



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

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES, COMO HERRAMIENTA DE
MEJORA AL PROCESO DE ROLADO, EN LA EMPRESA METAL MECÁNICA, PSMI, S. A.
(PROYECTOS, SERVICIOS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S. A.)**

Juan Francisco López Rosales

Asesorado por el Ing. Jorge Mario Muñoz Paz

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES, COMO HERRAMIENTA DE
MEJORA AL PROCESO DE ROLADO, EN LA EMPRESA METAL MECÁNICA, PSMI, S. A.
(PROYECTOS, SERVICIOS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S. A.)**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JUAN FRANCISCO LÓPEZ ROSALES
ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO MUÑOZ PAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Nora Leonor Elizabeth García Tobar
EXAMINADOR	Ing. Alberto Eulalio Hernández García
EXAMINADOR	Ing. Julio Oswaldo Rojas
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES, COMO HERRAMIENTA DE MEJORA AL PROCESO DE ROLADO, EN LA EMPRESA METAL MECÁNICA, PSMI, S. A.
(PROYECTOS, SERVICIOS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S. A.)**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha septiembre de 2012.


Juan Francisco López Rosales

Guatemala, noviembre de 2013

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

Respetable Ingeniero Urquizú:

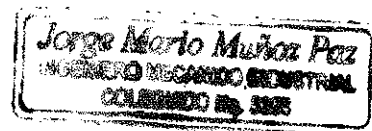
Me permito comunicarle que he tenido a la vista el informe final de trabajo de graduación del estudiante Juan Francisco López Rosales, quien se identifica con carné universitario No. 2005-12035 titulado "**DISEÑO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES, COMO HERRAMIENTA DE MEJORA AL PROCESO DE ROLADO, EN LA EMPRESA METAL MECÁNICA, PSMI, S.A. (Proyectos Servicios y Montajes Industriales, S.A.)**" el cual según mi criterio a la fecha, cumple con los objetivos planteados en el protocolo, dando mi aprobación al presente trabajo.

Sin otro particular, me despido muy atentamente,



Ing. Jorge Mario Muñoz Paz

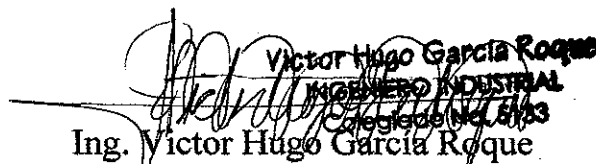
Col. 5369





Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES, COMO HERRAMIENTA DE MEJORA AL PROCESO DE ROLADO, EN LA EMPRESA METAL MECÁNICA, PSMI, S.A. (Proyectos, Servicios y Montajes Industriales, S.A.)**, presentado por el estudiante universitario **Juan Francisco López Rosales**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


Victor Hugo Garcia Roque
INGENIERO INDUSTRIAL
Colegiado No. 613

Ing. Victor Hugo Garcia Roque
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, noviembre de 2013.

/mgp



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.053.014

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES, COMO HERRAMIENTA DE MEJORA AL PROCESO DE ROLADO, EN LA EMPRESA METAL MECÁNICA, PSMI, S.A. (Proyectos, Servicios y Montajes Industriales, S.A.)**, presentado por el estudiante universitario **Juan Francisco López Rosales**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”


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



Guatemala, abril de 2014.

/mgp



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DE UNA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES, COMO HERRAMIENTA DE MEJORA AL PROCESO DE ROLADO, EN LA EMPRESA METAL MECÁNICA, PSMI, S.A. (PROYECTOS, SERVICIOS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S.A.)**, presentado por el estudiante universitario: **Juan Francisco López Rosales**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE




Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, agosto de 2014

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por darme la sabiduría, fortaleza y serenidad para culminar esta meta, que su presencia continúe guiando mis pasos.
- Mis padres** Enrique López y Norma Rosales de López, por su incondicional apoyo en los momentos más difíciles. Que esta meta cumplida retribuya en mínima parte el infinito amor con el que me han arropado.
- Mis hermanos** Pablo David López, gracias por tus consejos y por ser un ejemplo en mi vida. María del Pilar López, que tu sonrisa siga iluminando nuestras vidas.
- Mis abuelas** María Xoyón, por ese gran cariño y afecto. Elvia Anzueto y Felisa Xoyón, su recuerdo sigue presente en nuestros corazones.
- Mi familia** Amelia López Anzueto, Miguel Ángel López Anzueto, Felipe Osorio, Delmy de Osorio, Marven Cujcuy, Maricela de Cujcuy y Rafael Reynoso, por estar siempre presentes en mi vida.
- Mis asesores** Ing. Jorge Mario Muñoz, Ing. Luis Vicente, Ing. Otto Rodrigo Lantan, Ing. Luis Santos, por su excelente apoyo y orientación en mi trabajo de graduación.

Mis amigos

Jenoveva Maldonado, Andrea Marroquín, Carlos Galindo, Fernando Segura, Diego Mendoza, eternamente agradecido por la amistad brindada.

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por mi formación profesional y ética, que Dios permita eternidad al alma máter.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. La empresa	1
1.1.1. Ubicación.....	2
1.1.2. Misión	3
1.1.3. Visión	3
1.1.4. Política de calidad	3
1.1.5. Valores	3
1.2 Norma DIN 8582	4
1.2.1. Definición.....	4
1.2.2. Clasificación de los procedimientos de conformación.....	5
1.3. Código ASME.....	6
1.3.1. Ecuación del Código ASME	8
1.4. Definiciones.....	9
1.4.1. Rolado según Norma DIN 8582.....	9
1.4.2. Momento de inercia	9
1.4.3. Deformación	10
1.4.3.1. Deformación plástica.....	11

	1.4.3.2.	Deformación elástica.....	11
	1.4.3.3.	Plasticidad elemental	11
	1.4.3.4.	Flexión plástica de perfiles	12
1.5.		Materiales.....	18
	1.5.1.	Perfiles de acero A-36.....	18
	1.5.2.	Propiedades del acero A-36.....	19
	1.5.3.	Perfil patrón	20
1.6.		Costos.....	21
	1.6.1.	Costo directo	21
	1.6.2.	Costo indirecto	21
	1.6.3.	Análisis económico financiero	22
2.		SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA.....	23
	2.1.	Descripción del proceso actual.	23
		2.1.1. Preparación del material.....	23
		2.1.2. Equipo utilizado	24
	2.2.	Estudio de tiempos del proceso	25
		2.2.1. Tiempo estándar de rolado de perfil patrón.....	25
		2.2.2. Diagrama bimanual del proceso.....	26
		2.2.3. Observaciones	28
	2.3.	Mano de obra	29
		2.3.1. Responsable	29
		2.3.2. Personal operativo	29
		2.3.3. Equipo de seguridad empleado.....	30
	2.4.	Control de calidad	30
		2.4.1. Inspección visual.....	30
	2.5.	Área de trabajo.....	31
		2.5.1. Dimensiones.....	31
		2.5.2. Ubicación dentro de las instalaciones	31

2.6.	Estudio de costos de rolado manual	32
2.6.1.	Costos directos.....	32
2.6.2.	Costos indirectos	34
2.6.3.	Costos totales.....	35
3.	PROPUESTA PARA DISEÑAR LA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES.....	37
3.1.	Determinación de la fuerza en el rolado.....	37
3.1.1.	Análisis de las cargas en el rolado	37
3.1.2.	Esfuerzo normal por flexión en el rolado	42
3.1.3.	Cálculo de la fuerza de rolado.....	44
3.2.	Material a rolar	44
3.2.1.	Perfil cuadrado	45
3.2.1.1.	Cálculo de momento de inercia	46
3.2.1.2.	Distancia de eje neutro a fibra última.....	46
3.2.1.3.	Distancia entre centros.....	47
3.2.2.	Perfil angular recto	47
3.2.2.1.	Cálculo de momento de inercia	48
3.2.2.2.	Distancia de eje neutro a fibra última.....	49
3.2.2.3.	Distancia entre centros.....	50
3.2.3.	Perfil tubular	50
3.2.3.1.	Cálculo de momento de inercia	51
3.2.3.2.	Distancia de eje neutro a fibra última.....	52
3.2.3.3.	Distancia entre centros.....	52
3.3.	Selección de accesorios.....	53
3.3.1.	Movimiento de los rodillos	53

	3.3.1.1.	Movimiento angular.....	54
	3.3.1.2.	Movimiento rotatorio.....	55
3.3.2.		Cálculo de cilindro hidráulico.....	55
	3.3.2.1.	Plano hidráulico del cilindro.....	56
	3.3.2.2.	Diámetro del cilindro.....	57
	3.3.2.3.	Fuerza ejercida por el cilindro	59
	3.3.2.4.	Caudal del cilindro.....	60
3.3.3.		Selección de accesorios hidráulicos.....	61
	3.3.3.1.	Válvulas direccionales.....	61
	3.3.3.2.	Válvulas de retención	61
	3.3.3.3.	Válvulas reguladoras de flujo	62
3.3.4.		Cálculo del torque de máquina.....	62
	3.3.4.1.	Torque en rodillos inferiores.....	64
	3.3.4.2.	Torque en rodillo superior	65
	3.3.4.3.	Torque distribuido.....	65
	3.3.4.4.	Selección de cadenas y engranajes	67
3.3.5.		Selección de motorreductores.....	72
	3.3.5.1.	Esquema de accionamiento de rodillos.....	73
	3.3.5.2.	Velocidad de giro de los rodillos.....	74
3.3.6.		Cálculo de ejes.....	75
	3.3.6.1.	Cálculo de ejes mediante ecuación del Código ASME	76
	3.3.6.2.	Material a utilizar	78
	3.3.6.3.	Eje del rodillo superior.....	78
	3.3.6.4.	Eje de rodillos inferiores	83
3.3.7.		Selección de soportes y rodamientos.....	88

	3.3.7.1.	Soportes y rodamientos del eje superior	88
	3.3.7.2.	Soportes y rodamientos de ejes inferiores.....	89
	3.3.8.	Disposición de rodillos en el proceso de rolado ...	90
	3.3.8.1.	Disposición de rodillos para perfil cuadrado y angular recto.....	90
	3.3.8.2.	Disposición de rodillos para perfil tubular	91
4.		IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO PROCESO	93
4.1.		Montaje de máquina.....	93
	4.1.1.	Consideraciones de cimentación.....	93
	4.1.2.	Alineación de pernos	103
	4.1.3.	Cronograma de montaje.....	104
	4.1.4.	Personal operativo para el montaje de la máquina.....	104
4.2.		Área de trabajo.....	106
	4.2.1.	Diseño del área de trabajo	106
	4.2.2.	Diagrama de flujo	107
	4.2.3.	Descripción.....	107
	4.2.4.	Diagrama de flujo de proceso.....	107
	4.2.5.	Diagrama de recorrido.....	110
4.3.		Estudio de tiempos y movimientos	111
	4.3.1.	Determinación de tiempo estándar de actividad	111
	4.3.2.	Mano de obra	112
	4.3.3	Capacitación.....	113
	4.3.3.1.	Descripción.....	113

	4.3.3.2.	Cronograma de capacitación	114
	4.3.3.3.	Encargado	114
	4.3.3.4.	Personal administrativo	115
	4.3.3.5.	Personal operativo	115
5.		SEGUIMIENTO.....	117
	5.1.	Indicadores.....	117
	5.1.1.	Calidad del perfil rolado.....	117
	5.1.1.1.	Inspección visual	117
	5.1.1.2.	Ensayo de deformación.....	118
	5.2.	Registros	119
	5.2.1.	Ficha de control.....	119
	5.2.2.	Ficha de aprobación	120
	5.2.3.	Procedimiento correctivo	121
	5.3.	Análisis de costos.....	121
	5.3.1.	Costos directos.....	121
	5.3.2.	Costos indirectos.....	123
	5.3.3.	Costos totales.....	125
	5.3.4.	Cuadro comparativo de costos.....	126
		CONCLUSIONES.....	129
		RECOMENDACIONES.....	131
		BIBLIOGRAFÍA.....	133
		ANEXOS.....	135

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de planta en Escuintla	2
2.	Clasificación de procedimientos de conformado	6
3.	Distribución de esfuerzos	14
4.	Gráfica del momento plástico y momento flector	18
5.	Máquina roladora manual	24
6.	Diagrama bimanual de rolado	27
7.	Tubo rolado manualmente	28
8.	Ubicación del área de trabajo.....	32
9.	Disposición inicial de los rodillos	38
10.	Disposición de los rodillos durante el proceso	38
11.	Viga simplemente apoyada	39
12.	Diagrama de cuerpo libre de viga	39
13.	Diagrama de cuerpo libre de viga cortada	41
14.	Perfil cuadrado máximo a rolar	45
15.	Perfil angular recto máximo a rolar	48
16.	Perfil tubular máximo a rolar	51
17.	Movimiento angular de los rodillos inferiores	54
18.	Fuerza de rolado	55
19.	Plano hidráulico del cilindro.....	57
20.	Movimiento rotatorio de rodillos	62
21.	Generación de la fuerza de rozamiento	64
22.	Distribución de torques	66
23.	Esquema de transmisión por cadena	71

24.	Esquema de mecanismos y disposición de motorreductores	73
25.	Esquema de eje	75
26.	Esquema de eje de rodillo superior.....	78
27.	Diagrama de cuerpo libre de eje de rodillo superior.....	79
28.	Diagrama de corte y momento flector	81
29.	Esquema de eje de rodillo inferior.....	83
30.	Diagrama de cuerpo libre de eje de rodillo inferior.....	84
31.	Diagrama de corte y momento flector	86
32.	Rodillos para perfil cuadrado y angular recto.....	91
33.	Rodillo para perfil tubular	92
34.	Dimensiones propuestas.....	95
35.	Área del cortante actuante	98
36.	Área de punzonamiento	99
37.	Dimensiones finales de zapata de cimentación	100
38.	Distribución de pernos de anclaje	103
39.	Distribución del área de trabajo	106
40.	Diagrama de flujo de proceso	108
41.	Diagrama de recorrido	110
42.	Ficha de control de orden de trabajo	119
43.	Ficha de aprobación de calidad	120

TABLAS

I.	Composición química del acero ASTM A-36	19
II.	Propiedades del acero ASTM A-36	20
III.	Muestreo para determinación de tiempo estándar.....	25
IV.	Costos de mano de obra directa rolado manual	33
V.	Costos de materia prima e insumos	33
VI.	Costos de depreciación de equipo rolado manual.....	34

VII.	Costos de mano de obra indirecta y administración	34
VIII.	Costos de mantenimiento de equipo y combustible.....	35
IX.	Resumen de costos totales.....	35
X.	Propiedades físicas del acero ASTM A-36	45
XI.	Factores de servicio.....	69
XII.	Factores de carga del acero ASTM A-36.....	77
XIII.	Cronograma del montaje	104
XIV.	Personal operativo montaje de máquina.....	105
XV.	Tiempos cronometrados	111
XVI.	Perfiles y puestos de trabajo.....	112
XVII.	Cronograma de capacitación	114
XVIII.	Tolerancias máximas para roles de perfiles.....	118
XIX.	Costos de mano de obra directa	122
XX.	Costos de depreciación de maquinaria.....	122
XXI.	Consumo de energía	123
XXII.	Materiales e insumos consumibles	123
XXIII.	Mano de obra indirecta y administración	124
XXIV.	Gastos indirectos, combustible y mantenimiento.....	124
XXV.	Resumen de costos totales.....	125
XXVI.	Comparativo de costos	126
XXVII.	Comparativo de tiempos y costos unitarios	127

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cu	Costo unitario
\emptyset	Diámetro
x	Distancia horizontal
y	Distancia vertical
σ	Esfuerzo
F	Fuerza
$^{\circ}\text{C}$	Grado Celsius
h	Horas
Kg	Kilogramo
Kg/m³	Kilogramo por metro cúbico
MPa	Mega pascales
Ksi	Miles de libras por pulgada cuadrada
mm	Milímetros
'	Minutos
M	Momento
I	Momento de inercia
%	Porcentaje
"	Pulgada
Q	Quetzal
R	Reacción
Σ	Sumatoria
Te	Tiempo estándar

GLOSARIO

ASME	American Society of Mechanical Engineers o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, es la asociación de profesionales de la ingeniería que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para diversos equipos como: calderas, recipientes a presión, materiales, entre otros.
Chaveta	Pieza sólida de sección rectangular o cuadrada que se inserta entre dos elementos para evitar que se produzcan deslizamientos.
DIN	Deutsches Institut Für Normung o Instituto Alemán de Normalización, es el organismo nacional de normalización de Alemania. Elabora en cooperación con el comercio, la industria y consumidores, estándares técnicos para la racionalización y el aseguramiento de la calidad.
Elasticidad	Propiedad mecánica de ciertos materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas se eliminan.

Esfuerzo	Oposición que presenta un cuerpo sobre el que está actuando una fuerza determinada, la cual tiende a estirarlo (tracción), aplastarlo (compresión), doblarlo (flexión), cortarlo (corte) o retorcerlo (torsión).
Momento de inercia	Medida de la inercia rotacional de un cuerpo, en la que un cuerpo rígido se opone a cambios de movimiento.
Motorreductor	Motor eléctrico que consta de un juego de engranajes cuyo objetivo es controlar la velocidad de giro de un elemento al que se encuentran acoplados.
Plasticidad	Propiedad mecánica de un material natural, artificial o de otro tipo para deformarse permanente e irreversiblemente cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico, es decir, por encima de su límite elástico.
Rolado	Proceso de deformación plástica o permanente que sufre un material tras ser sometido a esfuerzos flectores.
Torque	Es el resultado de la aplicación de una fuerza sobre un elemento determinado el cual gira sobre un eje fijo por la acción de ella. Es una medida de la fuerza de giro sobre un objeto.

RESUMEN

PSMI, S. A. es una empresa que se ha dedicado por más de veinticuatro años a desarrollar proyectos de metal mecánica y montajes industriales en el territorio nacional. A través de los años, la organización ha perfeccionado técnicas e implementado procesos para mejorar la calidad de los productos entregados, cumpliendo y sobrepasando las expectativas de sus clientes.

En el campo de trabajo se diseñan y fabrican piezas en diversos materiales, principalmente aceros al carbón e inoxidables. Entre estas piezas se encuentran los perfiles rolados con diversas utilidades: serpentines de vapor, agua y distintos fluidos, barandales circulares, refuerzos estructurales para tanques, entre otras aplicaciones.

Inicialmente, la empresa ha utilizado un proceso de fabricación de rolado de perfiles apoyados por un cilindro hidráulico de accionamiento manual y moldes utilizados para conformar la curva de los perfiles. En consecuencia, se han generado altos costos de producción, deficiencias de calidad y se ha detectado la necesidad de llevar a cabo un proyecto por medio del cual se diseñe una máquina que mejore la calidad del producto final y conlleve un ahorro económico a mediano plazo.

De la mano con el diseño de la máquina, se plantea un proceso de rolado específico que optimice tanto la mano de obra como el espacio disponible dentro de las instalaciones de la planta de producción.

Se toman en cuenta aspectos de instalación de la máquina, considerando factores de cimentación, como peso de la máquina y dimensiones; todo ello de la mano con el proceso óptimo diseñado para el aprovechamiento total de los recursos de la empresa.

La evaluación de costos considera un comparativo entre el proceso manual y el que se implementará utilizando la máquina roladora. Se evalúan también, parámetros de calidad y tiempos de entrega entre ambos procesos.

A través de los resultados del estudio de costos y de tiempos de entrega, se puede apreciar cómo la implementación del nuevo proceso representaría un ahorro de Q. 717,34 por cada pieza producida y una reducción en los tiempos de entrega de 28,69 horas por cada lote de diez piezas del mismo diseño.

OBJETIVOS

General

Diseñar una máquina roladora de perfiles, como herramienta de mejora al proceso de rolado de una empresa dedicada a trabajos en metal mecánica.

Específicos

1. Describir el proceso de rolado de perfiles conforme a la definición de la Norma DIN 8582.
2. Especificar los datos técnicos correspondientes a los elementos necesarios para el correcto funcionamiento de la máquina roladora de perfiles.
3. Diseñar el área específica de trabajos de rolado de perfiles dentro de las instalaciones de la empresa.
4. Establecer los costos directos e indirectos dentro de la empresa, de acuerdo a la implementación del área de rolado de perfiles.
5. Determinar el nivel de eficiencia de la máquina roladora de perfiles, respecto a la actividad de rolado manual existente.
6. Diseñar los diagramas de proceso que describan la actividad de manera adecuada.

7. Establecer estándares de calidad de rolado de perfiles, tomando en cuenta los tiempos de ejecución.
8. Comparar los tiempos de entrega y costos unitarios del proceso actual *versus* el proceso implementado.

INTRODUCCIÓN

La industria del metal en Guatemala ha aumentado de forma exponencial en la última década, este crecimiento hace que las empresas busquen estrategias de consolidación para aferrarse al mercado y lograr sobrevivir. Una de estas estrategias es la mejora continua de sus procesos, de forma que estos sean más eficientes y no impacten significativamente los costos de producción.

El rolado de perfiles metálicos es un proceso en auge, que no requiere demasiada especialización de la mano de obra; sin embargo, al realizarlo de forma manual se ve afectada directamente la calidad del producto, además de generar un alto costo debido a lo complicado del manejo de los materiales.

PSMI, S. A. es una empresa dedicada a la fabricación de estructuras metálicas, tanques y diversos proyectos de montajes industriales directamente relacionados con la industria guatemalteca. La producción de piezas especiales como serpentines, barandales y refuerzos para tanques, hizo que PSMI, S. A. se iniciara con los trabajos de rolado de perfiles metálicos.

Considerando la actividad de rolado como una de las actividades más importantes durante el desarrollo de un proyecto, PSMI, S. A. diseñó un método manual para poder satisfacer esas necesidades puntuales. Sin embargo, la calidad de los productos es visiblemente mejorable, al igual que los tiempos de entrega.

El diseño de una máquina roladora de perfiles permite implementar un proceso productivo estándar, con base en el cual se pueden generar indicadores de producción más estables, establecidos en un proceso mecánico repetitivo, mejorando notablemente la calidad del producto final. Esto implica diseñar dentro de la misma empresa un Departamento de Rolado de Materiales, destinando un área específica para la actividad, mejorando los niveles de control y calidad de producción.

El presente estudio sienta las bases necesarias para el Departamento de Rolado. Se especifica y detalla el procedimiento de rolado mecánico dentro de la planta, a la vez se plasma el diseño del área destinada a la actividad, así como los parámetros fundamentales del diseño de la máquina roladora de perfiles. Además, se incluye un estudio comparativo de costos, orientado a reflejar las diferencias significativas entre ambos procesos.

1. ANTECEDENTES GENERALES

A continuación se presenta información conceptual sobre los temas de importancia para la comprensión óptima del proyecto Diseño de una Máquina Roladora de Perfiles, como herramienta de mejora al proceso de rolado, en la empresa metal mecánica, PSMI, S. A. (Proyectos, Servicios y Montajes Industriales, S. A.).

1.1. La empresa

Proyectos, Servicios y Montajes Industriales S. A. (PSMI, S. A.) fue fundada en 1989, por el Sr. Álvaro Ixpatá de Paz, posteriormente, en el año 2000, la dirección de la empresa la heredaron sus hijos, los ingenieros Álvaro y Mario Ixpatá Ordóñez. Es una empresa dedicada a trabajos en metal mecánica, soldadura industrial especializada y montajes en general.

A través de los años, PSMI, S. A. ha desarrollado proyectos en diversas ramas de la ingeniería, tales como: fabricación de tanques de almacenamiento de hidrocarburos, fabricación y montaje de tuberías de alta y baja presión, fabricación y montaje de estructuras metálicas industriales, reparación de calderas piro tubulares, entre otros.

En la actualidad, los servicios ofrecidos se han diversificado, incursionando en el campo de ensayos no destructivos, incluyendo dentro de estos: ultrasonido industrial, ensayo de partículas magnéticas, ensayo de líquidos penetrantes y medición de espesores.

1.1.1. Ubicación

PSMI, S. A. posee una planta de producción en el departamento de Escuintla. Está ubicada en la 1ª. Avenida lote 4, sección D, Colonia Hunapú, donde también se encuentran ubicadas sus oficinas administrativas. Adicionalmente, cuenta con oficinas y bodegas móviles, puesto que, dependiendo de la naturaleza del proyecto a desarrollar, es necesario establecer un campamento temporal en cada lugar.

Figura 1. Ubicación de planta en Escuintla



Fuente: Google Maps, todos los derechos reservados. Consulta: 2 de julio de 2013.

1.1.2. Misión

“Crear soluciones y satisfacer necesidades de nuestros clientes, utilizando las herramientas de ingeniería y empleando recurso humano altamente profesional para brindar confiabilidad en los servicios y productos.”

1.1.3. Visión

“Consolidarnos como empresa líder en desarrollo de proyectos de ingeniería a nivel industrial en toda Guatemala y Centroamérica.”

1.1.4. Política de calidad

“Fabricar productos y prestar servicios apegados a los estándares internacionales de calidad, buscando la mejora continua a través de la satisfacción de nuestros clientes.”

PSMI, S. A. se caracterizó desde sus inicios por apegarse a las Normas Internacionales de soldadura como: ASME, API 650, API 1104, ASTM, AWWA, entre otras, lo que ha fomentado la confianza y fidelidad del cliente.

1.1.5. Valores

Los valores que PSMI, S. A. ha fomentado en todos sus colaboradores son:

- Respeto a las personas
- Respeto al medio ambiente
- Responsabilidad

- Integridad
- Honestidad
- Confiabilidad
- Servicio y satisfacción del cliente
- Calidad en todo lo que se hace
- Mejora continua
- Innovación constante
- Respeto a las leyes y normas vigentes
- Respeto a los contratos de los que se es parte

1.2. Norma DIN 8582

A continuación se describe la Norma DIN 8582, la cual se utiliza como base conceptual del rolado de perfiles metálicos. De la misma manera se presenta la clasificación de los diferentes procedimientos de conformación, según esta norma.

1.2.1. Definición

Las Normas DIN (Deutsches Institut für Normung o Instituto Alemán de Normalización, por sus siglas en alemán), son los estándares técnicos para el aseguramiento de la calidad en productos industriales y científicos en Alemania.

Fueron creadas en 1917, bajo el nombre de NADI (Normen Ausschuss der Deutschen Industrie o Comité de Normalización de la Industria Alemana); en 1926 cambió su denominación por DNA (Deutsches Normen Ausschuss o Comité de Normas Alemanas). Fue hasta 1975 cuando adoptaron el nombre con el que actualmente son conocidas, DIN.

Según su contenido, las Normas DIN pueden ser: normas fundamentales de tipo general, normas fundamentales de tipo técnico, normas de materiales y normas de dimensiones de piezas y mecanismos.

Particularmente, la Norma DIN 8582 es la que hace referencia a la calidad de los materiales, tanto metálicos, aceros y bronce; como no metálicos, lubricantes y combustibles, con especificación de su designación, propiedades, composición y ensayo. También define los diferentes procesos de conformado a los que pueden ser sometidos los materiales metálicos, entre los que se encuentra, el rolado o curvado de perfiles metálicos.

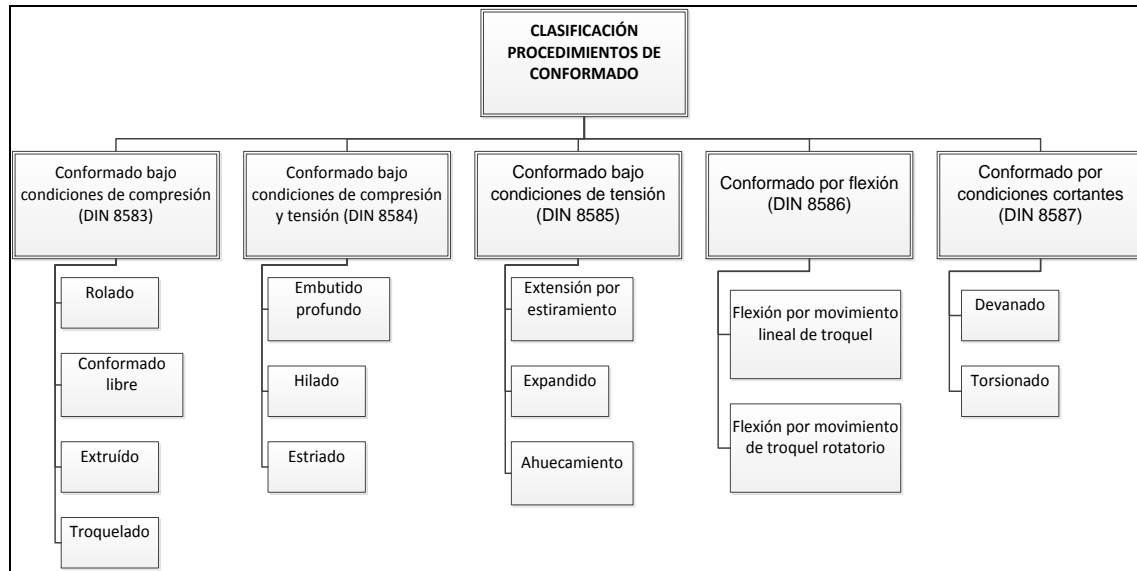
1.2.2. Clasificación de los procedimientos de conformación

En la historia de las tecnologías de conformado metálico, sus procesos han tenido la necesidad de impulsar el desarrollo continuo de los procesos de fabricación.

El desarrollo de nuevos procedimientos ha facilitado la obtención de componentes con geometrías más complejas que garantizan un aumento de la eficiencia y disponibilidad de piezas, además de nuevos procesos de deformación y máquinas que responden a los requisitos de la industria moderna.

Los procedimientos de conformado se pueden clasificar o dividir en: procedimientos de conformado de chapa metálica o en procedimientos de conformado masivo. La Norma DIN 8582 subdivide los procesos de conformado teniendo en cuenta, principalmente, los esfuerzos efectivos.

Figura 2. Clasificación de procedimientos de conformado



Fuente: <http://observatorio.aimme.es>. Consulta: 2 de julio de 2013.

1.3. Código ASME

A continuación se define el concepto de Código ASME, útil para la comprensión de los cálculos posteriores.

El Código ASME (American Society of Mechanical Engineers o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) es una organización profesional sin fines de lucro, que promueve el arte, la ciencia y la práctica de la ingeniería mecánica y de las ciencias aliadas.

Fue fundada en 1880, por el ingeniero Alexander Lyman Holley (1832-1882), Henry Rossiter Worthington (1817-1880) y John Edson Sweet (1832-1916), con el objetivo de desarrollar los códigos y estándares que mejoran la seguridad pública, y proporciona aprendizaje constante y

oportunidades de intercambio técnico que benefician a la comunidad global de la ingeniería y de la tecnología. El código consiste en 11 secciones:

- Sección I: calderas de potencia.
- Sección II: especificaciones de materiales.
 - Parte A: materiales ferrosos.
 - Parte B: materiales no ferrosos.
 - Parte C: materiales para soldaduras.
 - Parte D: consideraciones de tensiones de fluencia y rotura de materiales, gráficos sobre presiones externas e información requerida para la aprobación de materiales.
- Sección III: componentes para centrales nucleares.
- Sección IV: calderas de calefacción.
- Sección V: ensayos no destructivos.
- Sección VI: reglas recomendadas para el cuidado y operación de calderas de calefacción.
- Sección VII: lineamientos recomendados para el cuidado de calderas de potencia.
- Sección VIII: recipientes a presión.
 - División 1: para geometrías tradicionales.
 - División 2: reglas alternativas.
 - División 3: reglas alternativas para la construcción de recipientes a muy alta presión (mayor a 700 kilogramos por centímetro cuadrado).
- Sección IX: calificación de soldaduras.

- Sección X: recipientes a presión de plásticos reforzados con fibra de vidrio.
- Sección XI: inspección de servicios de centrales nucleares.
- Sección XII: tanques de transporte.

Cada 3 años se emite una edición completamente nueva del código. Para mantenerlo actualizado, anualmente se publican correcciones y modificaciones que actualizan los textos originales.

1.3.1. Ecuación del Código ASME

La ecuación del Código ASME es utilizada para el cálculo de árboles o ejes sometidos a flexión y torsión, especialmente cuando se genera una concentración de esfuerzos al existir un chavetero. Para un eje macizo con carga axial pequeña o nula, está dada por:

$$D^3 = \frac{16}{\pi * \sigma_s} \sqrt{(K_b * M_b)^2 + (K_t * M_t)^2}$$

Donde:

- D = diámetro (m).
- σ_s = esfuerzo permisible (Pa).
- M_b = momento flector (N*m).
- M_t = momento de torsión (N*m).
- K_b = coeficiente combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector.
- K_t = coeficiente combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión.

1.4. Definiciones

A continuación se presenta una serie de conceptos relacionados con el tema de rolado de perfiles, que sirven de base para la comprensión del proceso en general.

1.4.1. Rolado según Norma DIN 8582

La Norma DIN 8582 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 solo los espesores muy gruesos requieren un calentamiento previo.

La deformación plástica mencionada se produce tras sobrepasar la tensión de fluencia propia de cada material. Como la deformación elástica es reversible, el material recupera parte de su forma inicial tras el curvado. La suma de ambos procesos genera una serie de fenómenos colaterales, como la reducción del ángulo de curvado, elongación del tubo, ovalado de la sección, pérdidas de espesor, entre otros.

1.4.2. Momento de inercia

La inercia es la propiedad de la materia de resistir a cualquier cambio en su movimiento, ya sea en dirección o en velocidad. Esta propiedad se describe claramente en la primera Ley del Movimiento de Newton, que postula: “Un objeto en reposo tiende a mantener su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser que sea obligado a cambiar su estado por fuerzas ejercidas sobre él”.

Esta ley postula que un cuerpo no puede cambiar por sí solo su estado inicial, ya sea en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme, a menos que se aplique una fuerza neta externa sobre él.

El momento de inercia, también denominado segundo momento de área o momento de inercia de área, es una propiedad geométrica de la sección transversal de los elementos estructurales. El momento de inercia se relaciona con las tensiones y deformaciones máximas producidas por los esfuerzos de flexión en un elemento estructural, por lo cual este valor determina la resistencia máxima de un elemento estructural bajo flexión junto con las propiedades de dicho material.

En el movimiento rotacional, el momento de inercia expresa la forma como la masa del cuerpo está distribuida con respecto al eje de rotación y por tanto su valor depende del eje alrededor del cual gire el cuerpo. Un mismo cuerpo tiene diferentes momentos de inercia, uno por cada eje de rotación que se considere.

1.4.3. Deformación

La deformación es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas. Existen diferentes tipos de deformación, dependiendo de si la fuerza aplicada sobre el cuerpo provoca o no, cambios permanentes en él.

La deformación de un material pertenece al grupo de las denominadas lesiones mecánicas. Son consecuencia de procesos mecánicos a partir de fuerzas externas o internas que afectan a las características mecánicas de los elementos, son una primera reacción del elemento a una fuerza externa, al tratar de adaptarse a ella.

1.4.3.1. Deformación plástica

Cuando la fuerza aplicada es tal que aún después de haber cesado, el material no recupera por completo sus dimensiones originales. Estos cambios permanentes suceden debido a que el material experimenta cambios termodinámicos irreversibles al adquirir mayor energía potencial elástica.

1.4.3.2. Deformación elástica

Se produce cuando el material vuelve a su estado inicial aún después de haber cesado la fuerza aplicada sobre él. En este tipo de deformación, el sólido, al variar su estado tensional y aumentar su energía interna en forma de energía potencial elástica, solo pasa por cambios termodinámicos reversibles.

1.4.3.3. Plasticidad elemental

Es la propiedad mecánica de un material natural, artificial o biológico, de deformarse permanente e irreversiblemente, cuando se encuentra sometido a tensiones por encima de su rango elástico, es decir, arriba de su límite elástico.

El diseño de ingeniería se basa, principalmente, en la confección de máquinas y estructuras de trabajo con cálculos dentro del rango elástico. Sin embargo, es bastante útil conocer cuándo el material es sobrecargado, de modo que este se encuentre en la zona de deformación permanente, la cual es llamada zona plástica.

1.4.3.4. Flexión plástica de perfiles

Se considera el comportamiento de una viga sujeta a flexión pura, en la cual existen fibras sometidas a esfuerzos más allá del límite de proporcionalidad, los siguientes supuestos serán realizados:

Las fibras estarán en una condición de tensión o compresión simple.

Cualquier sección transversal de la viga permanecerá plana durante la flexión como en flexión elástica. Esto significa que la distribución de deformación será lineal aún si la distribución de esfuerzos no lo es.

En flexión elástica de una viga, donde la distribución de esfuerzos es lineal sobre la sección transversal y , cuando las fibras extremas alcanzan el esfuerzo de fluencia, el momento flector estará dado por:

$$M_y = \sigma_y * \frac{I}{y}$$

Donde:

- M_y = momento flector
- σ_y = esfuerzo de fluencia
- I = momento de inercia del área de la sección transversal
- y = distancia desde el eje neutro a fibra extrema

Para el cálculo del momento de inercia se utiliza la siguiente expresión

$$I = \frac{b * d^3}{12}$$

Donde:

- I = momento de inercia del área de la sección transversal
- b = base de la sección transversal
- d = altura de la sección transversal

La distancia del eje neutro a una fibra extrema en secciones transversales con centroide en el centro será:

$$y = \frac{d}{2}$$

De la ecuación del momento flector se puede obtener:

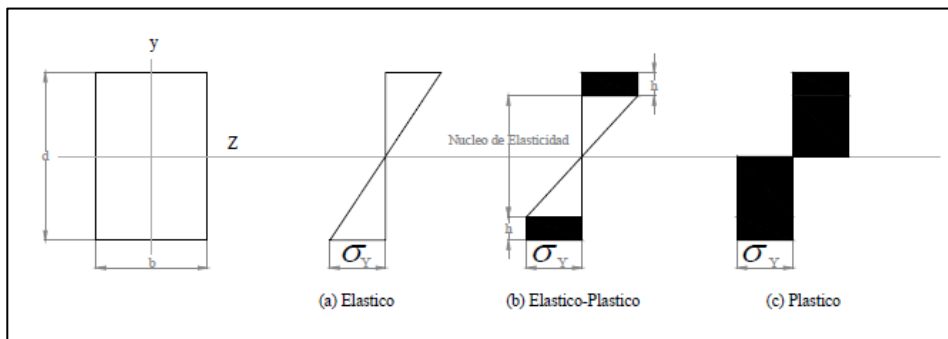
$$M_y = \sigma_y * \frac{b * d^2}{6}$$

Donde:

- M_y = momento flector
- b = base de la sección transversal
- d = altura de la sección transversal
- σ_y = esfuerzo de fluencia

La distribución de esfuerzos correspondiente a esta condición se muestra en la figura 3, en la cual todas las fibras de la viga están en la condición elástica.

Figura 3. **Distribución de esfuerzos**



Fuente: <http://observatorio.aimme.es>. Consulta: 2 de julio de 2013.

Cuando el momento de flexión se incrementa por encima del valor dado en la ecuación, algunas de las fibras en la parte superior e inferior de las superficies de la viga comienzan a ceder y el diagrama de tensión adecuado para un material es modificado, tal como se muestra en la figura 3 (a).

Al aumentar el momento de flexión, la deformación plástica va penetrando hacia el interior de la viga (ver figura 3 b). Este estado se conoce como estado de esfuerzos elástico-plástico.

Cuando el momento flector alcanza su valor máximo, se obtiene un estado plástico mostrado en la figura 3 (c). El momento flector es igual a:

$$M = \int \sigma_y dA$$

La componente elástica del momento se obtiene de la ecuación de momento flector en la cual, la profundidad es ahora (d-2h), luego:

$$M_1 = \sigma_y * \frac{b * (d - 2h)^2}{6}$$

Donde:

- M_1 = componente elástica del momento
- b = base de la sección transversal
- d = altura de la sección transversal
- h = distancia a la fibra de estudio
- σ_y = esfuerzo de fluencia

La componente plástica del momento, que se muestra en la figura 3 (c), está dada por:

$$M_2 = \sigma_y * b * (d - h)^2$$

Donde:

- M_2 = componente plástica del momento
- b = base de la sección transversal
- d = altura de la sección transversal
- h = distancia a la fibra de estudio
- σ_y = esfuerzo de fluencia

Entonces, el momento total es:

$$M = \sigma_Y * b * h * (d - h) + \sigma_Y * \frac{b * (d - 2h)^2}{6}$$

$$M = \frac{\sigma_Y * b * d^2}{6} \left[1 + 2 * \frac{h}{d} \left(1 - \frac{h}{d} \right) \right]$$

Donde:

- M = momento total
- b = base de la sección transversal
- d = altura de la sección transversal
- h = distancia a la fibra de estudio
- σ_Y = esfuerzo de fluencia

A una distancia $\left(\frac{1}{2}d - h\right)$ desde el eje neutro, el esfuerzo en las fibras alcanza el valor de σ_Y ; entonces, si R es el radio de curvatura, se tiene:

$$\sigma_Y = \frac{E \left(\frac{1}{2}d - h\right)}{R}$$

O,

$$\frac{1}{R} = \frac{\sigma_Y}{E \left(\frac{1}{2}d - h\right)}$$

Donde:

- R = radio de curvatura
- E = constante de elasticidad
- d = altura de la sección transversal
- h = distancia a la fibra de estudio
- σ_Y = esfuerzo de fluencia

Los valores de M y $1/R$ calculado a partir de las ecuaciones anteriores son mostrados en la figura 4.

La relación entre M y $1/R$ es lineal hasta el valor de $M = M_Y$. Más allá de este punto, la relación no es lineal y la pendiente disminuye con el aumento de la profundidad h del estado plástico. Cuando h es igual a $d/2$, la distribución de esfuerzos es mostrada en la figura 3 (c) y el mayor valor del momento flector puede ser calculado.

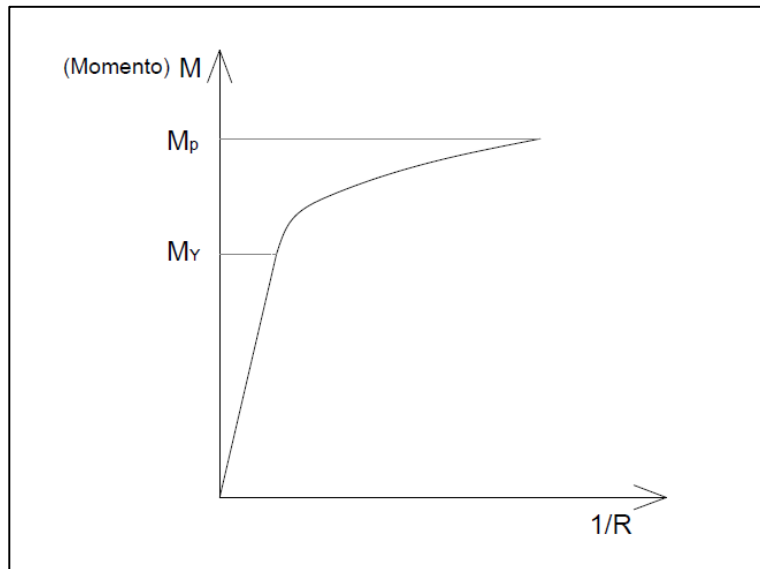
Para una situación de un momento totalmente plástico M_p para $h = d/2$, la expresión obtenida es la siguiente:

$$M_p = \frac{3}{2} * M_Y$$

Donde:

- M_p = momento totalmente plástico
- M_Y = momento elástico

Figura 4. **Gráfica del momento plástico y momento flector**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

1.5. Materiales

A continuación se describen los materiales con los que se realizó la investigación, así como sus principales características y composición.

1.5.1. Perfiles de acero A-36

El acero A-36 es una aleación de acero al carbono de propósito general muy comúnmente utilizado, aunque existen muchos otros aceros superiores en resistencia, este es preferido por la industria debido a sus propiedades y características generales. La denominación A-36 fue establecida por la ASTM (American Society for Testing and Materials).

Este material es el resultado de la composición de elementos químicos, siendo el más importante el hierro y el de menor presencia el carbón, el cual no supera el 1,2 por ciento en peso de la composición, por lo general, alcanza porcentajes entre el 0,2 y el 0,3 por ciento, lo que facilita el proceso de moldeo de este acero.

En la tabla I se encuentra la composición química del acero A-36, en porcentajes de peso.

Tabla I. **Composición química del acero ASTM A-36**

Elemento	C	Cu	Fe	Mn	P	S
%	0,25	0,02	99	0,8-1,2	Máx 0,04	Máx 0,05

Fuente: elaboración propia.

Este acero es muy utilizado en la construcción de maquinaria, herramientas, edificios y estructuras en general, por la variedad que presenta y sobre todo por la disponibilidad en el mercado. Por lo general, está disponible en barra redonda sólida, cuadrada y rectangular, así como perfiles de acero tales como: vigas I, vigas H, perfil angular recto y canales.

1.5.2. Propiedades del acero A-36

Una de las características más importantes de este material es que tiene un comportamiento lineal y elástico hasta llegar al punto de fluencia, lo que hace que sea predecible en las estructuras y, por lo tanto, el más usado en la industria.

El acero A-36 tiene una densidad de 7 850 kilogramos por metro cúbico. Para barras, planchas y perfiles estructurales con espesores menores de 8 pulgadas, tienen un límite de fluencia máximo de 900 mega pascales y resistencia a la tracción 1 250 mega pascales.

Las propiedades mecánicas del acero A-36 se presentan en la tabla II.

Tabla II. **Propiedades del acero ASTM A-36**

PROPIEDAD	VALOR	UNIDADES
Densidad	7 850	Kg/m ³
Límite de fluencia	250-280	MPa
Resistencia a la tensión	400-550	MPa
Módulo de elasticidad	29 000	Ksi
Porcentaje de elongación mínimo	20	%
Punto de fusión	1 538	°C

Fuente: elaboración propia.

1.5.3. Perfil patrón

Para efectos del estudio de tiempos y cálculos para el proceso de rolado, se considera como perfil patrón uno tubular redondo de acero A-36 con un diámetro de 50 milímetros, sin embargo, se realizarán cálculos para un perfil cuadrado de 120 x 120 x 12 milímetros y un perfil angular recto de 100 x 100 x 8 milímetros ambos de acero A-36.

1.6. Costos

A continuación se presentan conceptos referentes a manejo de costos, sobre los cuales se fundamenta el análisis económico financiero que se desarrolla en el capítulo 5.

1.6.1. Costo directo

Es el que se deriva de los materiales, mano de obra, herramientas, maquinaria o labores directamente involucradas en la construcción física del producto.

Para el proceso de rolado puede considerarse a manera de ejemplo, los siguientes costos directos: la mano de obra de los operarios que trabajan directamente en el proceso, todos los insumos o materia prima directa como abrasivos y electrodos.

1.6.2. Costo indirecto

Son todos los costos distintos de la materia prima directa y la mano de obra directa en que se incurre para obtener el producto. Estos no se pueden identificar o cuantificar en los productos terminados o en un área específica de producción.

Ejemplo: mano de obra indirecta, materiales indirectos, energía eléctrica, arrendamiento, depreciaciones, impuestos, entre otros.

1.6.3. Análisis económico financiero

Es un método utilizado para establecer las consecuencias financieras de las decisiones de negocios, aplicando diversas técnicas que permiten seleccionar la información relevante y realizar mediciones y establecer conclusiones como:

- Rendimiento de una determinada inversión
- Rendimiento actual de un negocio
- Grado de riesgo de una inversión
- Flujo de fondos necesario para pagos de interés y pasivo

Un análisis financiero busca identificar los cursos de acción que tienen el mayor efecto positivo en el valor de la empresa.

2. SITUACIÓN ACTUAL DE LA EMPRESA

Se describe la metodología de producción actual de la empresa, con el objetivo de mejorarla mediante la implementación de un proceso mecánico automatizado. Se exponen aspectos inherentes a la calidad actual del producto, tiempo de rolado, mano de obra, área de trabajo y costos derivados del proceso actual.

2.1. Descripción del proceso actual

PSMI, S. A. se dedica, en buena parte, a la manufactura de serpentines y piezas de ensamblaje metálicas en diversas formas, principalmente redondas. Dichos productos deben poseer calidad y mantener sus propiedades mecánicas para garantizar un funcionamiento óptimo durante toda su vida útil; esto implica que cada una de las piezas fabricadas debe estar acondicionada adecuadamente para lograr su cometido.

Dicho acondicionamiento se refiere específicamente al correcto conformado de las piezas roladas, para mantener las propiedades de resistencia mecánica y dureza propias del material, aún después de alterar su forma física.

2.1.1. Preparación del material

Todo material, previo a entrar al proceso de rolado, pasa por una fase de trazado, donde se determina el radio y la longitud del rol requerido. Estas

actividades están a cargo del personal de supervisión asignado al proyecto al que pertenece la pieza a fabricar.

2.1.2. Equipo utilizado

PSMI, S. A., actualmente utiliza un sistema de cilindro hidráulico totalmente manual para realizar las actividades de rolado de perfiles metálicos; por lo que la calidad, tiempos de entrega y, en general, los resultados del producto final son visiblemente mejorables.

Figura 5. Máquina roladora manual



Fuente: archivo PSMI, S. A.

2.2. Estudio de tiempos del proceso

Para establecer una referencia del tiempo que conlleva la manufactura de la actividad utilizando la metodología actual, se realizó un estudio de tiempos y movimientos, tomando como perfil patrón un tubo cilíndrico de 50 milímetros de diámetro y 6 metros de longitud, utilizado para diversos trabajos dentro de la planta.

2.2.1. Tiempo estándar de rolado de perfil patrón

Se realizaron diez corridas para establecer el tiempo estándar del rolado manual, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla III. **Muestreo para determinación de tiempo estándar**

Muestra	Tiempo cronometrado
1	3,50 h
2	3,75 h
3	3,80 h
4	3,23 h
5	3,60 h
6	4,10 h
7	3,15 h
8	3,18 h
9	3,96 h
10	3,42 h
Sumatoria	35,69 h

Fuente: elaboración propia.

Tomando en cuenta que la jornada laboral es de 8 horas diarias, para rolar el lote completo se necesitan 4,46 días hábiles, esto servirá como base para cálculos de mano de obra posteriores.

$$T_e = \frac{\sum X_i}{n}$$

Donde:

- T_e = tiempo estándar de la actividad
- $\sum X_i$ = sumatoria del tiempo cronometrado
- n = cantidad de muestras cronometradas














$$T_e = \frac{35,69 \text{ h}}{10} = 3,569 \text{ h}$$



2.2.2. Diagrama bimanual del proceso

La representación para un diagrama bimanual del proceso de rolado actual del perfil patrón se ilustra como se muestra en la figura 6:

Figura 6. Diagrama bimanual de rolado

Diagrama bimanual del proceso			
Empresa: PSMI, S. A.		Hoja: 1 de 1	
Departamento: Rolado y Maquinado		Fecha: junio de 2013	
Análisis: Juan Francisco López		Método: actual	
Inicio: bodega de materiales		Finaliza: área de carga	
Proceso: rolado de perfiles metálicos			

Mano izquierda	Símbolos		Mano derecha
	MI	MD	
Coge perfil			Coge perfil
Acomoda perfil			Acomoda perfil
Sostiene perfil			Acciona palanca
Acomoda perfil			Mantiene palanca
Sostiene perfil			Acciona palanca
Coge perfil			Coge perfil
Traslada perfil			Traslada perfil

Símbolo	Actividad	Cantidad	Tiempo
	Operación	9	*El tiempo varía entre piezas
	Sostenimiento	3	
	Transporte	2	
Total		14	

Fuente: elaboración propia.

2.2.3. Observaciones

Se considera que el tiempo de rolado es visiblemente mejorable, de igual manera, la calidad de los roles no se adapta a las necesidades, pues presentan irregularidades que son motivo de rechazo.

En 2012 se tuvieron rechazos significativos debido a la calidad de los roles, como puede observarse, el conformado del perfil terminado presenta deformaciones impropias no aceptables para este tipo de trabajos.

Figura 7. **Tubo rolado manualmente**



Fuente: archivo PSMI, S. A.

2.3. Mano de obra

Descripción del personal operativo y de supervisión a cargo de las actividades de rolado, según como se desarrollan actualmente, indicando sus funciones.

2.3.1. Responsable

El responsable de todas las actividades de la planta central de PSMI, S. A. es el supervisor jefe de Taller, quien tiene a su cargo el área de tornos, rolado de lámina, soldadura, acabados, fabricaciones menores, entre otras. Por lo tanto, la atención y el control para la fabricación de roles de perfiles metálicos es parcial.

2.3.2. Personal operativo

Debido a que es una actividad repetitiva, se designa personal operativo no calificado para realizar la actividad de rolado manual, personal que normalmente se dedica a tareas varias como: pulido, acarreo de material, cortes menores, entre otras.

En condiciones normales se designan 4 operarios para realizar las tareas de rolado manual, uno de los cuales se encarga del traslado y acarreo de materiales, y el personal restante a la actividad de trazado y conformado de los perfiles.

2.3.3. Equipo de seguridad empleado

El equipo de seguridad asignado a cada operario se describe a continuación:

- Casco de protección
- Guantes de cuero
- Gafas claras
- Calzado con puntera de acero

2.4. Control de calidad

Se describen las actividades realizadas actualmente por el personal de supervisión encargado de la fabricación de perfiles rolados, que aseguran la calidad del producto terminado.

2.4.1. Inspección visual

Se realiza una inspección visual superficial para determinar fallas en el material, así como posibles grietas que puedan surgir durante el proceso de conformado de roles de perfiles metálicos.

Al momento de hallar alguna falla como grieta, mal dobléz o rotura del perfil, se marca y se reporta con el supervisor correspondiente, para proceder a su reparación y corrección. No se llena ningún tipo de formato ni reporte de hallazgo de alguna falla.

2.5. Área de trabajo

Información sobre el área de trabajo destinada para desarrollar las actividades de rolado manual dentro de las instalaciones de la empresa, dimensiones del área y ubicación dentro de los talleres centrales de PSMI, S. A.

2.5.1. Dimensiones

Actualmente se cuenta con un área de 5 metros por 5 metros, esto incluye el área para colocar la máquina y los materiales e insumos destinados.

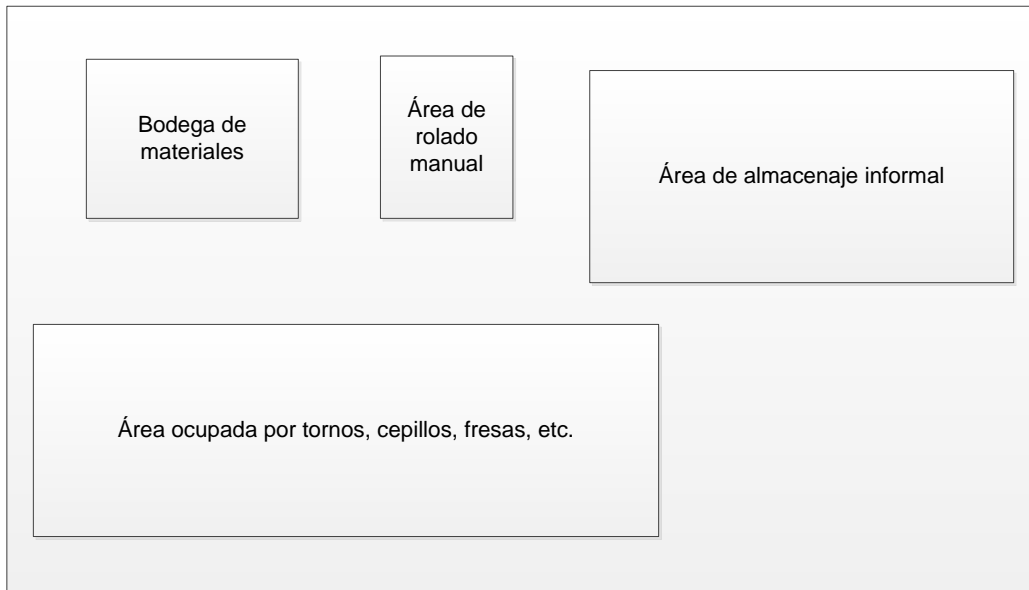
Aunque en realidad la actividad no requiere de mucho espacio, es necesario ubicarla en un lugar adecuado para reducir los tiempos de traslado de materia prima e insumos desde la bodega central.

2.5.2. Ubicación dentro de las instalaciones

PSMI, S. A. cuenta con un área total de talleres de 4 000 metros cuadrados de los cuales al menos 2 000 metros cuadrados se encuentran bajo techo. Los talleres de PSMI, S. A. están divididos en 3 secciones: del lado poniente se ubica el taller 1, al centro el taller 2 y por el lado oriente el taller 3, este último totalmente a la intemperie.

Se ilustra la ubicación del área destinada para la actividad de rolado manual, dentro del área ocupada por el taller 1 de PSMI, S. A.

Figura 8. **Ubicación del área de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

2.6. Estudio de costos de rolado manual

A continuación se presenta el detalle de los costos en que incurre PSMI, S. A. para producir el equivalente a 10 roles de perfil patrón, incluyendo costos por mano de obra directa e indirecta, materia prima, insumos consumibles y otros gastos relacionados a la actividad.

2.6.1. Costos directos

Se toma en cuenta los costos de mano de obra directa, materia prima y depreciación de equipo como se muestra en las tablas IV, V y VI.

Tabla IV. **Costos de mano de obra directa rolado manual**

COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA				
Descripción	Cantidad	Costo por hora	Cantidad de horas	Total
Mecánico Industrial	1	Q. 30,00	35,69	Q. 1 070,70
Ayudante	3	Q. 20,00	35,69	Q. 2 141,40
TOTALES				Q. 3 212,10

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Costos de materia prima e insumos**

MATERIALES E INSUMOS CONSUMIBLES			
Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total
Tubo 2" SCH 40	10	Q. 850,00	Q. 8 500,00
Electrodo (lb)	10	Q. 14,00	Q. 140,00
Discos de corte	15	Q. 18,00	Q. 270,00
Discos de pulir	15	Q. 25,00	Q. 375,00
Cepillos circulares	2	Q. 65,00	Q. 130,00
TOTAL			Q. 9 415,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Costos de depreciación de equipo rolado manual**

COSTOS DE DEPRECIACIÓN DE MAQUINARIA				
Descripción	Horas	Valor de salvamento	Depreciación por hora	Total
Roladora de perfiles	35,69	Q. 12 000,00	Q. 4,17	Q. 148,71
TOTAL				Q. 148,71

Fuente: elaboración propia.

2.6.2. Costos indirectos

Incluyendo mano de obra indirecta y administración, mantenimiento de equipo y combustibles, como se describe en las tablas VII y VIII.

Tabla VII. **Costos de mano de obra indirecta y administración**

COSTOS DE MANO DE OBRA INDIRECTA Y ADMINISTRACIÓN			
Descripción	Costo/hora	Cantidad de horas	Total
Jefe de taller	Q. 37,50	35,69	Q. 1 338,38
Gerente de operaciones	Q. 75,00	35,69	Q. 2 676,75
Encargado de compras	Q. 37,50	35,69	Q. 1 338,38
TOTALES			Q. 5 353,50

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Costos de mantenimiento de equipo y combustibles**

COSTOS DE MANTENIMIENTO	
Descripción	Precio
Mantenimiento de equipo	Q. 60,00
Combustibles	Q. 150,00
TOTAL	Q. 210,00

Fuente: elaboración propia.

2.6.3. Costos totales

Se presenta el cuadro de resumen incluyendo costos directos y costos indirectos en la tabla IX.

Tabla IX. **Resumen de costos totales**

COSTOS DIRECTOS	
Mano de obra directa	Q. 3 212,10
Depreciación de maquinaria	Q. 148,71
Materiales e insumos	Q. 9 415,00
TOTAL DE COSTOS DIRECTOS	Q. 12 775,81
COSTOS INDIRECTOS	
Mano de obra indirecta y administración	Q. 5 353,50
Otros gastos indirectos	Q. 210,00
TOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	Q. 5 563,50
TOTAL COSTOS POR ROLADO	Q. 18 339,31

Fuente: elaboración propia.

Para poder rolar un lote de 10 unidades de tubos de 2 pulgadas se requieren Q. 18 339,31 por lo tanto, el costo unitario es de:

$$CU = \frac{Q. 18\,339,31}{10} = Q. 1\,833,93/\text{unidad}$$

El costo por unidad rolada es de Q. 1 833,93.

3. PROPUESTA PARA DISEÑAR LA MÁQUINA ROLADORA DE PERFILES

Se determinan los aspectos técnicos de diseño de la máquina roladora de perfiles como: análisis de esfuerzos, cálculo de momentos de inercia, selección de accesorios, ejes, motorreductores, rodillos y demás elementos necesarios para el correcto funcionamiento del equipo. Se describe el proceso de rolado mecánico a implementar tomando como punto de partida la máquina roladora de perfiles. PSMI, S. A. pretende que dicho proceso se lleve a cabo con un nivel de calidad que cumpla con los estándares establecidos.

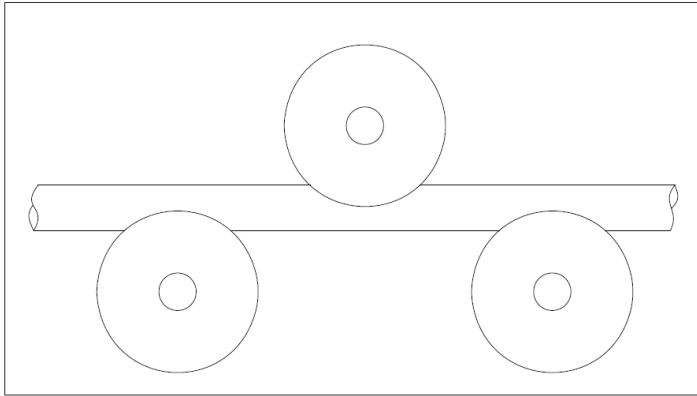
3.1. Determinación de la fuerza en el rolado

Es necesario conocer la fuerza que debe aplicarse sobre los perfiles para poder lograr la curvatura deseada, principalmente para diseñar elementos mecánicos como ejes, engranajes y motorreductor.

3.1.1. Análisis de las cargas en el rolado

La disposición de los rodillos al momento de curvar es esencial, de modo que esto permitirá deformar el perfil de la manera requerida. La posición inicial de los rodillos será muy similar al de una viga simplemente apoyada, considerando la distancia necesaria entre los apoyos a manera de facilitar el deslizamiento de los perfiles.

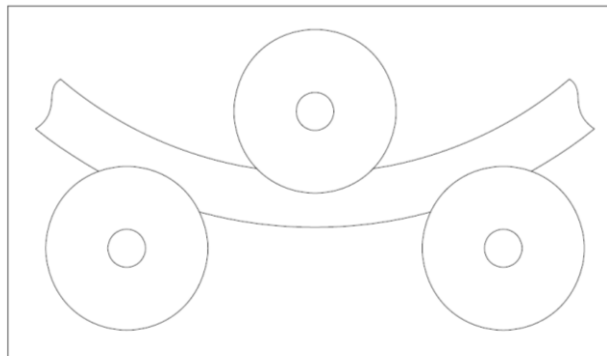
Figura 9. **Disposición inicial de los rodillos**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Una vez que los rodillos inician a girar y posteriormente los inferiores empiecen a subir, se comenzará a ejercer una fuerza en el perfil, la cual permitirá deformarlo plásticamente, como se aprecia en la figura 10.

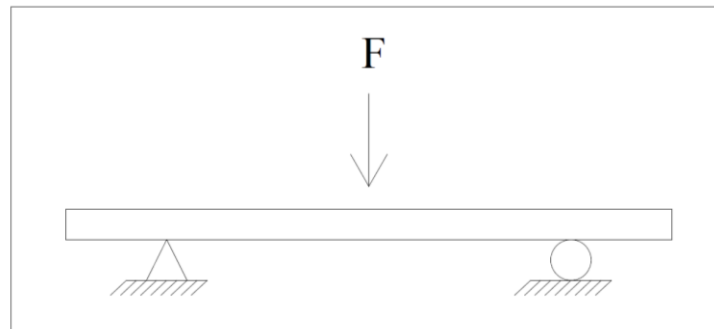
Figura 10. **Disposición de los rodillos durante el proceso**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Puede modelarse como una viga simplemente apoyada, con una carga en el centro con las respectivas reacciones en los apoyos.

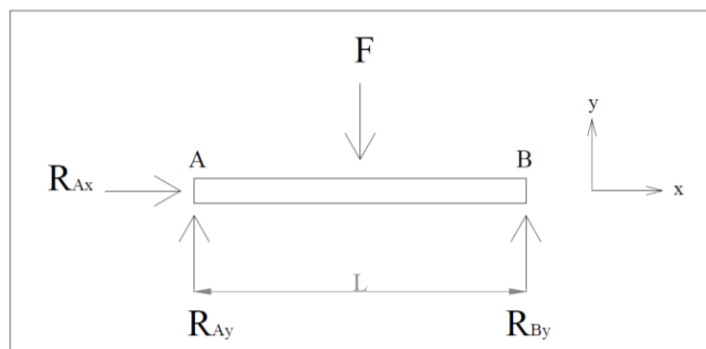
Figura 11. **Viga simplemente apoyada**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

De modo que al hacer un diagrama de cuerpo libre de la viga simplemente apoyada, esta se visualiza como se muestra en la figura 12.

Figura 12. **Diagrama de cuerpo libre de viga**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Para poder conocer las reacciones de apoyo, las cuales dependen de la fuerza F, se obtendrán las dos ecuaciones de equilibrio de fuerzas y una ecuación de momento.

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

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

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

Donde:

- F = fuerza de curvado (N)
- M = momento (N*m)
- L = distancia entre apoyos (m)
- $R_{Ax} = R_{Ay} = R_{By} =$ reacciones de apoyo (N)

Despejando R_{By} de la ecuación queda:

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

Despejando R_{Ay} de la ecuación queda:

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

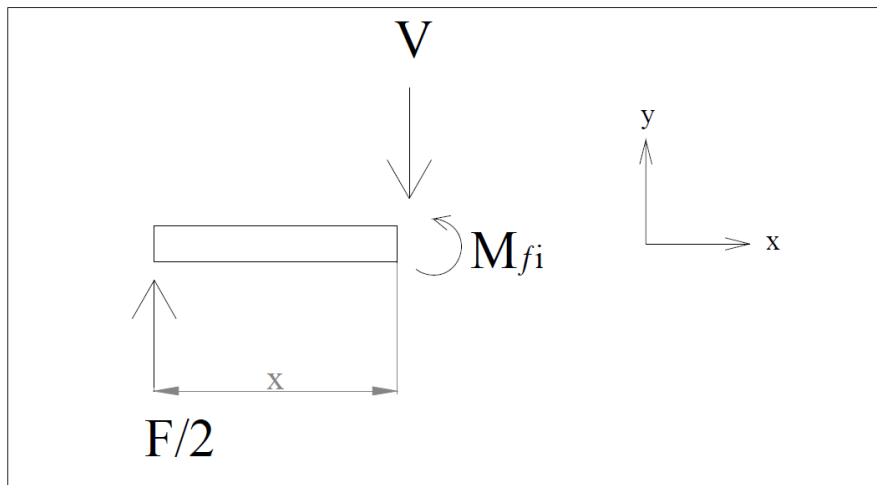
Sustituyendo R_{By} se tiene:

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

De este modo, al obtener las reacciones de 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, lo que genera la siguiente figura.

Figura 13. **Diagrama de cuerpo libre de viga cortada**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Donde:

- $0 \leq x < \frac{L}{2}$
- V = fuerza de corte (N*m)

De este modo, el momento en $x = L/2$ se puede expresar como:

$$M_{fi} = \frac{F*L}{4}$$

Donde:

- M_{fi} = momento flector interno (N*m)

3.1.2. Esfuerzo normal por flexión en el rolado

Una de las consideraciones más importantes al momento 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.

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

Donde:

- 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 (m⁴)

De manera que, al despejar el momento flector de la ecuación se obtiene:

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

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 fuerza será llamado momento plástico.

$$M_p = \frac{3}{2} M_f$$

Donde:

- M_p = momento plástico (N*m)

Reemplazando el momento flector de la ecuación de momento plástico, se obtiene:

$$M_p = \frac{3 * \sigma_f * I}{2 * c}$$

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

$$M_p = \frac{F * L}{4}$$

De este modo, al obtener el momento plástico por medio de la fórmula del esfuerzo normal por flexión y además, por medio de la fuerza aplicada en la viga, se igualarán estas dos ecuaciones quedando:

$$\frac{F * L}{4} = \frac{3 * \sigma_f * I}{2 * c}$$

Despejando la fuerza aplicada de la ecuación se obtiene que:

$$F = \frac{6 * \sigma_f * I}{c * L}$$

3.1.3. Cálculo de la fuerza de rolado

Con la expresión de la fuerza aplicada obtenida anteriormente, se puede realizar los cálculos necesarios para conocerla. No obstante, se deberá 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 roladora con la mayor fuerza de aplicación necesaria.

3.2. Material a rolar

Dentro de los distintos materiales utilizados en la fabricación de los perfiles, se ha elegido el que tenga mejores propiedades mecánicas, que a su vez es uno de los más utilizados en la industria y por consiguiente fácil de encontrar en el mercado.

Tabla X. **Propiedades físicas del acero ASTM A-36**

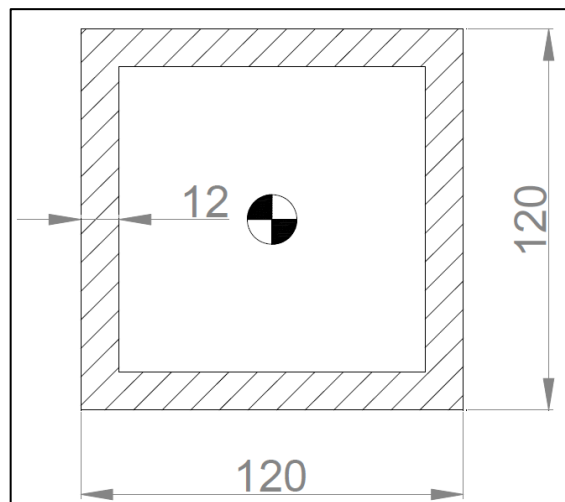
Grado del acero	Resistencia a la tracción σ_r		Límite de fluencia σ_f		Alargamiento
	Kg/mm ²	MPa	Kg/mm ²	MPa	% 50 mm
ASTM A-36	41,80	410	25,5	250	20

Fuente: elaboración propia.

3.2.1. Perfil cuadrado

El mayor perfil de sección transversal cuadrada a curvar será:

Figura 14. **Perfil cuadrado máximo a rolar**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Para calcular la fuerza a aplicar de modo que el perfil pueda deformarse, se debe utilizar la ecuación correspondiente.

Esta fuerza depende tanto de las propiedades del material a utilizar como del momento de inercia, la distancia del eje neutro a la fibra de estudio más alejada y la distancia entre apoyos.

3.2.1.1. Cálculo de momento de inercia

Para el cálculo del momento de inercia se tiene que:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Donde:

- b = Base (m)
- h = Altura (m)

Con respecto a la figura 14 se pueden obtener los datos requeridos y reemplazarlos en la ecuación del momento de inercia, se obtiene:

$$I = \frac{0,12 * (,12)^3}{12} - \frac{0,12 * (0,12)^3}{12} = 1,02 * 10^{-5} [m^4]$$

3.2.1.2. Distancia de eje neutro a fibra última

En este caso, como se muestra en la figura 14, el eje neutro se encuentra a la mitad de la altura del perfil, de modo que la distancia a la fibra más alejada de estudio será:

$$c = \frac{h}{2}$$

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se tiene:

$$c = \frac{0,12}{2} = 0,06[m]$$

3.2.1.3. Distancia entre centros

Se estimó una distancia entre centro de ejes, según diseño de la máquina.

$$L = 0,9[m]$$

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo de la fuerza de aplicación en el rolado para el perfil tubular cuadrado 120x120x12 milímetros, se tiene:

$$F = \frac{6 * \sigma_f * I}{c * L} = \frac{6 * 250 * 10^6 * 1,02 * 10^{-5}}{0,06 * 0,9} = 283\,333,33[N]$$

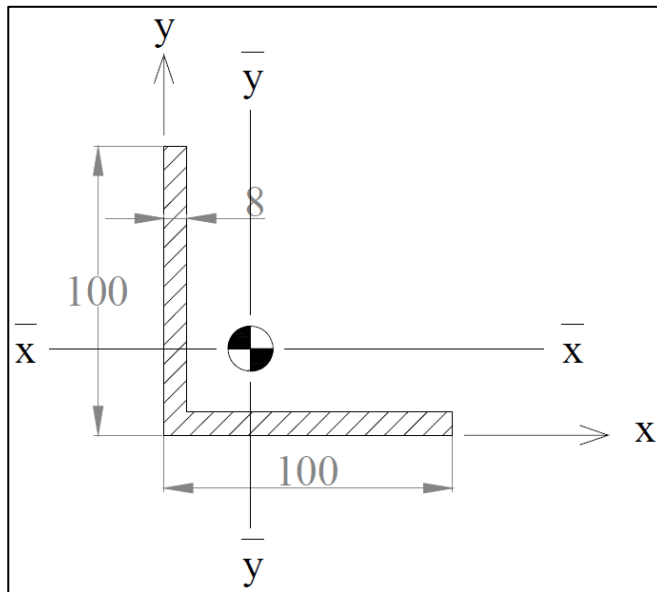
Aproximando:

$$F = 285\,000 [N]$$

3.2.2. Perfil angular recto

El mayor perfil de sección transversal en ángulo recto a rolar será:

Figura 15. **Perfil angular recto máximo a rolar**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

3.2.2.1. **Cálculo de momento de inercia**

Para el cálculo del momento de inercia del perfil angular recto de la figura 15 se debe tener en consideración que el centroide no se encuentra ubicado a la mitad de la figura, de modo que se debe calcular por la siguiente ecuación:

$$I_{XX} = \sum (I_{XXi} + A_i * d_i^2)$$

$$I_{YY} = \sum (I_{YYi} + A_i * d_i^2)$$

Con respecto a la figura 15 y cálculos anteriores, se pueden obtener los datos requeridos y reemplazados en las ecuaciones anteriores, dando como resultado:

$$I_{XX} = \sum \left(\frac{0,008 * 0,092^3}{12} + 0,008 * 0,092 * 0,024^2 \right) + \left(\frac{0,1 * 0,008^3}{12} + 0,1 * 0,008 * 0,026^2 \right)$$

$$I_{XX} = 1,49 * 10^{-6} [m^4]$$

$$I_{YY} = \sum \left(\frac{0,092 * 0,008^3}{12} + 0,092 * 0,008 * 0,026^2 \right) + \left(\frac{0,008 * 0,1^3}{12} + 0,008 * 0,1 * 0,02^2 \right)$$

$$I_{YY} = 1,49 * 10^{-6} [m^4]$$

3.2.2.2. Distancia de eje neutro a fibra última

Como se muestra en la figura 15, el eje neutro no se encuentra en la mitad del perfil, de modo que se debe calcular primero las distancias de los ejes de referencia al centroide de la figura con las siguientes expresiones:

$$\bar{y} = \frac{\sum A_i * \bar{y}_i}{\sum A_i}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum A_i * \bar{x}_i}{\sum A_i}$$

Reemplazando los valores tomados de la figura 15 en las ecuaciones anteriores resulta:

$$\bar{y} = \frac{0,008 * 0,092 * 0,054 + 0,1 * 0,008 * 0,004}{0,008 * 0,092 + 0,1 * 0,008} = 0,03 [m]$$

$$\bar{y} = \frac{0,092 * 0,008 * 0,004 + 0,008 * 0,1 * 0,05}{0,0092 * 0,008 + 0,008 * 0,1} = 0,03[m]$$

Con los valores del centroide de la figura, la distancia del eje neutro a la fibra en estudio más alejada queda:

$$c = 0,1 - 0,03 = 0,07[m]$$

3.2.2.3. Distancia entre centros

Se estimó una distancia entre centro de ejes, según diseño de la máquina.

$$L = 0,9[m]$$

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo de la fuerza de aplicación en el rolado para el perfil angular 100 x 100 x 8 milímetros, se tiene:

$$F = \frac{6 * \sigma_f * I}{c * L} = \frac{6 * 250 * 10^6 * 1,49 * 10^{-6}}{0,07 * 0,9} = 35\ 476,19[N]$$

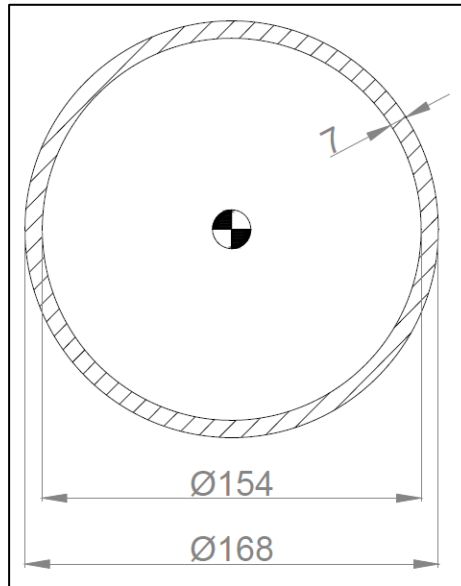
Aproximando,

$$F = 36\ 000 [N]$$

3.2.3. Perfil tubular

El mayor perfil de sección transversal tubular a curvar será:

Figura 16. Perfil tubular máximo a rolar



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

3.2.3.1. Cálculo de momento de inercia

Para el cálculo del momento de inercia circular se tiene que:

$$I = \frac{\pi * (\phi_e^4 - \phi_i^4)}{64}$$

Donde:

- ϕ_e = diámetro exterior (m)
- ϕ_i = diámetro interior (m)

Con respecto a la figura 16 se pueden obtener los datos requeridos y reemplazados en la ecuación del momento de inercia, dando como resultado:

$$I = \frac{\pi * (0,168^4 - 0,154^4)}{64} = 1,15 * 10^{-5} [\text{m}^4]$$

3.2.3.2. Distancia de eje neutro a fibra última

Como se muestra en la figura 16, el eje neutro se encuentra a la mitad de la altura del perfil, de modo que reemplazando los valores en la ecuación del centroide se tiene:

$$c = \frac{0,168}{2} = 0,084 [\text{m}]$$

3.2.3.3. Distancia entre centros

Se estimó una distancia entre centro de ejes, según diseño de la máquina.

$$L = 0,9 [\text{m}]$$

Obtenidos todos los valores necesarios para el cálculo de la fuerza de aplicación en el rolado para el perfil angular 100x100x8 milímetros, se tiene:

$$F = \frac{6 * \sigma_f * I}{c * L} = \frac{6 * 250 * 10^6 * 1,15 * 10^{-5}}{0,084 * 0,9} = 228 174,603 [\text{N}]$$

Aproximando:

$$F = 229 000 [\text{N}]$$

Con base en los cálculos anteriores se puede concluir que la mayor fuerza de curvado a aplicar corresponde a 285 000 newton, esta será utilizada como fuerza de referencia para el diseño de la máquina.

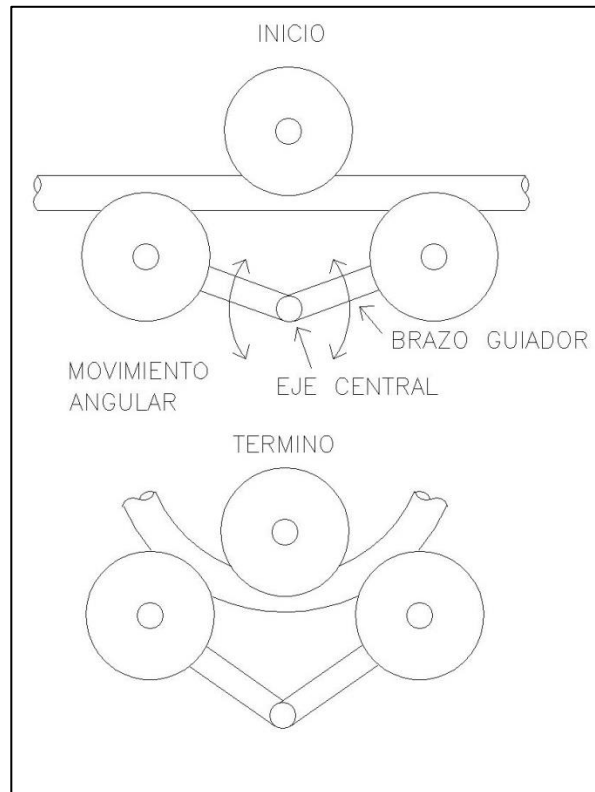
3.3. Selección de accesorios

Consideraciones de diseño y selección de accesorios es una de las etapas más importantes del proceso, ya que de esto dependen los mecanismos a utilizar, los cuales podrán dar forma a los requerimientos deseados para la máquina.

3.3.1. Movimiento de los rodillos

En el proceso de rolado, los rodillos inferiores ejercerán 2 movimientos, los cuales serán de forma angular y rotatoria. Se ha pensado de esta manera debido a la gran variedad de tamaños de los perfiles que se utilizan en la industria, considerando particularmente las secciones transversales de los mismos. Cuando los perfiles a rolar sean de secciones transversales más pequeñas, los rodillos se juntarán cada vez más, logrando de esta manera obtener curvas de menor radio. Debido a lo anterior, los rodillos ejercerán movimiento angular como lo muestra la figura 17.

Figura 17. **Movimiento angular de los rodillos inferiores**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Como puede apreciarse, los rodillos inferiores se moverán angularmente mediante guías unidas a un eje central. Esto permitirá subir y además acercarse al rodillo superior, el cual solo tendrá movimiento rotatorio.

3.3.1.1. Movimiento angular

El accionamiento de los rodillos para poder ejercer su movimiento angular se realizará mediante cilindros hidráulicos, de manera que la fuerza que tendrán que ejercer estos será muy elevada y mediante estos actuadores se logrará ejercer con efectividad.

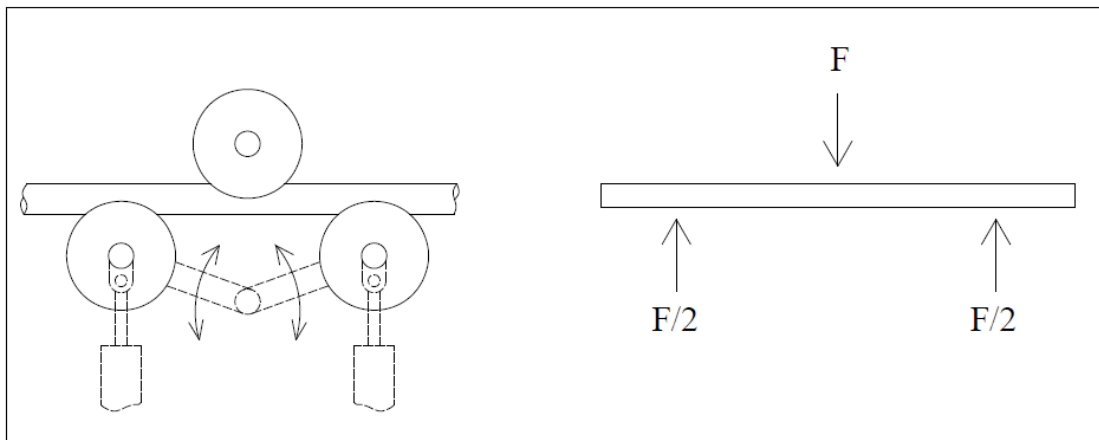
3.3.1.2. Movimiento rotatorio

El movimiento rotatorio de los rodillos se efectuará mediante motorreductores, ya que el torque requerido es muy alto y además, la velocidad de giro es muy reducida.

3.3.2. Cálculo de cilindro hidráulico

La fuerza que debe ejercer el cilindro debe ser la misma que ejercerá cada rodillo, los cuales se tomarán como reacciones de apoyo al ejercer la fuerza de reacción F del rodillo superior, según la figura 18.

Figura 18. Fuerza de rolado



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Por lo tanto, la fuerza que debe ejercer el cilindro es:

$$F_c = \frac{F}{2}$$

Donde:

- F_c = fuerza del cilindro (N)
- F = fuerza de rolado (N)

Tomando como base los cálculos realizados, se consideró que la fuerza de rolado debería ser:

$$F = 285\,000 \text{ [N]}$$

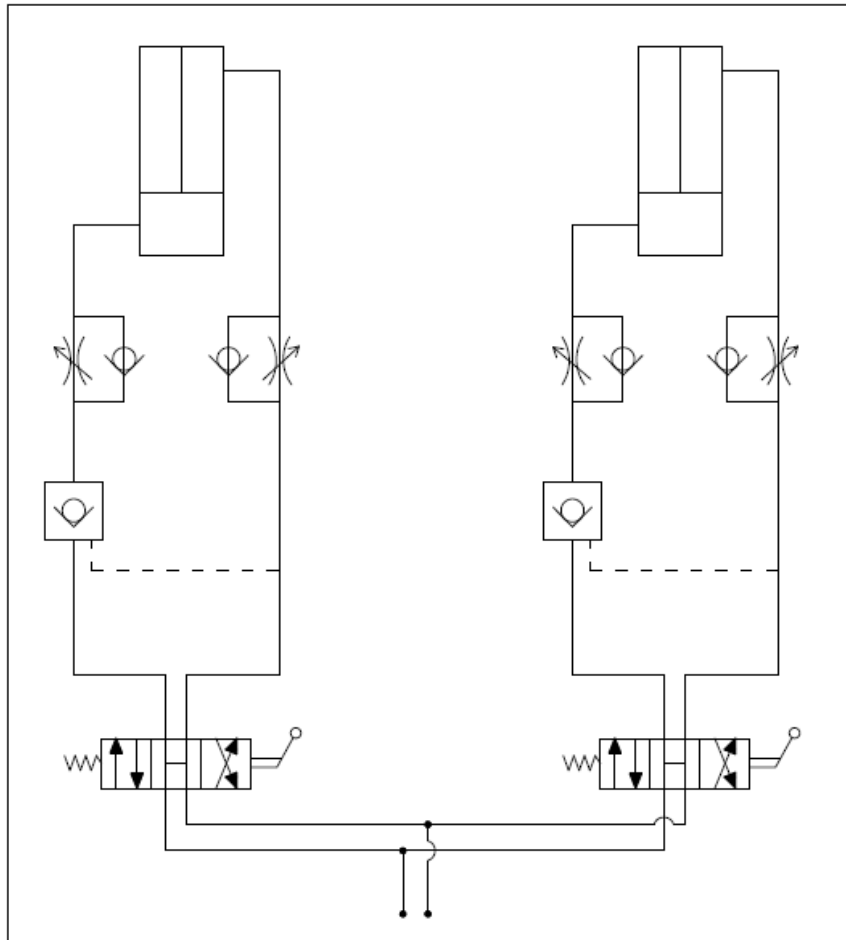
Reemplazando F en la ecuación para la fuerza del cilindro, resulta:

$$F_c = \frac{285000}{2} = 142\,500 \text{ [N]}$$

3.3.2.1. Plano hidráulico del cilindro

Se diseñó un circuito hidráulico, el cual muestra la manera en cómo los cilindros actuarán, con sus respectivos accesorios para un correcto funcionamiento.

Figura 19. **Plano hidráulico del cilindro**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

3.3.2.2. **Diámetro del cilindro**

Se realizarán los cálculos estimando una presión basada en los datos de la central hidráulica dispuesta en la empresa, que entregará la potencia de fluido. La presión corresponde a:

$$P = 17,3[\text{MPa}] \approx 2\,500 \text{ Psi}$$

Donde:

- $P =$ presión del cilindro [MPa]

La ecuación para el cálculo de la presión es:

$$P = \frac{F}{A}$$

Donde:

- $A =$ área del cilindro [m^2]

Despejando el área de la ecuación para el cálculo de presión y reemplazando los valores:

$$A = \frac{F}{P} = \frac{285\,000[\text{MPa}]}{17,3 * 10^6} = 0,016[\text{m}^2]$$

La ecuación para el cálculo del área es conocida:

$$A = \frac{\pi\phi_c^2}{4}$$

Donde:

- $\phi_c =$ diámetro del cilindro [m]

Despejando el diámetro del cilindro de la ecuación para el cálculo del área y reemplazando los valores se tiene que:

$$\phi_c = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,016}{\pi}} = 0,14[m] \approx 5,6''$$

Para encontrar un cilindro hidráulico de una medida comercial, el diámetro obtenido se aproximará a un número cercanamente mayor, resultando:

$$\phi_c = 0,15[m] \approx 6''$$

El largo de avance del cilindro será 16".

3.3.2.3. Fuerza ejercida por el cilindro

La fuerza que realmente ejercerá el cilindro será la calculada con el diámetro real del cilindro. De modo que al aumentar el diámetro, se aumentará la fuerza aunque la presión sea constante.

Según la ecuación para el cálculo del área:

$$A = \frac{\pi \phi_c^2}{4} = \frac{\pi * 0,15^2}{4} = 0,018[m^2]$$

De este modo, al despejar en la ecuación de la fuerza y reemplazar se tiene:

$$F_R = P * A = 17,3 * 10^6 * 0,018 = 324\,700[N] \cong 325\,000 [N]$$

Donde:

- F_R = fuerza real del cilindro [N]

De este modo se ha calculado la fuerza real que ejercerá el cilindro al ser accionado hidráulicamente, de manera que el valor obtenido será finalmente el que estará actuando en el proceso de rolado. Este será usado para cálculos posteriores, ya sea en los demás mecanismos asociados a él, como en la estructura de la máquina a diseñar.

3.3.2.4. Caudal del cilindro

Se calculará el caudal requerido por el cilindro para que su accionamiento se realice de manera adecuada.

Según la ecuación de caudal se tiene que:

$$Q = V * A$$

Donde:

- Q = caudal del cilindro $\left[\frac{m^3}{s} \right]$
- V = velocidad del vástago $[m/s]$
- A = área del cilindro $[m^2]$

Con el área real calculada anteriormente y estimando una velocidad de 0,016 metros por segundo, se reemplazarán los valores en la ecuación de caudal quedando:

$$Q = 0,016 * 0,018 = 2,88 * 10^{-4} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \approx 17,28 [\text{rpm}] = 4,6[\text{GPM}]$$

3.3.3. Selección de accesorios hidráulicos

La selección de los accesorios hidráulicos se realizará de modo que permita un correcto funcionamiento de los cilindros. Se incluye la selección de los accesorios hidráulicos más importantes como: válvulas direccionales, válvulas de retención y de flujo.

3.3.3.1. Válvulas direccionales

Se selecciona una válvula de dirección manual de cuatro vías y tres posiciones de vuelta con resorte (ver anexo 1, Catálogo de válvulas direccionales)

- Catálogo RD-2575-T4 ESA1
- Capacidad 20 GPM
- Presión máxima 3000 PSI

3.3.3.2. Válvulas de retención

Se selecciona una válvula de retención en líneas (ver anexo 2, Catálogo de válvulas de retención).

- Catálogo ADRL-15
- Capacidad 60 l/min
- Presión máxima 350 Bar

3.3.3.3. Válvulas reguladoras de flujo

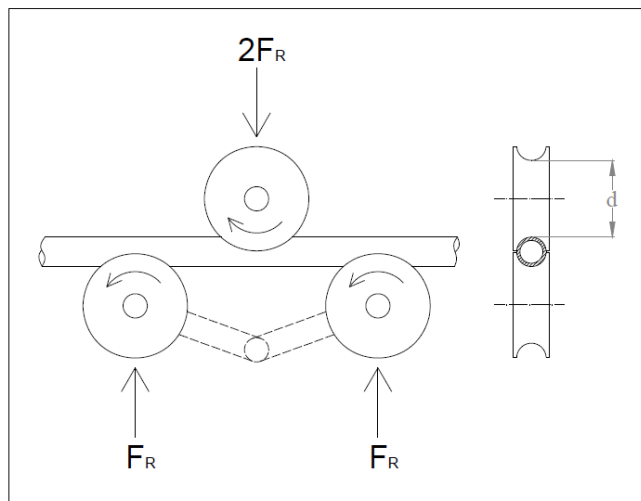
Se selecciona válvula reguladora de flujo (ver anexo 3, Catálogo de válvulas de flujo)

- Catálogo F600S
- Capacidad 0 a 8 GPM
- Presión máxima 5 000 PSI

3.3.4. Cálculo del torque de máquina

Los cilindros estarán sometidos también a movimiento rotatorio, el cual generará un torque al momento de presionar y arrastrar al perfil, como se muestra en la figura 20.

Figura 20. **Movimiento rotatorio de rodillos**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

El torque está dado por:

$$T = F_r * \frac{d}{2}$$

Donde:

- T = torque [N * m]
- F_r = fuerza de rozamiento [N]
- d = diámetro del rodillo en contacto [m]

Se considera para efectos de diseño un diámetro del rodillo en contacto igual a:

$$d = 0,22 \text{ [m]}$$

Además, la fuerza de rozamiento se obtiene:

$$F_r = F * \mu$$

Donde:

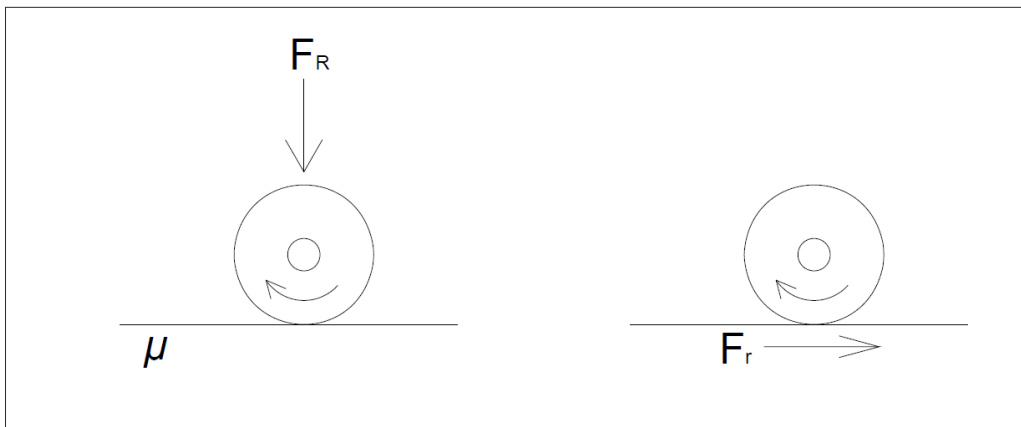
- F_r = fuerza de rozamiento [N]
- μ = coeficiente de rozamiento

El coeficiente de rozamiento estático del acero al carbono es:

$$\mu = 0,15$$

Según lo descrito anteriormente se puede representar en la figura 21 el modo de generarse la fuerza de roce a través de su coeficiente.

Figura 21. **Generación de la fuerza de rozamiento**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

3.3.4.1. Torque en rodillos inferiores

Para calcular el torque necesario que se debe realizar en los rodillos inferiores, se debe calcular la fuerza de roce expresada en la ecuación para la fuerza de roce y reemplazando los valores ya obtenidos en cálculos anteriores resulta:

$$F_r = 325\,000 * 0,15 = 48\,750 \text{ [N]}$$

De este modo, con la ecuación para el torque por rozamiento y reemplazando los valores, se tiene:

$$T_I = 48\,750 * \frac{0,22}{2} = 5\,363 \text{ [N * m]}$$

Donde:

- T_I = torque rodillo inferior [N * m]

3.3.4.2. Torque en rodillo superior

El torque en el rodillo superior se puede expresar como:

$$T_s = 2 T_I$$

Donde:

- T_s = torque rodillo superior [N * m]

Reemplazando se tiene que:

$$T_s = 2 * 5\,363 = 10\,726 \text{ [N * m]}$$

3.3.4.3. Torque distribuido

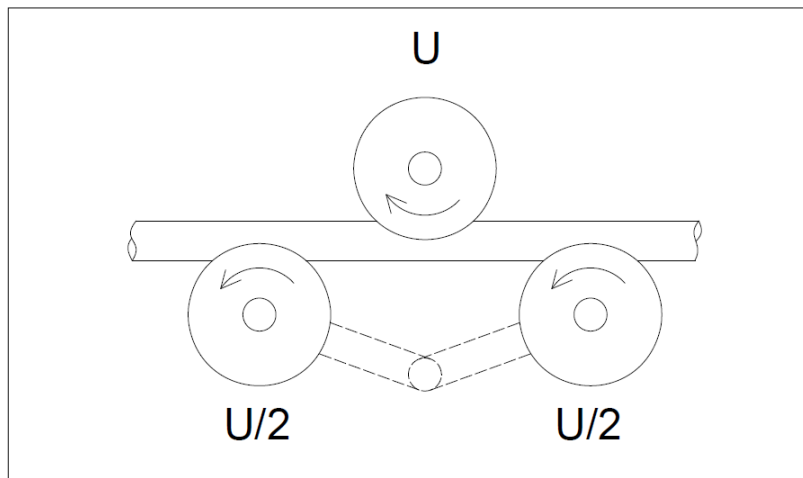
Los torques calculados para el rodillo superior y para los rodillos inferiores se consideraron por separado uno del otro, ya sea como si estuviera actuando el rodillo superior por si solo, o como si estuvieran actuando los dos rodillos inferiores juntos solamente.

Según los cálculos realizados, el torque necesario para arrastrar al perfil es:

$$T_s = 10\,726 \text{ [N * m]}$$

Como el torque es dependiente de la fuerza de rozamiento y esta a su vez de la fuerza normal ejercida, se distribuirán los torques a través de un factor de distribución mostrado en la figura 22.

Figura 22. **Distribución de torques**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Donde:

- U = factor de distribución

Según lo mostrado en la figura 22, la distribución de torque resulta como:

$$U + \frac{U}{2} + \frac{U}{2} = T$$

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

Reemplazando valores se expresan los torques finales como:

$$T_s = 5\,363 \text{ [N * m]}$$

$$T_I = 2\,682 \text{ [N * m]}$$

3.3.4.4. Selección de cadenas y engranajes

El accionamiento por medio de cadena de rodillos y engranajes, constituye un sólido y seguro sistema de transmisión de la energía mecánica. Para obtener un resultado óptimo de la transmisión de este tipo, es fundamental seleccionar correctamente la cadena y engranajes respectivos.

Las transmisiones por medio de cadena presentan las siguientes ventajas:

- No se producen resbalamientos, por lo tanto las pérdidas de energía son menores.
- Se mantiene constante la relación de velocidades.
- El rendimiento es elevado: 98 por ciento.
- La carga repartida sobre varios dientes del piñón, prolonga la vida útil de la cadena.
- La clásica elasticidad de la cadena, sumada a la película lubricante que se forma entre las partes móviles, amortiguan los golpes por cargas intermitentes.

Para seleccionar la cadena, es importante tener en cuenta:

- Establecer la relación de transmisión dividiendo las RPM del eje motriz por las RPM del eje seleccionado. No es conveniente proyectar mandos con relaciones mayores de 8 a 1.
- Corregir la potencia por medio de la tabla de factores de servicio.
- Buscar en las tablas de potencia, con base en las RPM del eje motriz, qué cadena y cantidad de dientes son necesarios para transmitir los HP ya corregidos, evitando en lo posible usar piñones menores de 15 dientes.
- Multiplicar la cantidad de dientes del piñón por la relación de transmisión para establecer los dientes de la rueda. En caso de resultar una cantidad de dientes fuera de lo normal, se optará por la más próxima, aumentando o disminuyendo proporcionalmente la cantidad de dientes del piñón para mantener la relación de transmisión.
- Controlar si los engranajes elegidos reúnen las dimensiones necesarias para el caso: diámetro exterior accesible al lugar disponible y diámetro de la masa adecuada para el eje que se va a montar. De resultar escasa, se tomará un piñón mayor y se aumentará proporcionalmente la rueda, manteniendo siempre la relación de transmisión; ancho máximo que no exceda el disponible y controlar, a la vez, el ancho exterior sobre cabezas de pernos en la cadena elegida.
- Se optará por cadena de doble o triple hilera (doble o triple capacidad de potencia) en caso de que surjan algunos de los inconvenientes siguientes: limitaciones de espacio que obliguen a elegir una cadena de menor paso,

resultando por lo tanto, más chicos los engranajes. Velocidades excesivas para la cadena de simple hilera elegida.

Tabla XI. **Factores de servicio**

Condiciones de trabajo	Motor eléctrico		Motor diésel	
	8 – 10 horas	24 horas	8 – 10 horas	24 horas
Uniforme	1,00	1,25	1,25	1,5
Semipesado	1,25	1,5	1,5	1,75
Pesado	1,5	1,75	1,75	2,00

Fuente: elaboración propia.

Para la transmisión de cadena se dispondrá de un motorreductor, con una potencia de 2,2 kilowatts, el cual se puede encontrar con torques elevados y bajísimas velocidades de salida. Cabe mencionar, que los datos incluidos se consideraron con base en el motorreductor propiedad de la empresa, para aprovechar los recursos existentes, siempre tomando en cuenta los criterios de la empresa PSMI, S. A.

- Velocidad del eje motriz 5.5 RPM
- Velocidad del eje accionado 3.5 RPM
- Motor eléctrico de 3 HP trabajando 8 horas diarias con servicio pesado

Relación:

$$\frac{5,5}{3,5} = 1,57$$

Potencia corregida:

$$3HP * 1,57 = 4,5 HP$$

Con el dato de la potencia corregida se busca en la tabla de potencias (ver anexo 4, Tablas de potencia) con base en las RPM del eje motriz, resultando:

Cadena:

1 ¼" con piñón de 17 dientes (ASA 100)

Engrane del eje accionado:

$$17 * 1,57 = 27 \text{ dientes}$$

Al tener calculados los dientes del engranaje y piñón, se deberá verificar en la tabla de piñones y ruedas para cadenas a rodillo – paso 1 ¼" (ver anexo 5, Tablas de piñones y ruedas).

Tras una verificación de los datos obtenidos se observó que el engranaje no cumple con la dimensión del diámetro de la masa requerida, de manera que se aumentará el número de dientes hasta cumplir con lo requerido y, a su vez, se aumentará el número de dientes del piñón para mantener de manera aproximada la relación de transmisión.

El nuevo engranaje y piñón seleccionado es:

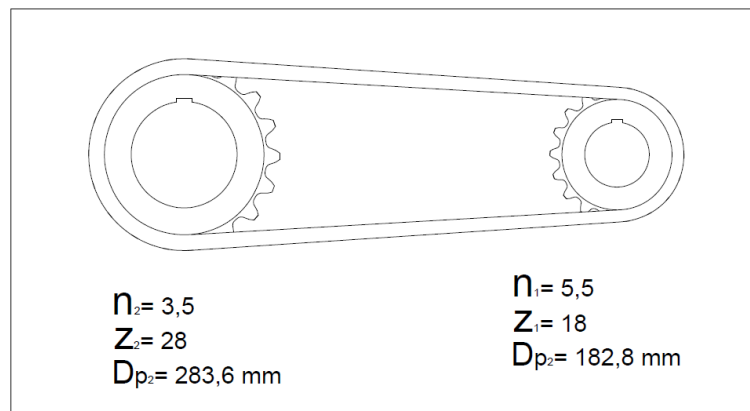
Engranaje: 28 dientes con un diámetro primitivo de 283,6 [mm].

Piñón: 18 dientes con un diámetro primitivo de 182,8 [mm].

Se elegirá el engranaje y piñón para cadena de doble hilera, de modo que la carga de rotura sea aproximadamente siete veces mayor a la carga de trabajo. Esto es según las consideraciones que se deben realizar al momento de tener velocidades de trabajo relativamente bajas.

Es necesario calcular el torque que requerirá el piñón, para tenerlo en consideración al momento de seleccionar el torque del motorreductor.

Figura 23. **Esquema de transmisión por cadena**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Donde:

- n = velocidad de giro [rpm]
- z = número de dientes
- D_p = diámetro primitivo

El cálculo se realizará refiriéndose al eje superior, ya que el torque requerido es mayor que en los ejes inferiores.

Se sabe que el torque que debe realizar el eje es:

$$T_1 = 5\,363 \text{ [N * m]}$$

Para calcular la fuerza requerida por la cadena, se emplea la siguiente ecuación de torque:

$$T = F * \frac{D}{2}$$

De modo que despejando la fuerza y reemplazando los datos resulta:

$$F = \frac{2 * T_2}{D_{p^2}} = \frac{2 * 5\,363}{0,2836} = 37\,821 \text{ [N]}$$

Con la fuerza requerida ya calculada, el torque en el piñón deberá ser:

$$T_1 = F * \frac{D_{pl}}{2} = 37\,821 * \frac{0,1828}{2} = 3\,456 \text{ [N * m]}$$

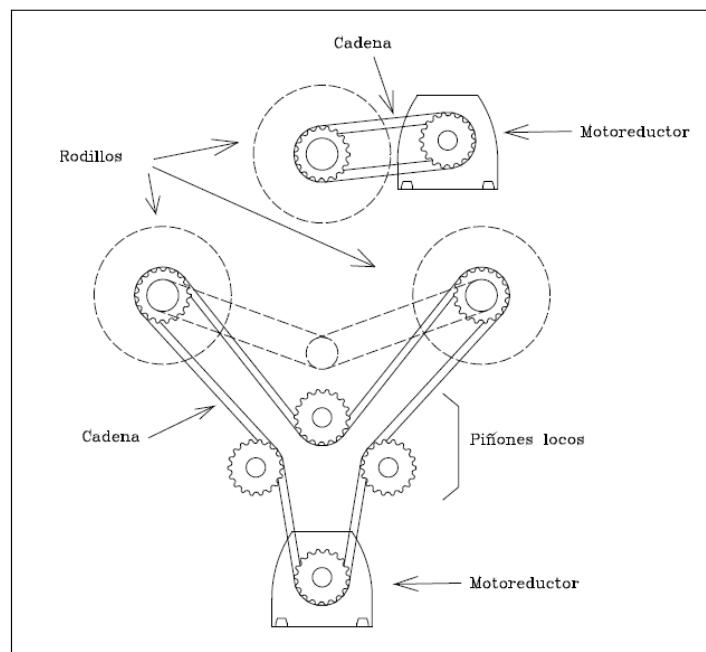
3.3.5. Selección de motorreductores

El giro de los rodillos se realizará por medio de motorreductores, los cuales deben ser capaces de generar un alto torque a muy baja velocidad de giro. Se considerarán 2 de ellos para el diseño, uno para accionar el rodillo superior y otro para accionar en forma conjunta los 2 inferiores.

3.3.5.1. Esquema de accionamiento de rodillos

La disposición de los motorreductores y los mecanismos pensados para el accionamiento de los rodillos se muestra esquemáticamente en la figura 24.

Figura 24. Esquema de mecanismos y disposición de motorreductores



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

El esquema muestra la forma en que los motorreductores se ubicarán para poder accionar los rodillos. A través de cadenas se transmitirá el torque a los ejes en los cuales estarán ubicados los rodillos.

Una de las claves para poder transmitir torque a los dos rodillos inferiores, los cuales se moverán durante el proceso de rolado, será por medio de piñones locos, de modo que tendrán la función de mantener tensada la cadena.

3.3.5.2. Velocidad de giro de los rodillos

Una de las consideraciones a tomar en cuenta es la velocidad de giro de los rodillos. Los tres deben girar a una misma velocidad para que no se produzcan deslizamientos al momento de arrastrar el perfil, ya que el torque de los motorreductores se vería afectado bruscamente, se produciría desgarramiento en el perfil, lo cual es motivo de rechazo.

Esto se explica, ya que al realizar el proceso de curvado, este debe ser lo más lento posible, de modo que la deformación que se produzca se realice de manera adecuada, para que no aparezcan rupturas en las zonas curvadas.

Con base en lo anterior, la velocidad de giro que tendrán los rodillos será una sola. De la misma manera, los motorreductores tendrán una misma velocidad entre ellos.

Según parámetros de diseño, la velocidad de los motorreductores será de:

$$n = 5,5 \text{ [rpm]}$$

El torque requerido por los motorreductores deberá ser sobre:

$$T = 3\,456 \text{ [N * m]}$$

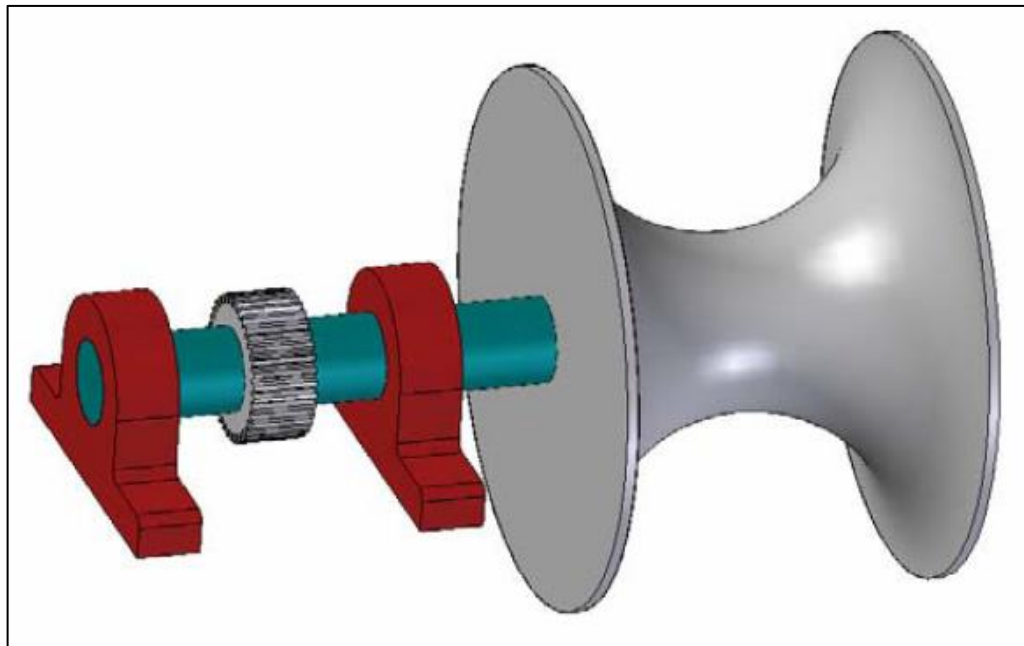
Por lo tanto, se selecciona motorreductor según catálogo SEW-EURODRIVE, marca SEW (ver anexo 6, Catálogo de motorreductores).

- Modelo: R137-DV-132S8
- Potencia: 3 HP
- Velocidad: 5.5 rpm
- Torque: 3,850 N*m
- Factor de servicio: $SEW_f=2.1$

3.3.6. Cálculo de ejes

El diseño de la máquina constará de tres ejes principales, en los cuales se transmitirá el torque a través de una rueda dentada y se ubicarán los rodillos en los cuales se montarán los perfiles, ilustrados a continuación en la figura 25.

Figura 25. Esquema de eje



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

3.3.6.1. Cálculo de ejes mediante ecuación del Código ASME

La ecuación del Código ASME es utilizada para el cálculo de árboles o ejes sometidos a flexión y torsión, especialmente cuando se genere una concentración de esfuerzos al existir un chavetero. Para un eje macizo con carga axial pequeña o nula, está dada por:

$$d^3 = \frac{16}{\pi * \sigma_s} \sqrt{(K_b * M_b)^2 + ((K_t * M_t)^2)}$$

Donde:

- d = Diámetro [m].
- σ_s = Esfuerzo permisible [Pa].
- M_b = Momento flector [N * m].
- M_t = Momento de torsión [N * m].
- K_b = Coeficiente combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector.
- K_t = Coeficiente combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión.

Los valores de K_b y K_t se muestran en la siguiente tabla XII, en función de la forma de actuación de la carga aplicada al eje:

Tabla XII. **Factores de carga del acero ASTM A-36**

Tipo de carga	K_b	K_t
Carga aplicada gradual	1,5	1
Carga repentina (choque menor)	1,5 – 2,0	1,0 – 1,5
Carga repentina (choque fuerte)	2,0 – 3,0	1,5 – 3,0

Fuente: elaboración propia.

Al tener el eje con chavetero, el esfuerzo permisible se puede calcular como:

$$\sigma_s \begin{cases} 0,23 * \sigma_f \\ 0,14 * \sigma_r \end{cases}$$

Donde:

- σ_f = esfuerzo de fluencia del material (Pa)
- σ_r = esfuerzo de ruptura del material (Pa)

Al realizar los cálculos del esfuerzo permisible, se elige el menor valor obtenido para sustituirlo en la ecuación del Código ASME.

3.3.6.2. Material a utilizar

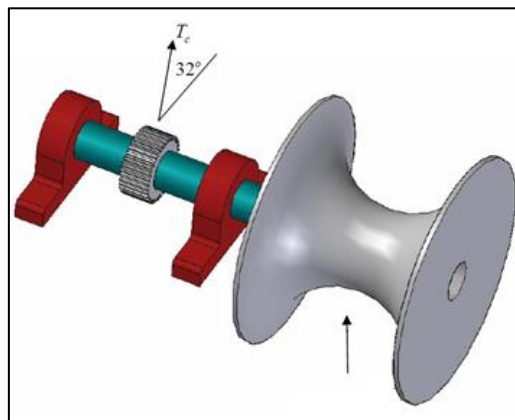
El material a utilizar es un acero ASTM A-36, el cual es un acero al carbono que responde muy bien al templado en aceite. Su contenido de carbono le permite buena maleabilidad y homogeneidad en la dureza y resistencia. Con este tipo de acero se obtienen propiedades como buena resistencia al desgaste, tenacidad y ductilidad.

Una de sus principales aplicaciones es su utilización, generalmente en la fabricación de piezas que requieren una buena combinación entre dureza y tenacidad. Tornillería de resistencia media y revenida de gran sección, ejes de transmisión de mediana tracción y todo tipo de perfiles industriales.

3.3.6.3. Eje del rodillo superior

Para determinar el diámetro del eje se utiliza el esquema mostrado en la figura 26, donde se da a conocer las ubicaciones de los distintos elementos:

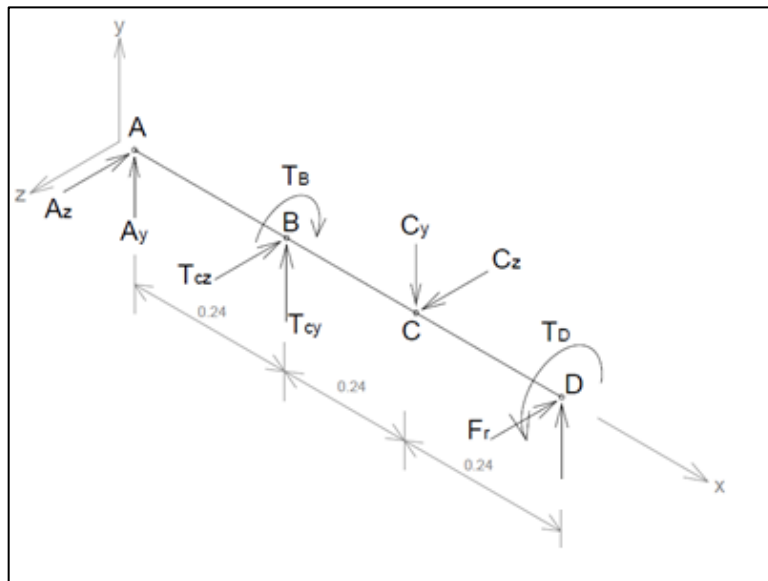
Figura 26. Esquema de eje de rodillo superior



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Con base en el esquema ya mostrado se realizará un diagrama de cuerpo libre, como se muestra en la figura 27.

Figura 27. **Diagrama de cuerpo libre de eje de rodillo superior**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

El torque que se genera en el eje es:

$$T = 5\,363[\text{N} \cdot \text{m}] = T_B = T_D$$

Donde:

- T_B = torque en el punto B [N * m]
- T_D = torque en el punto D [N * m]

La tensión que ejercerá la cadena para transmitir el torque al eje fue calculada anteriormente resultando una magnitud de:

$$T_C = 37\,821 \text{ [N]}$$

Donde:

- T_C = tensión de la cadena [N * m]

La cadena se encuentra en un ángulo de alrededor de 32 grados, de modo que la descomposición de fuerzas según los ejes z e y resulta:

$$T_{Cz} = T_{C*} \cos 32^\circ = 37\,821 * \cos 32^\circ = 32\,074 \text{ [N]}$$

$$T_{Cy} = T_{C*} \sin 32^\circ = 37\,821 * \sin 32^\circ = 20\,042 \text{ [N]}$$

La fuerza de roce que se genera en el rodillo es de:

$$F_r = 48\,750 \text{ [N]}$$

Con los datos necesarios ya obtenidos se procederá a plantear las siguientes ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momento:

$$\begin{aligned} \left(\sum F_x = 0 \right) & \quad 0 = 0 \\ \left(\sum F_y = 0 \right) & \quad A_y + T_{cy} - C_y + 650\,000 = 0 \\ \left(\sum F_z = 0 \right) & \quad -A_z - T_{cz} + C_z + F_r = 0 \\ \left(\sum M_x = 0 \right) & \quad -T_B + T_D = 0 \end{aligned}$$

$$\left(\sum M_y = 0\right) \quad 0,24 * T_{Cz} - 0,48 * C_z + 0,72 * F_r = 0$$

$$\left(\sum M_z = 0\right) \quad 0,24 * T_{Cy} - 0,48 * C_y + 0,72 * 650\,000 = 0$$

Realizando las operaciones necesarias se obtuvo el valor de las reacciones de apoyo, resultando:

$$A_y = 314\,979 [N]$$

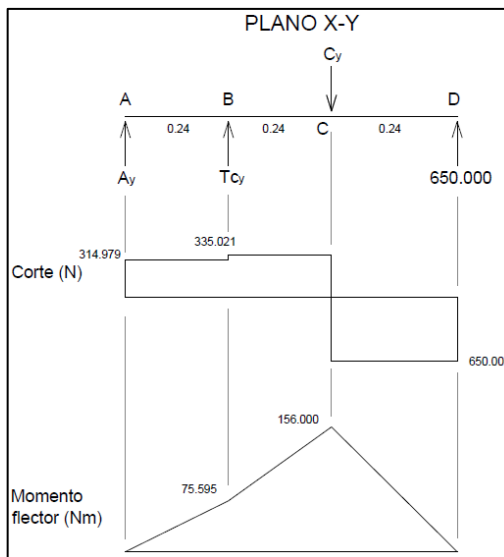
$$A_z = 8\,338 [N]$$

$$C_y = 985\,021 [N]$$

$$C_z = 89\,162 [N]$$

Con todos los valores ya conocidos se realizarán los diagramas de corte y momento en sus respectivos planos.

Figura 28. **Diagrama de corte y momento flector**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Según los datos entregados por los diagramas, el momento flector más crítico se presenta en el punto C del eje, resultando:

$$M_c = \sqrt{(156\,000)^2 + (11\,700)^2} = 146\,438 \text{ [N * m]}$$

Al utilizar la ecuación del Código ASME, se requiere conocer previamente los coeficientes K_b y K_t , y el esfuerzo permisible del material.

$$K_b = 1,5$$

$$K_t = 1,5$$

$$\sigma_s \begin{cases} 0,23 * \sigma_f = 0,23 * 900 = 207 \text{ MPa} \\ 0,14 * \sigma_r = 0,14 * 1\,250 = 175 \text{ MPa} \end{cases}$$

De modo que:

$$\sigma_s = 175 \text{ MPa}$$

Con todos los valores requeridos, se calculará el diámetro del eje según la ecuación:

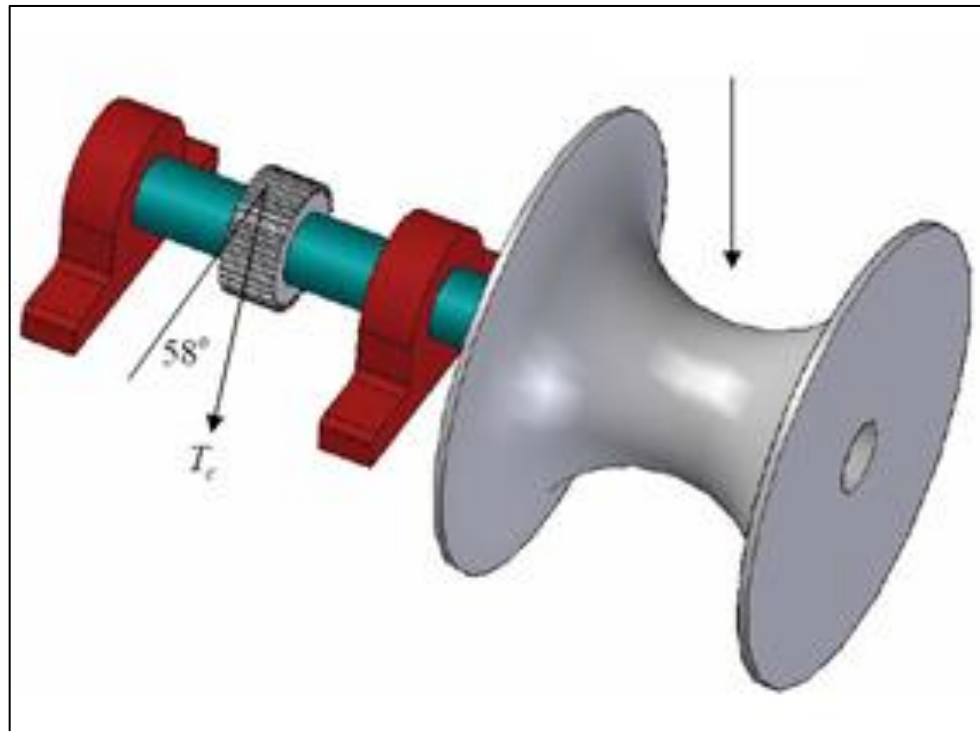
$$d^3 = \frac{16}{\pi * 175 * 10^6} \sqrt{(1,5 * 156\,438)^2 + (1,5 * 5\,363)^2} = 0,19 \text{ [m]}$$

$$d = 0,20 \text{ [m]}$$

3.3.6.4. Eje de rodillos inferiores

Para determinar el diámetro del eje se basará según el esquema mostrado en la figura 29, donde se da a conocer las ubicaciones de los distintos elementos:

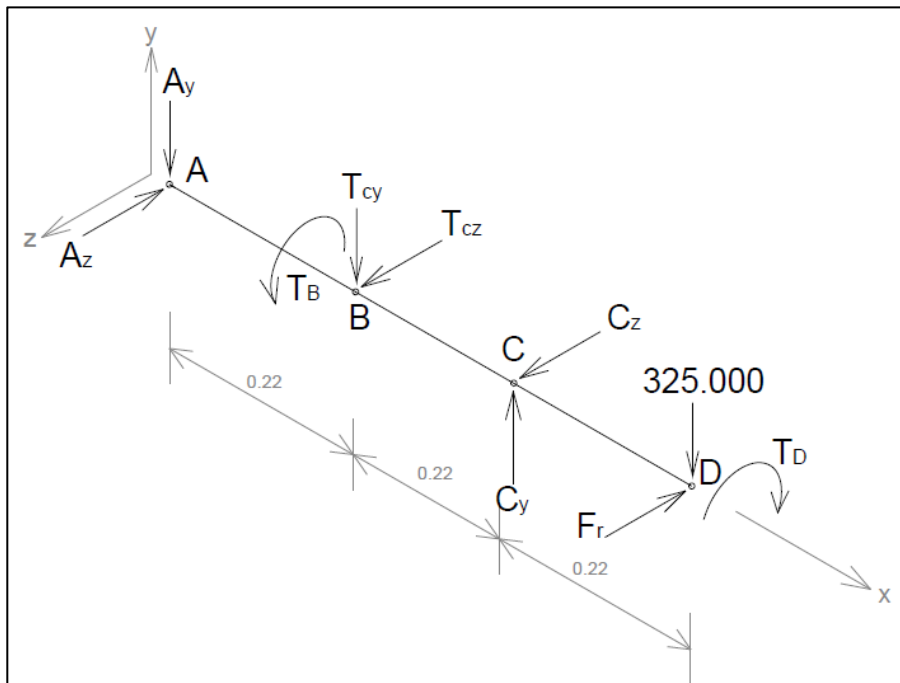
Figura 29. Esquema de eje de rodillo inferior



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Con base en el esquema ya mostrado se realizará un diagrama de cuerpo libre:

Figura 30. Diagrama de cuerpo libre de eje de rodillo inferior



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

El torque que se genera en el eje es:

$$T = 2\,682 \text{ [N} \cdot \text{m]} = T_B = T_D$$

Donde:

- T_B = torque en el punto B [N * m]
- T_D = torque en el punto D [N * m]

La tensión que ejercerá la cadena para transmitir el torque al eje, fue calculada anteriormente resultando una magnitud de:

$$T_C = 18\,911 \text{ [N]}$$

Donde:

- T_C = tensión de la cadena [N * m]

La cadena se encuentra en un ángulo de alrededor de 58 grados, de modo que la descomposición de fuerzas según los ejes z e y resulta:

$$T_{Cz} = T_{C*} \cos 58^\circ = 18\,911 * \cos 58^\circ = 10\,021 \text{ [N]}$$

$$T_{Cy} = T_{C*} \sin 58^\circ = 18\,911 * \sin 58^\circ = 16\,037 \text{ [N]}$$

La fuerza de roce que se genera en el rodillo es de:

$$F_r = 24\,382 \text{ [N]}$$

Con los datos necesarios ya obtenidos se procederá a plantear las siguientes ecuaciones de equilibrio de fuerzas y momento

$$\begin{array}{ll} \left(\sum F_x = 0 \right) & 0 = 0 \\ \left(\sum F_y = 0 \right) & -A_y - T_{cy} + C_y - 325\,000 = 0 \\ \left(\sum F_z = 0 \right) & -A_z + T_{cz} + C_z + F_r = 0 \\ \left(\sum M_x = 0 \right) & T_B - T_D = 0 \end{array}$$

$$\left(\sum M_y = 0\right) \quad -0,22 * T_{Cz} - 0,44 * C_z + 0,66 * F_r = 0$$

$$\left(\sum M_z = 0\right) \quad -0,22 * T_{Cy} + 0,44 * C_y - 0,66 * 325\,000 = 0$$

Realizando las operaciones necesarias se obtuvo el valor de las reacciones de apoyo, resultando:

$$A_y = 154\,482 \text{ [N]}$$

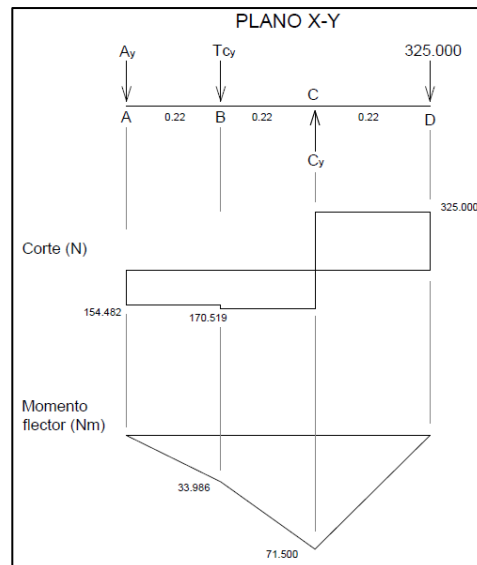
$$A_z = 17\,202 \text{ [N]}$$

$$C_y = 495\,519 \text{ [N]}$$

$$C_z = 31\,563 \text{ [N]}$$

Con todos los valores ya conocidos se realizarán los diagramas de corte y momento en sus respectivos planos.

Figura 31. **Diagrama de corte y momento flector**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Según los datos entregados por los diagramas, el momento flector más crítico se presenta en el punto C del eje, resultando:

$$M_c = \sqrt{(71\,500)^2 + (5\,364)^2} = 71\,701 \text{ [N * m]}$$

Al utilizar la ecuación del Código ASME se requiere conocer previamente los coeficientes K_b y K_t , y el esfuerzo permisible del material.

$$K_b = 1,5$$

$$K_t = 1,5$$

$$\sigma_s \begin{cases} 0,23 * \sigma_f = 0,23 * 900 = 207 \text{ MPa} \\ 0,14 * \sigma_r = 0,14 * 1\,250 = 175 \text{ MPa} \end{cases}$$

De modo que:

$$\sigma_s = 175 \text{ MPa}$$

Con todos los valores requeridos se calculará el diámetro del eje según la ecuación:

$$d^3 = \frac{16}{\pi * 175 * 10^6} \sqrt{(1,5 * 71\,500)^2 + (1,5 * 2\,682)^2} = 0,146 \text{ [m]}$$

$$d = 0,15 \text{ [m]}$$

3.3.7. Selección de soportes y rodamientos

Los rodamientos se seleccionarán según Catálogo general SKF, del cual también se obtendrán los soportes y accesorios necesarios. Según recomendaciones de la empresa, no es necesario el cálculo de rodamiento, ya que los datos de cargas permisibles y de ruptura se encuentran especificados en los catálogos del sitio web de SKF (ver anexo 7, Catálogo de soportes y rodamientos).

3.3.7.1. Soportes y rodamientos del eje superior

En el eje superior, el diámetro obtenido fue 200 [mm] en el punto de ubicación de uno de los descansos, de modo que se tomará como referencia el valor de las reacciones de apoyo obtenidas como carga radial ejercida en el descanso.

$$C_R = 989 \text{ [kN]}$$

Donde:

- C_R = carga radial [kN]

Se seleccionó soporte de pie de dos piezas, serie SNL de gran tamaño, para rodamiento sobre manguito de fijación, con obturaciones de aceite, es un soporte para ejes métricos.

La designación del soporte completo con obturaciones para rodamiento de rodillos a rótula es:

SNL 3144 TURT

Las designaciones de los distintos accesorios que contiene el soporte completo, se encuentran por separado en el anexo de soporte y rodamiento del eje superior.

3.3.7.2. Soportes y rodamientos de ejes inferiores

En el eje inferior, el diámetro obtenido fue de 150 milímetros en el punto de ubicación de uno de los descansos, de modo que se tomará como referencia el valor de las reacciones de apoyo obtenidas como carga radial ejercida en el descanso.

$$C_R = 497 \text{ [kN]}$$

Se seleccionó soporte de pie de dos piezas, serie SNL de gran tamaño, para rodamiento sobre maguito de fijación, con obturaciones de aceite, es un soporte para ejes métricos.

La designación del soporte completo con obturaciones para rodamiento de rodillos a rótula es:

SNL 3134 TURT

Las designaciones de los distintos accesorios que contiene el soporte completo, se encuentran por separado en el anexo de soporte y rodamiento del eje inferior.

3.3.8. Disposición de rodillos en el proceso de rolado

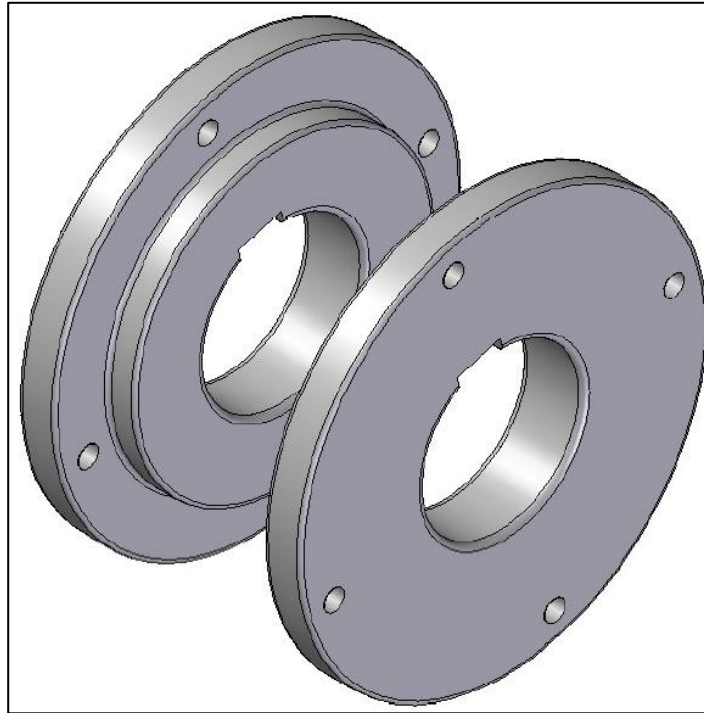
El diseño de los rodillos depende fundamentalmente del perfil que se desea curvar, refiriéndose particularmente a la forma y tamaño de sección transversal. El conjunto de rodillos que se dispondrán para un determinado perfil a curvar fueron diseñados con el mismo tamaño, logrando de esta manera una correcta velocidad de rotación para que el perfil pueda deslizarse sin dificultades.

3.3.8.1. Disposición de rodillos para perfil cuadrado y angular recto

El diseño propuesto del rodillo es de tal manera que, en forma conjunta con otro rodillo de las mismas características ubicado en el mismo eje, pueda realizar el curvado de dos diferentes tipos de perfiles: cuadrado y angular recto.

Al ser dos los rodillos dispuestos para el rolado, estos se ubicarán en las esquinas de los perfiles, de modo que la fuerza se pueda ejercer, principalmente, en las zonas más críticas de los perfiles para que el curvado se realice de la forma más homogénea posible.

Figura 32. **Rodillos para perfil cuadrado y angular recto**

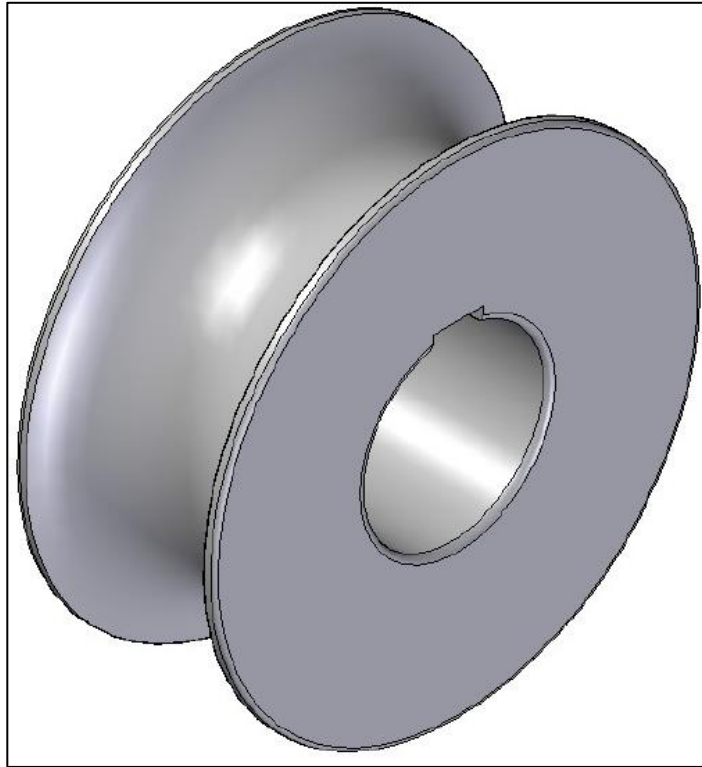


Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

3.3.8.2. Disposición de rodillos para perfil tubular

El diseño propuesto del rodillo está pensado para que la fuerza que se tenga que ejercer en el perfil, se pueda distribuir por gran parte de la periferia del perfil. Esto ayudará a que el curvado se pueda realizar de la mejor manera posible, minimizando la generación de grietas y de cambios bruscos en la sección transversal del perfil.

Figura 33. **Rodillo para perfil tubular**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

4. IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO PROCESO

Para la implementación del nuevo proceso de rolado, mediante la utilización de una máquina roladora de perfiles metálicos en la empresa se establecen las pautas específicas y delimitaciones físicas para la puesta en marcha del proceso, las cuales se describen a continuación.

4.1. Montaje de máquina

Para una correcta manipulación la máquina se anclará utilizando criterios de cimentación adecuados, considerando las dimensiones, forma, peso y cargas dinámicas para proporcionar la solidez necesaria al momento de operarla.

4.1.1. Consideraciones de cimentación

Las consideraciones de carga se obtienen de la geometría y elementos que forman la roladora de perfiles, los momentos últimos de diseño son producto de un análisis estructural realizado para el cálculo de la cimentación del elemento:

- Peso total del equipo (P_u): 0,55 ton
- Momento actuante en el eje X M_{ux} : 3 ton-m
- Momento actuante en el eje Y M_{uy} : 2,5 ton-m
- Resistencia del concreto a la compresión f'_c : 282 kg/cm²
- Resistencia del acero a la tensión f_y : 4,227 kg/cm²
- Resistencia del suelo V_s : 21 ton/m²

- Peso específico del suelo γ_s : 1,4 ton/m³
- Peso específico del concreto armado γ_c : 2,4 ton/m³
- Factor de carga última F_{cu} : 1,49

Utilizando la ecuación de la carga de servicio con los datos anteriores tenemos:

Carga de servicio:

$$P' = P_u / F_{cu}$$

$$P' = 0,37 \text{ ton}$$

Momento de servicio:

$$M_t = M_u / F_{cu}$$

$$M_{tx} = 2,01 \text{ ton-m}$$

$$M_{ty} = 1,68 \text{ ton-m}$$

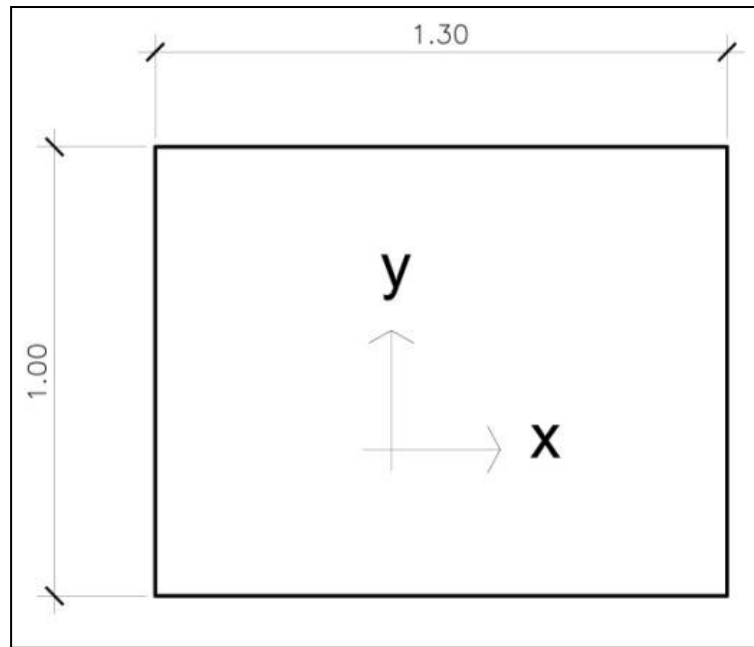
Estimación del área de la zapata:

$$A_z = (1,5 \times P') / \gamma_s$$

$$A_z = 0,03 \text{ m}^2$$

Respetando la magnitud de los momentos en los ejes X y Y se propone las siguientes dimensiones:

Figura 34. Dimensiones propuestas



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Chequeo de presión sobre el suelo:

$$P = P' + P_{cim}$$

Donde:

- $P_{cim} = (\text{área de zapata} \times \text{espesor asumido} \times \gamma_c)$
- Espesor asumido = 30 centímetros
- $P_{cim} = 0,94 \text{ ton}$

$$P = (0,37 \text{ ton}) + (0,94 \text{ ton}) = 1,31 \text{ ton}$$

Las presiones sobre el suelo serán:

$$q = (P/Az) \pm (Mtx/Sx) \pm (Mty/Sy)$$

Donde los casos críticos son $q_{max(+)}$ y $q_{min(-)}$

Donde:

- S = módulo de sección en el sentido indicado

$$S = 1/6 \times b \times h^2$$

$$Sx = 1/6 \times 1.3 \times 1^2 = 0,22 \text{ m}^3$$

$$Sy = 1/6 \times 1 \times 1.3^2 = 0,28 \text{ m}^3$$

$$q_{max(+)} = (1,00) + (9,14) + (6,00) = 16,14 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{min(-)} = (1,00) - (9,14) - (6,00) = -14,14 \text{ ton/m}^2$$

Como:

$q_{max(+)} < V_s$ = el área asumida de la zapata no excede el valor soporte del suelo.

$q_{min(-)} < 0$ = En el área de la zapata existen presiones de tensión que se eliminará con el refuerzo.

Lo que indica que las dimensiones de la zapata han sido asumidas de forma correcta.

Por motivos de diseño se asume la presión en cada punto debajo de la zapata es constante, aunque en la realidad sea de forma diferente.

Se asumirá que:

$$q_{dis} = q_{max} = 16,14 \text{ ton/m}^2$$

La presión última de diseño será:

$$q_{disu} = q_{dis} \times F_{cu}$$
$$q_{disu} = 24,05 \text{ ton/m}^2$$

Diseño del espesor de la zapata:

Para determinar el espesor de la zapata es necesario que resista el corte simple, el punzonamiento y las cargas actuantes.

Chequeo para el corte simple: espesor asumido $t = 0,30$ metros.

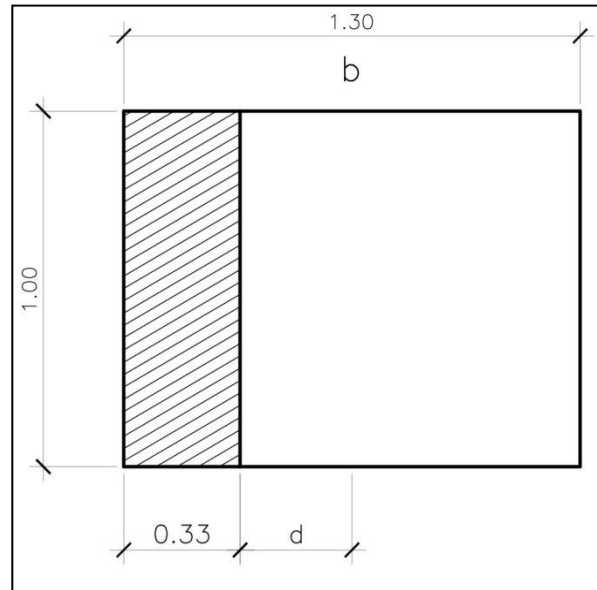
Donde:

- $d = t - \text{recubrimiento} - \varnothing/2$

Asumiendo una varilla de $\varnothing = 1,27$ cm

$$d = 30 - 7,5 - 1,27/2 = 21,86 \text{ cm}$$

Figura 35. **Área del cortante actuante**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

$$V_{act} = \text{área sombreada} \times q \text{ disu}$$

$$V_{act} = (1,00\text{m} \times 0,33\text{m}) \times 24,05 \text{ ton/m}^2$$

$$V_{act} = 7,94 \text{ ton}$$

Cálculo del corte actuante

$$V_r = 0,85 \times 0,53 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d / 1000$$

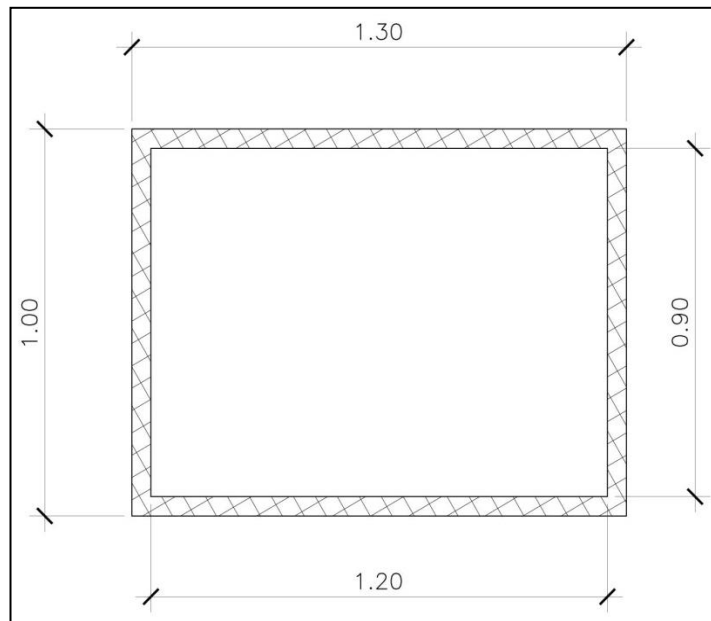
La utilización de la constante 1 000 es para convertir de kg a toneladas:

$$V_r = 21,50 \text{ toneladas}$$

Como $V_r > V_{act}$ el espesor asumido $t=0,30$ metros si chequea por corte simple.

Chequeo por corte punzonante: El área sombreada es el área que se tomará como el área de punzonamiento.

Figura 36. **Área de punzonamiento**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Cálculo de corte punzonante actuante:

$$\begin{aligned} V_{act} &= \text{área sombreada} \times q \text{ disu} \\ V_{act} &= ((1,00 \times 1,30) - (0,90 \times 1,20)) \text{ m}^2 \times 24,05 \text{ ton/m}^2 \\ V_{act} &= 5,29 \text{ ton} \end{aligned}$$

Cálculo del corte punzonante resistente:

$$V_r = 0,85 \times 1,06 \times \sqrt{f'_c} \times b_o \times d / 1000$$

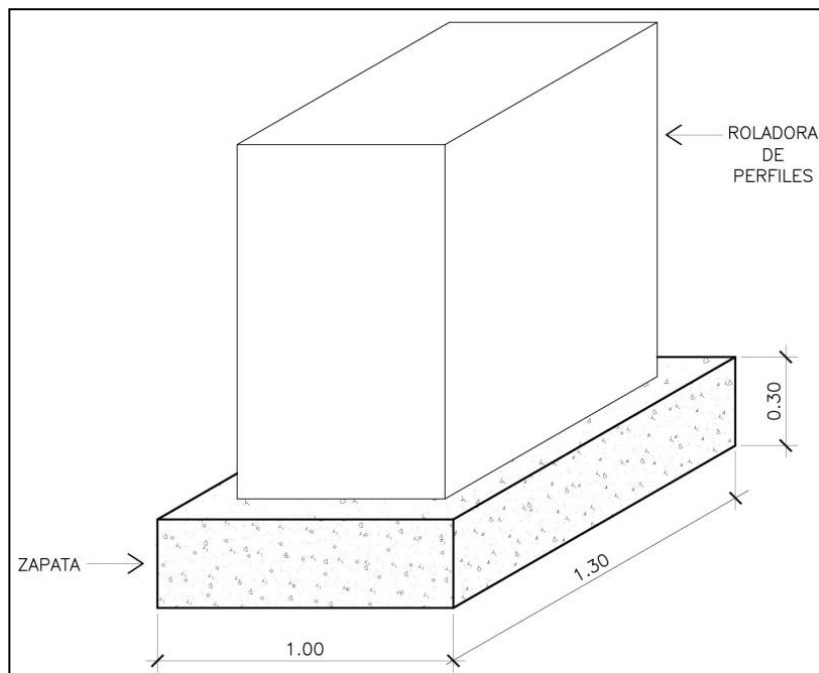
Donde:

- b_o = es el perímetro del área ashurada $((1,20 \times 2) + (0,90 \times 2))$

$$V_r = 190,64 \text{ ton}$$

Como $V_r > V_{act}$, utilizando un peralte de 30 centímetros la zapata soportará el punzonamiento.

Figura 37. **Dimensiones finales de zapata de cimentación**



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

Datos para el cálculo del acero de refuerzo de la zapata:

- $f'c = 282 \text{ kg/cm}^2$
- $f_y = 4\,227 \text{ kg/cm}^2$
- $b = 100 \text{ cm}$
- $d = (t - \text{rec} - \varnothing/2) = 21,86 \text{ cm}$
- $t = 30,00 \text{ cm}$
- $\text{rec} = 7,50 \text{ cm}$

Asumiendo varillas No. 4

$$A_s = 1,26 \text{ cm}^2$$

$$\varnothing_{\text{var}} = 1,27 \text{ cm}$$

Área de acero mínimo para elementos sometidos a flexión:

$$M_{\text{uact}} = 5,08 \text{ ton-m} \approx 46\,181,18 \text{ kg-cm}$$

$$A_{s \text{ min}} = (14,1/f_y) * b * d$$

$$A_{s \text{ min}} = 7,30 \text{ cm}^2$$

$$M_{\text{res}} A_{s \text{ min}} = \varnothing * A_s * f_y (d - (A_s * f_y / 1,7 * f'c * b))$$

Como la zapata es un elemento sometido a flexión entonces $\varnothing = 0.9 \text{ cm}$

$$M_{\text{res}} A_{s \text{ min}} = 1\,673\,850,46 \text{ kg-cm}$$

$$M_{\text{res}} A_{s \text{ min}} = 16\,738,50 \text{ kg-cm}$$

Como $M_{\text{res}} A_{s \text{ min}} > M_{\text{uact}}$ se usa $A_{s \text{ min}}$.

Distribución del acero para 1m longitudinal: usando varillas No. 4.

$$A_s = 1,26 \text{ cm}^2$$

$$\varnothing_{\text{var}} = 1,27 \text{ cm}$$

$$A_{s\text{min}} / A_s = 5,79 \text{ var / ml} \approx 6 \text{ var / ml}$$

$$A_{s\text{real}} = A_s * (A_{s\text{min}}/A_{s\text{No.}}) = 7,56 \text{ cm}^2$$

Como: $A_{s\text{real}} > A_{s\text{min}}$, el cálculo es correcto.

$$S = 100 / (A_{s\text{min}}/A_{s\text{No.}}) = 17,26 \text{ cm}$$

Por facilidad colocaremos el acero a cada 15 centímetros:

Usará varillas No. 4 @ 0,15 m

En el sentido longitudinal colocar $A_{s\text{temperatura}}$:

$$A_{s\text{tem}} = 0,002 * b * t = 6,00 \text{ cm}^2$$

Usando acero No. 4

$$A_s = 1,26 \text{ cm}^2$$

$$A_{s\text{real}} = A_{s\text{tem}} / A_s = 4,76 \text{ var/m.l.} \approx 5 \text{ var/ml}$$

$$A_{s\text{real}} = A_s * (A_{s\text{tem}}/A_{s\text{No.}}) = 6,30 \text{ cm}^2$$

Como: $A_{s\text{real}} > A_{s\text{tem}}$, el cálculo es correcto.

$$S = 100 / (A_s \text{ tem} / A_s \text{ No.}) = 21 \text{ cm}$$

Por facilidad se colocará el acero a cada 20 centímetros.

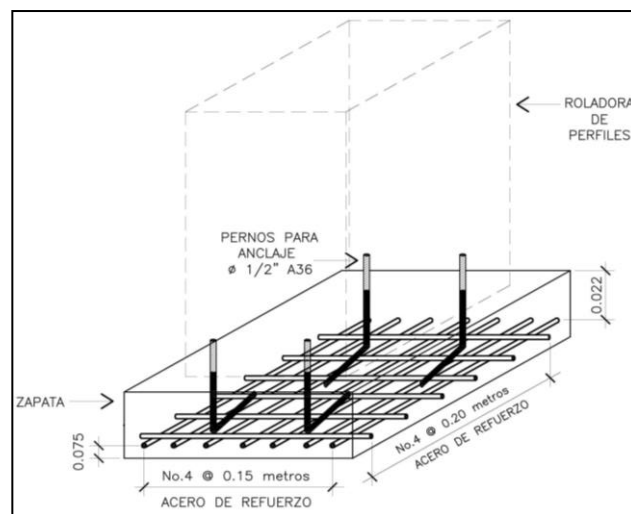
Usará varillas No. 4 @ 0,20 m.

4.1.2. Alineación de pernos

La distribución de los pernos se diseña con base en el espacio disponible que proporciona el refuerzo estructural de la cimentación de la base de concreto de la roladora de perfiles.

Debido a que no existen cargas dinámicas significativas, se colocarán pernos tipo L con varilla No. 4 doblados en frío para no afectar las propiedades de resistencia del acero.

Figura 38. Distribución de pernos de anclaje



Fuente: elaboración propia, con programa AutoCAD 2012.

4.1.3. Cronograma de montaje

Con base en los tiempos proporcionados por la empresa, dentro de los cuales se contempla el ensamble y pruebas de la máquina roladora, se define el cronograma como se muestra en la tabla XIII.

Tabla XIII. Cronograma del montaje

Actividades	Semana 1	Semana 2	Semana 3
Demolición de losa existente	■		
Excavación para cimentación			
Armado de cimentación			
Fabricación de pernos		■	
Instalación y alineación de pernos			
Fundición de zapata			
Fundición de pedestal			■
Montaje de máquina			

Fuente: elaboración propia.

4.1.4. Personal operativo para el montaje de la máquina

Tomando en cuenta la experiencia del personal encargado, se establece los puestos y las aptitudes a considerar para la elección de los operarios:

Tabla XIV. **Personal operativo montaje de máquina**

Cantidad	Puesto	Aptitudes necesarias
1	Supervisor mecánico	<ul style="list-style-type: none"> - Habilidad para lectura de planos de ingeniería. - Capacidad para organización del personal operativo. - Toma de decisiones.
1	Soldador armador	<ul style="list-style-type: none"> - Habilidad para el trazo y corte en láminas y perfiles metálicos. - Habilidad para la aplicación de soldadura en sus diferentes procesos aplicativos (SMAW, GMAW, GTAW)
1	Mecánico tornero	<ul style="list-style-type: none"> - Manejo de máquinas herramientas (torno, fresa, cepillo) - Habilidad específica para acabados en materiales metálicos.
1	Mecánico industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Conocimientos generales de ensamble de motores eléctricos. - Instalación y alineación de elementos mecánicos (ejes, chumaceras, cuñas, transmisiones)

Fuente: elaboración propia.

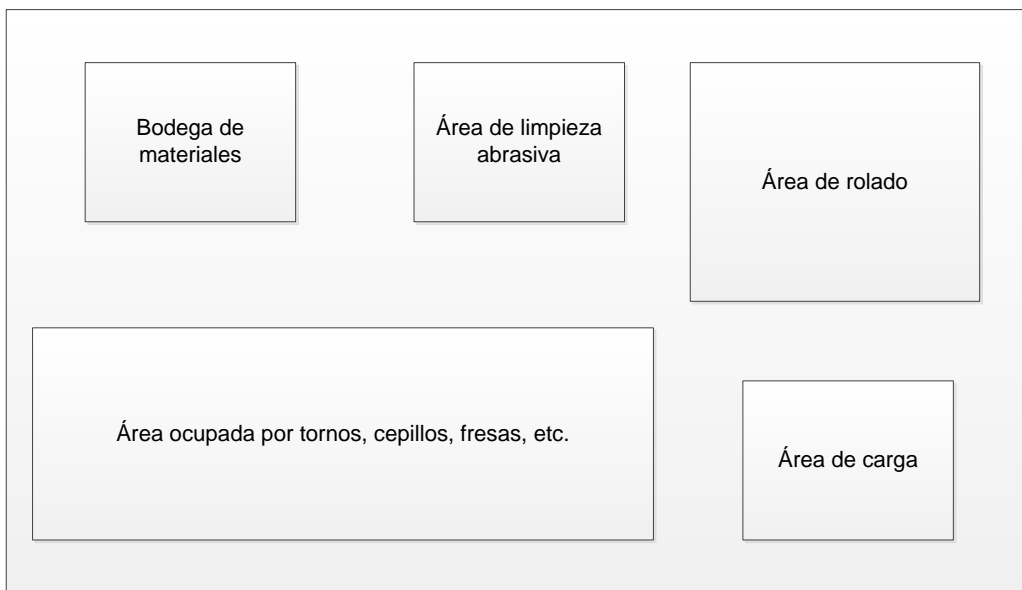
4.2. Área de trabajo

Considerando el volumen de trabajo acumulado para la actividad de rolado de perfiles, se destinará un área adecuada a las necesidades de almacenamiento de materiales, herramientas, así como el espacio requerido para la funcionalidad de la máquina.

4.2.1. Diseño del área de trabajo

Tomando en cuenta que los perfiles comerciales estándar tienen 6 metros de longitud, las dimensiones de la máquina y la experiencia del personal operativo a cargo de la actividad, se delimitará un área de 10 x 10 metros.

Figura 39. **Distribución del área de trabajo**



Fuente: elaboración propia.

4.2.2. Diagrama de flujo

Se desarrolla el diagrama de flujo de proceso y el de recorrido tomando en cuenta la dinámica del proceso utilizando la roladora de perfiles.

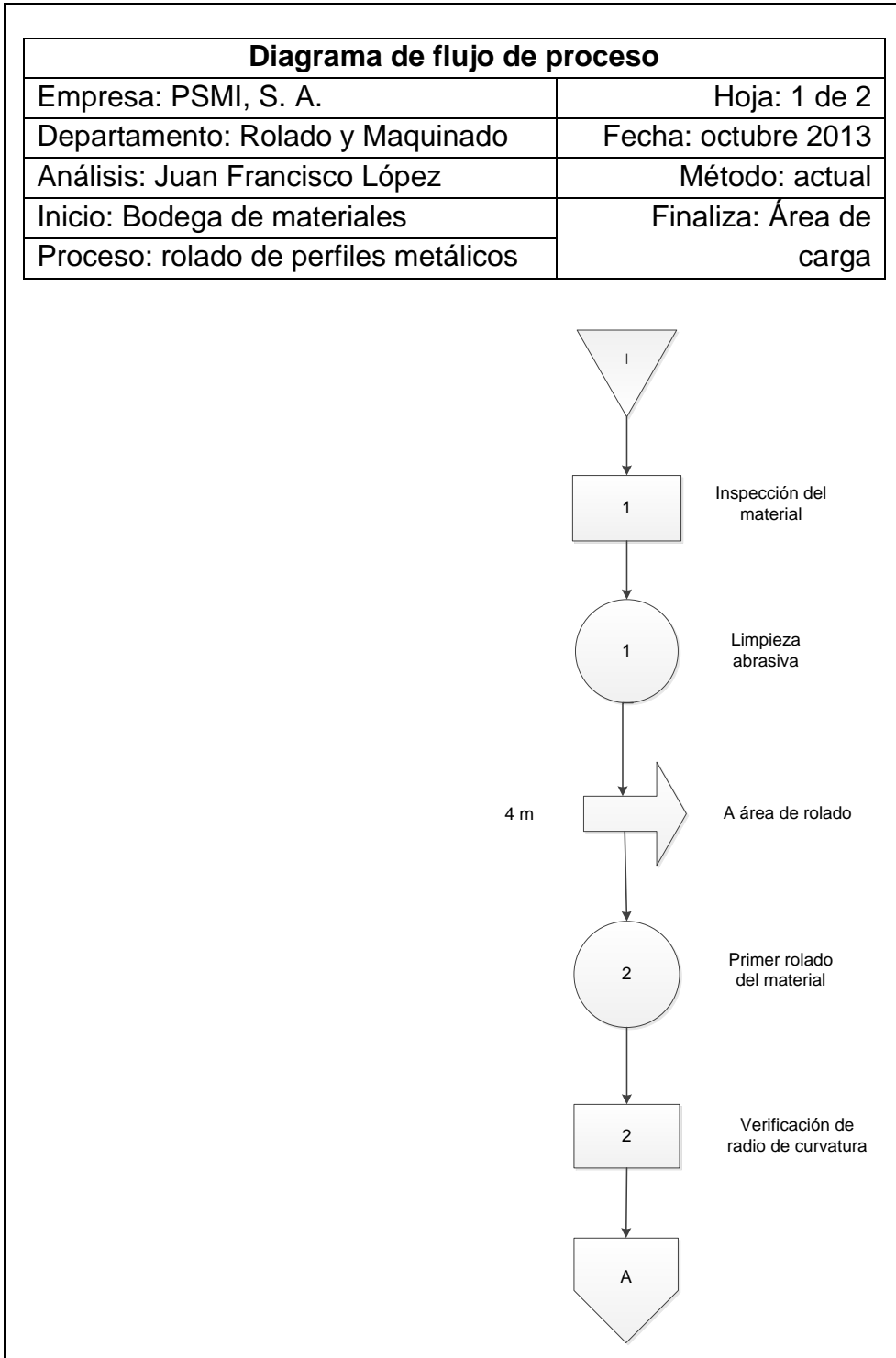
4.2.3. Descripción

Tomando en consideración las principales actividades del proceso de rolado, se desarrolla el diagrama de flujo de dicho proceso utilizando la máquina roladora de perfiles. Dado que es un proceso que requiere actividades repetitivas, estas se representan como actividades separadas para distinguir entre cada una de las etapas.

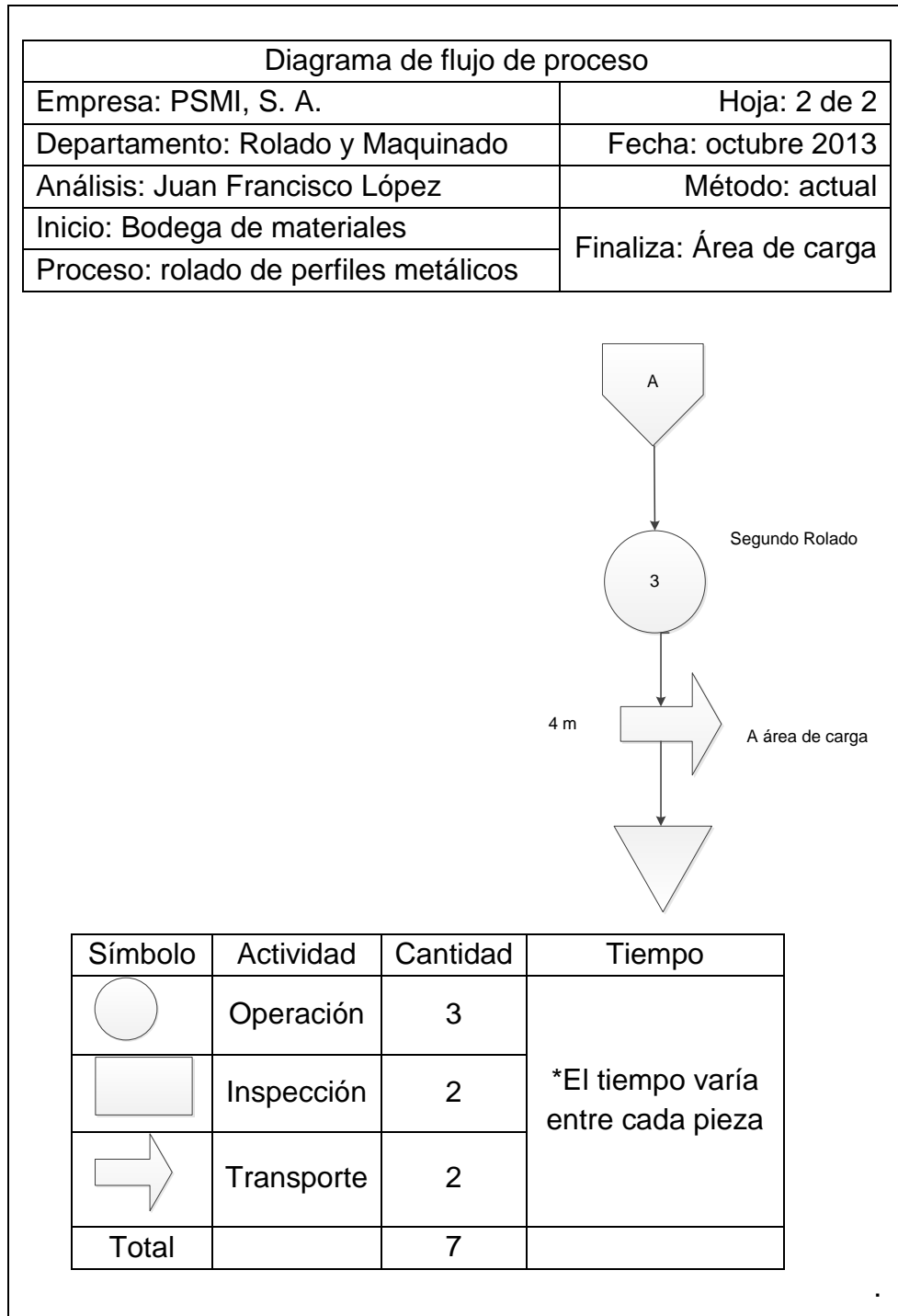
4.2.4. Diagrama de flujo de proceso

A continuación, en la figura 40, se presenta el diagrama de flujo del proceso de rolado de perfiles.

Figura 40. Diagrama de flujo de proceso



Continuación de la figura 40.

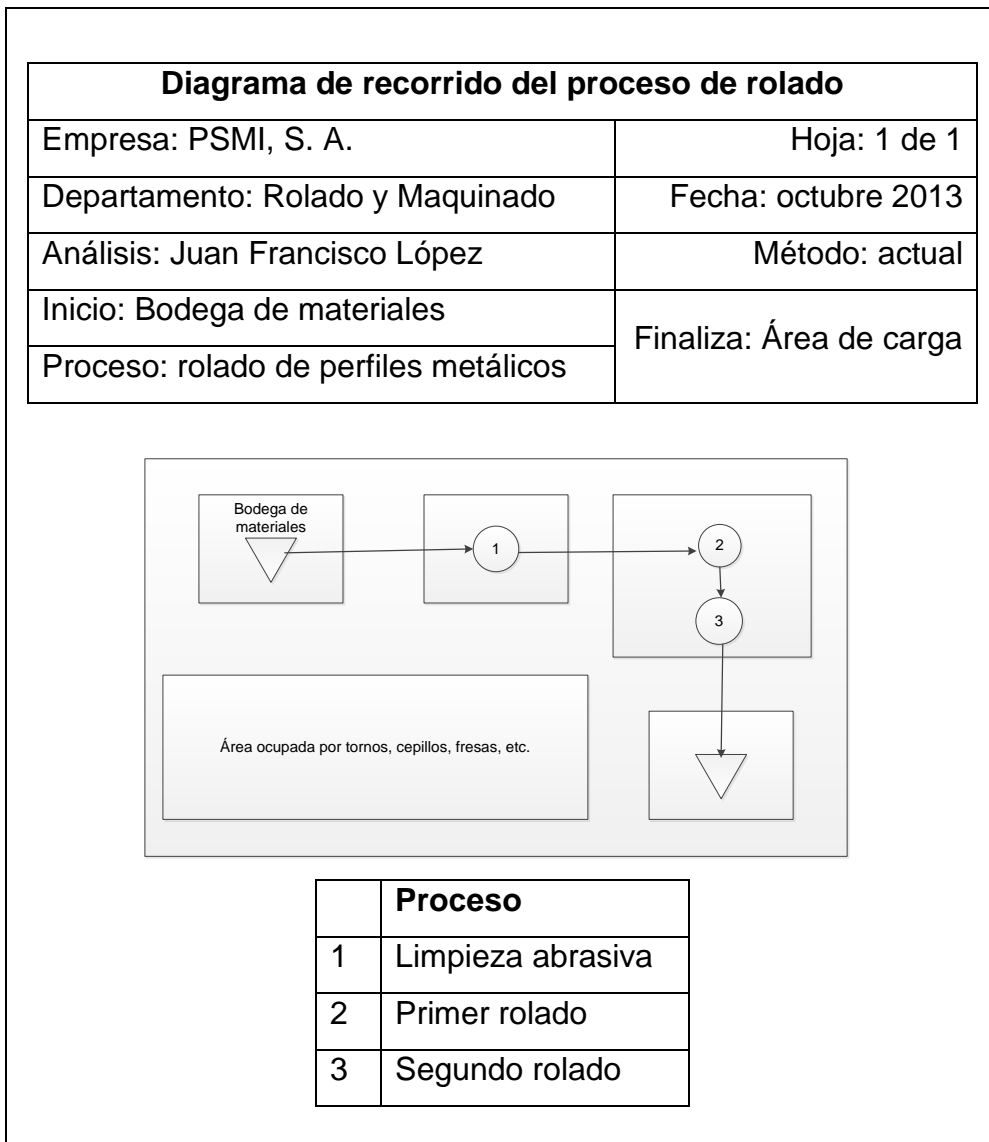


Fuente: elaboración propia.

4.2.5. Diagrama de recorrido

A continuación, en la figura 11, se presenta el diagrama de recorrido del proceso de rolado, dentro del taller de rolado y maquinado.

Figura 41. Diagrama de recorrido



Fuente: elaboración propia.

4.3. Estudio de tiempos y movimientos

Dado que el proceso involucra el rolado de diferentes tipos de perfiles, el tiempo estándar se determina tomando como referencia un perfil patrón. Para este caso en particular, un perfil tubular cilíndrico de 2 pulgadas de diámetro en acero A-36, tomando diez muestras para poderlas comparar con el estudio realizado con el proceso manual.

4.3.1. Determinación de tiempo estándar de actividad

Considerando 10 corridas utilizando el perfil patrón: tubo de 50 milímetros de diámetro.

Tabla XV. **Tiempos cronometrados**

Muestra	Tiempo cronometrado
1	35'
2	30'
3	32'
4	38'
5	34'
6	42'
7	39'
8	45'
9	41'
10	39'
Sumatoria	375'

Fuente: elaboración propia.

$$T_e = \frac{375'}{10} = 37.5' \approx 0,625 \text{ horas}$$

4.3.2. Mano de obra

Considerando que el proceso a implementar es más automatizado, se propone el personal que se describe en la tabla XVI.

Tabla XVI. **Perfiles y puestos de trabajo**

Cantidad	Puesto	Aptitudes necesarias
1	Supervisor mecánico	<ul style="list-style-type: none"> - Habilidad para lectura de planos de ingeniería. - Capacidad para organización del personal operativo. - Toma de decisiones.
1	Mecánico industrial	<ul style="list-style-type: none"> - Habilidad para el trazo y corte en láminas y perfiles metálicos. - Habilidad para la aplicación de soldadura en sus diferentes procesos (SMAW, GMAW, GTAW). - Manejo de máquinas herramientas. - Observador y detallista para trabajos minuciosos.
1	Ayudante	<ul style="list-style-type: none"> - Diligencia, iniciativa y proactivo. - Conocimiento básico de manejo de herramientas de banco (pulidoras, barrenos, sierras, etc.)

Fuente: elaboración propia.

4.3.3. Capacitación

El proceso de capacitación consiste en proveer la información y demostrar el funcionamiento del nuevo proceso de rolado en todos sus ámbitos. Cada procedimiento, la utilización de la nueva maquinaria instalada, regulaciones y estándares de material, medidas de seguridad industrial y la información administrativa-financiera generada.

4.3.3.1. Descripción

La implementación de un área de rolado de perfiles dentro de los talleres operativos, utilizando un sistema mejorado, empieza por su diseño y construcción. Una de las ventajas consiste en que el mismo estará localizado dentro de la misma planta y no se necesita adquirir un espacio adicional.

La edificación del área de rolado ha sido planeada para que sea sencilla, pero suficiente para poder desarrollar la actividad de manera eficiente sin interferir con las demás actividades desarrolladas dentro del taller.

El siguiente paso es el equipamiento del taller. Para ello se establecieron los parámetros que garanticen la funcionalidad de la nueva máquina, con base en un estudio adecuado de cimentación, el cual toma en cuenta la parte de seguridad industrial para resguardar al personal involucrado.

Como último punto, el programa de capacitación respecto al nuevo proceso, involucra tanto al personal operativo como al personal administrativo. Una vez finalizado dicho programa, se puede implementar el nuevo proceso en su totalidad.

4.3.3.2. Cronograma de capacitación

A continuación se presenta el cronograma de capacitación, el cual se divide en dos días.

Tabla XVII. Cronograma de capacitación

	13 enero 2014	14 enero 2014
7:00 AM	Capacitación Gerencia de Operaciones	Capacitación personal operativo
8:00 AM		
9:00 AM		
10:00 AM		
11:00 AM		
12:00 PM	Receso	
1:00 PM	Capacitación Gerencia de Operaciones	Capacitación personal operativo
2:00 PM		
3:00 PM		
4:00 PM		

Fuente: elaboración propia.

4.3.3.3. Encargado

Como encargado operativo se delegará la responsabilidad al supervisor jefe de taller, quien deberá orientar al personal operativo sobre indicaciones técnicas, tiempos de entrega e inspecciones de calidad.

4.3.3.4. Personal administrativo

Estará involucrado el gerente de operaciones juntamente con un ingeniero de operaciones, para asegurar el cumplimiento de los tiempos de entrega, ejecución de pruebas y ensayos no destructivos, entre otros.

4.3.3.5. Personal operativo

Todo personal operativo que desempeñe tareas con el nuevo proceso de rolado, deberá de recibir la capacitación correspondiente, sobre uso de la máquina, aspectos de seguridad industrial, etc.

5. SEGUIMIENTO

El plan de seguimiento de la implementación del nuevo proceso pretende ejercer como una herramienta de control y monitoreo de la ejecución física del proceso de rolado, valiéndose de indicadores concluyentes que puedan corroborar que la mejora realmente contribuye a los intereses de la empresa.

5.1. Indicadores

En este caso, los indicadores cumplen la tarea de establecer medidas verificables mediante la definición de estándares del proceso de rolado.

5.1.1. Calidad del perfil rolado

La calidad del perfil rolado se mide tomando en cuenta dos aspectos importantes: verificando el radio de curvatura mediante una plantilla y analizando los empalmes de soldadura realizados en el perfil, que sean sometidos al proceso de rolado, mediante un ensayo de deformación.

5.1.1.1. Inspección visual

Dado que el perfil tiene una apariencia totalmente curva, deberá verificarse que el radio de curvatura sea el adecuado para el fin que se ha destinado, ya que algunos de estos elementos son sometidos a tensiones y presiones considerables y no es recomendable cambiar la curvatura de diseño.

La verificación se realiza utilizando una plantilla de lámina que ha sido fabricada con el radio de curvatura exacto, la cual se coloca sobre el perfil rolado en varios puntos a lo largo de toda la circunferencia. La tabla XVIII muestra las tolerancias máximas permitidas en función del radio de curvatura del perfil.

Tabla XVIII. **Tolerancias máximas para roles de perfiles**

TABLA DE TOLERANCIAS MÁXIMAS PARA PERFILES ROLADOS	
Radio de curvatura en metros (r)	Tolerancia máxima (mm)
$r < 1$	± 3 mm
$1 \leq r < 3$	± 5 mm
$r \geq 3$	± 10 mm

Fuente: elaboración propia.

5.1.1.2. Ensayo de deformación

Este ensayo se realiza en aquellos lotes cuyos roles se vean afectados directamente por el proceso de rolado y deberá ser realizado por el operador de soldadura, previo a realizar las juntas de soldadura en los perfiles a rolar.

En una probeta aislada se deberá aplicar el proceso de soldadura adecuado al material, tal y como lo indique el procedimiento de soldadura precalificado para el caso, esta probeta será ensayada por doblez para evaluar el estado de la junta de soldadura, tanto el pase de penetración, como en el pase de presentación.

5.2. Registros

Dado que no es producción en serie, deberá de llenarse las fichas de control y aprobación por cada lote procesado.

5.2.1. Ficha de control

Registra cada lote de piezas para tener control sobre el ingreso del producto al taller de rolado. Es aprobado por la Gerencia de Operaciones y manejado por personal asignado por dicha gerencia.

Figura 42. **Ficha de control de orden de trabajo**

PROYECTOS SERVICIOS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S. A. Orden de trabajo		No.	
		Código del proyecto:	
		Fecha:	
Cantidad	Descripción	Radio de curvatura (m)	Tipo de Perfil
Observaciones			
Responsable		Aprobación	

Fuente: elaboración propia.

5.2.2. Ficha de aprobación

Una vez finalizados los trabajos de rolado del lote completo, se registran en una ficha de aprobación para entrega al cliente, la cual tiene el propósito de asegurar la integridad y la calidad de las piezas y autoriza la salida del producto final para su disposición inmediata. Este documento es aprobado por la Gerencia de Operaciones y es manejado por personal de bodega de producto terminado.

Figura 43. **Ficha de aprobación de calidad**

PROYECTOS SERVICIOS Y MONTAJES INDUSTRIALES, S. A. Orden de trabajo		No.	
		Código del proyecto:	
		Fecha:	
Cantidad	Descripción	Radio de curvatura (m)	Tipo de Perfil
Observaciones			
Responsable		Aprobación	

Fuente: elaboración propia.

5.2.3. Procedimiento correctivo

Cuando una pieza o un lote de piezas presenten disconformidad en el radio de curvatura, se debe aplicar procedimiento correctivo. Este proceso de rectificado inicia con la verificación del radio de curvatura a lo largo de toda la pieza, posteriormente se ajusta la máquina para poder reprocesar el material. En caso de que la disconformidad o deformación no se solucione con el reproceso del material, se reemplazará la zona no conforme con material nuevo.

5.3. Análisis de costos

Presentación de los costos en los que PSMI, S. A. incurre al realizar la actividad de rolado de materiales utilizando el sistema implementado en un lote equivalente a 10 unidades del perfil patrón, además del cuadro comparativo de costos entre la actividad de rolado manual y la actividad de rolado utilizando la máquina roladora de perfiles.

5.3.1. Costos directos

Considerando mano de obra, depreciación de maquinaria, consumo de energía, materiales e insumos, como se observa en las tablas: XIX, XX, XXI y XXII.

Tabla XIX. **Costos de mano de obra directa**

TABLA DE COSTOS DE MANO DE OBRA DIRECTA				
Descripción	Cantidad	Costo/hora	Cantidad de horas	Total
Mecánico industrial	1	Q. 30,00	7	Q. 210,00
Ayudante	1	Q. 20,00	7	Q. 140,00
TOTALES				Q. 350,00

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de depreciación de maquinaria, considerando un valor de salvamento del equipo de Q. 25 000,00.

Tabla XX. **Costos de depreciación de maquinaria**

TABLA DE COSTOS DE DEPRECIACIÓN DE MAQUINARIA				
Descripción	Días	Valor de salvamento	Costo depreciación/día	Total
Roladora de perfiles	1	Q. 25 000.00	Q. 69,44	Q. 69,44
TOTAL				Q. 69,44

Fuente: elaboración propia.

El cálculo de consumo de energía se basa en los KW/H consumidos por el motor eléctrico de la máquina, asumiendo que este se encuentra en funcionamiento una jornada diurna normal de 8 horas.

Tabla XXI. **Consumo de energía**

ESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA				
Descripción	Horas de trabajo	Consumo (Kw/H)	Precio del Kw/H	Total
Roladora de perfiles	7	3,73	Q. 1,97	Q. 51,44
TOTAL				Q. 51,44

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. **Materiales e insumos consumibles**

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
Tubo 2" SCH 40	10	Q. 850,00	Q. 8 500,00
Electrodo (lb)	10	Q. 14,00	Q. 140,00
Discos de corte	15	Q. 18,00	Q. 270,00
Discos de pulir	15	Q. 25,00	Q. 375,00
Cepillos circulares	2	Q. 65,00	Q. 130,00
TOTAL			Q. 9 415,00

Fuente: elaboración propia.

5.3.2. **Costos indirectos**

Considerando mano de obra indirecta y administración, gastos indirectos, combustibles y mantenimiento de equipo, como puede observarse en las tablas XXIII y XXIV.

Tabla XXIII. **Mano de obra indirecta y administración**

TABLA DE COSTOS DE MANO DE OBRA INDIRECTA Y ADMINISTRACIÓN			
Descripción	Costo/hora	Cantidad de hroas	Total
Jefe de taller	Q. 37,50	7	Q. 262,50
Gerente de operaciones	Q. 75,00	7	Q. 525,00
Encargado de compras	Q. 37,50	7	Q. 262,50
TOTALES			Q. 1 050,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla de costos de otros gastos indirectos, combustibles y mantenimiento de equipo.

Tabla XXIV. **Gastos indirectos, combustible y mantenimiento**

Descripción	Precio
Mantenimiento de equipo	Q. 80,00
Combustibles	Q. 150,00
TOTAL	Q. 230,00

Fuente: elaboración propia.

Para el cálculo del mantenimiento del equipo, se determinó que el servicio del motor se realiza una vez al mes y tiene un costo de Q. 2 400,00.

5.3.3. Costos totales

A continuación, en la tabla XXV, se presenta el resumen de costos totales correspondiente al proceso de rolado utilizando la máquina roladora.

Tabla XXV. Resumen de costos totales

COSTOS DIRECTOS	
Mano de obra directa	Q. 350,00
Depreciación de maquinaria	Q. 69,44
Energía eléctrica	Q. 51,44
Materiales e insumos	Q. 9 415,00
SUBTOTAL DE COSTOS DIRECTOS	Q. 9 885,88
COSTOS INDIRECTOS	
Mano de obra indirecta y administración	Q. 1 050,00
Otros gastos indirectos	Q. 230,00
SUBTOTAL DE COSTOS INDIRECTOS	Q. 1 280,00
TOTAL COSTOS POR ROLADO	Q. 11 165,88

Fuente: elaboración propia.

Para poder rolar un lote de 10 unidades roladas de tubos de 2 pulgadas se requieren Q.11 165,88, por lo tanto, el costo unitario es de:

$$CU = \frac{Q. 11 165,88}{10} = Q. 1 116,59/\text{unidad}$$

El costo por unidad rolada es de Q. 1 116,59.

5.3.4. Cuadro comparativo de costos

Se presenta un cuadro comparativo entre los costos en que se incurre con la actividad manual versus los costos utilizando la máquina roladora de perfiles en las tablas XXVI y XXVII.

Tabla XXVI. **Comparativo de costos**

Descripción del costo	Proceso manual	Proceso mecánico
Costos directos		
Mano de obra directa	Q. 3 212,10	Q. 350,00
Depreciación de maquinaria	Q. 148,71	Q. 69,44
Energía eléctrica	N/A	Q. 51,44
Materiales e insumos	Q. 9 415,00	Q. 9 415,00
Subtotal	Q. 12 775,81	Q. 9 885,88
Costos indirectos		
Mano de obra indirecta y administración	Q. 5 353,50	Q. 1 050,00
Otros gastos indirectos	Q. 210,00	Q. 230,00
Subtotal	Q. 5 563,50	Q. 1 280,00
TOTAL	Q. 18 339,31	Q. 11 165,88

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Comparativo de tiempos y costos unitarios**

Descripción	Proceso manual	Proceso mecánico
Costo unitario de fabricación	Q. 1 833,93	Q. 1 116,59
Tiempo por lote fabricado	35,69 horas	7 horas

Fuente: elaboración propia.

Puede apreciarse una reducción considerable tanto del tiempo de trabajo para el lote analizado como de los costos en los que se incurre utilizando el proceso de rolado mediante la máquina roladora de perfiles.

CONCLUSIONES

1. El rolado se define, según la Norma DIN 8582, como el proceso de deformación plástica o permanente que sufre un material tras aplicar sobre él un determinado momento flector. El curvado se efectúa en frío, ya que solo los espesores muy gruesos requieren un calentamiento previo.
2. El elemento mecánico más importante de la máquina es el motorreductor, el cual deberá ser de una potencia de 3 HP, debe generar un torque de 3 850 N*m, con una velocidad de 5,5 rpm. Mientras que los engranajes principales deberán ser de 28 y 18 dientes respectivamente. El eje superior tendrá un diámetro mínimo de 0,19 m y los ejes inferiores un diámetro mínimo de 0,15 m.
3. El área de rolado de perfiles se ha diseñado de tal forma, que no interfiera con las demás actividades de la planta de producción, estará ubicada de manera secuencial para hacer más eficiente la línea de producción.
4. Los costos unitarios en los que se incurre con el nuevo proceso implementado son de Q. 1 116,59, reflejando una mejora de Q. 717,34 por cada unidad producida.
5. El tiempo de rolado por lote con la actividad manual es de 35,69 horas, mientras que utilizando el prototipo de la máquina roladora de perfiles es de 7 horas.

6. El diagrama de proceso muestra gráficamente el flujo que sigue la actividad, mientras que el diagrama de recorrido muestra la ruta que el proceso sigue a lo largo de la planta, hasta llegar al punto de despacho.
7. Tomando en cuenta la reducción significativa con el proceso de rolado implementado, se generan fichas de control de órdenes de trabajo y fichas de control de calidad, para tener documentado cada lote de trabajo realizado, los reprocesos serán evaluados para su reparación o reemplazo.
8. Puede apreciarse una reducción de los costos unitarios en un 39 por ciento respecto a la actividad manual, mientras que el tiempo de entrega se reduce 5 veces respecto a la actividad manual.
9. Los ensayos destructivos aplicados a las uniones de los empalmes de los roles fabricados serán documentados de acuerdo con los procedimientos de control de calidad preestablecidos, estos servirán para calificar al personal involucrado en la actividad.

RECOMENDACIONES

1. Instituir un plan de conservación de activos, que preserve el equipo y maquinaria y además, mantenga la calidad de los productos.
2. Ampliar el alcance de la máquina roladora de perfiles, ya que el presente estudio abarca únicamente tres tipos de perfiles: tubular, angular recto y cuadrado.
3. Asegurar el buen manejo de los desechos producto del proceso implementado, tanto agentes contaminantes como lubricantes de las piezas móviles de la máquina, como de los desperdicios de materiales e insumos utilizados en la actividad.
4. Capacitar constantemente al personal sobre el uso de la máquina, principalmente en la parte de seguridad industrial.
5. Trabajar perfiles de material A-36 o de características muy similares, puesto que al variar las propiedades físicas del material puede verse afectada la calidad del producto final.
6. Mantener al personal que se ha capacitado para esta actividad constante, para poder en un futuro, mejorar aún más los tiempos y la calidad del trabajo.

7. Archivar tanto las fichas de control de producción como las fichas de control de calidad a manera de generar una base de datos que en cierto momento pueda brindar la trazabilidad por cada lote producido y poder respaldar cada uno de los lotes de trabajo realizados.
8. Monitorear constantemente los tiempos de entrega de los lotes durante el proceso productivo, para poder establecer un estándar de producción estable y mantener la eficiencia tanto en los tiempos de entrega como en los costos de producción.
9. Establecer un procedimiento de calificación estándar para el personal, basado en los resultados de las pruebas de control de calidad realizadas a los perfiles rolados durante las pruebas realizadas.


BIBLIOGRAFÍA

1. ASKELAND, Donald R. *Ciencia e ingeniería de los materiales*. 3a ed. México: Thomson, 1998. 790 p.
2. GARCÍA CRIOLLO, Roberto. *Estudio del trabajo: ingeniería de métodos y medición del trabajo*. 2a ed. México: McGraw-Hill, 2005. 187 p.
3. HEARN, E. J. *Resistencia de materiales: diseño de estructuras y máquinas*. 2a ed. México: Interamericana, 1984. 664 p.
4. MCPHERSON, George. *Introducción a máquinas eléctricas y transformadores*. México: Limusa, 1987. 547 p.
5. MORROW, H. *Metals handbook desk edition*. 2a ed. Ohio: American Society for Metals, Metal Park, 1998. 1535 p.
6. NEUER, John; FERNANDEZ COPER, Manuel. *Contabilidad de costos: principios y práctica*, 2a ed. México: Uteha, 1979. 959 p.
7. NORTON, Robert L. *Diseño de maquinaria*. 4a ed. México: McGraw-Hill: Interamericana, 2009. 724 p.
8. SELY, Fred B. *Mecánica analítica para ingenieros*. México: Hispanoamérica, 1959. 461 p.

9. TIMOSHENKO, Stephen. *Elementos de resistencia de materiales*. 2a ed. España: Montaner y Simón, 1966. 404 p.
10. TORRES, Sergio. *Ingeniería de plantas*. Guatemala: Editorial Universitaria USAC, 2008. 178 p.

ANEXOS

Anexo 1. Válvulas direccionales

		3	OLEOHIDRAULICA	3-22-10
07-04	U.S.A.	<i>VALVULAS DIRECCIONALES, MANUALES EN BLOQUE</i>		



1. VALVULAS DIRECCIONALES MANUALES

Para controlar dirección de movimiento de: cilindros y motores hidráulicos en: prensas, grúas, equipos agrícolas.

Características

Accionamiento manual por la palanca (reversible).
Con válvula sobrepresión incorporada,
modelos indicados.






4 Vías
3 Posiciones

Construcción

Monoblock de alta resistencia



RD-513-CB5A4B1

Dígito	Catálogo	Diámetro conexión		Vuelta centro	Capac. gpm	Posición central accesorios	Presión máx.	Tipo centro
		p-t	a-b					
0322201-2	LS-3030-2	3/4"	1/2"	resorte	25	Con relieve hasta 2750 Pat. A y B cerradas Tandem	2750	
0322205-5	RD-513-CB5A4B1	3/4"	3/4"	3 posic.	30	Pat. A y B cerradas con válv. check con relieve 1500-3000psi	3000	
0322210-1	RD-2575-T4 ESA1	3/4"	1/2"	resorte	20	Pat. A y B cerradas centro Tandem con check y relieve 3000 psi	3000	
0322215-2	RD-513 CA-1A4D1	3/4"	3/4"	resorte	30	P / T / A / B cerradas centro cerrado con check sin relieve	3000	
0322220-9	RD-512 CA 5A4B1	3/4"	1/2"	resorte	30	Centro Tandem con check con relieve 1500-3000 psi	3000	

2. ACCESORIOS


Dígito	Catálogo	Descripción
0322222-5	660125002	Kit de válvula RD-2500 para vuelta por resorte
0322225-K	660125001	Kit de válvula RD-2500 para 3 posiciones en enclavamiento.

Para elementos complementarios, consultar "Maestros VIGNOLA componentes de Ingeniería"

VENEZUELA Tel: 28-261111 Fax: 28-261120 Email: vignola@vignola.ci	ARGENTINA Tel: 2-7195287 Fax: 2-7192003 Email: vignolaarg@igade.ri	VIGNOLA	CHILE Tel: 41-206691 Fax: 41-209100 Email: vignola@igade.cl	PARAGUAY Tel: 59-4830067 Fax: 59-483003 Email: vignola@vignola.ci
--	---	----------------	--	--

Fuente: Catálogo del proveedor.

Anexo 2. Válvulas de retención

	3	OLEOHIDRAULICA	3-25-10
07-04	ITALIA		

VÁLVULAS DE RETENCIÓN, ACCIÓN PILOTO
 Controlan flujo inverso en circuitos oleohidráulicos.
 Permiten asegurar la carga en los casos de rotura de
 mangueras en cilindros o motores oleohidráulicos.



Presión al Piloto	Presión de línea
	Razón de pilotaje



1. MONTAJE EN LÍNEA, TIPO ADRL

En cualquier posición, con hilo hembra en ambos extremos.
 Conexión del pilotaje de 1/4" BSP.

Digito	Catálogo	Conexión BSP	Presión máx. Bar	Caudal máx. lt/min.	Razón de Pilotaje
0325499-2	ADRL-10	3/8"	400	30	2,8
0325500-K	ADRL-15	1/2"	350	60	2,7
0325510-7	ADRL-20	3/4"	350	100	2,5
0325520-4	ADRL-32	1 1/4"	350	250	2,3

ADRL



2. MONTAJE EN SUB-BASE, TIPO AGRL

Montaje en sub-base con hilo hembra. Conexión del pilotaje de 1/4"

Digito	Catálogo	Conexión BSP	Presión máx. Bar	Caudal máx. lt/min.	Razón de Pilotaje
0325491-7	AGRL-10	3/8"	250	60	2,8
0325492-5	AGRL-20	3/4"	250	160	2,8
0325493-3	AGRL-32	1 1/4"	250	320	2,5

AGRL

3. SUB-BASES, PARA VALVULAS AGRL


Digito	Catálogo	Válvula	Conexión BSP	Piloto BSP
0325494-1	BA-307	AGRL-10	3/8"	1/4"
0325495-K	BA-502	AGRL-20	3/4"	1/4"
0325496-8	BA-702	AGRL-32	1-1/4"	1/4"

Para elementos complementarios, consultar "Master VIGNOLA componentes de Ingeniería"

VILLARREAL Tel: 35-381111 Fax: 35-381128 Email: vlgvra@vignola.cl	SANTIAGO Tel: 2-7700297 Fax: 2-7700206 Email: vlgsta@vignola.cl		BUCARUANGO Tel: 41-5080597 Fax: 41-508100 Email: vlgboa@vignola.cl	ANTOFAGASTA Tel: 35-450017 Fax: 35-450024 Email: vlgpaa@vignola.cl
--	--	---	---	---

Fuente: Catálogo del proveedor.

Anexo 3. Válvulas de flujo

	3	OLEOHIDRAULICA	3-26-04
07-04	ITALIA	VALVULAS DE CONTROL, REGULADORA / CIERRE / CHEK EN LINEA / ACOPLER RAPIDOS	

1. VALVULAS DE AGUJA DE CIERRE Y REGULADORA DE FLUJO

Dos direcciones.

Uso:

Aceite y Aire.

Poseen anillos coloreados para un claro y rápido ajuste de flujo.
Incluyen tornillo para fijar dicho valor.



Digito	Catálogo	Conexión NPT	Capacidad GPM	Presión Máx. PSI
0326326-6	N400S	1/4"	0 a 5	5000
0326327-4	N600S	3/8"	0 a 8	5000
0326328-2	N800S	1/2"	0 a 15	5000
0326329-0	N1200S	3/4"	0 a 25	5000
0326336-K	N1600S	1"	0 a 40	3000



2. VALVULAS REGULADORAS DE FLUJO UNIDIRECCIONAL

Flujo regulado en un sentido, sentido opuesto, paso total.

Uso:

Aceite y Aire.

Poseen anillos coloreados para un claro y rápido ajuste de flujo.
Incluyen tornillo para fijar dicho valor.

Digito	Catálogo	Conexión NPT	Capacidad GPM	Presión Máx. PSI
0326332-0	F400S	1/4"	0 a 5	5000
0326333-9	F600S	3/8"	0 a 8	5000
0326334-7	F800S	1/2"	0 a 15	5000
0326335-5	N1200S	3/4"	0 a 25	5000
0326336-3	N1600S	1"	0 a 40	3000
0326337-1	F2000S	1 1/4"	0 a 70	3000

3. VALVULAS CHECK EN LINEA

Flujo unidireccional, conexión rosca hembra, cuerpo de acero

Digito	Catálogo	Conexión NPT	Capacidad GPM	Presión Máx. PSI
0325451-8	C400S	1/4"	0 a 5	5000
0325452-6	C600S	3/8"	0 a 8	5000
0325453-4	C800S	1/2"	0 a 15	5000
0325454-2	C1200S	3/4"	0 a 25	5000
0325456-9	C1600S	1"	0 a 40	3000



4. ACOPLER RAPIDOS DE ALTA PRESION

Norma ISO A (Intercambiable con otras marcas).

Factor de seguridad : 4

Terminación: zinc plateado resistente a la corrosión

Digito	Catálogo	Conex.Hilo hembra	Tipo	Presión Máx. PSI
0380811-4	61C6-8F	3/8"	Zoque	4600
0380813-0	61N6-8F	3/8"	Enchufe	4600
0380814-9	61C8-8F	1/2"	Zoque	4600
0380815-7	61N8-8F	1/2"	Enchufe	4600

Ver Lista 3-26-02 por alternativas a válvulas de control



VILMORANO* Tel: 33-351111 / Fax: 33-351128 Email: vilmorano@vignola.it	SANTIAGO Tel: 3-7150325 / Fax: 3-7152036 Email: vignolas@vignola.it	VIGNOLA	MILANO Tel: 41-500050 / Fax: 41-500100 Email: vignola@vignola.it	ARTOVAGATA Tel: 55-450001 / Fax: 55-450008 Email: vignola@vignola.it
---	--	----------------	---	---

Fuente: Catálogo del proveedor.

Anexo 4. Tablas de potencia

TRANSMISIONES POR CADENAS DE RODILLOS

Tabla de Potencias

Potencia (en HP) transmisible por las cadenas de simple hilera, en función de la cantidad de dientes del piñón y de la velocidad (en r.p.m.) a que trabaja el mismo.

RPM del Piñón	Paso 3/8"					Paso 1/2" x 5/16"					Paso 5/8"				
	Veloc. Max 3900 RPM					Veloc. Max 3000 RPM					Veloc. Max 2000 RPM				
	Dientes					Dientes					Dientes				
	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23
50	0.14	0.15	0.17	0.19	0.20	0.30	0.40	0.45	0.50	0.55	0.55	0.60	0.66	0.73	0.80
150	0.35	0.40	0.45	0.50	0.55	1	1.10	1.20	1.30	1.45	1.40	1.60	1.80	2	2.20
250	0.60	0.65	0.75	0.85	0.90	1.45	1.65	1.85	2.05	2.25	2.20	2.50	2.80	3.10	3.40
400	0.90	1	1.10	1.25	1.35	2.30	2.45	2.70	3	3.30	3.20	3.60	4.10	4.50	4.90
600	1.30	1.40	1.55	1.75	1.90	3	3.30	3.70	4.10	4.50	4.30	4.80	5.40	5.90	6.50
950	1.65	1.90	2.15	2.40	2.60	4	4.45	4.95	5.50	6	5.40	6.20	7	7.70	8.40
1500	2.25	2.50	2.80	3.10	3.40	4.80	5.40	6	6.70	7.30	6.10	6.90	7.70	8.50	9.25
2000	2.60	2.80	3.15	3.50	3.80	5	5.50	6.20	7	7.50	6.10	6.90	7.70	8.50	9.25
2500	2.70	3	3.30	3.70	4	5	5.50	6.20	7	7.50					
3000	2.70	3	3.30	3.70	4	5	5.50	6.20	7	7.50					
3500	2.70	3	3.30	3.70	4										

RPM del Piñón	Paso 3/4"					Paso 1"					Paso 1 1/4"				
	Veloc. Max 1700 RPM					Veloc. Max 1250 RPM					Veloc. Max 850 RPM				
	Dientes					Dientes					Dientes				
	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23
50	0.90	1	1.10	1.25	1.35	2,40	2,85	3,05	3,40	3,70	4,10	4,75	5,30	5,90	6,45
100	1.60	1.85	2.10	2.30	2.50	4,50	5,10	5,70	6,30	6,85	7,70	8,70	9,80	1,80	11,80
200	3	3,30	3,70	4,15	4,50	8	9	10	11	12,10	13	15	16,80	18,60	20,40
400	4,90	5,60	6,30	6,90	7,60	13	14,80	16,50	18,30	20	20,60	23,50	26,20	29	31,60
600	6,50	7,40	8,30	9,10	10	15,80	18	20,60	22,40	24,50	23,40	26,50	29,70	33	36
950	7,70	8,70	9,70	10,80	11,80	17	20	23	25	27					
1500	8	9	10	11	12										
1700	8	9	10	11	12										

RPM del Piñón	Paso 1 1/2"					Paso 1 3/4"					Paso 2"				
	Veloc. Max 700 RPM					Veloc. Max 550 RPM					Veloc. Max 450 RPM				
	Dientes					Dientes					Dientes				
	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23	15	17	19	21	23
30	4,50	5	6	7	7,50	5,80	6	7,50	8,50	10	9,50	11	12,40	13,70	15
75	11	12,70	14	15,50	17	16	17,80	20	22	24	20	23,30	26	29	31,50
175	22	24	26	29	32	26	31	35	38	42	40	45	50	55	60
250	25	29	33	36	39	33	38	44	48	52	46	53	59	66	72
400	32	37	41	45	49	43	47	51	58	63	57	65	72	79	86
550	36	40	45	49	53	46	53	58	64	70					
700	38	42	47	51	55										

RPM del Piñón	Paso 2 1/2"				
	Veloc. Max 350 RPM				
	Dientes				
	15	17	19	21	23
30	20	23	25,50	28,50	31
70	43	46	51	57	62
140	68	74	83	91	100
200	73	81	91	100	110
260	82	90	100	110	120
300	82	90	100	110	120
350	82	90	100	110	120

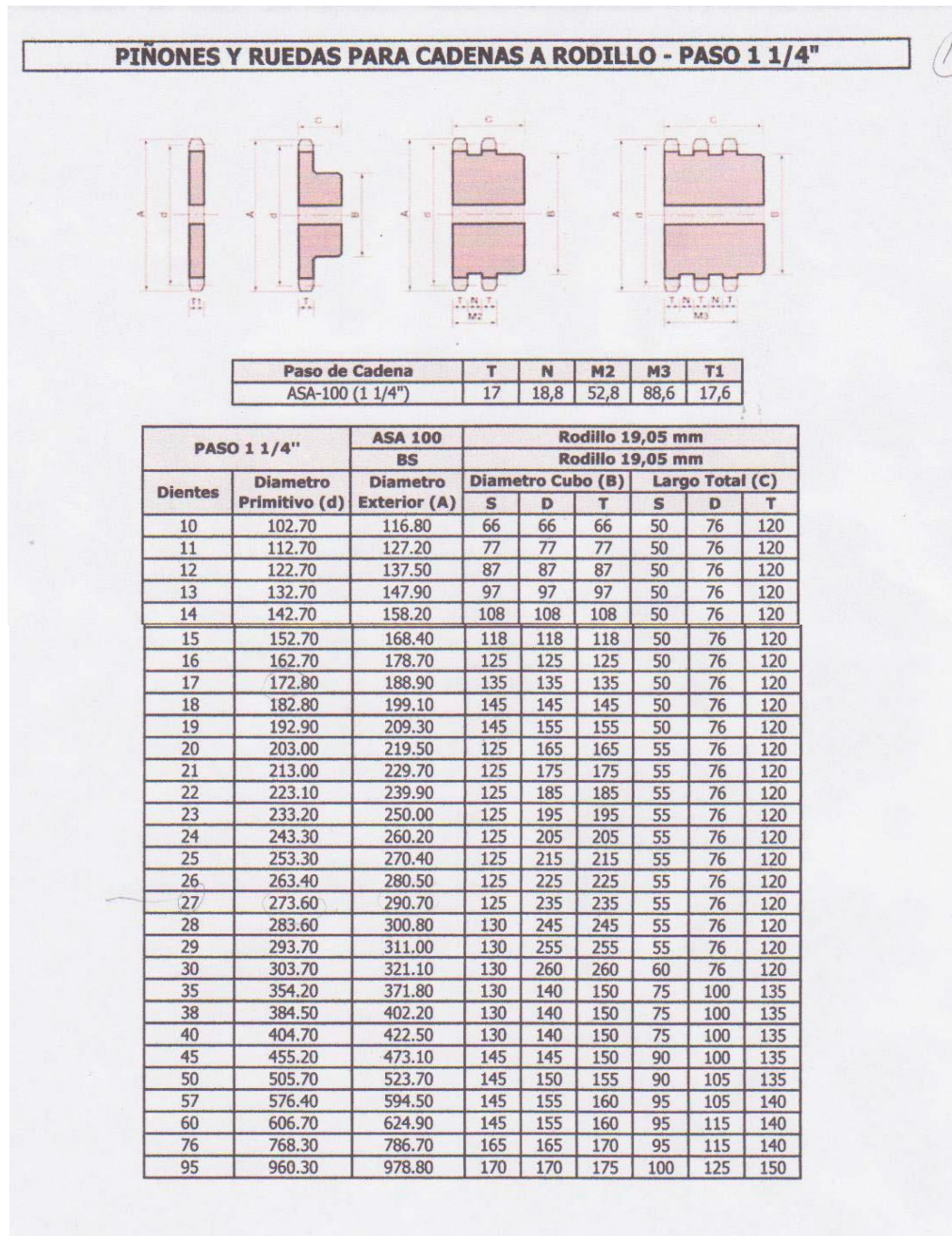
Nota: a) La potencia transmisible por las cadenas de dos o mas hileras, es dos o mas veces mayor que la de simple hilera.

b) En las tablas precedentes figuran valores de potencias para piñones de 15, 17, 19, 21 o 23 dientes. En caso de ser otra la cantidad de dientes, considerar la potencia del piñón inmediato inferior.

c) Para las velocidades extremadamente bajas elegir la cadena por su resistencia a la rotura sin tener en cuenta la potencia. La carga de rotura debe ser como minimo siete veces mayor que la carga de trabajo.

Fuente: Catálogo del proveedor.

Anexo 5. Tablas de piñones y ruedas



Fuente: Catálogo del proveedor.

Anexo 6. Catálogo de motorreductor

R..DR
R..DR.. [kW]



9

P_m [kW]	n_a [1/min]	M_a [Nm]	i	$F_{Ra}^{(1)}$ [N]	SEW f_B		m [kg]			
2.2	1.9	10100	730	26600	0.80					
	2.2	8670	629	51100	0.90					
	2.5	7790	560	53800	1.05					
	2.9	6760	490	55800	1.20					
	3.3	5900	428	57200	1.35	R	137 R77	DRS 90L4	300	285
	3.7	5300	381	58000	1.50	RF	137 R77	DRS 90L4	325	285
	4.3	4500	323	59000	1.80	RM	137 R77	DRS 90L4	435	285
	4.8	4050	291	59500	2.0					
	5.5	3540	255	59900	2.3					
	6.3	3100	223	60300	2.6					
	4.3	4480	323	28400	0.95	R	107 R77	DRS 90L4	215	285
	4.9	3950	285	31300	1.10	RF	107 R77	DRS 90L4	220	285
	5.5	3490	253	33200	1.25	RM	107 R77	DRS 90L4	310	285
	6.5	2960	214	35100	1.45					
	4.3	4570	325	27900	0.95	R	107 R77	DRS 90L4	210	285
						RF	107 R77	DRS 90L4	215	285
						RM	107 R77	DRS 90L4	305	285
	6.7	2900	209	21600	1.05	R	97 R57	DRS 90L4	145	285
						RF	97 R57	DRS 90L4	160	285
						RM	97 R57	DRS 90L4	210	285
	3.1	6680	222.60*	55900	1.20					
	3.7	5660	188.45	57500	1.40					
	4.0	5230	174.40*	58100	1.55	R	137	DV 132S8	295	279
	4.5	4690	156.31	58800	1.70	RF	137	DV 132S8	320	280
	5.0	4240	141.12*	59300	1.90					
	5.5	3850	128.18	59600	2.1					
	6.2	3410	113.72	60000	2.3	R	137	DV 132S8	295	279
	6.8	3100	103.20*	60300	2.6	RF	137	DV 132S8	320	280
	4.6	4540	203.16	28100	0.95					
	5.5	3850	172.34	31700	1.10	R	107	DV 112M6	190	277
	5.9	3550	158.68	33000	1.20	RF	107	DV 112M6	195	278
	6.6	3170	141.83	34400	1.35					
	5.6	3770	251.15	32100	1.15	R	107	DRS 90L4	180	277
	6.1	3450	229.95	33400	1.25	RF	107	DRS 90L4	185	278
	6.9	3050	203.16	34800	1.40	RM	107	DRS 90L4	270	278
	8.1	2590	172.34	36100	1.65					
	8.8	2380	158.68	36300	1.80					
	9.9	2130	141.83	36600	2.0	R	107	DRS 90L4	180	277
	11	1920	127.68	36900	2.2	RF	107	DRS 90L4	185	278
	12	1740	115.63	37000	2.5	RM	107	DRS 90L4	270	278
	14	1540	102.53	37200	2.8					
	15	1390	92.70	37300	3.1					
	6.5	3250	216.28	3580	0.90	R	97	DRS 90L4	120	275
	7.5	2800	186.30	22300	1.05	RF	97	DRS 90L4	135	276
	8.2	2550	170.02	23800	1.20	RM	97	DRS 90L4	190	276
	9.3	2260	150.78	25300	1.35					
	11	1900	126.75	26800	1.60					
	12	1750	116.48	27300	1.70					
	14	1550	103.44	27600	1.95					
	15	1390	92.48	27800	2.2	R	97	DRS 90L4	120	275
	17	1250	83.15	28000	2.4	RF	97	DRS 90L4	135	276
	19	1080	72.17	28100	2.8	RM	97	DRS 90L4	190	276
	21	980	65.21	27700	3.1					
	23	900	59.92	27100	3.3					
	26	800	53.21	26200	3.8					
	29	715	47.58	25300	4.2					
	11	1880	124.97	8830	0.85					
	12	1780	118.43*	15100	0.85	R	87	DRS 90L4	79	272
	14	1560	103.65	16900	1.00	RF	87	DRS 90L4	86	273
	15	1400	93.38	17900	1.10	RM	87	DRS 90L4	115	273
	17	1230	81.92	18800	1.25					
	19	1090	72.57	19500	1.40					
	22	950	63.68*	20000	1.60					
	23	910	60.35*	20000	1.70					
	27	795	52.82	20000	1.95	R	87	DRS 90L4	79	272
	29	715	47.58	20000	2.2	RF	87	DRS 90L4	86	273
	34	625	41.74	19900	2.5	RM	87	DRS 90L4	115	273
	38	555	36.84*	19200	2.8					
	43	490	32.66*	18600	3.2					

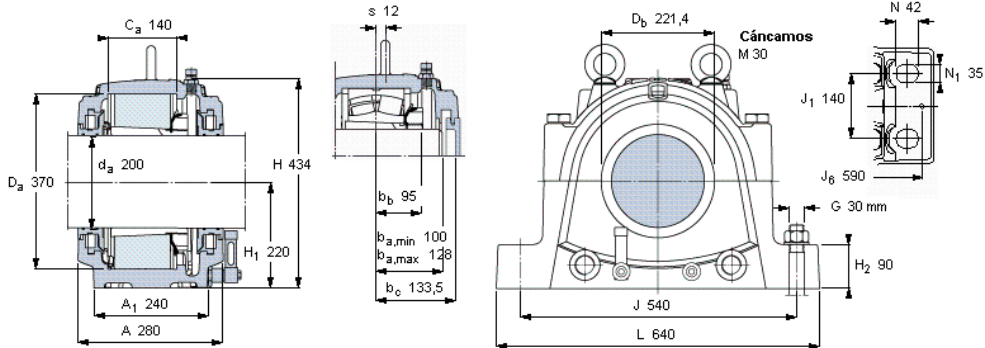
9

Fuente: Catálogo del proveedor.

Anexo 7. Soportes y rodamientos

Soportes de pie de dos piezas, serie SNL de gran tamaño, para rodamientos sobre manguito de fijación, con obturaciones de aceite, soportes para ejes métricos

Eje d_a	Rodamientos adecuados (diseño básico)		Soporte Dimensiones principales				Masa kg	Designaciones Soporte completo con obturaciones para rodamiento de rodillos a rótula	Rodamiento CARB
	Rodamiento de rodillos a rótula	Rodamiento CARB	A	L	H	H_1			
mm	-	-	mm	-	-	-	-	-	-
200	23144 K	C 3144 K	290	640	434	220	138	SNL 3144 TURT	SNL 3144 TURA



Designaciones para el pedido

Soporte con dos obturaciones

para rodamiento de rodillos a rótula

SNL 3144 TURT

para rodamiento CARB

SNL 3144 TURA

Soporte con una obturación y una tapa lateral

para rodamiento de rodillos a rótula

SNL 3144 ATURT

para rodamiento CARB

SNL 3144 ATURA

Rodamientos y accesorios SKF adecuados

Rodamiento

23144 CCK/W33

C 3144 K

Manguito de fijación

OH 3144 H

OH 3144 HTL

Anillo de fijación

2 FRB 10/370

2 FRB 10/370

Obturación de repuesto

TSD 3144 U

Tapa lateral de repuesto

ETS 44 R

Nivel de aceite [mm]

(desde la base del soporte)

para rodamiento de rodillos a rótula

min máx

62 71

para rodamiento CARB

56 70

Tornillos de la tapa

Tamaño [mm]

M 24x160

Par de apriete

350

recomendado [Nm]

Cargas máx. permisibles [kN]

F_{120° 760

F_{150° 440

F_{180° 380

Tornillos de fijación adecuados

Tamaño [mm]

30

Tamaño [in.]

1 1/4

Par de apriete

1310

recomendado [Nm]

Orificios

Diámetro (máx)

20

Distancia del centro J_6

590

Cargas de rotura, soporte, kN

P_{0° 3100

P_{55° 4000

P_{90° 1900

P_{120° 1400

P_{150° 1300

P_{180° 1600

P_a 1000

El límite para P_{0° sólo debe tenerse en cuenta si el soporte no está apoyado totalmente sobre su base

180° 150°

120°

90°

55°

Fuente: Catálogo del proveedor.

