3 \text{ metro pesa} = 28,26 * 3\text{kg} = 84,78\text{kgf}$$

4.1.1.13.5 Peso del eje + el rodillo

$$\text{peso total} = (79 + 85)\text{kgf}$$

$$\text{peso total} = 164 \text{ [kgf]}$$

4.1.1.14 Cálculo del tornillo de potencia

$$\text{carga minima} = 9,81 * 164\text{kg} = 1\ 608,84\text{kgf} \cong 1\ 609 \text{ [kgf]}$$

Como datos tenemos:

$$N = 3 \frac{\text{hilos}}{\text{plg}}$$

$$P = \frac{1}{N} = \frac{1}{3}$$

$$P = 0,333\text{plg} = 0,8466\text{cm}$$

Rosca cuadrada tabla shigle 8-3

$$d = 2,5" = 6,35 \text{ [cm]}$$

$$z = 1$$

4.1.1.14.1 Cálculo del avance

$$l = z * p \tag{27}$$

Dónde:

l= avance [mm]

z= número de hilos de entrada [Adimensional]

p= paso [cm]

$$l = 1 * 0,8466 = 0,8466[\text{cm}]$$

4.1.1.14.2 Cálculo del diámetro medio

$$d_m = d - \frac{P}{2} \quad (28)$$

Dónde:

d_m = diámetro medio [cm]

p = paso [cm]

d = diámetro mayor [cm]

$$d_m = 6,35 - \frac{0,8466}{2} = 5,93\text{cm}$$

4.1.1.14.3 Cálculo del diámetro menor

$$d_r = d - p \quad (29)$$

Dónde:

d_r = diámetro menor [cm]

d = diámetro mayor [cm]

p = paso [cm]

f = coeficiente de fricción=0,15 [Adimensional] (Anexo C, Tabla 3)

$$d_r = 6,35 - 0,8466 = 5.503\text{cm}$$

Condición de auto bloqueo

$$\pi * f * d_m > P$$

$$2,45 > 0,8466$$

Cumple la condición de auto bloqueo

4.1.1.14.4 Cálculo del diámetro del collarín

$$d_c = d_m + \frac{p}{2} \quad (30)$$

Dónde:

d_c = diámetro collarin [cm]

d = diámetro mayor [cm]

p = paso [cm]

$$dr = 5,2 + \frac{0,8466}{2} = 5,6233 \text{ [cm]}$$

4.1.1.14.5 Cálculo de la fuerza en cada tornillo

$$I_x = \frac{b * h^3}{12}$$

Dónde:

I_x = inercia respecto al eje x [m^4]

b = base [m]

h = altura [m]

$$I_x = \frac{2,44 * (0,012)^3}{12} = 3,51 * 10^{-7} \text{ [m}^4\text{]}$$

$$Y_{max} = -\frac{F * l^3}{48 * E * I}$$

$$F = -\frac{48 * E * I * Y_{max}}{l^3}$$

Dónde:

Y_{max} = Deformación máxima de la plancha [m]

F = carga central [kgf]

l = largo de la plancha [m]

E = Módulo de Young [$\frac{N}{m^2}$]

$$F = -\frac{48 * (200 * 10^9) * (3,51 * 10^{-7}) * (0,003)}{(1,22)^3}$$

$$F = 5\,566,99 \text{ [N]} = 586,06 \text{ [kgf]}$$

$$F_{tor} = \frac{F}{2}$$

$$F_{tor} = \frac{586,06}{2} = 293,03 \text{ [kgf]}$$

Carga mínima a subir o bajar es $F_{\min} \cong 1\,609 \text{ [kgf]}$

$$F_{ct} = \frac{\text{carga minima}}{2} \quad (31)$$

Dónde:

F_{\min} = carga mínima [Kgf]

F_{ct} = fuerza en cada tornillo de potencia [Kgf]

$$F_{ct} = \frac{1\,609}{2} = 804,5 \text{ [kgf]}$$

$$F_{tp} = F_{tor} + F_{ct}$$

F_{tp} = fuerza total en cada tornillo de potencia [Kgf]

$$F_{tp} = 293,03 + 804,5 = 1\,097,53 \text{ [kgf]}$$

4.1.1.14.6 Cálculo del torque para subir la carga

ROSCA CUADRADA

$$T_s = \frac{F_{tp} * dm}{2} * \left(\frac{\pi * f * dm + l}{\pi * dm - fl} \right) + \frac{F_{tp} * d_c * f_c}{2} \quad (32)$$

Dónde:

T_s = torque para subir la carga [Kgf.cm]

f = coeficiente de fricción=0,12 [Adimensional] (Anexo C, Tabla 3)

$$T_s = \left[\frac{(1\,097,53) * (5,927)}{2} \right] * \left[\frac{\pi * (0,15) * (5,927) + 0,8466}{\pi * (5,927) - (0,15) * (0,8466)} \right] + \frac{1\,097,53 * (5,6233) * (0,12)}{2}$$

$$T_s = 1\,010,42 \text{ [kgf.cm]}$$

4.1.1.14.7 Cálculo del torque para bajar la carga

$$T_b = \frac{F * dm}{2} * \left(\frac{\pi * f * dm - l}{\pi * dm + fl} \right) + \frac{F_{tp} * d_c * f_c}{2} \quad (33)$$

Dónde:

T_b = torque para bajar la carga [Kgf.cm]

$$T_b = \left[\frac{(1\,097,53) * (5,927)}{2} \right] * \left[\frac{\pi * (0,15) * (5,927) - 0,8466}{\pi * (5,927) + (0,15) * (0,8466)} \right] + \frac{1\,097,53 * (5,6233) * (0,12)}{2}$$

$$T_b = 707,99 \text{ [kgf.cm]}$$

El signo positivo en los resultados del torque de subida y de bajada indica que el tornillo tiene auto bloqueo y giraría bajo la acción de la carga. De esta manera, el par de torsión necesario para girar el tornillo con la carga es menor que el que se necesita para vencer solo la fricción.

4.1.1.14.8 Cálculo del esfuerzo de torsión y compresión del cuerpo

$$\tau = \frac{16 * (T)}{\pi * (d_r^3)} \quad (34)$$

$$\tau = \frac{16 * (1\,010,42)}{\pi * (5,503)^3} = 30,88 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.14.9 Cálculo del esfuerzo axial normal nominal

$$\sigma = -\frac{F}{A} \quad (35)$$

$$\sigma = -\frac{4 * F}{\pi * d_f^2} = -\frac{4 * (1\,097,53)}{\pi * (5,503)^2} = -46,15 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.14.10 Cálculo del esfuerzo en los apoyos

$$\sigma_B = \frac{2 * (0,38F)}{\pi * (dm) * (nt) * (p)} \quad (36)$$

$$\sigma_B = \frac{2 * (0,38) * (1\,097,53)}{\pi * (5,927) * (1) * (0,8466)} = 52,91 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.14.11 Cálculo del esfuerzo flexionante en la raíz

$$\sigma_b = \frac{6 * (0,38) * (F)}{\pi * (dr) * (nt) * (P)} \quad (37)$$

$$\sigma_b = \frac{6 * (0,38) * (1\,097,53)}{\pi * (5,503) * (1) * (0,8466)} = 170,97 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\sigma_z = -46,15 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\sigma_x = 170,97 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\tau_{yz} = 30,88 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.14.12 Cálculo del esfuerzo de Von Mises

$$\sigma_1, \sigma_2 = \frac{\sigma_x + \sigma_z}{2} \pm \left\{ \left(\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2} \right)^2 + \tau_{yz}^2 \right\}^{1/2} \quad (38)$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = \left(\frac{170,97 - 46,85}{2} \right) \pm \left\{ \left(\frac{170,97 - (-46,85)}{2} \right)^2 + 30,82^2 \right\}^{1/2}$$

$$\sigma_1, \sigma_2 = (62,06 \pm 113,19) \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_1 = 175,19 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\sigma_2 = -51,13 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\sigma' = (\sigma_1^2 - \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2^2)^{1/2} \quad (39)$$

$$\sigma' = (175,19^2 - 175,19 * (-51,13) + (-51,13)^2)^{1/2} \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma' = 205,58 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.14.13 Cálculo del esfuerzo cortante máximo

$$\tau_{\max} = \left[\frac{\sigma_1 - 0}{2}, \frac{0 - \sigma_2}{2}, \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \right] \quad (40)$$

$$\tau_{\max} = \left[\frac{175,19 - 0}{2}, \frac{0 - (-51,13)}{2}, \frac{175,19 - (-51,13)}{2} \right] \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{\max} = [87,595; 25,565; 113,16] \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 113,16 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.14.14 Cálculo del esfuerzo equivalente

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{(\sigma_1^2 + 3 (\tau_{\max})^2)} \quad (41)$$

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{(175,19)^2 + 3 (113,16)^2} = 263,45 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

4.1.1.14.15 Cálculo del factor de seguridad

Como datos tenemos el Acero AISI 1018

$$S_y = 220 \text{ [MPa]} = 2\,244 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$
$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_{eq}} \quad (42)$$
$$\eta = \frac{2\,244}{263,45}$$
$$\eta = 8,52$$

Dónde:

η = factor de seguridad [Adimensional]

El factor de seguridad con respecto al fuerza cortante es alto, esto nos dice que soporta bien el tornillo de potencia al momento de utilizarlo para el proceso de rolado de la lámina.

4.1.1.14.16 Cálculo de la flexión del tornillo de potencia

$$M_f = F_m * l_p$$

Dónde:

σ_f = esfuerzo flector $\left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$
 M_f = momento flector [kgf. cm]
 F_m = fuerza aplicada por una sola persona [kgf]
 l_p = longitud del tornillo de potencia [cm]

Como datos tenemos:

$$F_m = 10 \text{ [kgf]}$$

$$l_p = 25 \text{ [cm]; (asumido)}$$

$$M_f = (10) * (25) = 250 \text{ [kgf. cm]}$$

$$\sigma_f = \frac{32 * M_f}{\pi * d r^3} \quad (43)$$

Dónde:

$$\sigma_f = \text{esfuerzo flector} \quad \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\sigma_f = \frac{32 * 250 \text{kgf. cm}}{\pi * 5,927 \text{cm}^3}$$

$$\sigma_f = 12,23 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$(\sigma_f^2 + 3 * \tau_{xy}^2)^{1/2} = \frac{sy}{\eta} \quad (44)$$

$$\tau_{xy} = 30,88 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$(12,23^2 + (3 * (30,88)^2))^{1/2} = \frac{sy}{\eta}$$

$$\frac{sy}{\eta} = 27,68 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\eta = \frac{2\ 244}{54,87}$$

$$\eta = 40,9$$

4.1.1.14.17 Cálculo del diseño de la palanca

Como datos tenemos:

$$\emptyset_{\text{en el tornillo}} = 1" = 2,245 \text{cm}$$

$$\emptyset_{\text{de la palanca}} = 7/8" = 2,22 \text{cm}$$

Material acero AISI 1020

$$S_y = 220 \text{ [MPa]} = 2\ 244 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$M = T_s = 1\ 010,42 \text{ [kgf. cm]}$$

$$\sigma_f = \frac{32M}{\pi * \varnothing_{\text{de la palanca}}^3} \quad (45)$$

$$\sigma_f = \frac{32 * (1\ 010,42)}{\pi * (2,22)^3} = 940,69 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right]$$

$$\sigma_f = \frac{S_y}{\eta} \quad (46)$$

$$\eta = \frac{2\ 244}{940,69} = 2,39$$

Cumple las condiciones

4.1.1.14.18 Cálculo de la longitud de la palanca

$$L = \frac{M}{F_m} \quad (47)$$

L = longitud de la palanca [cm]

$$L = \frac{1\ 010,42}{10} = 101,042 \text{ [cm]}$$

4.1.1.14.19 Selección del rodamiento de bolas

A.1. Cálculo de las horas de trabajo

5 horas diarias por 5 años

$$5 \times 365 \times 5 = 9\ 125 \text{ horas}$$

De acuerdo a las horas de trabajo selecciono en tablas f_n

$$f_l = f_h = 1,15 \text{ (Anexo D. Tabla 1)}$$

A.2. Factor de velocidad

$$\omega = 22 \text{ RPM}$$

De acuerdo a la velocidad selecciono en tablas f_l y f_s

$$f_n = 2,6125 \text{ (Anexo D. Tabla 1)}$$

$f_s = 1 - 1,5$ Exigencias Normales

Seleccionamos un valor intermedio

$$f_s = 1,25$$

A.3. Análisis a carga estática

$\Phi = 60 \text{ mm}$ (Anexo D. Tabla 1)

$$C = 82 \text{ kN}$$

$$C_{od} = 52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Cr}}{F_r} \leq 0,8$$

$$P_o = F_r$$

$$P_o = 30\,951,35 \text{ N}$$

A.4. Capacidad de carga requerida

$$C_{or} = f_s P_o$$

$$C_{or} = 1,25(30\,951,35 \text{ N})$$

$$C_{or} = 38,7 \text{ kN} \quad \text{Requerido}$$

$$38,7 \text{ kN} < 52 \text{ kN}$$

Se verifica

$$C_{or} < C_{od}$$

Seleccionamos el rodamiento 6312 ZZ

A.5. Análisis de carga dinámica

Para un rodamiento rígido de bolas se tiene la siguiente ecuación

$$Pr = XFr + YFa \tag{48}$$

Donde:

X = Coeficiente radial del rodamiento

F_r = Carga radial

Y = Coeficiente axial del rodamiento

F_a = Carga axial

Como

$$\frac{F_a}{C_o} = 0 \quad \text{Ya que no existe carga axial}$$

De acuerdo a tablas se obtiene los valores:

$$X = 1 \text{ e } Y = 0$$

$$Pr = XF_r + YF_a$$

$$P = (1)(30\,951,35 \text{ N}) = 30\,951,35 \text{ N}$$

A.6. Capacidad de carga requerida

$$C = \frac{f_l}{f_n} P \quad (49)$$

$$C = \frac{2,6125}{1,15} 30\,951,35 \text{ N} = 70,32 \text{ kN}$$

Se verifica que:

$$C_r < C_d$$

$$70,32 \text{ Kn} < 80 \text{ kN}$$

A.7. Vida nominal

$$f_l = \frac{cf_n}{P} \quad (50)$$

$$f_l = \frac{82\,000(1,15)}{30\,951,35}$$

$$f_l = 3,046$$

Teniendo el f_l obtenemos en tablas una vida de:

13 5000h aproximadamente 1,6 años.

4.1.1.14.20 Rodamientos de bolas en los extremos

A.1. Cálculo de las horas de trabajo

5 horas diarias por 5 años

$$5 \times 365 \times 5 = 9\,125 \text{ horas}$$

De acuerdo a las horas de trabajo selecciono en tablas f_l

$$f_l = f_h = 2,6125$$

A.2. Factor de velocidad

$$\omega = 22 \text{ RPM}$$

De acuerdo a la velocidad selecciono en tablas f_l y f_s

$$f_s = 1,25$$

A.3. Análisis a carga estática

$$\frac{f_a}{f_r} < 0,8$$

$$P_o = F_r = 22\,369,98 \text{ N}$$

A.4. Capacidad de carga requerida

$$C_{or} = f_s P_o$$

$$C_{or} = 1,25(22\,369,98 \text{ N})$$

$$C_{or} = 27,9 \text{ kN (Anexo D. Tabla 2)}$$

$$C = 52,5 \text{ kN}$$

$$C_{od} = 36 \text{ kN}$$

$$27,9 \text{ kN} < 36 \text{ kN}$$

Se verifica

$$C_{or} < C_{od}$$

Seleccionamos el rodamiento 6212 ZZ

A.5. Análisis a carga dinámica

Para un rodamiento rígido de bolas se tiene la siguiente ecuación

$$Pr = XFr + YFa$$

Donde:

X = Coeficiente radial del rodamiento

F_r = Carga radial

Y = Coeficiente axial del rodamiento

F_a = Carga axial

Como

$$\frac{F_a}{C_o} = 0 \text{ Ya que no existe carga axial}$$

De acuerdo a tablas se obtiene los valores:

$$X = 1 \text{ e } Y = 0$$

$$Pr = XF_r + YF_a$$

$$P = (1)(22\,369,98 \text{ N}) = 22\,369,98 \text{ N}$$

A.6. Capacidad de carga requerida

$$C_{or} = \frac{f_l}{f_n} P$$

$$C_{or} = \frac{2,6125}{1,15} 22\,369,98 \text{ N} = 50,82 \text{ kN}$$

$$50,82 \text{ kN} < 52,5 \text{ kN}$$

Se verifica que

$$C_{or} < C_{od}$$

Seleccionamos el rodamiento 6312 ZZ

A.7. Vida nominal

$$f_l = \frac{cf_n}{P}$$

$$f_l = \frac{52\,500(1,15)}{22\,369,98 \text{ N}}$$

$$f_l = 2,699$$

Teniendo el f_l obtenemos en tablas una vida de:

8 5000h aproximadamente 1 año.

4.1.2 *Análisis de resultados en ANSYS*

- El análisis fue realizado en TRANSIENT STRUCTURAL.
- El análisis se lo realizo con un empotramiento fijo en los rodillos inferiores y un empotramiento móvil en el superior, con el cual se busca encontrar la deformación que se genera en los rodillos y la plancha en el proceso de rolado.
- Los materiales usados fueron:

Tabla 6-4: Láminas de acero inoxidable

Grado del Acero	Resistencia a la tracción σ_u		Límite de Fluencia σ_y		Alargamiento 50 mm
	$[kg/mm^2]$	[MPa]	$[kg/mm^2]$	[MPa]	
A36 (Lámina)	40,82	400	25,51	250	30
A53 GRB(rodillo)	42,2	414	24,59	241	0,50

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuet. 2018

A continuación se adjuntan las imágenes de los resultados mas importantes obtenidos:

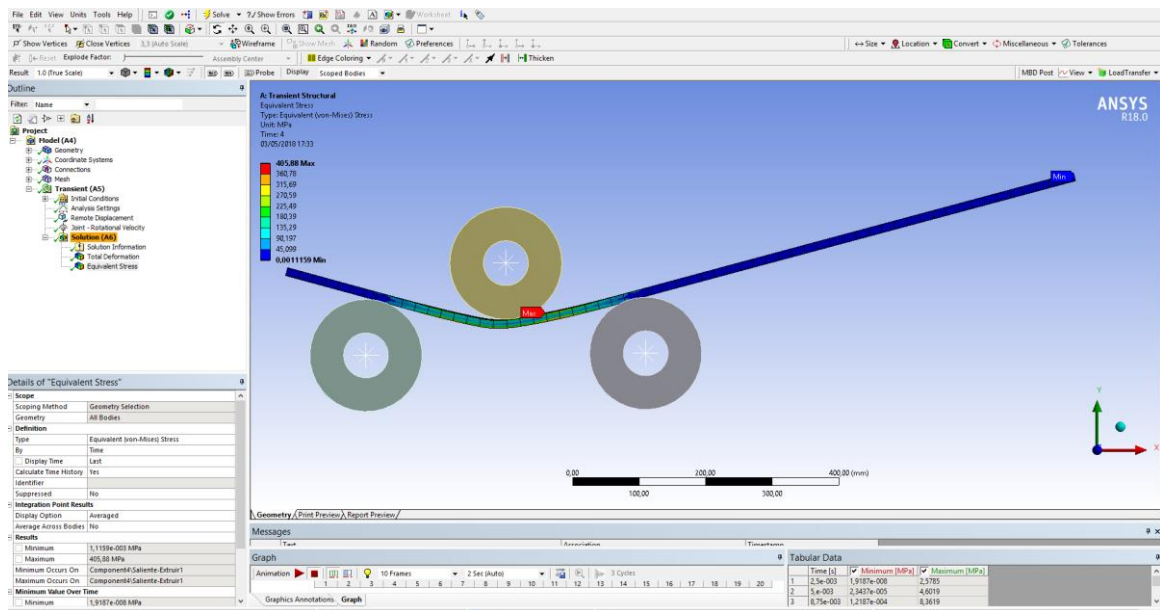


Figura 17-4: Diseño ANSYS – Momento en el Rodillo

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuet. 2018

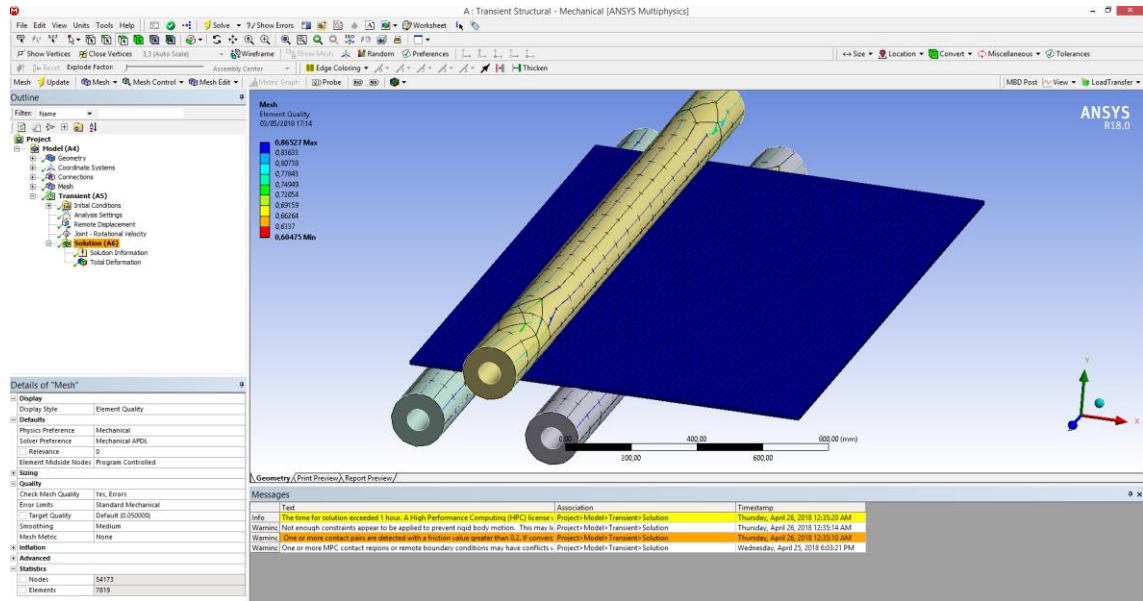


Figura 18-4: Diseño ANSYS – Deformación del conjunto

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuet. 2018

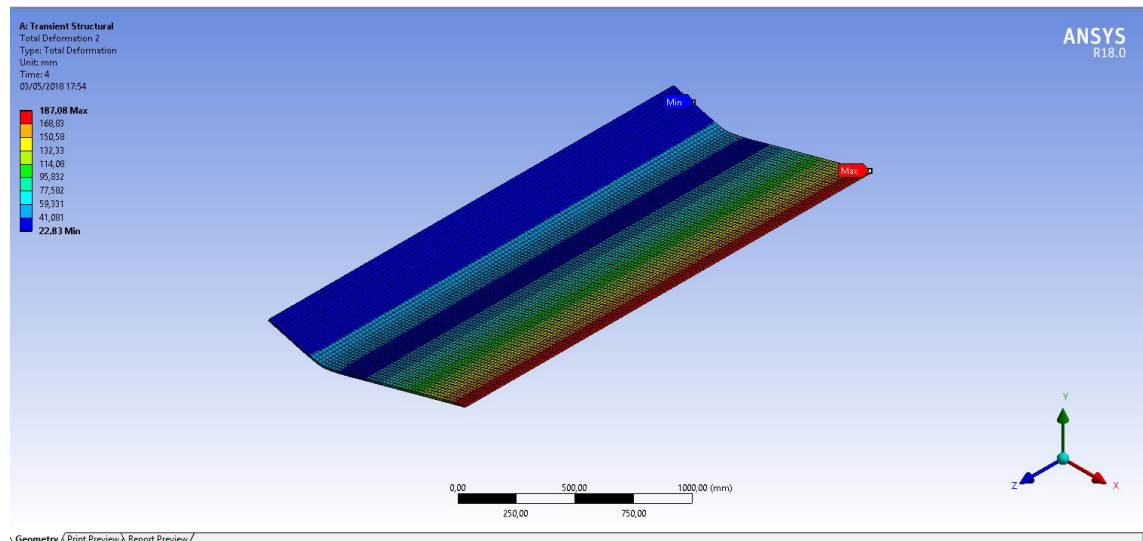


Figura 19-4: Diseño ANSYS – Deformación de la placa (a)

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuet. 2018

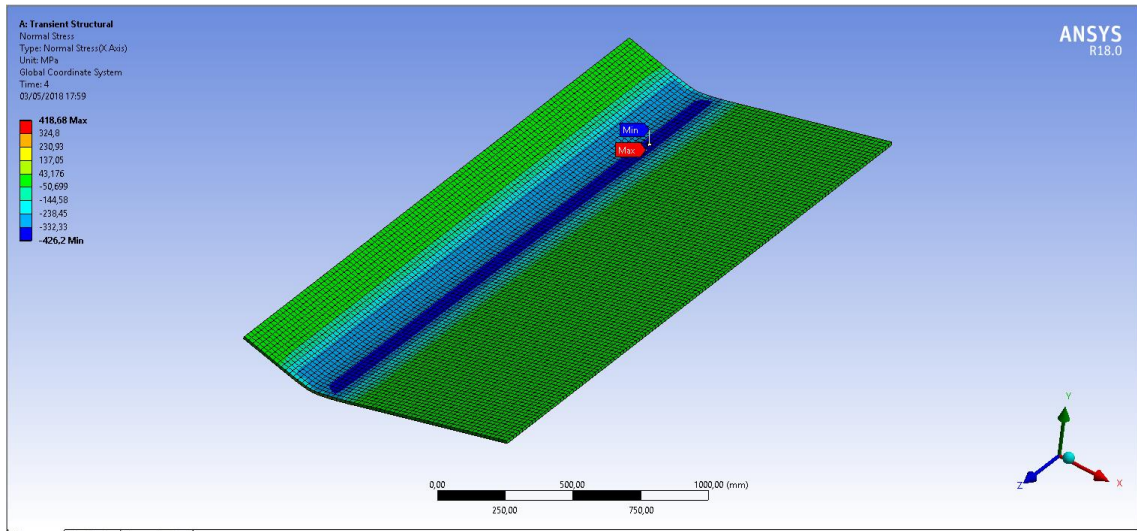


Figura 20-4: Diseño ANSYS – Deformación de la placa (b)

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

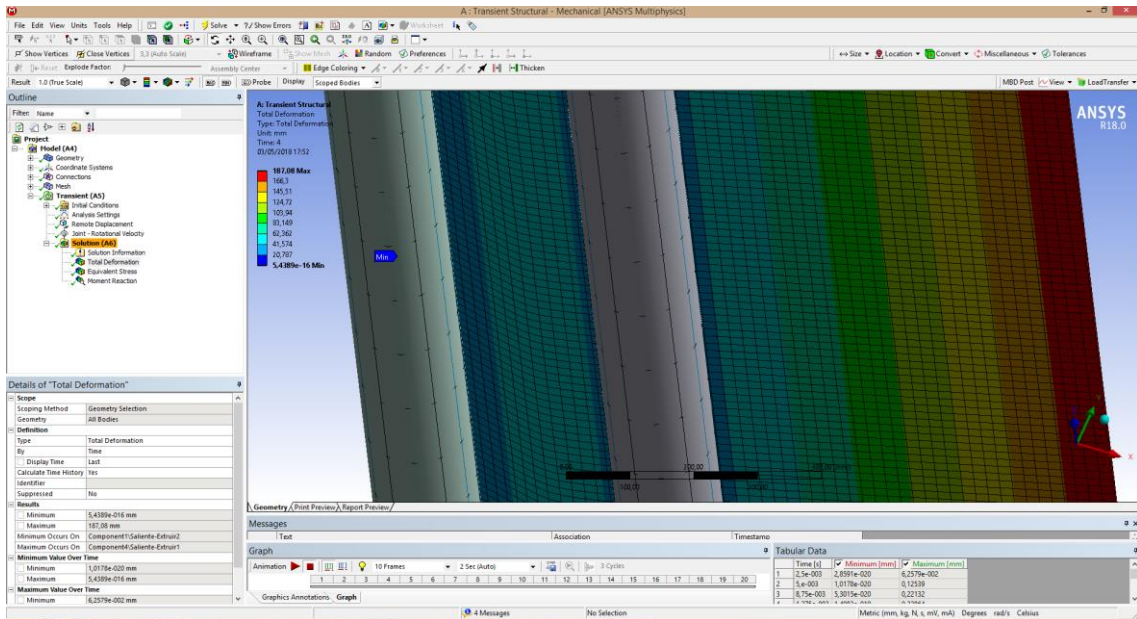


Figura 21-4: Diseño ANSYS – Deformación de la placa (c)

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

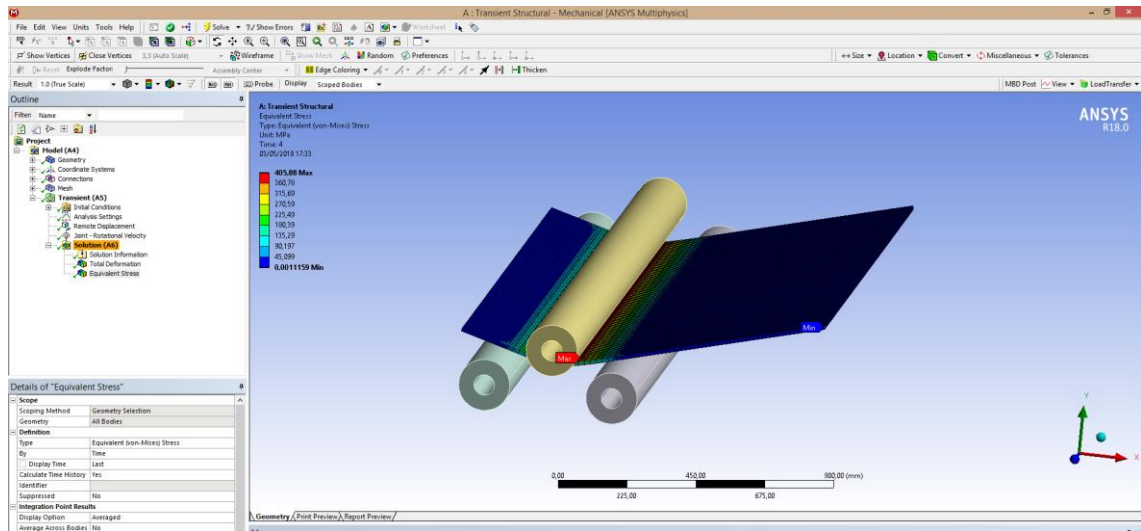


Figura 22-4: Diseño ANSYS – Esfuerzo de la placa (a)

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuet. 2018

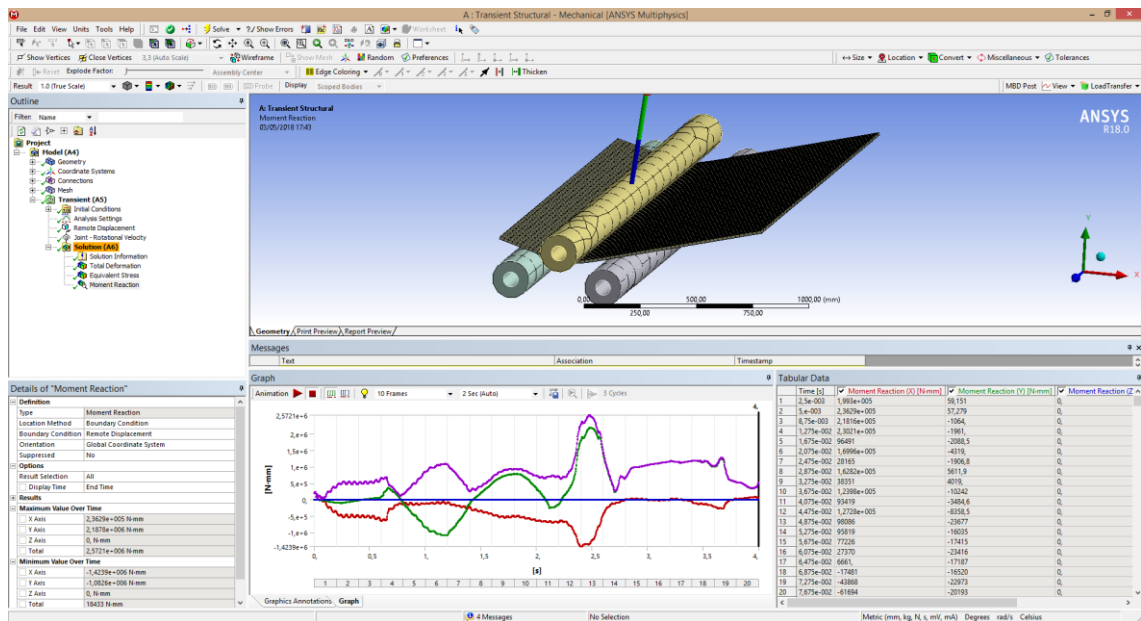


Figura 23-4: Diseño ANSYS – Esfuerzo de la placa (b)

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuet. 2018

CAPÍTULO V

5 ANÁLISIS DE COSTOS, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD PARA LA MÁQUINA BAROLADORA DE CHAPA METÁLICA HASTA 12 mm DE ESPESOR

Análisis de costos de la máquina baroladora de chapa metálica hasta 12 mm de espesor. Para el análisis de costos y gastos empleados en la fabricación de la máquina se toma en cuenta parámetros como gastos fijos, gastos indirectos y otros gastos de ingeniería, etc.

5.1 Costos fijos

Se asocian directamente con la construcción de la máquina ya sea mano de obra, materia prima, utilización de equipos, software, como principales factores directos en la construcción del prototipo de una máquina baroladora de chapa metálica hasta 12 mm de espesor.

En la Tabla 1-5, se describe el tipo, cantidad y precio de los materiales usados en la construcción de la máquina.

Tabla 1-5: Costos de mano de obra

Descripción	costo/hora (USD)	Cantidad (h)	Total (USD)
Electricista	4	30	120
Soldador	4	20	80
Mecánico general	4	110	440
SUB TOTAL			640

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 2-5: Costos de material e insumos

Material	Unidad	Precio Unitario (USD)	Cantidad	Total (USD)
Tornillos Auto perforantes Galvanizados 5/16"	U	0,1	30	3
Libras de Electrodo E308L	Lb	3,75	4	15
Plancha A53	m ²	30	2	60
Placas y Bujes	U	280	2	560
Plancha A36	m ²	180,56	2	361,12
Motor Reductor	U	3800	1	3800
Bastidor	U	22	1	22
Bujes de bronce	U	50	6	300
Puntas eje	U	21,67	6	130,02
Prisioneros 3/8"	U	4	6	24
Cilindros	U	280	3	840
Piñones	U	40	4	160
Rosca ACME	U	30	2	60
Tornillo de potencia	U	90	2	180
Cadena doble	U	80	1	80
Pernos	U	1,88	16	30,08
Pintura	Gl	35	1	35
Diluyente	Gl	25	1	25
Tablero de control con Conmutador	U	300	1	300
Cableado #10 (3 hilos)	m	15	3	45
			Subtotal	7030,22

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 3-5: Costos de maquinaria y equipos

Descripción	costo/hora (USD)	horas-uso equipo	Total (USD)
Soldadora Eléctrica	4,25	22	93,5
Dobladora Hidráulica	5	5	25
Maquinado	15	8	120
Taladro de Pedestal	1,5	2	3
Amoladora	1,5	5	7,5
Pulidora	1,5	3	4,5
Esmeril	1	5	5
Torneado	15	20	300
Limatón	0,5	2	1
Cautín	0,5	3	1,5
Remachadora	0,5	1	0,5
SUB TOTAL			561,5

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizúete. 2018

5.2 Costos indirectos

Están relacionado con la creación de la máquina en esta sección tomaremos como costos indirectos la renta de equipos, de elementos de oficina, de uso de tecnología dadas en la Tabla.4-5.

Tabla 4-5: Costos para la investigación

Descripción	Número de horas	Valor unitario	Valor total (USD)
Estudio de Campo	40	5	200
Internet	240	0,6	144
Diseño	40	20	800
Sub total			1144

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizúete. 2018

5.3 Costos fijos totales

A continuación se detalla el costo total de diseño, construcción y montaje de la máquina baroladora de chapa metálica hasta 12 mm de espesor.

Tabla 5-5: Costos fijos totales

Descripción	costos (USD)
Costos de materiales e insumos	7030,22
Mano de obra	640
Máquinas y herramientas	561,5
Transporte	25
Costos para la investigación	1144
SUB TOTAL	9425,72

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuite. 2018

- Manual de seguridad y mantenimiento de la máquina

Al estar constante movimiento los elementos de la máquina baroladora de chapa metálica con el pasar del tiempo sufren desgaste y por ende el mal funcionamiento de sus mecanismos por lo cual conlleva tener un plan de mantenimiento que ayudara a asegurar un buen funcionamiento y prolongar la vida útil de cada uno de estos elementos.

Tabla 6-5: Manual de seguridad del funcionamiento de la baroladora

1. Funcionamiento de la Baroladora	
Advertencia	<p>Antes de poner en marcha el sistema, el responsable de la operación deberá ser instruido en cuanto al manejo correcto y seguro de la baroladora. Por lo tanto recomendamos:</p> <ul style="list-style-type: none">• La lectura atenta del manual de Operación y Mantenimiento.• La utilización correcta de maquinaria y herramientas para mantenimiento.• Tomar muy en cuenta la simbología y nomenclatura presente en la baroladora.• Aplicar lubricantes a los lugares requeridos sobre la máquina, como en:<ul style="list-style-type: none">- Sistema de guías de la cortina.- Sistema de piñón y cremallera.- Rodamiento de bola.- Guías y rieles.- Cadena.• Cuando esté encendido la máquina, compruebe si los rodillos pueden rotar libremente en direcciones reversa y hacia adelante, es decir que funcionen normalmente y no estén adheridos.
Precaución	<ul style="list-style-type: none">• No está autorizada la utilización de la baroladora de chapa metálica para otros fines que no sean aquellos indicados en el manual de operación.• Observe que los implementos del sistema estén ajustados y bien ubicados antes de ponerla en funcionamiento.• Verifique regularmente la conexión entre los pistones y la cortina• Mantenga fuera del alcance de niños, animales y lugares peligrosos.• Verifique si no hay herramientas u otros objetos sobre la baroladora que puedan causar daños en el momento del encendido.• Antes de ajustar o hacer mantención del equipo es necesario que el circuito de control de la baroladora se encuentre desconectado de sus alimentaciones de 220 voltios para evitar quemaduras por contacto eléctrico.

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 7-5: Manual de seguridad del funcionamiento eléctrico de la máquina baroladora

2. Electricidad 220 voltios	
Precaución	<ul style="list-style-type: none">• Verificar las conexiones en las tablillas de terminales.• Verifique todos los voltajes que vienen de fuentes de alimentación y transformadores.• Verifique todos los voltajes que vienen de fuentes de alimentación y transformadores.• Evitar el contacto de alguna sustancia líquida con los componentes del circuito de control.• No manipule el circuito electrónico o entrada de energía con las manos mojadas.• No colocar sobre-pesos en la parte de los rodillos de la baroladora de forma que esta llegue a realizar presión en la parte interior de la baroladora, se recomienda no colocar ningún objeto en la parte superior de la baroladora.• Observe y respete las normas de seguridad. La falta de atención podrá causarle serios daños al equipo y personas.

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Tabla 8-5: Manual de mantenimiento de la máquina baroladora

Plan de mantenimiento preventivo de la máquina baroladora de chapa metálica						
Parte	N°	Actividad	Recurso	Tiempo	Insumos y herramientas	Frecuencia
Estructura	1	Limpieza	1 Ope.	15 min.	Brocha y franela	Diario
Sistema de barolado	2	Regulación	1 Ope.	30 min.	Calibrador, llave hexagonal	Diario
Sistema eléctrico	3	Verificar y limpieza	1 Ope.	30 min.	Inspección visual, brocha	Mensual
Cadenas	4	Tensionar	1 Ope.	10 min.	Juego de llaves	Mensual
Chumaceras	5	Revisar y ajustar	1 Ope.	10 min.	Llave hexagonal	Semanal
Motor	6	Revisar y ajustar	1 Elec.	10 min	Juego de llaves.	Mensual
Rodamientos	7	Limpieza, lubricación, revisar y ajustar	1 Ope.	30 min.	Juego de llaves, destornillador.	Mensual
Rodillos	8	Limpieza, revisar y ajustar	1 Ope.	15 min.	Brocha, franela y juego de llaves	Semanal

Realizado por: Diego Usca, Franklin Vizuete. 2018

Donde:

Ope: Operador.

Mec: Mecánico.

Elec: Electricista.

CAPÍTULO VI

6 PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas realizadas en la máquina baroladora tuvieron como objetivo principal demostrar la eficacia del diseño realizado y corregir los errores de diseño o fabricación que identificamos en esta etapa.

6.1 Materiales y métodos

Para evaluar la efectividad de la máquina baroladora de chapa metálica hasta 12 mm de espesor, así como la efectividad del análisis y simulación de los componentes del equipo, es decir que el espesor de la lámina a doblar corresponde a las características establecidas.

6.2 Conclusiones

- Mediante el estudio realizado se determinó que el proceso de barolado en la simulación cumple con el análisis establecido, ya que los cálculos están dentro del rango a las características especificadas de resistencia y funcionabilidad por la empresa.
- El peso tanto de la estructura como el del material con que se construyó la máquina es apropiado para que cuando se realice los ensayos la máquina no realice ningún desplazamiento al momento del barolado.
- Al desarrollar la simulación del proceso de barolado mediante el software se observa que hubo deformación en la lámina, la cual cumplió con la condición ya que la deformación mínima es de 3 mm, para una lámina de 12 mm de espesor.
- Se puede concluir que la potencia se incrementa cuando el espesor es mayor y el diámetro a barolar es menor.

6.3 Recomendaciones

- La inclusión de un variador de frecuencia es recomendado para así poder controlar de mejor manera la velocidad de barolado, y en el caso de espesores grandes reducir la velocidad que debe suministrar el motor eléctrico.
- Es preciso que el material a barolar esté en buenas condiciones, es decir sin oxido ni impurezas, para así evitar un desgaste prematuro de los rodillos y las demás partes sensibles de la máquina.
- Antes de operar la maquina baroladora leer el manual de operación y mantenimiento, para evitar que se utilice de manera errónea la maquina lo que podría ocasionar accidentes graves.
- Se recomienda realizar un mantenimiento periódico de la maquina cada 120 horas de trabajo para alargar la vida útil de la máquina.

BIBLIOGRAFÍA

ARAVENA, H. D. *Diseño y cálculo de una máquina curvadora de perfiles para la empresa metal mecánica ags ingenieros limitada.* [Consultado el: 27 de Marzo de 2017.] Disponible en:

http://cybertesis.ubiobio.cl/tesis/2010/bustamante_h/doc/bustamante_h.pdf

BAILEIGH, I. *Baileigh industrial.* [Consultado el: 15 de Enero de 2018.] Disponible en: <https://www.baileigh.com.mx/rodillo-de-placa-pr-1003-4>

Boyer, H. T. *Metals handbook; desk edition.* United States: 1985

BUDYNAS, R., & NISBETT, K. *Diseño en ingeniería mecánica de shigley.* México D.F.: 2008. pp.180-214

CÓRDOVA, F. J. (28 de 11 de 2012). *Diseño y construcción de una máquina baroladora de láminas hasta 1200 mm de ancho y 3 mm de espesor, perfiles tipo T y varillas de acero para el laboratorio de procesos de manufactura del departamento de ciencias de la energía y mecánica.* [Consultado el: 28 de Noviembre de 2012.] Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/>

GUAMÁN, E. (15 de Agosto de 2011). *Diseño de una máquina baroladora para diferentes perfiles de aluminio empleados en la fabricación de ventanas, mamparas y puertas, para la empresa aluminio y vidrio JD.* [Consultado el: 15 de Agosto de 2011.] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4072/1/CD-3821.pdf>

GUANO, E. E. (2006). *Diseño y construcción de una baroladora para tubo rectangular y redondo para la empresa novacero.* [Consultado el: 11 de Mayo de 2006.]: Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/2702>

INDUSTRIAL, M. *Máquinaria industrial.* [Consultado el: 29 de Julio de 2008.] Disponible en: <https://www.google.com.ec/search?q=RODILLO+DE+PLACA+HIDR%C3%81ULICO+PR10034&tbm=isch&source=iu&ictx=1&fir=mqO8MiYPYQtglM%253A%252Cuyg>

[qM2NLxT82bM%252C_&usg=__5JBNkE9ZjfwW13vgdc1aUi1VnSY%3D&sa=X&ved=0ahUKEwj6hNX2pdraAhVJmeAKHTnGAfYQ9QEIMDAC#imgrc=mqO8MiYP](http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11727)

QUITO, M. H. *Simulación del proceso de rolado para el diseño de una máquina baroladora para planchas de acero de hasta 3000mm de ancho y 12mm de espesor para el departamento de producción de la empresa P MEC SA.* [Consultado el: 7 de Agosto de 2016.] Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/11727>

REVELO, M. G. *Diseño y simulación de una máquina cortadora de patrones.* [Consultado el: 21 de Febrero de 2017.] Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/10463>

RIBA, Carles & ROMEVA. *Diseño concurrente.* Barcelona-España: ediciones JPC. 2002. pp. 59-105

Thefabricator. *Rodillos de geometría variable procesan placa increíblemente gruesa.* [Consultado el: 9 de Diciembre de 2011.] Disponible en: <http://www.thefabricator.com/spanish/los-rodillos-para-placa-siguen-rolando-placa-mas-pesada>

Useche, J. C. Evaluación de las propiedades mecánicas y microestructurales del acero naval ASTM A-131A sometido a explosiones cercanas. [Consultado el: 14 de Junio de 2009.] Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/viewFile/5189/2309>