



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO  
DE LAMINADO Y RECOLECCIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
MECATRÓNICA**

**ANDREA ELIZABETH MERA CHICAIZA**

**DIRECTOR: ING. LUIS HIDALGO. MSC**

**Quito, Diciembre, 2015**

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2015  
Reservados todos los derechos de reproducción

## DECLARACIÓN

Yo **Andrea Elizabeth Mera Chicaiza**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Andrea Elizabeth Mera Chicaiza

C.I 180344019-5

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LAMINADO Y RECOLECCIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS**”, que, para aspirar al título de **Ingeniera Mecatrónica** fue desarrollado por **Andrea Mera**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.



---

Andrea Elizabeth Mera Chicaiza

C.I 180344019-5

## **DEDICATORIA**

A la luz de mi vida, este y todos los logros que alcance en la vida serán dedicados a mi hija, por darme la fuerza que necesito para salir adelante, por su sonrisa diaria, sus palabras de cariño, por enseñarme lo verdaderamente importante, por amarme y enseñarme a amar, por dormirse temprano para que pueda estudiar, por cada día que supo entender que tenía que estudiar y no podía salir a jugar, para ella mi vida entera.

## **AGRADECIMIENTO**

Debo agradecer principalmente a Dios por darme la vida y con ella la oportunidad de estudiar, por darme sabiduría y fortaleza para salir adelante día a día.

A mis dos madres Sylvia Morey Mera Chicaiza y Ninfa Domitila Chicaiza Alvarez por su dedicación y entrega incondicional, por ser mis ejemplos de bondad, tenacidad, fortaleza y virtud, por enseñarme a volar y acompañarme en cada reto que he asumido en mi vida, por jamás dejarme caer ante los obstáculos de la vida, por ser ellas y solo ellas los rostros que veo en cada amanecer.

A Luis Francisco Chicaiza Alvarez por ser el único padre que he conocido, por darme la certeza de que siempre estará a mi lado con su cariño y consejo, por ser mi apoyo incondicional.

A mis tíos por su cariño y apoyo, especialmente a Washington Mera por ser mi ejemplo de honestidad y responsabilidad en la vida laboral, por permitirme aprender y formarme como ingeniera y persona.

A toda la familia Villareal Ojeda por la acogida brindada durante el desarrollo del presente proyecto especialmente a Cristhian por compartir esta experiencia conmigo, por el gran equipo que formamos, por los buenos y malos momentos pues con todos ellos aprendimos y crecimos como personas.

También debo dar las gracias a mi director Msc. Luis Hidalgo por su tiempo y dedicación.

A mis amigos que han compartido mi vida estudiantil, y han colaborado de una u otra forma en este trabajo.

**FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

<b>DATOS DE CONTACTO</b>	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	180344019-5
<b>APELLIDO Y NOMBRES:</b>	MERA ANDREA ELIZABETH
<b>DIRECCIÓN:</b>	Pedro Brunning S1-72 y Mariscal Sucre
<b>EMAIL:</b>	andreita1203ma@hotmail.com
<b>TELÉFONO FIJO:</b>	2075597
<b>TELÉFONO MOVIL:</b>	0984248002

<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TITULO:</b>	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LAMINADO Y RECOLECCIÓN DE BOTELLAS PLÁSTICAS
<b>AUTOR O AUTORES:</b>	MERA CHICAIZA ANDREA ELIZABETH
<b>FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>	8 DE DICIEMBRE DEL 2015
<b>DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:</b>	ING. LUIS HIDALGO. MSC
<b>PROGRAMA</b>	PREGRA <input checked="" type="checkbox"/> POSGRA <input type="checkbox"/>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO MECATRÓNICO
<b>RESUMEN:</b>	<p>El presente trabajo se enfocó en la automatización del proceso de laminado en lazo cerrado de botellas de plástico PET, proceso que hasta hoy solo se realiza en industrias que laminan cantidades grandes de este material, dicho proceso excluye a usuarios y consumidores de líquidos que estas botellas contienen pues los encargados de su entrega (en minoreo) son las personas que separan desechos o semejantes. El propósito fue brindar una opción al consumidor para que pueda realizarlo directamente, mediante un sistema automático de laminación de botellas que cuenta con un conjunto de</p>

	<p>subsistemas de: rodillos laminadores, conteo de botellas ya laminadas y alerta de saturación de almacenamiento mediante el envío de un mensaje de texto. Fue necesaria una investigación de campo para recolectar datos sobre las botellas que serán laminadas. Posteriormente se realizó una descripción de la metodología mecatrónica de “National Instrument” ya que esta es la más adecuada para implementar, se analizaron los requerimientos del proyecto, los materiales utilizados, así como también el cálculo de todos los elementos. La puesta en marcha fue dividida en las siguientes etapas: diseño, construcción, implementación, simulación y finalmente la construcción del prototipo. El sistema de laminación permitió obtener láminas de plástico a partir de botellas PET de 0.56” de espesor en promedio, con una capacidad de almacenamiento de 4.4 lb, listas para ser recicladas, además el sistema probó ser eficiente para el propósito de reciclaje al implementar únicamente un par de rodillos laminadores, con lo que se logró reducir los costos de fabricación.</p>
<p><b>PALABRAS CLAVES</b></p>	<p>Laminación, rodillos de laminación, botellas PET, reciclaje.</p>
<p><b>ABSTRACT:</b></p>	<p>This work was focused on the lamination process of PET plastic bottles, a process which until now only offered it in industries and large quantities of this material, in which users and consumers of these bottles fluids contain are not involved because the responsible for its delivery are the people who separate waste or similar. The purpose of this work was to give a</p>

	<p>recycling option that consumers can make directly through an automatic rolling bottle system that has a reliable control input bottles to the rolls, a laminated bottle counter and a storage saturation notification via text message that also allows to lock the system. A field research was needed to collect some data on the bottles that will be laminated.</p> <p>Subsequently, a description of the "National Instrument" mechatronic methodology (that was the one that was used in the project requirements) were analyzed, the materials used, as well as the calculation of all elements was performed.</p> <p>The implementation of the project was divided into design, construction and implementation of the system and also the respective simulations before making its construction. The laminating system yielded plastic sheets from PET bottles 0.56" thick on average, with a storage capacity of 4.4 lb, ready for recycling, also the system proved to be efficient for the purpose of recycling to implement only a pair of laminating rollers, which managed to reduce manufacturing costs.</p>
<b>KEYWORDS</b>	<b>lamination, lamination rolls, PET bottles, recycling.</b>

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



f: \_\_\_\_\_

MERA CHICAIZA ANDREA ELIZABETH

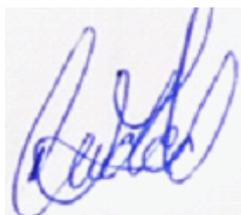
180344019-5

**DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **MERA CHICAIZA ANDREA ELIZABETH**, C.I 180344019-5 autora del proyecto titulado: **Diseño y construcción de un sistema automático de laminado y recolección de botellas plásticas**, previo a la obtención del título de **INGENIERO MECATRÓNICO** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 09 de Agosto del 2016



f: \_\_\_\_\_

**MERA CHICAIZA ANDREA ELIZABETH**

180344019-5

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN</b> .....	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>x</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.3 ALCANCE.....	3
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 BOTELLAS PLÁSTICAS.....	4
2.1.1 Politereftalato de etileno.....	4
2.2 LAMINACIÓN.....	9
2.2.1 Consideraciones generales en el proceso de laminación.....	9
2.2.2 Laminado de botellas plásticas.....	10
2.2.3 Laminadores y distribución de rodillos.....	10
2.2.4 Diseño de rodillos laminadores.....	10
2.3 DISEÑO DE EJES.....	15
2.3.1 Procedimiento de diseño.....	15
2.3.2 Fuerzas que ejercen los elementos sobre los ejes.....	16
2.3.3 Valores preliminares de diseño para $K_t$ .....	16
2.3.4 Factores de concentración de esfuerzos para ejes.....	18
2.4 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS: CHUMACERAS.....	20
2.4.1 Procedimiento para seleccionar un rodamiento.....	20
2.4.2 Rodamiento y chumacera.....	21
2.5 ACOUPLE MOTOR – EJE.....	22
2.5.1 Acoplamientos de eje flexible.....	22
2.5.2 Selección y montaje.....	22
2.6 ENGRANES RECTOS.....	23
2.6.1 Diseño geométrico de engrane.....	24
2.6.2 Fuerza sobre los dientes del engrane.....	29
2.7. BASTIDOR.....	30
2.7.1 Diseño de vigas.....	31

2.7.2 Diseño de columnas.....	33
2.8 MOTORES ELÉCTRICOS.....	35
2.8.1. Factores de selección de motores.....	36
2.8.2 Motores d.c.....	36
2.9 SENSORES.....	37
2.9.1 Sensores inteligentes.....	37
2.9.2 Terminología del funcionamiento.....	38
2.9.3 Tipos de sensores de luz.....	39
2.9.4 Sensores de corriente basados en efecto hall.....	39
2.9.5 Tipos de señales.....	39
2.9.6 Conversor Analógico Digital.....	41
2.9.7 Ventajas de la señal digital.....	41
2.10 MÓDULO GSM.....	42
2.11 PUENTE RECTIFICADOR.....	43
2.11.1 Rectificador de onda completa tipo puente.....	43
2.12 PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS.....	45
2.12.1 Protección contra cortocircuitos con breakers.....	45
2.13 SISTEMAS DE CONTROL.....	46
2.13.1 Sistema de control de lazo cerrado.....	46
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>49</b>
3.1 SISTEMA MECATRÓNICO.....	49
3.2 GENERALIDADES DE LA MÁQUINA.....	50
3.2.1 Sistema mecánico.....	50
3.2.2 Sistema eléctrico y electrónico.....	52
3.2.3 Sistema de control.....	53
3.3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.....	54
3.3.1 Transmisión de movimiento.....	54
3.3.2 Facilidad de Operación.....	54
3.3.3 Montaje y Desmontaje.....	54
3.3.4 Facilidad de Mantenimiento.....	54
3.3.5 Tamaño.....	55
3.4. RESTRICCIONES DE LA MÁQUINA.....	55

3.4.1 Dimensiones.....	55
3.4.2 Movimiento de rodillos laminadores.....	55
3.4.3 Ubicación de la máquina.....	56
3.4.4 Sistema de seguridad.....	56
3.4.5 Tablero Eléctrico.....	56
3.5. OBJETIVOS PRINCIPALES DE LA MÁQUINA.....	56
3.6. VARIABLES INDEPENDIENTES .....	56
3.7. DESARROLLO DEL CONCEPTO DE LA MÁQUINA.....	57
3.7.1 Alternativas de diseño.....	57
3.7.2 Análisis de alternativas por criterios ponderados.....	59
3.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	62
3.9. FORMALIDAD DE LAS PRUEBAS.....	62
<b>4. DISEÑO.....</b>	<b>63</b>
4.1 DISEÑO DE CONTROL.....	63
4.2 DISEÑO DE RODILLOS.....	64
4.3 DISEÑO DE EJE.....	72
4.4 SELECCIÓN DE RODAMIENTO.....	75
4.5 SELECCIÓN DE ACOPLAMIENTO.....	77
4.6 DISEÑO DE GEOMETRÍA DEL ENGRANE.....	77
4.7 DISEÑO DE BASTIDOR.....	79
4.7.1 Cálculo de vigas.....	79
4.7.2 Diseño de columnas.....	81
4.8 SELECCIÓN DEL MOTOR.....	82
4.9 SELECCIÓN DE SENSORES.....	83
4.9.1 Sensor de luz.....	83
4.9.2 Sensor de corriente.....	83
4.10 DISEÑO DE PUENTE RECTIFICADOR.....	84
4.11 SELECCIÓN DE BRAKER DE PROTECCIÓN.....	84
4.12 ARQUITECTURA DE CONTROL.....	84
4.12.1 Programación de proyecto comentada.....	84
<b>5. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS.....</b>	<b>90</b>
5.1 CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO.....	90

5.2. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	89
5.3 INFORMATIVO DE LA MÁQUINA.....	94
5.4 PRUEBAS REALIZADAS A LA MÁQUINA RECICLADORA.....	97
5.5 ANÁLISIS DE VENTA DE BEBIDAS EMBOTELLADAS EN EL BAR DEL CAMPUS OCCIDENTAL DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL.....	100
5.6 ANÁLISIS DE TIEMPO DE LAMINADO.....	100
5.7 PRESUPUESTO DEL SISTEMA.....	101
5.8 ANÁLISIS DE INGRESO BRUTO MENSUAL.....	101
5.9 FLUJO DE CAJA PROYECTADA DEL PRIMER AÑO.....	102
5.10 FLUJO DE CAJA NETA A 5 AÑOS.....	102
5.11 VALOR ACTUAL NETO.....	103
5.12 TASA INTERNA DE RETORNO.....	103
<b>6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
6.1 CONCLUSIONES.....	104
6.2 RECOMENDACIONES .....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Espinas de pescado sobre la escases de maquinaria para reciclaje de botellas PET.....	2
<b>Figura 2:</b> Preformas de botellas antes de ser procesadas.....	4
<b>Figura 3:</b> Recuperadora / peletizadora de PET Modelo VM-80 PET .....	8
<b>Figura 4:</b> Esquema de disminución de espesor de la lámina por efecto de los rodillos .....	9
<b>Figura 5:</b> Par de rodillos.....	10
<b>Figura 6:</b> Factores para cálculo de potencia .....	11
<b>Figura 7:</b> Elemento general de esfuerzos en dos dimensiones .....	12
<b>Figura 8:</b> Cuñeros.....	17
<b>Figura 9:</b> Chaflanes en ejes.....	18
<b>Figura 10:</b> Acoplamiento Oldham.....	22
<b>Figura 11:</b> Geometría del engranaje.....	28
<b>Figura 12:</b> Fuerzas sobre los dientes de un engrane .....	29
<b>Figura 13:</b> Direcciones de las fuerzas sobre engranes rectos acoplados.	30
<b>Figura 14:</b> Diagrama de esfuerzos .....	32
<b>Figura 15:</b> Motor de cd.....	37
<b>Figura 16:</b> Señales .....	41
<b>Figura 17:</b> Puente rectificador.....	44
<b>Figura 18:</b> Ruta de la región positiva.....	44
<b>Figura 19:</b> Ruta en la región negativa: onda resultante .....	45
<b>Figura 20:</b> Elementos de un sistema de control de lazo cerrado.....	48
<b>Figura 21:</b> Metodología mecatrónica.....	49
<b>Figura 22:</b> Proceso de laminación en el proyecto.....	51
<b>Figura 23:</b> Prensa hidráulica.....	58
<b>Figura 24:</b> Sistema con rodillos laminadores.....	59
<b>Figura 25:</b> Flujograma de procesos en laminadora.....	63
<b>Figura 26:</b> Espesor de rodillo laminador.....	64
<b>Figura 27:</b> Cálculo de esfuerzos en MDSolid.....	67
<b>Figura 28:</b> Cálculo de esfuerzos del diente en MDSolid.....	71

<b>Figura 29:</b> Resistencia a la fatiga en función de la resistencia a la tensión	72
<b>Figura 30:</b> Eje.....	73
<b>Figura 31:</b> Cálculo de esfuerzos de vigas en MDSolid.....	79
<b>Figura 32:</b> Modelamiento del bastidor en MDSolid.....	82
<b>Figura 33:</b> Ares de puente de diodos.....	84
<b>Figura 34:</b> Isis de puente de diodos.....	85
<b>Figura 35:</b> Máquina construida.....	89
<b>Figura 36:</b> Motor.....	90
<b>Figura 37:</b> Sensor ACS712.....	90
<b>Figura 38:</b> Sensor TCRT5000.....	91
<b>Figura 39:</b> Transformador AC-DC KBPC5002.....	91
<b>Figura 40:</b> Arduino Mega.....	92
<b>Figura 41:</b> Módulo de relés.....	92
<b>Figura 42:</b> Circuito de control.....	93
<b>Figura 43:</b> Pruebas del circuito de control.....	93
<b>Figura 44:</b> Laminadora construida.....	94
<b>Figura 45:</b> Despiece frontal de la máquina.....	95
<b>Figura 46:</b> Despiece posterior de la máquina.....	96
<b>Figura 47:</b> Muestra antes de ser laminada.....	98
<b>Figura 48:</b> Conjunto de botellas.....	98
<b>Figura 49:</b> Muestra luego de ser laminada.....	98

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características generales del PET T.....	6
<b>Tabla 2.</b> Cuadro criterios ponderados.....	60
<b>Tabla 3.</b> Tabla de selección de alternativas del proyecto.....	61
<b>Tabla 4.</b> Cuadro de selección de alternativa por criterios ponderados.....	61
<b>Tabla 5.</b> Factores de carga radial y de empuje, para rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda.....	75
<b>Tabla 6.</b> Factores por duración y velocidad, para rodamientos de bolas y de rodillos.....	76
<b>Tabla 7.</b> Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad.....	76
<b>Tabla 8.</b> Especificaciones Técnicas. Perfiles Estructurales: “Ángulos Doblados” de IPAC Sección L ángulos de patas iguales.....	80
<b>Tabla 9.</b> Datos técnicos de la máquina laminadora.....	95
<b>Tabla 10.</b> Cotización de la máquina recicladora.....	97
<b>Tabla 11.</b> Pruebas de validación del sistema.....	99
<b>Tabla 12.</b> Ventas de bebidas embotelladas y valor de retorno.....	100
<b>Tabla 13.</b> Ingresos y egresos mensuales posteriores al proyecto.....	101
<b>Tabla 14.</b> Flujo de caja proyectada.....	102
<b>Tabla 15.</b> Flujo de caja neta.....	102

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1:</b> Especificaciones Técnicas. Perfiles Estructurales: “Ángulos Doblados” .....	110
<b>Anexo 2:</b> Especificaciones Técnicas. Tubo Mecánico Redondo.....	111
<b>Anexo 3:</b> Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados....	112
<b>Anexo 4:</b> Datos para seleccionar rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad.....	114
<b>Anexo 5:</b> Propiedades de las áreas.....	117
<b>Anexo 6:</b> Características del sensor ACS712.....	118
<b>Anexo 7:</b> Características del sensor TCRT5000.....	120
<b>Anexo 8:</b> Plano ensamblaje laminadora.....	122
<b>Anexo 9:</b> Plano del eje.....	123
<b>Anexo 10:</b> Plano del rodillo.....	124
<b>Anexo 11:</b> Plano de la placa lateral.....	125
<b>Anexo 12:</b> Plano de la placa ducto.....	126
<b>Anexo 13:</b> Plano del soporte de rodillos.....	127
<b>Anexo 14:</b> Plano de la placa superior.....	128
<b>Anexo 15:</b> Plano del bastidor.....	129
<b>Anexo 16:</b> Plano del riel.....	130
<b>Anexo 17:</b> Plano del cajón.....	131
<b>Anexo 18:</b> Plano del soporte alto de rodillo.....	132
<b>Anexo 19:</b> Plano del soporte bajo de rodillo.....	133
<b>Anexo 20:</b> Plano del soporte de motor.....	134

## RESUMEN

El presente trabajo se enfocó en la automatización del proceso de laminado en lazo cerrado de botellas de plástico PET, proceso que hasta hoy solo se realiza en industrias que laminan cantidades grandes de este material, dicho proceso excluye a usuarios y consumidores de líquidos que estas botellas contienen pues los encargados de su entrega (en minoreo) son las personas que separan desechos o semejantes. El propósito fue brindar una opción al consumidor para que pueda realizarlo directamente, mediante un sistema automático de laminación de botellas que cuenta con un conjunto de subsistemas de: rodillos laminadores, conteo de botellas ya laminadas y alerta de saturación de almacenamiento mediante el envío de un mensaje de texto. Fue necesaria una investigación de campo para recolectar datos sobre las botellas que serán laminadas. Posteriormente se realizó una descripción de la metodología mecatrónica de “National Instrument” ya que esta es la más adecuada para implementar, se analizaron los requerimientos del proyecto, los materiales utilizados, así como también el cálculo de todos los elementos. La puesta en marcha fue dividida en las siguientes etapas: diseño, construcción, implementación, simulación y finalmente la construcción del prototipo. El sistema de laminación permitió obtener láminas de plástico a partir de botellas PET de 0.56” de espesor en promedio, con una capacidad de almacenamiento de 4.4 lb, listas para ser recicladas, además el sistema probó tener alto rendimiento para el propósito de reciclaje al implementar únicamente un par de rodillos laminadores, con lo que se logró reducir los costos de fabricación.

## **ABSTRACT**

This work was focused on the lamination process of PET plastic bottles, a process which until now only offered it in industries and large quantities of this material, in which users and consumers of these bottles fluids contain are not involved because the responsible for its delivery are the people who separate waste or similar. The purpose of this work was to give a recycling option that consumers can make directly through an automatic rolling bottle system that has a reliable control input bottles to the rolls, a laminated bottle counter and a storage saturation notification via text message that also allows to lock the system. A field research was needed to collect some data on the bottles that will be laminated. Subsequently, a description of the "National Instrument" mechatronic methodology (that was the one that was used in the project requirements) were analyzed, the materials used, as well as the calculation of all elements was performed. The implementation of the project was divided into design, construction and implementation of the system and also the respective simulations before making its construction. The laminating system yielded plastic sheets from PET bottles 0.56" thick on average, with a storage capacity of 4.4 lb, ready for recycling, also the system proved to be efficient for the purpose of recycling to implement only a pair of laminating rollers, which managed to reduce manufacturing costs.

## **1. INTRODUCCIÓN**

La acumulación de desechos en las ciudades ha crecido de forma exponencial, por lo que es urgente buscar soluciones tecnológicas a tal problema.

El éxito de la automatización está en realizar el mismo trabajo, mejorar los resultados y optimizar tanto tiempo como costo dentro del proceso.

El problema con la laminación de botellas es que solo se realiza a nivel industrial, con grandes cantidades de botellas PET que previamente ya deben ser recolectadas, he incluso sacadas de la basura por personas de escasos recursos económicos, lo que provoca daños a su salud mental y física.

La falta de tiempo en la vida de las persona ha obligado a buscar soluciones prácticas pero muchas veces poco ecológicas, este es el caso del embotellamiento de bebidas para que estas puedan ser portables como: jugos, bebidas gaseosas, etc.

Esta tecnología debe facilitar la concientización y cultura de manejo de desechos plásticos.

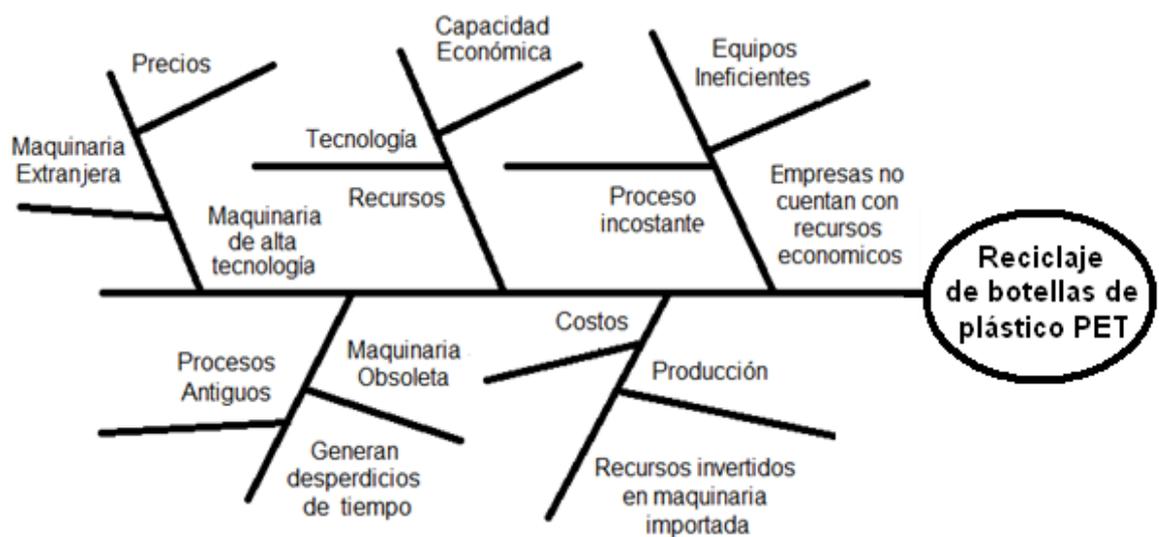
La recolección y reutilización de botellas plásticas se encuentra en auge en el mundo en general, Japón ha logrado un reciclaje de botellas del 77,9% según informes del Concejo de reciclaje de botellas de ese país, en Latinoamérica el líder es Brasil con un 55,67% según la Asociación Brasileña de la industria.

Ecuador importó alrededor de 37729.79 toneladas de plástico en el año 2013. Según datos oficiales del Banco Central del Ecuador (número de partida de PET: 3907609000), lo que muestra una gran cantidad de PET que debe ser reutilizada. En la actualidad existen varias campañas orientadas a la concientización del reciclaje de botellas, he incluso el Gobierno

Ecuatoriano emitió la Ley de Fomento Ambiental y Optimización de los Ingresos, en la que impone un impuesto a las botellas plásticas, tarifada en \$0,02 por botella, valor que podrá ser recuperado en el momento de la recolección y entrega a los distribuidores, para que estas sean reutilizadas.

En Quito la acumulación de desechos es evidente. Se han elaborado proyectos para reciclaje de botellas, más aún no existe una máquina llamativa, amigable con el usuario, que lo invite de una manera atractiva a reciclar, he aquí la importancia del proyecto ya que puede representar no solo una innovación por su tecnología de funcionamiento, sino también un medio de concientización.

En la figura 1 se condensará problemas generales del reciclaje de botellas de plástico.



**Figura 1:** Espinas de pescado sobre la escasez de maquinaria para reciclaje de botellas PET

## 1.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir el sistema de laminado y recolección de botellas plásticas de una máquina recicladora.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las variables que intervienen en el sistema.
- Establecer mecanismos mecatrónicos para la interacción de variables del sistema.
- Escoger los materiales más adecuados para dicho sistema.
- Realizar pruebas de validación.
- Construir el sistema.

## **1.3 ALCANCE**

Se establece que al finalizar el presente trabajo se obtendrá un sistema de laminado mediante rodillos dentados, que se encienda con la señal de un sensor infrarrojo, el mismo que permitirá el conteo de botellas entrantes, el sistema también controlará un posible atasco mediante un sensor de corriente el cual detectará picos en la corriente nominal y esta señal será enviada al sistema de control para provocar un cambio de giro en el motor, que desatasca la botella para que esta vuelva al sistema de rodillos, hasta que se lamine correctamente y termine en un contenedor que cuando se encuentre lleno enviará una señal de saturación a un dispositivo móvil, que bloqueará el sistema hasta que el contenedor de nuevo se encuentre vacío.

SolidWorks 2013 se utilizará para realizar el diseño total y modelado de piezas con sus respectivos materiales a utilizarse en esta investigación, de igual manera provee de planos tanto de las piezas como del ensamblaje total lo cual facilita la fabricación o compra de los mismos, este programa es escogido por su facilidad de uso.

Para el análisis de factibilidad económica se realiza presupuestos parciales tanto electrónico como mecánico, lo que permite un posterior análisis total que refleja que la investigación es factible y realizable.

## **2. MARCO TEÓRICO**

En esta parte del proyecto se realizará un análisis bibliográfico, que describa cada uno de los elementos necesarios para posteriormente diseñar y fabricar una máquina laminadora de botellas plástica PET.

## **2.1 BOTELLAS PLÁSTICAS**

Son muy utilizadas en la comercialización de líquidos, productos lácteos, bebidas. Sus ventajas respecto al vidrio son principalmente su menor precio y su gran versatilidad de formas". (Carrillo, 2013).



**Figura 2.** Preformas de botellas antes de ser procesadas (Shaefer, 2008)

El plástico se moldea para que la botella adquiera la forma necesaria para la función a que se destina como se muestra en la figura 2, existe variedad de combinaciones químicas para el plástico de las botellas antes mencionadas, las principales son:

### **2.1.1 POLITEREFTALATO DE ETILENO**

También conocido como PET, se usa normalmente para bebidas carbonatadas y embotellamiento de agua. PET proporciona propiedades de barrera muy buenas para el alcohol y aceites esenciales, habitualmente

buena resistencia química y a la degradación por golpes y resistencia a la tensión. Este material presenta una resistencia al calor máxima de 71.1 °C. (Carrillo, 2013)

#### **2.1.1.1 Propiedades del plástico PET**

Es un polímero termoplástico, posee un alto grado de cristalinidad. puede ser procesado mediante extrusión, soplado de preforma, inyección y soplado, termo conformado, este material debe ser rápidamente enfriado, con esto se logra una mayor transparencia. (Marín, 2014)

Presenta como características más relevantes:

- Alta transparencia.
- Buen coeficiente de deslizamiento.
- Buena resistencia química.
- Alta estabilidad dimensional.
- Bajo coeficiente de fricción.
- Buen aislante.
- Alta rigidez.
- Estabilidad a la intemperie.
- Muy buena barrera a CO<sub>2</sub>, aceptable barrera a O<sub>2</sub> y humedad.
- Reciclable.
- Homologado para el contacto alimenticio. (Marín, 2014)

Las propiedades físicas del PET y su capacidad para cumplir varios detalles técnicos han sido las razones por las que el material obtuvo un desarrollo relevante en la industria textil y de envases, especialmente botellas. (Marín, 2014)

**Tabla 1: Características generales del PET**

Nombre: Ertalyte	--	--	--
Color	Natural (blanco)/negro		
Densidad	1183	1,39	g/cm <sup>3</sup>
Absorción de agua después de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C (1)	62	6/13	Mg
Absorción de agua después de estar 24/96 h sumergido en agua a 23°C (1)	62	0,07/0,16	%
Absorción de agua hasta la saturación en aire a 23°C / 50% HR	62	0,25	%
Absorción de agua hasta la saturación en aire a 23°C	-	0,50	%
--	--	--	--
Temperatura de fusión	-	255	°C
Temperatura de transición vítrea	--	--	°C
Conductividad térmica a 23°C	--	0,29	W/K.m
Coeficiente de dilatación térmica lineal valor media entre 23 y 60°C	--	60-10 <sup>-6</sup>	m/(m.K)
Coeficiente de dilatación térmica lineal valor media entre 23 y 100°C	--	80-10 <sup>-6</sup>	m/(m.K)
Temperatura de deformación por carga - por el método A: 1.8 MPa +	75	75	°C
Temperatura máxima de servicio en aire en periodos cortos	--	160	°C
Temperatura máxima de servicio en aire en continuo: durante 5000/ 20.000 h	--	115/100	°C
Temperatura mínima de servicio (4)	--	-20	°C
Inflamabilidad "Índice de oxígeno" (5)	4589	25	%
Inflamabilidad con respecto a la clasificación UL 94 (para 1,6 mm de espesor) (5)	--	HB/HB	-
--	--	--	--
ensayo a Tracción :esfuerzo de tensión para fluencia	527	--	Mpa
ensayo a Tracción : esfuerzo a la rotura	527	76	Mpa
ensayo a Tracción : elongación a la rotura	527	15	%
ensayo a Tracción : modulo de elasticidad	527	3700	%
ensayo a compresión esfuerzo al 1/2/5% de deformación	604	26/51/103	Mpa
ensayo a la fluencia a tracción esfuerzo necesario para producir un 1% de deformación a la 1000 h	604	26	Mpa
Resistencia al impacto Charpy sin entalla	179/1eU	(>=) 50	kJ/m <sup>2</sup>
Resistencia al impacto Charpy con entalla	179/1eA	2	kJ/m <sup>2</sup>
Resistencia al impacto Izod con entalla	180/2 <sup>a</sup>	2	kJ/m <sup>2</sup>
Dureza con bola	2039-1	170	N/mm <sup>2</sup>
Dureza Rockwell	2039-2	M 96	--
Resistencia dieléctrica (9) +	60243	22	kV/mm

Resistividad volumétrica +	60093	$>10^{-15}$	Ohm.cm
Resistividad superficial +	60093	$>10^{-14}$	Ohm
Permeabilidad relativa a 100 Hz +	60250	3,4	--
Permeabilidad relativa a 1 MHz +	60250	3,2	--
Factor de pérdidas dieléctricas tan a 100 Hz +	60250	0,001	--
Factor de pérdidas dieléctricas tan a 1 MHz +	60250	0,014	--

(Marín, 2014)

### 2.1.1.2 Funcionamiento general de las máquinas de tipo mecánico

La mayoría de botellas de plástico son reciclables. El reciclado mecánico es muy utilizado, consiste en la molienda, separación y lavado de los envases. Los restos se pueden destinar en la fabricación de productos por inyección o extrusión. (Velásquez, 2010)

En el reciclaje de botellas se siguen diferentes pasos:

1. Separación de material
2. Granulado del plástico
3. Limpieza (Romero, 2014)

Este tipo de sistema es el más adecuado para el reciclaje PET, consiste en una serie de etapas a las que el material es sometido para su limpieza y procesamiento, sin cambios químicos en su estructura. Al considerar este tipo de reciclaje es importante conocer el origen del residuo, la aplicación a la cual será destinada y si este tendrá algún contacto alimenticio.

La calidad de producto depende netamente de su limpieza, es de suma importancia realizar de manera minuciosa la selección de procesos y sub-procesos para cada caso. (Velásquez, 2010).

En la figura 3 se muestra un modelo de recicladora pero a escala industrial.



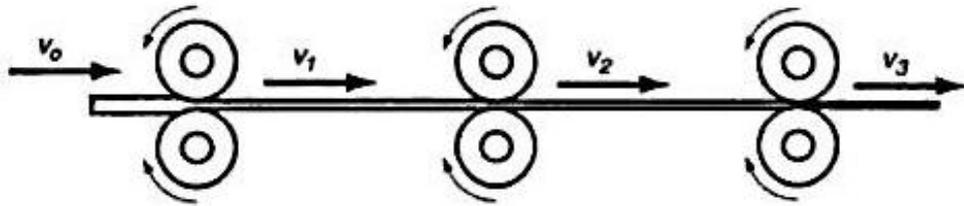
**Figura 3.** Recuperadora / peletizadora de PET Modelo VM-80 PET  
(AsianMachinery, 2007)

#### **2.1.1.2.1 Proceso del reciclado mecánico convencional**

- Recogida selectiva: su objetivo es obtener un producto más limpio, mediante la eliminación de impurezas. La selección se hace de manera automática o manual, con el uso de una serie de criterios se seleccionan solo botellas de refrescos y agua. Se utiliza diferentes sistemas de separación: colorimétricos, infrarrojo cercano (INR), ultravioletas. Su efectividad dependerá de las características de los siguientes elementos: grado de suciedad, humedad, etc. (Velázquez, 2010)
- Triturado o laminado: reduce los envases de tamaño. El tamaño final puede variar según la maquinaria a utilizar. (Velázquez, 2010)
- Lavado: proceso subsiguiente al triturado, existe la opción de hacer un lavado previo sobre el envase. Se busca eliminar contaminantes de tipo orgánicos entre ellos: tierra, arena, etc. Pueden emplearse también métodos de centrifugación o fricción para la eliminar de elementos indeseables. (Velázquez, 2010)
- Extrusión: “En este proceso, la escama limpia y seca es sometida a una extrusión con temperatura y presión para la obtención de un producto final”. (Velázquez, 2010)

## 2.2 LAMINACIÓN

Es un proceso utilizado para reducir el espesor de una lámina debido al paso entre un juego de rodillos. Esta disminución de espesor se produce gracias a que los rodillos tiran el material hacia dentro del espacio de laminación al aplicar fuerzas de compresión mediante pares de rodillos que giran en sentido inverso como se muestra en la figura 4. (Groover, 2008)



**Figura 4.** Esquema de disminución de espesor de la lámina por efecto de los rodillos  
(Camarero, 2003)

### 2.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES EN EL PROCESO DE LAMINACIÓN

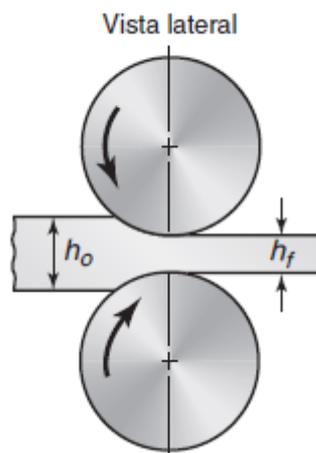
- “Los rodillos pueden estar sometidos a esfuerzos de compresión que provocan su aplastamiento, lo cual repercute en el producto laminado de forma que no se consigue el espesor deseado sino uno mayor.” Para evitar este problema, se recomienda reducir la superficie de contacto, disminuir el diámetro de los rodillos, reducir la lubricación, y aumentar la temperatura del material para facilitar su deformación. (Camarero, 2003)
- En el caso de que no se produzca deformación lateral, se recomienda añadir rodillos laterales verticalmente posicionados. (Camarero, 2003)
- Los rodillos tienden a flexar, aunque estén dentro del período elástico, cuando realizan la presión sobre el material, por eso el material laminado tiene un espesor creciente en su parte central. Para corregir la falta de uniformidad en el espesor, se montan los rodillos con diámetro levemente creciente en la parte central. (Camarero 2003)

## 2.2.2 LAMINADO DE BOTELLAS PLÁSTICAS

El proceso de laminado de botellas de plástico PET consiste en la disminución del diámetro de la botella “con un proceso de aplastamiento” entre dos rodillos de laminación que permiten obtener una botella con un ancho mayor y un espesor menor sin alterar el largo de la misma.

## 2.2.3 LAMINADORES Y DISTRIBUCIÓN DE RODILLOS

Los pares de rodillos laminadores pueden tener distribución variada. La distribución depende del tipo de laminación y del proceso a seguir. El par de rodillos se conoce como dúo y puede ser reversible., como se muestra en la figura 5.



**Figura 5.** Par de rodillos  
(Kalpakjian, 2008)

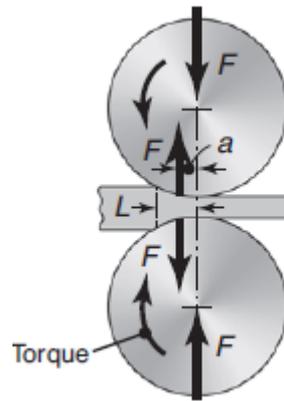
## 2.2.4 DISEÑO DE RODILLOS LAMINADORES

El diámetro del rodillo se calcula con:

$$D = \frac{P}{\pi} \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.1]}$$

Donde:

P= perímetro del rodillo laminador



**Figura 6.** Factores para cálculo de potencia  
(Kalpakjian, 2008)

Se debe determinar la longitud de contacto de rodillo, es una relación entre el espesor inicial del material, y el que se desea obtener, está dado por:

$$L = \sqrt{R(h_o - h_f)} \quad (\text{Kalpakjian, 2008}), \text{ [2.2]}$$

Donde:

R= radio del rodillo

$h_o$ = ancho inicial

$h_f$ = ancho final (Kalpakjian, 2008)

En la figura 6 se muestran los factores para el cálculo de potencia del motor con relación a la longitud de contacto está dado por:

$$P = \frac{2\pi * F * L * N}{33000} Hp \quad (\text{Kalpakjian, 2008}), \text{ [2.3]}$$

Donde:

F= fuerza real

L= longitud de contacto de rodillo

N= revoluciones por minuto (Kalpakjian, 2008)

El cálculo del par torsional con relación a la longitud de contacto está dado por:

$$T = F \frac{L}{2} \quad (\text{Kalpakjian, 2008}), \text{ [2.4]}$$

Donde:

F= fuerza real

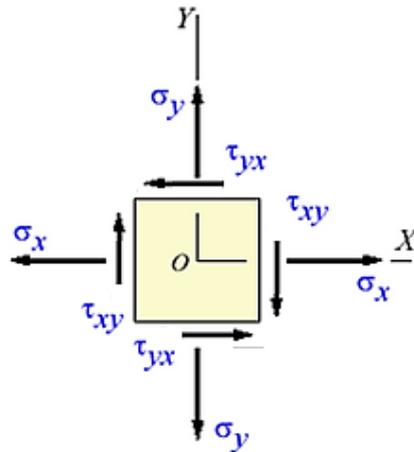
L= longitud de contacto de rodillo (Kalpakjian, 2008)

### 2.2.4.1 Círculo de Mohr

El círculo de Mohr tiene las siguientes funciones:

- Determinar los esfuerzos principales máximo y mínimo y las direcciones en las que actúan.
- Calcular los esfuerzos cortantes máximos además de las orientaciones en las que actúan.
- Deducir el valor de los esfuerzos normales que actúan sobre los planos donde se presentan esfuerzos cortantes máximos.
- Calcular esfuerzos normales y cortantes que actúan en un elemento sin discriminar su orientación.

En la figura 7 se muestra su diagrama general



**Figura 7.** Elemento general de esfuerzos en dos dimensiones

(Mott, 2006)

### 2.2.4.1.1 Esfuerzos normales principales

El esfuerzo normal neto puede ser determinado de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{M}{S} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.5]}$$

Donde:

M= momento flexionante

S= módulo de sección (depende del área)

El esfuerzo cortante neto puede ser determinado de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{T}{Zp} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.6]}$$

Donde:

T= par torsional

$\tau$  = esfuerzo cortante

Zp = módulo polar de sección

La combinación de esfuerzos toma el nombre de esfuerzo principal máximo  $\sigma_1$ . Se calcula con:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{x1} + \sigma_{x2}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x1} - \sigma_{x2}}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.7]}$$

La combinación de esfuerzos toma el nombre de esfuerzo principal mínimo  $\sigma_2$ . Se calcula con:

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{x1} + \sigma_{x2}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x1} - \sigma_{x2}}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.8]}$$

El esfuerzo medio se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.9]}$$

El esfuerzo alternativo se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\sigma_a = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.10]}$$

#### 2.2.4.2 Esfuerzos fluctuantes combinados

Para aplicar la teoría de energía de distorsión se realizan dos círculos de Mohr, uno como esfuerzos medios y el otro para esfuerzos alternantes, con estos resultados se procede a calcular esfuerzos de von Mises con las siguientes expresiones (Mott, 2006):

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{1m}^2 + \sigma_{2m}^2 - \sigma_{1m} \sigma_{2m}} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.11]}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{1a}^2 + \sigma_{2a}^2 - \sigma_{1a} \sigma_{2a}} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.12]}$$

Donde:

$\sigma_{1m}$  = esfuerzo medio máximo

$\sigma_{2m}$  = esfuerzo medio mínimo

$\sigma_{1a}$  = esfuerzo alternante máximo

$\sigma_{2a}$  = esfuerzo alternante mínimo (Mott, 2006)

Para predecir fallas mediante la correlación de datos experimentales, se plantea la ecuación de Goodman:

$$k_t \frac{\sigma'_a}{S'_n} + \frac{\sigma'_m}{S_u} = \frac{1}{N} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.13]}$$

Un  $N < 2$  es un claro indicador de falla, si esto ocurre es necesario re calcular los parámetros requeridos.

## 2.3 DISEÑO DE EJES

Un eje es un componente mecánico que transmite movimiento rotatorio y potencia. Es parte de sistemas mecánicos donde la potencia se transmite desde un motor, este puede ser eléctrico o de combustión, a otras partes giratorias del sistema. (Mott, 2006)

### 2.3.1 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO:

- Determinar la velocidad de giro del eje,
- Determinar la potencia o el par torsional que debe transmitir el eje.
- Determinar el diseño de los trasmisores de potencia, u otras piezas que se acoplarán sobre el eje.
- Especificar la ubicación de cojinetes, estos se deben colocar cerca de los elementos de transmisión de potencia para minimizar los momentos flexionantes.
- Proponer los detalles geométricos del eje,
- Determinar la magnitud del par torsional en cada punto de eje.
- Determinar fuerzas que actúan sobre el eje, en dirección radial y axial.
- Descomponer las fuerzas en direcciones perpendiculares.
- Calcular reacciones en cada punto sobre todos los cojinetes de soporte.
- Generar los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante para determinar momentos flexionantes en el eje.
- Seleccionar el material de fabricación del eje y especificar su condición.
- Determinar: resistencia última, resistencia de fluencia y el porcentaje de elongación del material seleccionado.

- Determinar un esfuerzo de diseño.
- Analizar puntos críticos y concentración de esfuerzos.
- Especificar las dimensiones finales para cada punto y especificar los detalles del diseño. Se debe tomar en cuenta que el tamaño y las tolerancias del diámetro de un eje se determinan por el elemento que se va a montar en él. (Mott, 2006)

### **2.3.2 FUERZAS QUE EJERCEN LOS ELEMENTOS SOBRE LOS EJES**

Los engranes, poleas, y otros elementos sostenidos comúnmente por los ejes, ejercen fuerzas sobre el eje, y causan momentos flexionantes. En general para los siguientes cálculos se aplicará los principios de estática y de dinámica para calcular las fuerzas sobre cada elemento. (Mott, 2006)

### **2.3.3 VALORES PRELIMINARES DE DISEÑO PARA $K_T$**

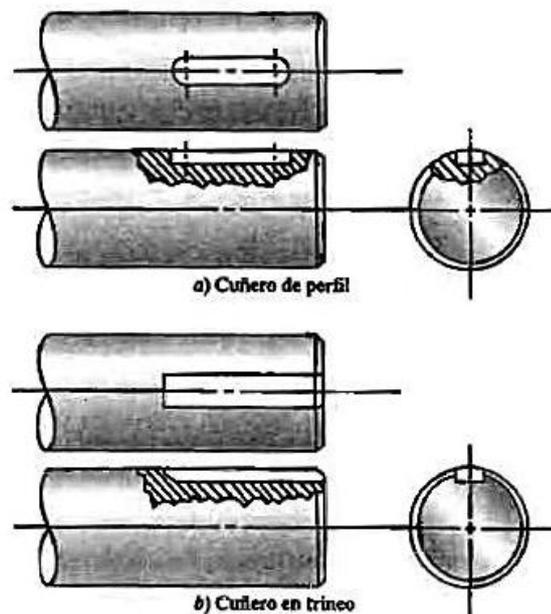
#### **Cuñeros:**

Son ranuras longitudinales que se corta en un eje, para montar una cuña o chaveta para la transferencia de par torsional del eje al elemento transmisor de potencia o viceversa, estos se muestran en la figura 8. Los valores de los factores de concentración de esfuerzos usuales en el diseño son:

$$K_t = 2.0 \text{ (perfil)}$$

$$K_t = 1.6 \text{ (de trineo)}$$

Estos se toman para el cálculo de esfuerzo flexionante en el eje, y se considera como base su diámetro total. Los factores toman en cuenta tanto la reducción en el área transversal como el efecto de la discontinuidad. (Mott, 2006)



**Figura 8. Cuñeros**  
(Mott, 2006)

### **Chaflanes en escalones:**

Cuando en un eje se presenta un cambio de diámetro, se produce una concentración de esfuerzos que depende de la relación entre los dos diámetros y del radio del chaflán (Figura 9). Se recomienda que el radio sea el mayor posible para minimizar la concentración de esfuerzos, pero se debe tener en cuenta en el diseño otro tipo de concentradores dado por los elementos como: engrane, cojinete u otro elemento es el que afecta el radio que se puede usar. Se puede clasificar los chaflanes en dos categorías: agudas y bien redondeadas. Se usarán estos valores en diseños para flexión

$$K_t = 2.5 \text{ (chaflán agudo)}$$

$$K_t = 1.5 \text{ (transición bien redondeada)}$$

En la gráfica se puede ver que esos valores corresponden a relaciones  $r/d$  de 0.03, aproximadamente, para el caso del chaflán agudo, y de 0.17 para el chaflán bien redondeado, con una relación  $D/d$  igual a 1.5. (Mott, 2006)

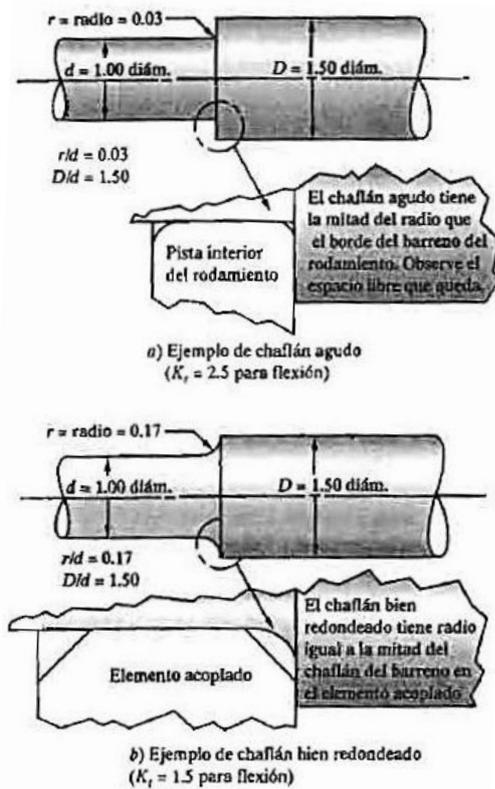


Figura 9. Chaflanes en ejes.

(Mott, 2006)

### 2.3.4 FACTORES DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS PARA EJES

$$S_n' = S_n * C_m * C_{st} * C_r * C_s \quad (\text{Mott, 2006}), [2.14]$$

$S_n$  = Resistencia a la fatiga

$S_n'$  = Resistencia a la fatiga estimada

$C_m$  = Factor de material

$C_{st}$  = Factor tipo de esfuerzo

$C_r$  = Factor de confiabilidad

$C_s$  = Factor de tamaño (Mott, 2006)

### 2.3.4.1 Diseño cuando solo existe esfuerzo cortante

El objetivo normal es el diseño del eje para determinar el diámetro requerido. Por sustitución de:  $A = \pi D^2/4$  se obtiene:

$$D = \sqrt{2.94 \frac{K_t(V)N}{S'_n}} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.15]}$$

Donde:

V= fuerza cortante

N= factor de diseño

$K_t$ = concentración de esfuerzos

$S'_n$ = resistencia a la fatiga real estimada. (Mott, 2006)

### 2.3.4.2 Factores de material

- **Factores de esfuerzo:** Se recomienda aplicar un factor  $C_{st}=1.0$  para esfuerzo de flexión, y  $C_{st}=0.80$  para carga axial.
- **Factores de confiabilidad:** Es aconsejable diseñar para tener una mayor confiabilidad; por ejemplo de 90%, 99% o 99.9%.
- **Factor de diseño, N:** Se usará  $N=3.0$  en diseños típicos de ejes. Se deben manejar valores más altos para cargas de choque, impacto, y donde exista incertidumbre en los datos. (Mott, 2006)

### 2.3.4.3 Diseño para carga de torsión y flexor

Si  $S=\pi D^3/32$  para un eje circular sólido,

$$\frac{32N}{\pi D^3} \sqrt{\left[\frac{K_t M}{S'_n}\right]^2 + \frac{3}{4} \left[\frac{T}{S_y}\right]^2} = 1 \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.16]}$$

Entonces se obtiene la ecuación de diseño para ejes es:

$$D = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{K_t M}{S'_n} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{1/3} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.17]}$$

Donde:

N= factor de diseño

K<sub>t</sub>= concentración de esfuerzos

T= torsor

S<sub>y</sub>= resistencia a la fatiga del material

S'<sub>n</sub>= resistencia a la fatiga real estimada. (Mott, 2006)

## 2.4 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS: CHUMACERAS

Para la selección de un rodamiento se considera la capacidad de carga, y la geometría del rodamiento asegurará que se pueda instalar correctamente en la máquina. Primero, se describirán los rodamientos sin montar que soportan una combinación de cargas radial y de empuje. (Mott, 2006)

### 2.4.1 PROCEDIMIENTO PARA SELECCIONAR UN RODAMIENTO: CARGAS RADIAL Y DE EMPUJE

- Suponer un valor de Y. Y=1.5 es razonable, porque está más o menos a la mitad del intervalo de valores posibles.

- Calcular  $P = VXR + YT$  (Mott, 2006), [2.18]

Donde:

V=factor de rotación

R= carga radial

X= factor radial

Y= factor de empuje

T= carga de empuje aplicada

- Calcular la capacidad de carga dinámica básica requerida  $C$ , con cualquiera de las siguiente ecuaciones:

$$C = P_d(L_d/10^6)^{1/k} \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.19]}$$

Donde:

$P_d$ = carga equivalente

$L_d$ = duración de diseño

$k$ = concentración de esfuerzos

$f_N$ = factor por velocidad

$f_L$ = factor por duración

- Seleccionar un rodamiento probable que tenga un valor de  $C$
- Para el rodamiento seleccionado, determinar  $C_o$
- Calcular  $T/C_o$
- Determinar  $e$
- Si  $T/R > e$ , determinar  $Y$
- Si el nuevo valor de  $Y$  es distinto del supuesto en el paso 1, repetir el proceso.
- Si  $T/R < e$ , se debe emplear la ecuación 2.26 para calcular  $P$  y proceder como para un carga radial pura. (Mott, 2006)

#### **2.4.2 RODAMIENTO Y CHUMACERA**

Según los rodamientos se elegirán chumaceras, estas son piezas de metal o madera con una muesca en que descansan y giran cualquier eje de maquinaria. La chumacera es una combinación de un rodamiento radial de bolas, sello, y un alojamiento de hierro colado de alto grado ó de acero prensado, suministrado de varias formas. La superficie exterior del rodamiento y la superficie interior del alojamiento son esféricas, para que la unidad sea auto-alineable. (Castillo, 2010)

## 2.5 ACOPLA MOTOR – EJE

El fundamento de acoplamiento busca transmitir permanentemente el par torsional del eje motor al eje conducido, según el grado de desalineación permitido, se dividen en rígidos y flexibles (Giraldo, 2013)

### 2.5.1 ACOPLAMIENTOS DE EJE FLEXIBLE



**Figura 10:** Acoplamiento Oldham  
(Lemac, 2014)

Los acoplamientos flexibles tienen menor capacidad normal ya que las tensiones son máximas en los elementos flexibles. Dichos elementos son capaces de absorber los esfuerzos de arranque. (Giraldo, 2013)

La capacidad de carga está relacionada con:

- La potencia a transmitir.
- Características de transmisión
- Velocidad
- Dimensiones de los ejes
- Vibraciones, etc. (Giraldo, 2013)

El acoplamiento transmite la rotación unidireccional o bidireccional. Cuando rota el acoplamiento, el disco flotante se alinea alternativamente con cada

núcleo tanto como se lo permita el error de alineamiento. Este disco flotante es un elemento desechable del sistema de transmisión. Bajo una intensa sobrecarga se romperá limpiamente, por lo que actúa como un 'fusible mecánico' que protege al equipo. Este disco es reemplazable y cuando se coloca uno nuevo entre los núcleos, el acoplamiento vuelve a tener sus características originales. (Giraldo, 2013)

## **2.5.2 SELECCIÓN Y MONTAJE**

Los acoplamientos flexibles deben ser usados siempre que un eje motor esté acoplado directamente a un motoreductor o a un eje de máquina, o cuando el reductor está acoplado directamente al eje. En estos casos no se debe usar acoplamientos rígidos. Un acoplamiento flexible se usa para solucionar una desalineación de los ejes, sino sólo para absorber incorrecciones iniciales de montaje. (Giraldo, 2013)

### **2.5.2.1 Selección**

Para seleccionar el tipo y tamaño de acoplamiento correcto, debe tenerse presente la siguiente información:

1. Potencia a transmitir
2. Características de la transmisión
3. Velocidad en revoluciones por minuto
4. Dimensiones de los ejes a acoplar (Giraldo, 2013)

## **2.6 ENGRANES RECTOS**

Conocido como engranaje, es una rueda dentada, se emplea para transferir una tendencia giratoria o alternativa de una parte de una máquina a otra. Los engranes se utilizan sobre todo para transmitir movimiento giratorio, pero con engranajes apropiados y piezas dentadas planas pueden transformar movimiento alternativo en giratorio y viceversa. (Mott, 2006)

La principal clasificación de los engranajes se efectúa según la disposición de sus ejes de rotación y según los tipos de dentado. Según estos criterios existen los siguientes tipos de engranajes (Mott, 2006):

Ejes paralelos:

- Cilíndricos de dientes helicoidales
- Cilíndricos de dientes rectos
- Doble helicoidales (Mott, 2006)

Ejes perpendiculares:

- Cónicos de dientes helicoidales
- Cónicos hipoides
- Helicoidales cruzados
- Cónicos de dientes rectos
- De rueda y tornillo sinfín (Mott, 2006)

Por la forma de transmitir el movimiento se pueden citar:

- Transmisión simple
- Transmisión con engranaje loco
- Transmisión compuesta. Tren de engranajes (Mott, 2006)

### **2.6.1 DISEÑO GEOMÉTRICO DE ENGRANE**

- Módulo:

Es la relación entre la medida del diámetro primitivo y el número de dientes. El valor del módulo se fija mediante cálculo de resistencia de materiales en virtud de la potencia y de la relación de transmisión que se establezca. El tamaño de los dientes está normalizado. El módulo está indicado por números. Para que logara un conjunto que engrane los módulos tienen que ser iguales. (Mott, 2006)

- Circunferencia primitiva:  
Es la circunferencia por la cual engranan los dientes, en función de esta se determina las características que definen los diferentes elementos de los dientes. (Mott, 2006)
- Angulo de presión:  
Forma una línea de acción con la tangente a la circunferencia de paso,  $\phi$  ( $20^\circ$  ó  $25^\circ$  son los ángulos normalizados). (Mott, 2006)
- Distancia entre centro de dos engranajes:  
Es la distancia que hay entre los centros de las circunferencias de los engranajes. (Mott, 2006)

$$a = \frac{d_2 + d_3}{2} = m \frac{(z_2 + z_3)}{2} \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.20]}$$

Donde:

a = distancia entre centro de dos engranajes

m= módulo

d = diámetro primitivo del engrane

z= número de dientes

- Relación de transmisión:  
Es la relación de giro que existe entre el piñón conductor y la rueda conducida. (Mott, 2006)

$$i = \frac{z_1}{z_2} \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.21]}$$

Donde:

z= número de dientes

- Diámetro exterior:  
Limita la parte exterior del engranaje. (Mott, 2006)

$$d_e = d + 2h_a \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.22]}$$

Donde:

d= diámetro primitivo del engrane

h<sub>a</sub>= cabeza del diente

- Diámetro interior:

Limita el pie del diente. (Mott, 2006)

$$d_i = d + 2h_f \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.23]}$$

Donde:

d= diámetro primitivo del engrane

h<sub>f</sub>= pie del diente

- Diente de un engranaje:

Realizan esfuerzo de empuje y transmiten potencia desde los ejes motrices a los ejes conducidos. El perfil del diente, está constituido por dos curvas evolventes de círculo, simétricas. (Mott, 2006)

- Espesor del diente:

Es el grosor del diente en la zona de contacto, o diámetro primitivo. (s) (Mott, 2006)

$$s = \frac{19}{40} * p = \frac{19}{40} \pi * m \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.24]}$$

Donde:

p = paso circular

m= módulo

- Ancho del hueco del diente:

Anchura del hueco entre dientes sobre la circunferencia primitiva (s') (Mott, 2006)

$$s' = p - s \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.25]}$$

$$s' = \frac{21}{40} * p = \frac{21}{40} \pi * m \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.26]}$$

Donde:

p = paso circular

m= módulo

- Número de dientes:

Es el número de dientes que tiene el engranaje. Su símbolo es (Z). El número de dientes de un engranaje no debe estar por debajo de 18 dientes si el ángulo de presión es 20° ni por debajo de 12 dientes cuando el ángulo de presión es de 25°. (Mott, 2006)

- Pie del diente:

Es la parte del diente que se encuentra entre la circunferencia interior y la circunferencia primitiva. (Mott, 2006)

$$h_f = \frac{d-d_i}{2} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.27]}$$

En dientes normales  $h_f=1,25*m$  (Mott, 2006), [2.28]

En dientes cortos  $h_f= 1*m$  (Mott, 2006), [2.29]

Donde:

d= diámetro primitivo del engrane

d<sub>i</sub>= diámetro interior

- Cabeza del diente:

Es la parte del diente que se encuentra entre el diámetro exterior y el diámetro primitivo. (Mott, 2006)

$$h_a = \frac{d_e-d}{2} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.30]}$$

En dientes normales  $h_a=1*m$  (Mott, 2006), [2.31]  
 En dientes cortos  $h_a= 0.75*m$  (Mott, 2006), [2.32]

Donde:

$d$ = diámetro primitivo del engrane

$d_e$ = diámetro exterior

- Flanco:  
 Cara interior del diente, su zona de rozamiento. (Mott, 2006)
- Largo del diente:  
 Longitud que tiene el diente del engranaje. (Mott, 2006).
- Altura del diente:  
 Suma de la altura de la cabeza y la altura del pie. (Mott, 2006)

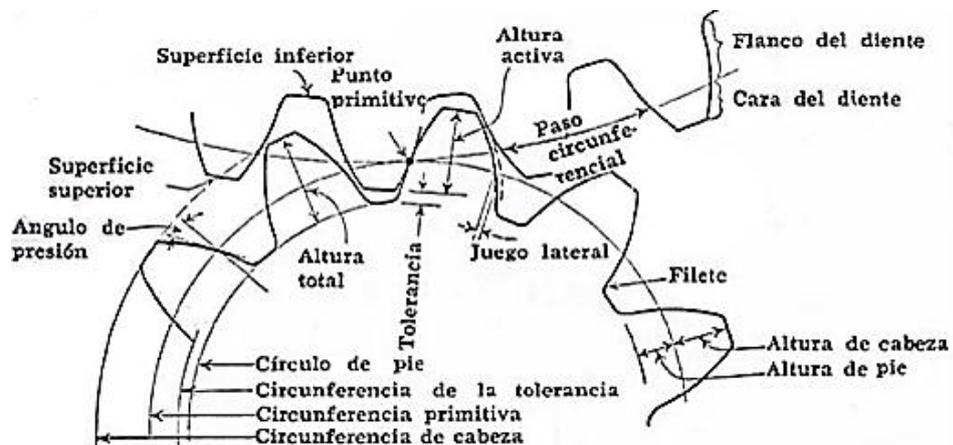
$$h = h_a + h_f \quad \text{(Mott, 2006), [2.33]}$$

Donde:

$h_f$  = pie del diente

$h_a$  = cabeza de diente

Todos estos elementos se muestran en la figura 11.

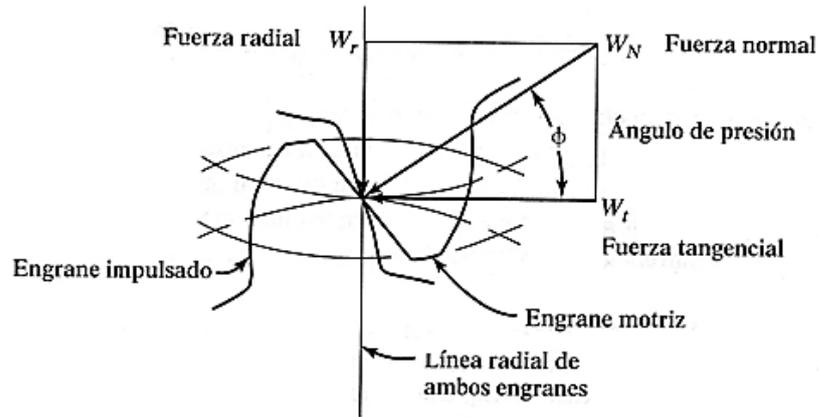


**Figura 11.** Geometría del engranaje

(Rodríguez, 2014)

## 2.6.2 FUERZA SOBRE LOS DIENTES DEL ENGRANE

Es necesario calcular la fuerza tangencial,  $W_t$ , en forma directa con el par torsional conocido que va a transmitir el engrane, en la figura 12 se muestra una fuerza aplicada tangencialmente al engranaje. (Mott, 2006)



**Figura 12.** Fuerzas sobre los dientes de un engrane  
(Mott, 2006)

$$W_t = \frac{T}{\frac{D}{2}} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.34]}$$

Donde:

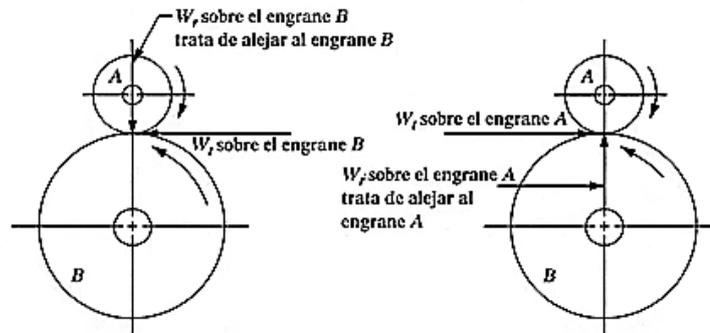
T= par torsional sobre el engrane, lb\*pulgada

D= diámetro de paso del engrane, pulgadas

### 2.6.2.1 Direcciones de fuerzas sobre engranes rectos engranados

Es esencial representar correctamente la dirección de las fuerzas sobre los engranes para hacer un análisis correcto de fuerzas y esfuerzos en los ejes que soportan a los engranes. El sistema de fuerzas de la figura 13 representa la acción del engrane impulsor A sobre el engrane impulsado B. La fuerza tangencial  $W_t$  de empuje en dirección perpendicular a la línea radial, lo cual causa el giro. La fuerza radial  $W_r$ , actúa a lo largo de la línea radial y tiende a alejar al engrane B. (Mott, 2006)

- a) Fuerzas que ejerce el engrane A sobre el engrane B. Fuerzas de acción – el engrane A impulsa al engrane B
- b) Fuerzas que el engrane B ejerce sobre el engrane A. Fuerzas de reacción.



**Figura 13.** Direcciones de las fuerzas sobre engranes rectos acoplados  
(Mott, 2006)

Cada fuerza de acción genera una fuerza de reacción igual y opuesta. Por consiguiente, como se muestra en la figura anterior, el engrane impulsado devuelve el empuje al engrane impulsor,. Observe las siguientes direcciones de las fuerzas, para la orientación que se le ha dado a los engranes que muestra la figura (Mott, 2006).

Acción: El impulsor empuja a un engrane impulsado

$W_t$ : Actúa hacia la izquierda

$W_r$ : Actúa hacia abajo (Mott, 2006)

Reacción: El engrane impulsado regresa el empuje al impulsor

$W_t$ : Actúa hacia la derecha

$W_r$ : Actúa hacia arriba (Mott, 2006)

## 2.7. BASTIDOR

Es la estructura rígida que soporta el motor y el mecanismo, este busca garantizar un el enlace adecuado entre todos los elementos. (Lemac, 2014)

Algunos parámetros a seguir para un buen diseño son los siguientes:

- Resistencia
- Aspecto
- Resistencia a la corrosión
- Tamaño
- Limitación de vibración
- Rigidez
- Costo de fabricación
- Peso
- Reducción de ruido
- Duración (Lemac, 2014)

Algunos factores a tomar en cuenta para el diseño de un bastidor:

- Precisión del sistema
- Ambiente donde trabajara la unidad
- Fuerzas ejercidas por los componentes de la máquina
- Forma de soportar el bastidor el mismo
- Cantidad de producción e instalaciones disponibles. (Lemac, 2014)

### 2.7.1 DISEÑO DE VIGAS

Están diseñadas con base en la resistencia, de modo que soporte la fuerza cortante interna y el momento flector interno. Para diseñar una viga es necesario aplicar las fórmulas de la fuerza cortante y la flexión siempre que el material sea homogéneo y tenga un comportamiento elástico lineal. (Hibbeler, 2011)

Para empezar con el diseño es necesario determinar el esfuerzo normal, mediante la siguiente ecuación. (Hibbeler, 2011)

$$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{N} \quad (\text{Hibbeler, 2011}), \text{ [2.35]}$$

Donde:

$S_y$  = resistencia a la fatiga del material

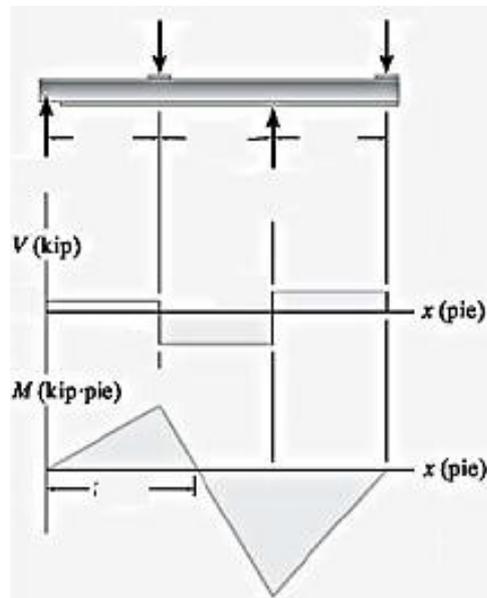
$N$  = factor de diseño

Para el diseño se necesita hacer los diagramas de fuerza cortante (Figura 14), obtener el momento flector y calcular todas las reacciones que se presenta en los soportes. (Hibbeler, 2011)

El módulo de la sección requerido para la viga se determina a partir de la fórmula de la flexión:

$$S_{req} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\sigma_{perm}} \quad (\text{Hibbeler, 2011), [2.36]}$$

Por medio de tablas de perfiles estructurales mostradas en los anexos 1 y 2 se escogerá la viga correcta. (Hibbeler, 2011)



**Figura 14.** Diagrama de esfuerzos  
(Hibbeler, 2011)

## 2.7.2 DISEÑO DE COLUMNAS

Es un elemento estructural que soporta una carga axial de compresión, las fallas en estos se producen por diversos motivos, entre ellos está la inestabilidad elástica o pandeo y aplastamiento del material. (Mott, 2006)

### 2.7.2.1 Diseño: suponga una columna larga

La fórmula de Euler: para comenzar con el diseño se aplica si se plantea la hipótesis de que la columna es larga, entonces el momento de inercia se calcula con:

$$I = \frac{P_{cr}(KL)^2}{\pi^2 E} = \frac{NP_a(KL)^2}{\pi^2 E} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.37]}$$

Donde:

$P_a$ = carga admisible, en general se iguala a la carga máxima esperada.

$L$ = distancia sin soporte entre los puntos de momento cero

$E$ = módulo de elasticidad del material

$K$ = constante que depende del extremo fijo

$N$ = factor de diseño (Mott, 2006)

Al tener el valor del requerido, se puede terminar las dimensiones de la forma con cálculos adicionales, o buscar en tablas de datos las propiedades de perfiles comerciales disponibles. Para la sección circular sólida, es posible deducir una ecuación final para el diámetro, que es la dimensión característica. (Mott, 2006)

El radio de giro se calcula con la siguiente fórmula:

$$r = \sqrt{I/A} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.38]}$$

Donde:

I= momento de inercia

A= área de la sección transversal

La relación de esbeltez es el cociente de la longitud efectiva de la columna entre su radio de giro. (Mott, 2006)

$$\text{Relación de esbeltez} = \frac{K*L}{r_{min}} \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.39]}$$

Donde:

K= constante que depende del extremo fijo

L= distancia sin soporte entre los puntos de momento cero

r= radio de giro

### **2.7.2.2 Diseño: suponga una columna corta**

Se emplea la fórmula de J.B. Johnson. Para este caso se utiliza el procedimiento por tanteos para el diseño. Para algunos casos especiales, que incluye la sección circular llena, es posible despejar el diámetro, que es la dimensión característica, de la fórmula de Johnson:

$$P_{cr} = A S_y \left[ 1 - \frac{s_y (KL/r)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.40]}$$

Donde:

L= distancia sin soporte entre los puntos de momento cero

E= módulo de elasticidad del material

K= constante que depende del extremo fijo

S<sub>y</sub>= resistencia a la fatiga del material

r= relación de esbeltez

A= área de la sección transversal A de la columna (Mott, 2006)

### 2.7.2.3 Elección entre columna larga y columna corta

La elección del método apropiado depende de la relación de esbeltez real de la columna que resulta de la comparación de la relación de esbeltez con la transición, o constante de columna,  $C_c$ , que se define como sigue:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.41]}$$

Donde:

$E$ = módulo de elasticidad del material de la columna

$S_y$ = resistencia de fluencia del material (Mott, 2006)

### 2.7.2.4 Proceso de análisis de columnas rectas que tienen carga central

Para evitar cualquier tipo de falla estructural o elementos de la máquina se debe tomar en cuenta el siguiente proceso de diseño:

- Para la columna, calcular su relación de esbeltez real.
- Calcular el valor de  $C_c$
- Comparar  $C_c$  con  $KL/r$ .
- Si  $KL/r$  es mayor que  $C_c$ , la columna es larga, entonces se emplea la ecuación de Euler. (Mott, 2006) **[2.37]**
- Si  $KL/r$  es menor que  $C_c$ , la columna es corta, entonces se emplea la fórmula de J.B. Johnson. (Mott, 2006) **[2.40]**

## 2.8 MOTORES ELÉCTRICOS

“Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, ya que pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica y servir como generadores y dínamo”. (Bolton, 2011)

## 2.8.1. FACTORES DE SELECCIÓN DE MOTORES

Como se debe mencionar los siguientes puntos para especificar motores:

- Tipo de motor: CD, CA, monofásico y trifásico, entre otros.
- Potencia y velocidad nominales
- Voltaje y frecuencia de operación
- Tipo de caja
- Tamaño de armazón
- Detalles de montaje (Mott, 2006)

Los factores principales para seleccionar un motor son los siguientes:

- Par torsional, velocidad de operación y potencia nominal. Se observa la relación en la ecuación:

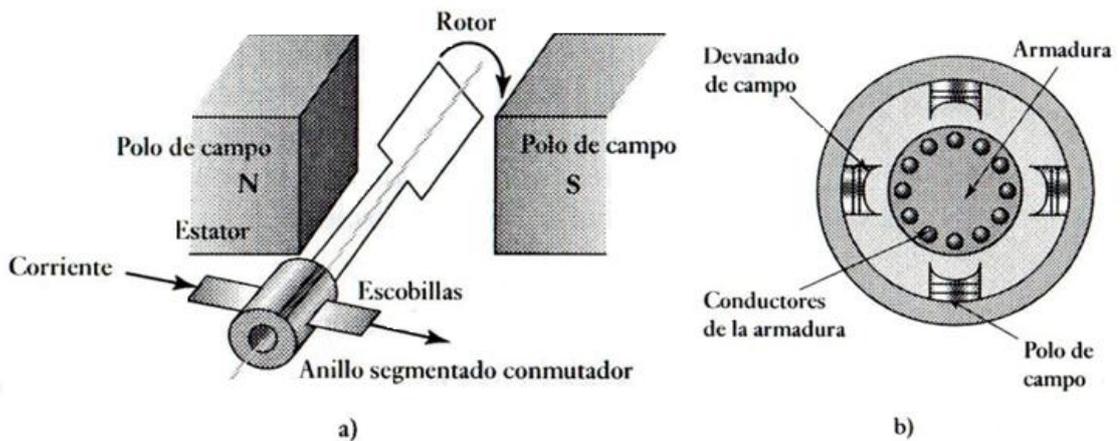
$$\text{Potencia} = \text{par torsional} * \text{velocidad} \quad (\text{Mott, 2006}), \mathbf{[2.42]}$$

- Par torsional de arranque
- Variaciones de carga y de velocidad que se puedan tolerar.
- Limitaciones de corriente durante las fases de marcha y arranque
- Ciclo de trabajo: con qué frecuencia arranca y para el motor.
- Factores del ambiente: temperatura, atmósferas corrosivas o explosivas, exposición a la intemperie o a líquidos, entre otros.
- Variaciones de voltaje.
- Carga en el eje. (Mott, 2006)

## 2.8.2 MOTORES D.C

Los motores se pueden clasificar en dos categorías principales: motores de cd y motores de ca. (Bolton, 2011)

Los motores dc se pueden dividir en dos grupos principales, los que usan escobillas de contacto con un ensamble de anillo conmutador en el rotor para cambiar la corriente de un rotor a otro y los que no tienen escobillas. Con los de escobillas, el rotor tiene devanado de bobina y el estator puede ser un electroimán. Con los que no tienen escobillas, el arreglo es a la inversa, en ese rotor es un imán permanente y el estator tiene el devanado de bobina, como se muestra en la figura 15. (Bolton, 2011)



**Figura 15.** Motor de cd: a) básicos, b) con dos juegos de polos (Bolton, 2011)

## 2.9 sensores

El término sensor se refiere a un elemento que produce una señal relacionada directamente con la magnitud a ser medida. (Bolton, 2011)

### 2.9.1 sensores inteligentes

Algunos sensores vienen combinados con su acondicionamiento de señal en el mismo paquete, esto permite tener el sensor y el acondicionamiento de señal combinados con un microprocesador, a dicho arreglo se le conoce como sensor inteligente. (Bolton, 2011)

## 2.9.2 TERMINOLOGÍA DEL FUNCIONAMIENTO

- Intervalo y extensión: Define los límites entre los cuales puede variar la entrada. La extensión es el valor máximo menos el valor mínimo.
- Error: Es la diferencia entre el resultado de una medición y el valor verdadero de la cantidad que se mide:

$$\text{error} = \text{valor medido} - \text{valor real.} \quad (\text{Mott, 2006}), \text{ [2.43]}$$

- Exactitud: Es el grado de error de medición, por lo tanto, es la suma de todos los errores posibles más el error en la exactitud de la calibración del transductor.
- Sensibilidad: Es la relación que indica cuánta salida se obtiene por unidad de entrada, es decir salida/entrada.
- Error por histéresis: Los transductores pueden producir distintas salidas de la misma cantidad medida según si el valor se obtuvo mediante un cambio por incremento continuo o por decremento continuo. Este efecto se conoce como histéresis.
- Error por no linealidad: Se define como la desviación máxima respecto a la línea recta producida por la gráfica de la salida contra la entrada.
- Repetibilidad / reproducibilidad: Estos términos se utilizan para describir la capacidad del transductor para producir la misma salida después de aplicar varias veces el mismo valor de entrada. El error que resulta se expresa como un porcentaje del intervalo total de salida.
- Estabilidad: Es la capacidad para producir la misma salida cuando se usa para medir una entrada constante en un periodo.
- Banda/tiempo muerto: Es el intervalo de valores de entrada para los cuales no hay salida, el lapso que transcurre desde la aplicación de una entrada hasta que la salida empieza a responder y cambiar.
- Resolución: Cuando la entrada varía continuamente en todo el intervalo, las señales de salida de algunos sensores pueden cambiar

en pequeños escalones. La resolución es el cambio mínimo del valor de entrada capaz de producir un cambio observable en la salida.

- Impedancia de salida: Cuando un sensor que produce una salida eléctrica se enlaza o conecta con un circuito electrónico, es necesario conocer la impedancia de salida ya que ésta se va a conectar en serie o en paralelo con dicho circuito. Al incluir el sensor, el comportamiento del sistema con el que se conecta podría modificarse de manera considerable. (Bolton, 2011)

### **2.9.3 TIPOS DE SENSORES DE LUZ**

- Fotodiodos
- Fototransistores
- Fotorresistores (Bolton, 2011)

### **2.9.4 SENSORES DE CORRIENTE BASADOS EN EFECTO HALL**

Su funcionamiento se basa en el principio de Hall, que detecta la aparición de una diferencial de potencial en un conductor o semiconductor, por el que circula corriente, cuando existe un campo magnético aplicado en dirección perpendicular a esta. La tensión obtenida depende de: Dimensión de material, dirección del campo eléctrico, la dirección del campo magnético y las propiedades eléctricas del material. Las aplicaciones más frecuentes son la detección de variación de campo magnético y de corriente.

### **2.9.5 TIPOS DE SEÑALES**

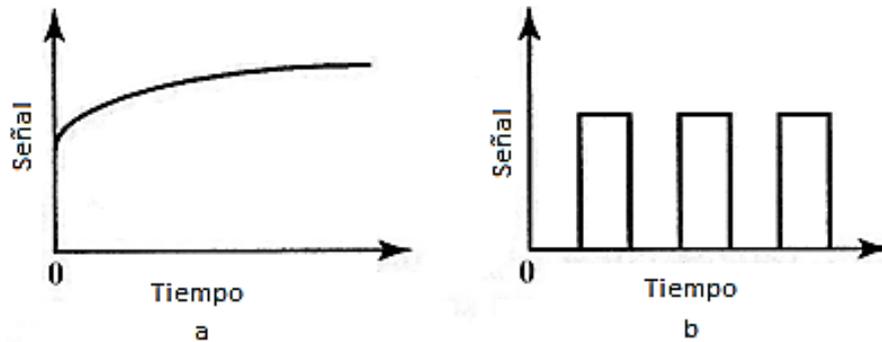
La salida de la mayoría de los sensores suele tener forma analógica, el tamaño de la salida se relaciona con el tamaño de la entrada. Donde un microprocesador se usa como parte de la medición o sistema de control, la salida ésta se use como entrada para el microprocesador. Asimismo, la

mayoría de los actuadores operan con entradas analógicas y de esta forma la salida digital desde un microprocesador se deberá convertir en una forma analógica antes de que ésta se utilice como una entrada por el actuador. (Bolton, 2011)

Entonces la señal es una variación en el tiempo de una magnitud física, que permite transmitir información. Las señales pueden ser de dos tipos:

- **Analógicas:** Pueden adquirir infinitos valores (el conjunto de números reales) en cualquier intervalo continuo de tiempo. La variación de la señal constituye una gráfica continua. (Radionics, 2001)
- **Digitales:** Pueden adquirir únicamente valores concretos, es decir, no varían a lo largo de un cierto intervalo de tiempo. La variación de la señal constituye una gráfica discontinua Por ejemplo, el estado de un interruptor sólo puede tener dos valores (0 abierto, 1 cerrado) y en general pueden estar representadas por cualquier elemento dual: encendido/apagado, conduce/no conduce, conectado/desconectado, nivel alto/nivel bajo... (Radionics, 2001)

A cada valor de una señal digital se le llama **bit** esta es la unidad mínima de información. Cualquier sistema de regulación y control basado en un microprocesador va a ser incapaz de interpretar señales analógicas, ya que sólo utiliza señales digitales. Esto hace que sea necesario traducir, o transformar en señales binarias las señales analógicas; Este proceso recibe el nombre de digitalización o conversión de señales analógicas a digitales y se realiza a través de sistemas llamados conversores Analógicos Digitales (ADC Analog-to-Digital Converter) como se muestra en la figura 16. (Radionics, 2001)



**Figura 16.** Señales: a) analógica, b) digital.

(Bolton, 2011)

### 2.9.6 CONVERTOR ANALÓGICO DIGITAL

Sistema que lleva a cabo el proceso de conversión de una señal analógica en digital. El objeto de este procedimiento es por un lado facilitar el procesamiento de las señales y por otro hacerlas más inmunes a las interferencias. Para realizar esta función, el convertor ADC tiene que ejecutar los siguientes procesos:

1. Muestreo de la señal analógica.
2. Cuantización de la propia señal.
3. Codificación del resultado en código binario. (Radionics, 2001)

### 2.9.7 VENTAJAS DE LA SEÑAL DIGITAL

- Si una señal digital sufre perturbaciones leves, se puede reconstruir y amplificar por medio de un sistema regenerador de señales.
- Existen códigos binarios que son capaces de detectar e incluso corregir si se ha producido algún error en la captación y transmisión de información digitalizada.
- Facilitan enormemente el proceso de procesamiento de las señales.
- Puede ser reproducida un elevado número de veces (infinitas veces) sin perder calidad en el proceso.

- Existe la posibilidad de aplicar técnicas de compresión de datos, sin pérdida de información de modo mucho más eficiente que con las señales analógicas. (Radionics, 2011)

## **2.10 MÓDULO GSM**

Es un módulo de sistema mínimo con todos los componentes básicos para hacer funcionar el módulo de la marca SIMCOM, ideal para evaluar el funcionamiento de dicho modulo e incluirlo en prototipos o sistemas finalizados con el cableado adecuado. Se comunica con el microcontrolador a través de una interfaz serial y comandos AT. El módulo soporta reset y encendido mediante hardware. Los módulos Simcom también se utilizan en shields para arduino, por lo que se utiliza también con arduino o cualquier microcontrolador o computadora. (Radionics, 2011)

A diferencia de módulos más sencillos, el SIM900 tiene un stack TCP/IP incluido, por lo que realizar aplicaciones que involucran comunicaciones a través de internet es más fácil y todas las operaciones con sockets se dan mediante comandos AT dedicados, el módulo también soporta las 4 bandas de frecuencias internacionales de GSM. (Radionics, 2011)

Este sistema mínimo SIM900 incluye el regulador de voltaje y el zócalo para la tarjeta SIM, por lo cual es bastante sencillo hacer que trabaje con cualquier microcontrolador al sacarlo de su empaque. La conexión puede realizarse fácilmente a cualquier tarjeta de desarrollo o de entrenamiento mediante Cables Dupont. (Radionics, 2011).

### **Características del sistema mínimo SIM900:**

- Módulo cuatribanda GSM de 850 / 900 / 1800 / 1900 Mhz
- GPRS multi slot clase 10/8 estación móvil clase B

- Potencia de transmisión 2W @ 850 / 900 Mhz
- Control mediante comandos AT
- Bajo consumo de corriente: 15 mA en modo sleep
- Temperatura de operación -40 °C a 85 °C
- Comandos AT para operaciones con sockets TCP/IP
- Incluye protocolos de capa de aplicación implementados mediante comandos AT (Radionics, 2011)

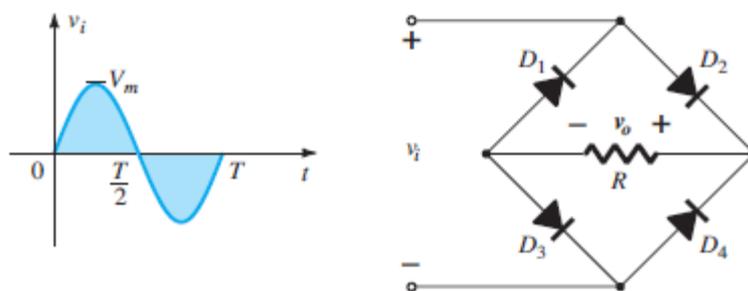
## **2.11 PUENTE RECTIFICADOR**

El puente rectificador es un circuito electrónico usado en la conversión de corriente alterna en corriente continua. También es conocido como circuito o puente de Graetz, en referencia a su creador, el físico alemán Leo Graetz (1856-1941). (Radionics, 2011)

Consiste en cuatro diodos comunes, que convierten una señal con partes positivas y negativas en una señal únicamente positiva. Un simple diodo permitiría quedarse con la parte positiva, pero el puente permite aprovechar también la parte negativa. El puente, junto con un condensador y un diodo Zener, permite convertir la corriente alterna en continua. El papel de los cuatro diodos comunes es hacer que la electricidad vaya en un solo sentido, mientras que el resto de componentes tienen como función estabilizar la señal. Se suele añadir una etapa amplificadora con un transistor BJT para solventar las limitaciones que estos componentes tienen en la práctica en cuanto a intensidad. (Radionics, 2011)

### **2.11.1 RECTIFICADOR DE ONDA COMPLETA TIPO PUENTE**

Una señal se puede mejorar al 100% mediante un proceso de rectificación de onda completa, el puente rectificador se muestra en la figura 17.

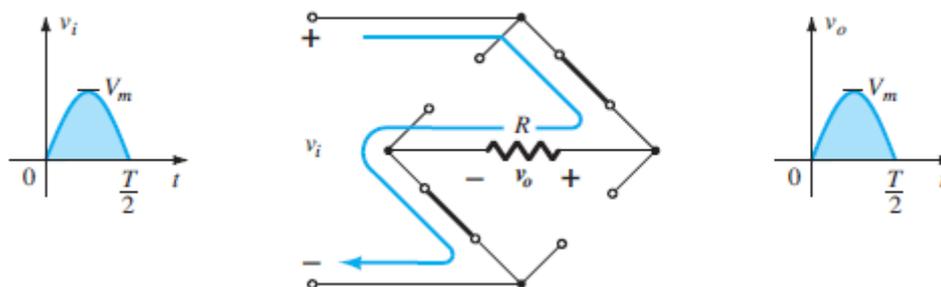


**Figura 17.** Puente rectificador.

(Boylestad, 2011)

### 2.11.1.1 Proceso rectificador de señal

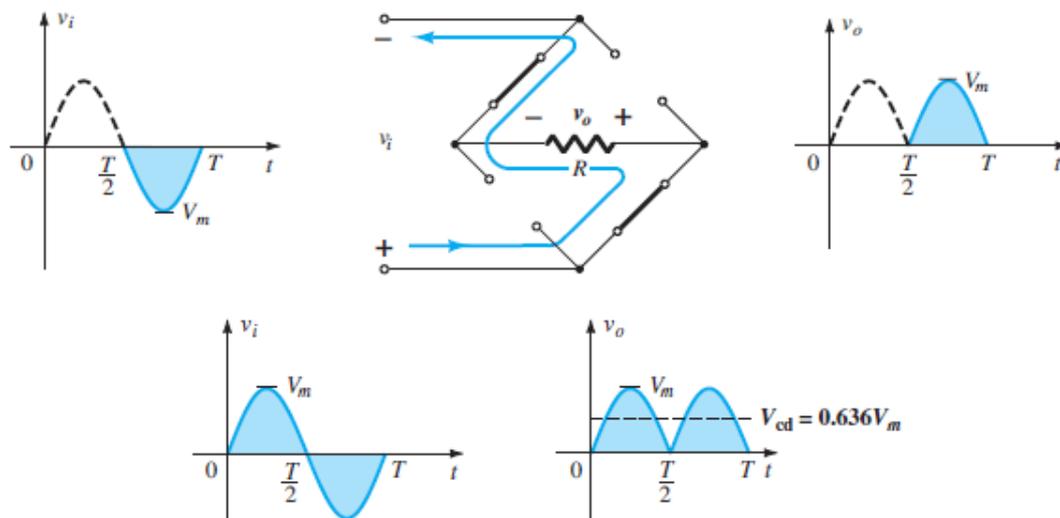
Para el periodo  $t = 0$  la polaridad de la entrada y las polaridades a través de los diodos se muestran en la figura 18. Esto revela que  $D_2$  y  $D_3$  conducen, mientras que  $D_1$  y  $D_4$  se encuentran “apagados”, como los diodos son ideales se observa que  $V_o = V_i$



**Figura 18.** Ruta en la región positiva.

(Boylestad, 2011)

En la región negativa  $D_1$  y  $D_4$  son los conductores, como muestra la figura 19. La polaridad a través del resistor  $R$  es la misma de la configuración anterior, lo que establece un segundo pulso positivo.



**Figura 19.** Ruta en la región negativa, onda resultante.  
(Boylestad, 2011)

## 2.12 PROTECCIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

El funcionamiento anormal de un motor eléctrico puede ser ocasionado por el calentamiento excesivo de sus devanados, sin embargo es posible garantizar un alto funcionamiento, mediante un sistema de protección.

### 2.12.1 PROTECCION CONTRA CORTOCIRCUITOS CON BREAKERS

Están diseñados para interrumpir corrientes de falla, se selecciona por: la corriente de región de operación normal y el nivel máximo de corriente que debe ser interrumpida, estos deben tener un disparo automático e inmediato, en algunos casos se les provee de una serie de disparo en cortocircuito, este sistema cuenta también con una protección de sobrecarga, por tal motivo en el momento de la implementación se acopla un solo dispositivo al circuito eléctrico del motor, se asume que el valor aceptable para selección es 1,5 del valor de la corriente nominal.

## **2.13 SISTEMAS DE CONTROL**

Es un conjunto de elementos físicos relacionados entre sí, son capaces de gobernar su actuación por sí mismos, sin necesidad de la intervención de agentes externos, con esto se anulan los posibles errores que puedan surgir en su funcionamiento debido a alteraciones no previstas. (Correa, 2009)

Cualquier sistema automático está constituido por un sistema físico que realiza la acción, y un sistema de mando, que genera las órdenes precisas para que se ejecuten las acciones. En los sistemas de regulación y control automáticos se sustituye el componente humano por un mecanismo, circuito eléctrico, electrónico o, un ordenador. En este caso, el sistema de control sería automático. (Correa, 2009)

Un sistema de control se puede utilizar para:

- Controlar algo variable sujeto a un valor particular.
- Controlar la secuencia de eventos.
- Controlar si ocurre o no un evento. (Bolton, 2011).

### **2.13.1 SISTEMA DE CONTROL DE LAZO CERRADO**

La acción de control está en función de la señal de salida. Los sistemas de circuito cerrado usan la retroalimentación desde un resultado final para ajustar la acción de control en consecuencia, el control en lazo cerrado es necesario cuando se da alguna de las siguientes circunstancias:

- Cuando un proceso no es posible de regular por el hombre.
- Una producción a gran escala que exige grandes instalaciones y el hombre no es capaz de manejar.
- Vigilar un proceso es especialmente difícil en algunos casos y requiere una atención que el hombre puede perder fácilmente por

cansancio o despiste, con los consiguientes riesgos que ello pueda ocasionar al trabajador y al proceso. (Correa, 2014)

Sus características son:

- Ser complejos, pero amplios en cantidad de parámetros.
- La salida se compara con la entrada, afecta el control del sistema.
- Su propiedad de retroalimentación.
- Ser más estable a perturbaciones y variaciones internas.

Los sistemas en lazo cerrado presentan las siguientes ventajas frente a los de lazo abierto:

- Más exactos en los valores requeridos para la variable controlada.
- Menos sensibles a las perturbaciones.
- Menos sensibles a cambios en los componentes. (Bolton, 2011).

#### 2.13.1.1 Elementos básicos de un sistema de lazo cerrado

- **Comparador:** Compara el valor de referencia de la condición variable que se controla con el valor medido de lo que se produce y genera una señal de error. Se considera que suma la señal de referencia, positiva, a la señal del valor medido, que en este caso es negativa:

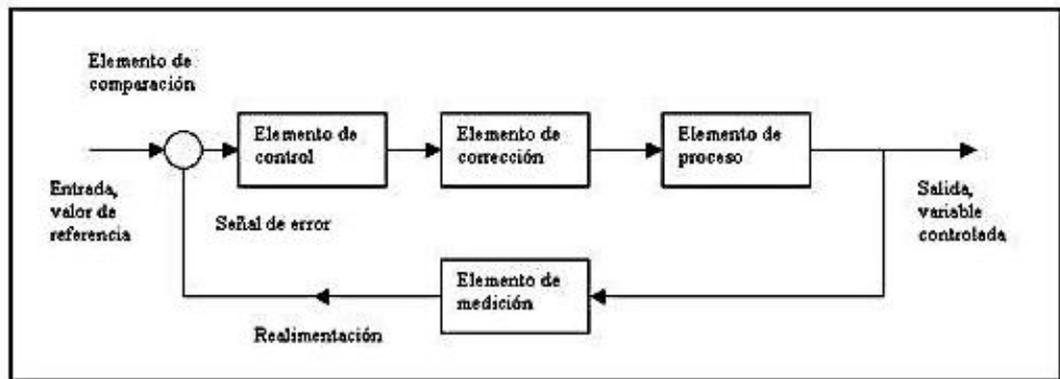
Señal de error = señal del valor de referencia – señal del valor medido  
(Bolton, 2011), [2.44]

En general, el símbolo utilizado para representar un elemento en el que se suman las señales es un circuito dividido; cada entrada va a un segmento.

- **Controlador:** En cuanto recibe una señal de error, el controlador decide qué acción llevar a cabo. Podría tratarse, por ejemplo, de una señal para accionar un interruptor o abrir una válvula.

- **Elemento de actuación:** Produce un cambio en el proceso a fin de corregir o modificar la condición controlada.
- **Proceso:** Es aquello que se controla.
- **Elemento de medición:** Produce una señal relacionada con el estado de la variable del proceso que se controla. (Bolton, 2011)

Todos los elementos se muestran en la figura 20.



**Figura 20.** Elementos de un sistema de control de lazo cerrado.  
(Bolton, 2011)

### **3. METODOLOGÍA**

Este capítulo tiene como finalidad delinear y especificar todas las partes del sistema e integrar la metodología mecatrónica dentro del mismo.

### 3.1 SISTEMA MECATRÓNICO

Para poder definir el proceso mecatrónico primero se establecerá el concepto claro de lo que es la mecatrónica, la misma que se puede definir como una integración completa de sistemas mecánicos, electrónicos y un sistema de control con un enfoque concurrente al diseño que permite desarrollar sistemas más eficientes, confiables y flexibles, por lo tanto, tienen un enfoque integral de ingenierías. (Bolton, 2011)

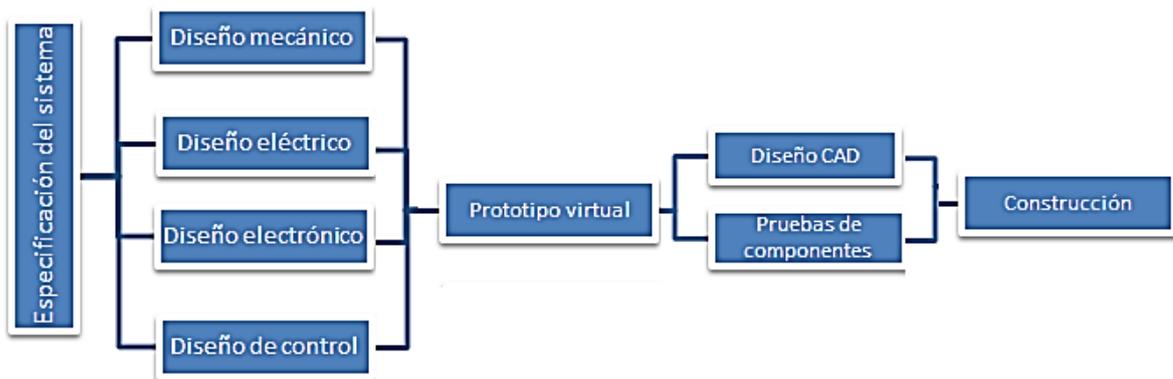


Figura 21. Metodología mecatrónica

La figura muestra que la metodología mecatrónica para este proyecto tendrá en cuenta cuatro aspectos principales que interactuarán entre sí: mecánica, eléctrica, electrónica y control, los mismos que producen nuevas ramas que incluyen dos o más de ellas en un mismo sistema. (Sánchez, 2012)

Para empezar un sistema mecatrónico se debe hacer simulaciones electromecánicas, circuitos de control y posteriormente un control digital, lo cual evaluará todas las señales y aspectos del proyecto.

## **3.2 GENERALIDADES DE LA MÁQUINA**

En esta parte del proyecto se detallan las características mecánicas, eléctricas, y de control necesarias para realizar el proceso de laminado y recolección de botellas plásticas PET.

### **3.2.1 SISTEMA MECÁNICO**

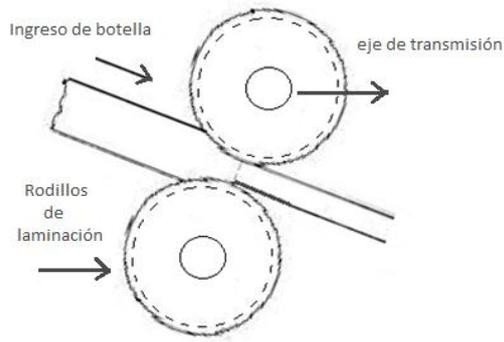
A continuación se describe la máquina separada por estaciones de trabajo.

#### **3.2.1.1 Estación de Laminado**

En esta etapa la botella es deformada, debido a la presión ejercida por los rodillos, de forma cilíndrica a forma laminar de PET

- Los rodillos girarán a velocidad constante mediante engranes rectos y direccionarán la botella hacia la bolsa de almacenamiento.
- Los engranes rectos se acoplarán a ejes que deben cumplir con varias características mecánicas.
- La fuerza motriz se generará por un motor que se escogerá de catálogo acoplándose con las características necesarias.

Para evitar un atasco de botellas se utilizará un sensor analógico que medirá la corriente generada por el motor, con un rango que se adapte a ciertas características de corriente, en caso de que la corriente sea mayor a la nominal del motor, la cual es la misma de la programada, se enviará una señal al sistema de control para generar una inversión de giro en los ejes, el tiempo de duración de este proceso será determinado mediante experimentación, en este tiempo el valor nominal de corriente se regulará y el giro regresará a su dirección original.



**Figura 22.** Proceso de laminación en el proyecto

### 3.2.1.2 Estación de recolección

La botella laminada se almacenará en una bolsa receptora que contará con un sensor que detectará que la bolsa se encuentra saturada. Una vez que se llegue al estado de saturación se activará una señal para bloquear el sistema y avisará por medio de un mensaje de texto al operador de la máquina. Dicho mensaje deberá ser enviado por un módulo GSM.

### 3.2.1.3 Bastidor

El bastidor deberá soportar todo el peso del mecanismo, para esto se diseñará una mesa que será calculada como columnas y vigas respectivamente y se seleccionarán del catálogo de perfiles estructurales según el resultado del análisis de todo el conjunto.

### 3.2.1.4 Cubierta mecánica

Se utilizará una estructura para la máquina que incluya: canales de laminación, ingreso de botella y recubrimiento del sistema, la misma que deberá ser resistente a la corrosión, de bajo costo y fácil acceso a la compra del material, su importancia radicará en la protección del sistema a factores tanto ambientales como de contaminación.

### **3.2.1.5 Modelamiento**

Se modelará el sistema mecánico mediante software especializado que permita realizar un análisis preciso de esfuerzos y movimientos de acuerdo a la geometría de la máquina y los materiales empleados, el modelar el sistema permitirá tener una visión clara del proyecto antes de fabricar el prototipo, esto logrará reducir el costo de fabricación ya que no se incurrirá en gastos innecesarios.

## **3.2.2 SISTEMA ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO**

### **3.2.2.1 Motor**

El motor proveerá de la fuerza motriz que necesita la máquina para realizar el proceso de laminado, para ello se deberá definir las características de potencia, velocidad, torque entre otros, y se deberá asegurar su correcta conexión a la red eléctrica.

### **3.2.2.2 Rectificación de señal**

Si se opta por un motor de corriente continua, es necesario implementar un sistema de rectificación de señal que permita tomar corriente alterna de 110 voltios y modificarla a las necesidades del motor, esto se realizará con un rectificador de onda completa tipo puente.

### **3.2.2.3 Protección de la máquina**

Constará de un botón de paro emergente de la máquina, el cual será seleccionado del catálogo de pulsadores industriales y complementado con un sistema de desconexión automática de la máquina con la red eléctrica.

### **3.2.3 SISTEMA DE CONTROL**

Evaluará las señales digitales y analógicas de los sensores y pulsadores de toda la máquina, así esta podrá tomar decisiones independientes para poder dar movilidad a los actuadores y mostrar el estado de la misma en el LCD.

#### **3.2.3.1 Inicio de operaciones de laminado**

El sistema empezará su funcionamiento al recibir una señal de uno lógico de parte de un sensor colocado en el ingreso de botellas, un cero lógico de parte del sensor de saturación y que la puerta esté cerrada.

#### **3.2.3.2 Atasco de botella**

Cuan una botella no pase correctamente por la estación de laminado el motor deberá hacer más esfuerzo para girar, lo que provocará el aumento en su corriente, en dicho caso un sensor de efecto Hall detectará éstos picos de corriente debido al cambio en el campo electromagnético, el mismo dará una señal que cambie el sentido de giro momentáneamente, para que el proceso continúe con normalidad.

#### **3.2.3.3 Paro del sistema**

Cuando el sensor ubicado en la salida del ducto de laminación refleje una señal de uno lógico, se dará por terminado el proceso, se apagará el motor y se bloqueará la máquina para permitir el ingreso de la siguiente botella.

#### **3.2.3.4 Saturación**

El sensor indicará que la bolsa receptora se encuentra llena, lo que activará el módulo GSM, el que mandará un mensaje de texto al operario para vaciar la máquina.

### **3.2.3.5 Interfaz con el operario**

En este proyecto se usará un LCD ya que se requiere visualizar tanto el nombre del proyecto, saludos iniciales, finalizaciones de procesos, alarmas de fallos generados por malos posicionamientos, exceso de corriente o bloqueos de máquina.

## **3.3 ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA**

### **3.3.1 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTO**

La transmisión de movimiento a través de engranes rectos dota de movimiento circular a los rodillos dentados.

### **3.3.2 FACILIDAD DE OPERACIÓN**

La interacción entre sensores y actuadores por medio del sistema de control logra la automatización del proceso, lo que permite facilitar la operación de la máquina.

### **3.3.3 MONTAJE Y DESMONTAJE**

La máquina debe ser desmontable para facilitar el traslado y el mantenimiento de la misma.

### **3.3.4 FACILIDAD DE MANTENIMIENTO**

El mantenimiento consta de: revisar niveles de aceite del motor, limpieza de polvo y revisión de borneras.

### **3.3.5 TAMAÑO**

Debe ser lo más pequeño posible ya que se trata de una máquina de interacción directa con el consumidor y que se ubicará en sitios públicos.

## **3.4. RESTRICCIONES DE LA MÁQUINA**

Las restricciones de la máquina son tolerancias en condiciones extremas para evitar fallas al momento del funcionamiento, hasta un límite definido.

### **3.4.1. DIMENSIONES**

- **Dimensionamiento del bastidor:**

La dimensión del bastidor es tomada según la altura del ducto de ingreso, que es de 16 pulg.

- **Dimensionamiento de rodillos:**

Es ajustable de acuerdo a la sobre dimensión del largo de la botella de mayor tamaño y da como resultado 24 pulg,

- **Dimensionamiento de engranes:**

Es ajustable de acuerdo a la separación de los rodillos, esta es de 4.7 pulg.

### **3.4.2. MOVIMIENTO DE RODILLOS LAMINADORES**

La transmisión de movimiento para cada rodillo debe ser de sentido contrario y debe conducir la botella hacia la bolsa receptora.

### **3.4.3. UBICACIÓN DE LA MÁQUINA**

Determinar un lugar estable y de gran resistencia con el fin de evitar inestabilidad o vibraciones por la máquina.

### **3.4.4. SISTEMA DE SEGURIDAD**

Es necesario contemplar un aislamiento total de los rodillos con respecto al usuario, mediante un recubrimiento, ya que esta estación puede llegar a ser altamente peligrosa

### **3.4.5. TABLERO ELÉCTRICO**

Consta de una conexión a 110v y un sistema de protección de motor, con breaker.

## **3.5. OBJETIVOS PRINCIPALES DE LA MÁQUINA**

- Laminar botellas plásticas PET.
- Interacción directa con el usuario.
- Automatización completa del sistema.

## **3.6. VARIABLES INDEPENDIENTES**

- **Tiempo de trabajo:**

Se plantea la laminación de 34 botellas de 13 pulg de longitud en un minuto.

- **Longitud de operación:**

El proceso se realiza con una botella a la vez.

- **Fuerza:**

La fuerza necesaria se determina de forma experimental.

### **3.7. DESARROLLO DEL CONCEPTO DE LA MÁQUINA**

Este sistema inicia por el estudio de los diferentes tipos de reciclaje de botellas plásticas existentes en el mercado para enfocarse específicamente en el laminado, posteriormente se realizará una evaluación de los sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y de control.

También se evaluará todos los tipos de sensores existentes que sean congruentes con el proyecto con la finalidad de escoger aquellos que brinden el mayor grado de exactitud, fiabilidad y fácil uso.

Se realizará la selección de un medio de control el cual se encargará de adquirir, codificar y representar las señales generadas por el sistema para continuar con el proceso del laminado de botellas plásticas.

Ya realizado el análisis de movimientos a automatizar, el sistema de control se encargará de recibir las señales lógicas y analógicas de los diferentes tipos de sensores para controlar a los actuadores según el tipo de señal recibida.

Finalmente se realizará el diseño mecánico conformado por: servomotores, rodillos de laminación, engranajes de transmisión, estructura de paso sólida de tol galvanizado y recolector de botellas. Una vez llena la bolsa receptora, se enviará un mensaje de texto al encargado del mantenimiento de la máquina y el sistema se bloqueará automáticamente.

#### **3.7.1. ALTERNATIVAS DE DISEÑO**

Se analizan diferentes alternativas de diseño según los requerimientos específicos, se obtienen dos tipos alternativas para laminado de botellas plásticas PET.

### 3.7.1.1. Prensa hidráulica

Funciona con fluidos hidráulicos que permiten la expulsión y retracción del cilindro que apastará la botella. Consta de columnas laterales para el soporte de la máquina



**Figura 23:** Prensa hidráulica  
(Draper, 2015)

Características:

- Control semiautomático
- Altura mínima 300 mm.
- Altura Máxima 600 mm.
- Movimiento del Cilindro 300 mm

### 3.7.1.2. Laminadora de botellas por medio de rodillos

Consta de dos rodillos laminadores que funcionan a través de una fuerza motora que los provee de movimiento circular. Su estructura esta soportada por un bastidor rígido y una base que evita la vibración.



**Figura 24:** Sistema con rodillos laminadores  
(OF, 2015)

### 3.7.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS POR CRITERIOS PONDERADOS

Para la selección del mecanismo más adecuado se realiza un análisis según la tabla 2 de criterios ponderados, que presenta requerimientos de ingeniería con referencia a las dos alternativas descritas anteriormente, se escoge el sistema de rodillos laminadores como la alternativa ganadora en: diseño, construcción, operación, y mantenimiento, etc. Definir el modelo de diseño y por ultimo realizar la construcción de dicha máquina.



**Tabla 3.** Tabla de selección de alternativas del proyecto  
(ESCALA 5: OPTIMO 1: MENOR)

<b><u>CUADRO DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS</u></b>	<b>Facilidad de montaje y fabricación</b>	<b>Peso</b>	<b>Facilidad de mantenimiento</b>	<b>Funcionalidad</b>	<b>Bajo costo</b>	<b>Requerimiento de esfuerzos por parte del operador</b>	<b>Complejidad de control</b>	<b><u>TOTAL</u></b>
<b>Sistema Hidráulico</b>	3	1	2	5	3	3	4	21
<b>Sistema por rodillos</b>	4	4	4	5	4	4	5	<u>30</u>

**Tabla 4.** Cuadro de selección de alternativa por criterios ponderados

<b>Criterios</b>	<b>Facilidad de montaje y fabricación</b>	<b>Peso</b>	<b>Facilidad de mantenimiento</b>	<b>Funcionalidad</b>	<b>Complejidad de control</b>	<b>Requerimientos de esfuerzos por parte del operador</b>	<b>Costo</b>	<b><math>\Sigma</math></b>	<b>Prioridad</b>
<b>Sistema Hidráulico</b>	0,43	0,11	0,24	0,66	0,36	0,32	0,37	2,47	3
<b>Sistema por rodillos</b>	0,58	0,42	0,47	0,66	0,47	0,42	0,46	3,49	1

Se analiza dos alternativas, se compara cada uno de los requerimientos y se establece 0 no necesario y 1 muy necesario como se muestra en la Tabla 2.

La tabla 3 muestra las dos alternativas, se califican las alternativas según los requisitos de ingeniería con una escala 5 óptimo y 1 menor, culminada la evaluación se suma el puntaje de cada alternativa, como resultado la ALTERNATIVA 2 resulta con mejor puntaje.

La tabla 4: el "Sistema por rodillos es el diseño a realizarse por cumplir con los requisitos de ingeniería propuestos mayoritariamente.

### **3.8. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

Se realizan diferentes tipos de análisis con diferentes condiciones en el funcionamiento de la máquina laminadora de botellas plásticas PET, uno de los análisis más importantes es la medición de las dimensiones de la botella luego de ser procesada, para llegar al análisis de los resultados obtenidos en una tabla.

### **3.9. FORMALIDAD DE LAS PRUEBAS**

- Encendido del sistema
- Velocidad de giro de los rodillos
- Funcionamiento de los sensores
- Calidad de laminado
- Tiempo de laminación

## **4. DISEÑO**

En esta parte del proyecto se diseñará todas las partes de un sistema automático de laminado y recolección de botellas plásticas se especificarán cálculos, simulaciones y dimensionamiento de componentes.

#### 4.1 DISEÑO DE CONTROL

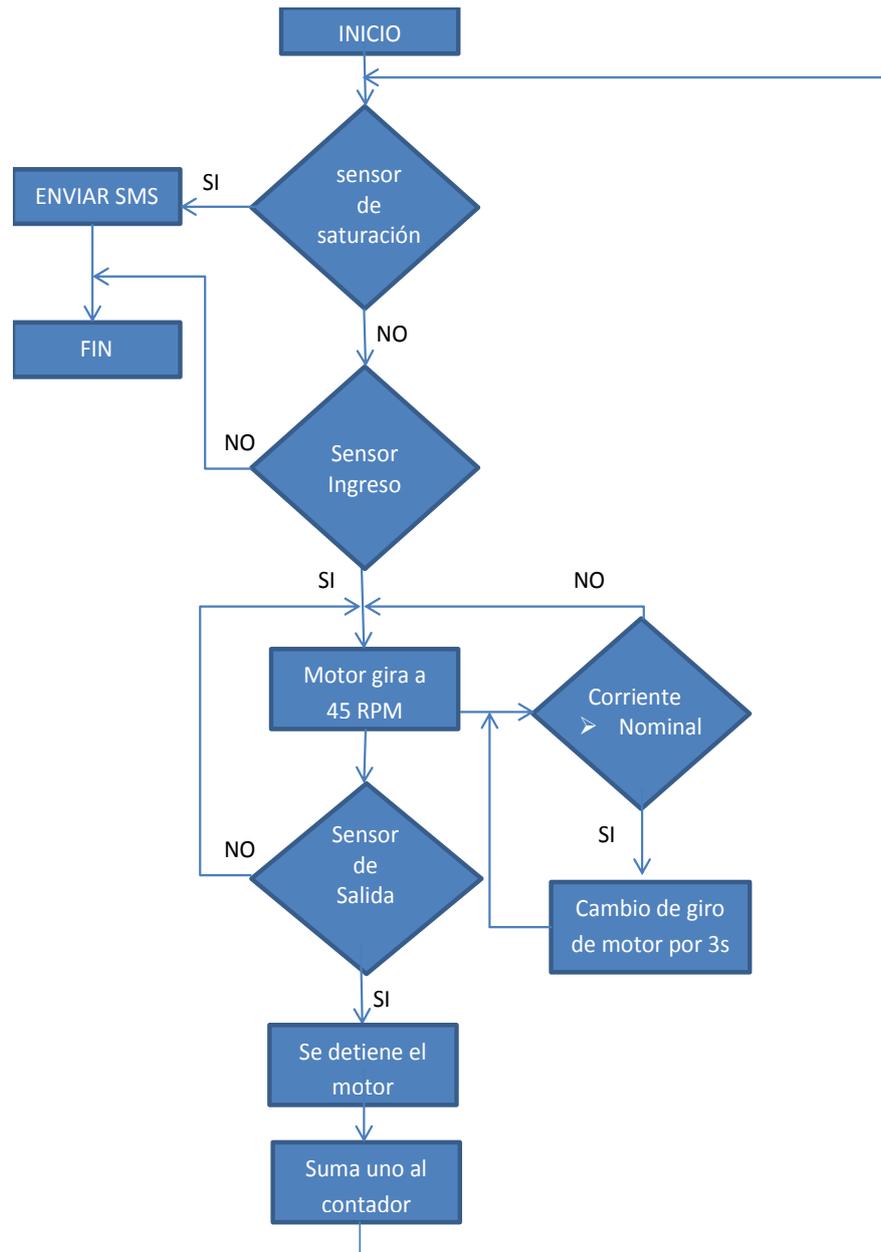


Figura 25. Flujograma de procesos en laminadora

## 4.2 DISEÑO DE RODILLOS

Datos:

$L_b = 13$  pulg = longitud de la botella más grande (en función de la tabla 11)

Requerimientos:

1,4 vueltas del rodillo por parámetro limitante

Justificación:

$L_b = 13$  pulg = 1,4 vueltas del rodillo

$L' = 9,42$  pulg = 1 vuelta del rodillo

1 vuelta =  $9,42$  pulg =  $2\pi R$

$R = 1,499$  pulg

El tubo comercial estructural  $R = 1,5$  pulg

→  $D_{\text{RODILLO}} = 3$  pulg

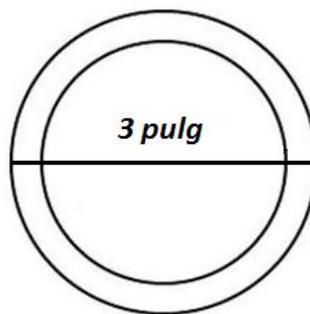


Figura 26. Espesor de rodillo laminador

Verificación de tubo estructural:

$F_t = 100$  lb; obtenido por experimentación

Fuerza por rodillo:

$$F = Ft/2$$

$$F = 50 \text{ lb}$$

Características del material:

Acero ASTM A-36

$$S_u = 58 \text{ ksi}$$

$$S_y = 36 \text{ ksi}$$

$$S_n = 20 \text{ ksi laminado en caliente}$$

Parámetros de diseño

- Factor de material

$$C_m = 1.0$$

- Factor de confiabilidad

$$C_r = 0.81 \quad \text{con } 0.99 \text{ de confiabilidad}$$

- Factor tipo de esfuerzo

$$C_{st} = 1.0 \quad \text{para esfuerzo flexible repetido}$$

- Factor de tamaño

$$C_s = 0.7 \text{ diámetro tentativo de 3 pulgadas}$$

- Cálculo de  $S_n'$

$$S_n' = S_n * C_m * C_{st} * C_r * C_s$$

$$S_n' = (20000)(1.0)(1.0)(0.81)(0.7)$$

$$S_n' = 11200 \text{ psi}$$

- Longitud efectiva

$h_o = 1,18$  pul      ancho inicial de ingreso de botella (ingresa de pico debido a la posición vertical, el pico es entandar para todas las botellas)

$h_f = 0,54$  pul      ancho final esperado

$$L = \sqrt{R(h_o - h_f)} \quad [2,2]$$

$$L = \sqrt{1,5(1,10 - 0,65)}$$

$$L = 0,82 \text{ pul}$$

- Cálculo de Potencia

$$P = \frac{2\pi * F * Lc * N}{33000} Hp \quad [2.3]$$

$$P = \frac{2\pi * 50 * (0,82/1,5) * 48}{33000} Hp$$

$$P = 0,25 Hp$$

- Par torsor

$$T = F * \frac{L}{2} \quad [2,4]$$

$$T = 100 * \frac{3,1}{2}$$

$$T = 154,9 \text{ lb pul}$$

- Momento Flector

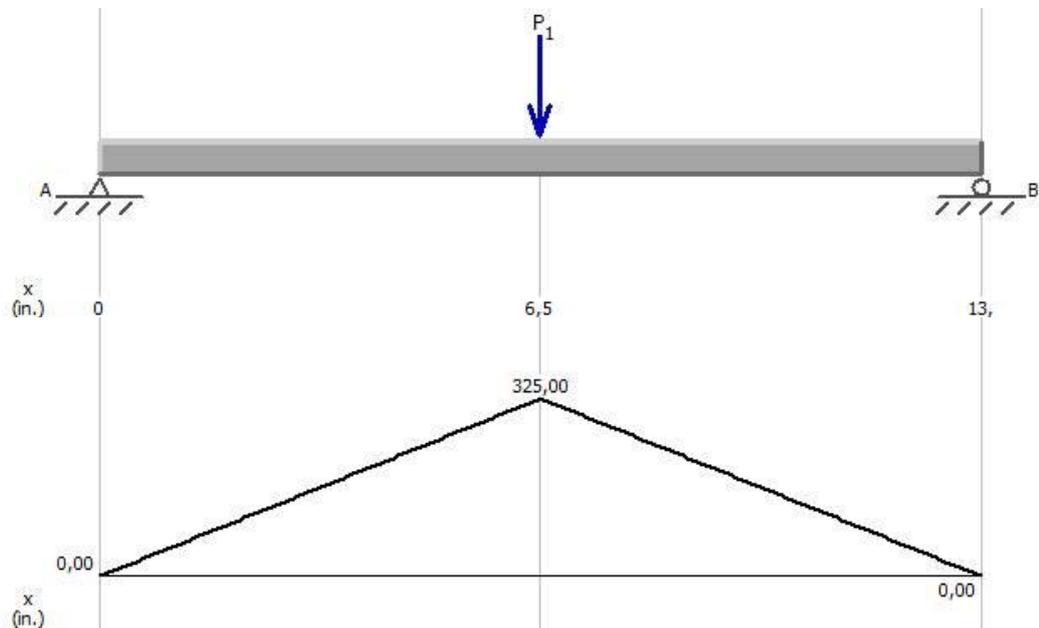


Figura 27. Cálculo de esfuerzos en MDSolid

Cálculo de esfuerzos posibles

Tubo seleccionado:

e= 2 mm = 0,079 pulg

- S para tubo hueco

$$S = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32 D} \quad \text{ver anexo 5}$$

$$S = \frac{\pi(3^4 - 2,92^4)}{32 (3)} = 0,27$$

$$\sigma_1 = \frac{M}{S} \quad [2.5]$$

$$\sigma_2 = 0$$

$$\sigma_1 = \frac{325}{0,27} = 1203,7 \text{ lb pulg}$$

- $Z_p$  para tubo hueco

$$Z_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{16 D}$$

$$Z_p = \frac{\pi(3^4 - 2,92^4)}{16 * 3} = 0,54$$

$$\tau = \frac{T}{Z_p}$$

$$\sigma = \frac{154,9}{0,54} = 286,85 \text{ lb.pul}$$

Esfuerzo medio

$$\sigma_{1m} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} \quad [2.9]$$

$$\sigma_{2m} = 0$$

Esfuerzo alternante

$$\sigma_{1a} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad [2.10]$$

$$\sigma_{2a} = 0$$

$$\sigma_m = \sigma_a$$

$$\sigma_m = \sigma_a = \frac{1203,7}{2} = 601,85 \text{ psi}$$

Esfuerzo cortante medio

$$\tau_m = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$$

$$\tau_2 = 0$$

Esfuerzo cortante alternante

$$\tau_a = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$$

$$\tau_2 = 0$$

$$\tau_m = \tau_a$$

$$\tau_m = \tau_a = \frac{286,85}{2} = 143,43 \text{ psi}$$

- Círculo de Mohr

$$\sigma_{1m} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \sqrt{a \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} b^2 + \tau_{xy}^2} \quad [2.7]$$

$$\sigma_{1m} = \frac{601,85}{2} + \sqrt{\left(\frac{601,85}{2}\right)^2 + 143,43^2} = 634,25 \text{ psi}$$

$$\sigma_{2m} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \sqrt{a \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} b^2 + \tau_{xy}^2} \quad [2.8]$$

$$\sigma_{2m} = \frac{601,85}{2} - \sqrt{\left(\frac{601,85}{2}\right)^2 + 143,43^2} = -32,43 \text{ psi}$$

- Esfuerzos de von Mises

$$\sigma_{1m} = \sigma_{1a}$$

$$\sigma_{2m} = \sigma_{2a}$$

$$\sigma'_m = \sqrt{\sigma_{1m}^2 + \sigma_{2m}^2 - \sigma_{1m} \sigma_{2m}} \quad [2.11]$$

$$\sigma'_m = \sqrt{624,25^2 + (-32,43)^2 - 624,25 * (-32,43)}$$

$$\sigma'_m = 651,07 \text{ psi}$$

$$\sigma'_a = \sqrt{\sigma_{1a}^2 + \sigma_{2a}^2 - \sigma_{1a} \sigma_{2a}} \quad [2.12]$$

$$\sigma'_a = \sqrt{624,25^2 + (-32,43)^2 - 624,25 * (-32,43)}$$

$$\sigma'_a = 651,07 \text{ psi}$$

- Ecuación de Goodman

$$k_t \frac{\sigma'_a}{S'_n} + \frac{\sigma'_m}{S_u} = \frac{1}{N} \quad [2.13]$$

$$1,5 \frac{651,07}{11200} + \frac{651,07}{58000} = \frac{1}{N}$$

N=10,16 muy superior a 2; por lo tanto se afirma que el material no presentará fallas

Para asegurar la sujeción de la botella se plantea agregar dientes al rodillo, estos dientes no interactúan entre sí, por lo que se considera necesario analizarlos con verificación de falla con el material escogido.

Verificación de falla de diente de rodillo:

F= 50 lb; interacción máxima de dos dientes en cada botella

Características del material

Acero ASTM A-36

Su = 58 ksi

Sy = 36 ksi

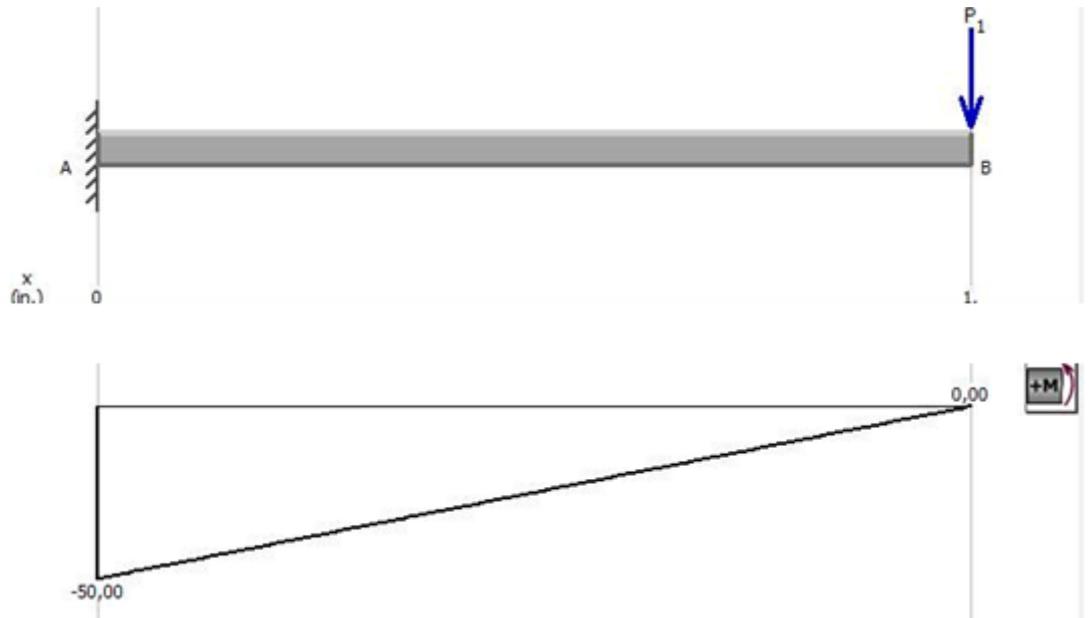
Sn = 20 ksi laminado en caliente

Parámetros de diseño

- Factor de seguridad

N=3 para todo el diseño

- Momento Flector



**Figura 28.** Cálculo de esfuerzos del diente en MDSolid

Esfuerzo de diseño

$$\sigma_d = \frac{Sy}{N} \quad [2.36]$$

$$\sigma_d = \frac{36000}{3} = 12000 \text{ psi}$$

Esfuerzo máximo permisible

$$\sigma_a = \frac{M}{S} \quad [2.5]$$

$$\sigma_a = \frac{50}{0,17} = 294,17 \text{ psi}$$

$$\sigma_d > \sigma_a$$

Por tanto se asegura que el diente no fallará

## 4.3 DISEÑO DE EJE

- Fuerza total empleada

$F_T = 110 \text{ lb}$  fuerza de compresión de botella plástica y peso de rodillo.

- Potencia

$P = 1/4 \text{ hp}$  estandarizado con rodillo para el diseño

- Par torsional

$T = 154,9 \text{ lb.pul}$  estandarizado con rodillo para el diseño

- Velocidad del motor

$V = 48 \text{ rpm}$

Propiedades del material:

Acero AISI 4340

$S_y = 158 \text{ Ksi}$

$S_u = 171 \text{ ksi}$

$S_n = 70 \text{ ksi}$

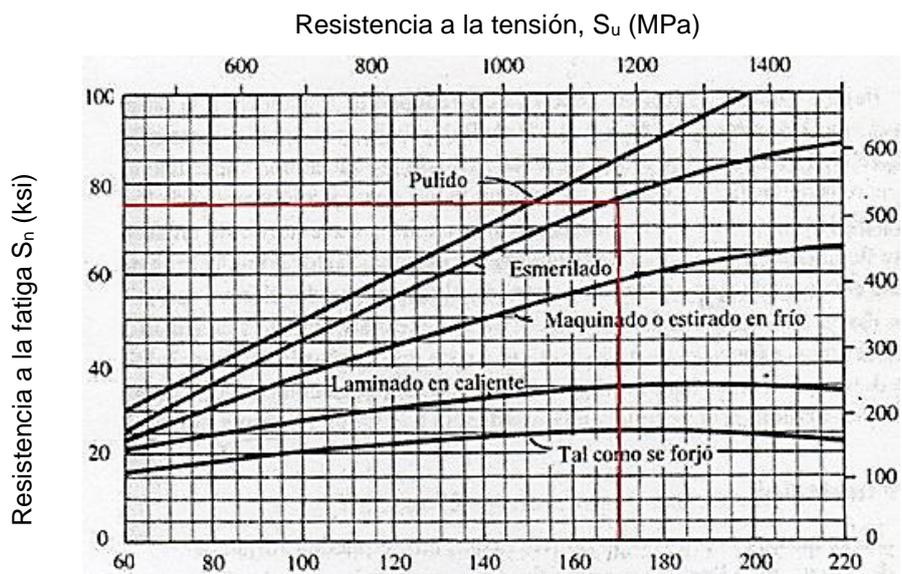


Figura 29. Resistencia a la fatiga en función de la resistencia a la tensión.

(Mott, 2006)

- Factor de material

$C_m = 1.0$  para aceros esmerilados

- Factor de confiabilidad

$C_r = 0.81$  con 0.99 de confiabilidad

- Factor tipo de esfuerzo

$C_{st} = 1.0$  para esfuerzo flexible repetido

- Factor de tamaño

$C_s = 0.7$  por diámetro tentativo de 7.5 pulgadas

- Cálculo de  $S_n'$

$S_n' = S_n * C_m * C_{st} * C_r * C_s$

$S_n' = (75000)(1.0)(1.0)(0.81)(0.7)$

$S_n' = 42525 \text{ ksi}$

- Factor de diseño N

$N = 3$  eje bajo cargas dinámicas con incertidumbre de combinación

- Constante de diseño K

$K = 1.6$  considerado de trineo para acople con engranaje

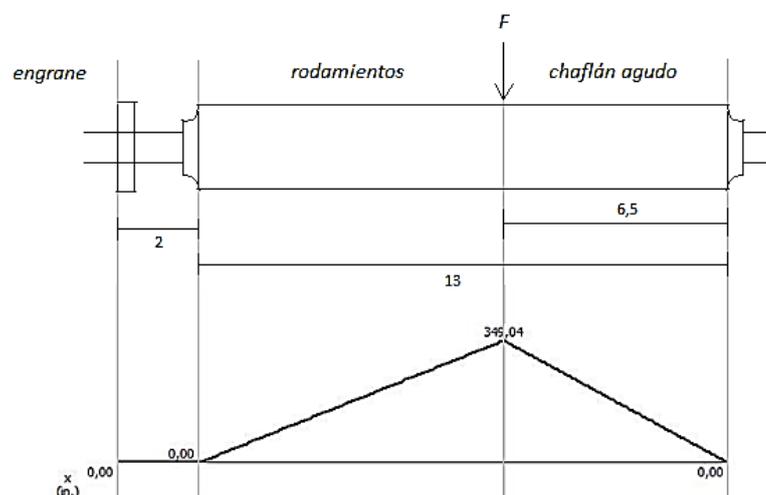


Figura 30. Eje

Punto A

El engrane proporciona torsión en el eje hacia la derecha, no existe fuerza sobre este punto.

$$D_A = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[ \frac{154,9}{158000} \right]^2} \right]^{1/3} \quad [2.17]$$

$$D_A = [30.558 * 8,4e^{-4}]^{1/3}$$

$$D_A = 0.30 \text{ pulg}$$

Punto B

Se coloca rodamiento con chaflán agudo, no existe fuerza sobre este punto.

$$D_B = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left[ \frac{154,9}{158000} \right]^2} \right]^{1/3} \quad [2.17]$$

$$D_B = [30.558 * 8,4e^{-4}]^{1/3}$$

$$D_B = 0.30 \text{ pul}$$

Punto C

Se aplica carga total

$$D_C = \left[ \frac{32N}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{KM}{Sn'} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{T}{S_y} \right]^2} \right]^{1/3} \quad [2.17]$$

$$D_C = \left[ \frac{32 * 3}{\pi} \sqrt{\left[ \frac{1.6 * 349,4}{42525} \right]^2 + \frac{3}{4} \left[ \frac{154.9}{158000} \right]^2} \right]^{1/3}$$

$$D_C = 0.74 \text{ pul}$$

Calculo de Kt para chaflán

$$\begin{aligned} D/d \\ 0,74/0,3 \\ 2,4 \end{aligned}$$

Entonces se presume un  $K_t = 1,5$  por figura 9.

#### 4.4 SELECCIÓN DE RODAMIENTO

- Factor de rotación

$V=1$                     gira en la pista interior del rodamiento

- Carga de empuje

110 lb

- Carga radial

55 lb carga empleada en cada eje

- Factor por velocidad

rpm del motor        48

$F_n = 0,9$

- Suponer que  $Y=1,99$

$e=0,22$                     (aproximadamente)

**Tabla 5.** Factores de carga radial y de empuje, para rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda

$e$	$T/C$	$Y$	$e$	$T/C$	$Y$
0,19	0,014	2,30	0,34	0,170	1,31
0,22	0,028	1,99	0,38	0,280	1,15
0,26	0,056	1,71	0,42	0,420	1,04
0,28	0,084	1,55	0,44	0,560	1,00
0,30	0,110	1,45			

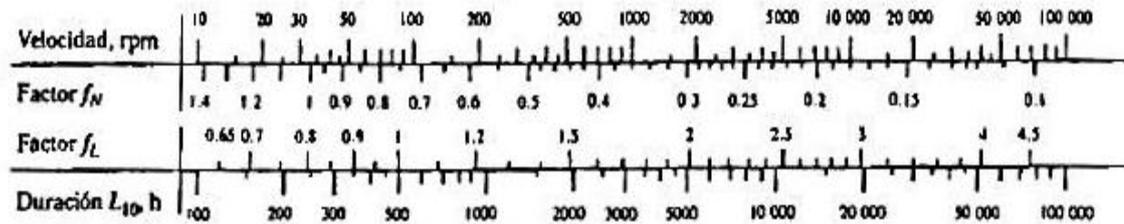
(Mott, 2006)

- Factor de duración

Se estima 30000 horas de duración

$$F_l = 3,4$$

**Tabla 6.** Factores por duración y por velocidad, para rodamientos de bolas y de rodillos



(Mott, 2006)

- Carga equivalente

$$P = V * R * Y + T * Y \quad [2.18]$$

$$P = 249.9497$$

$$C = P * \frac{F_l}{F_n} = 944.2544 \quad [2.19]$$

En función de C, se escoge rodamiento 6201 de la tabla siguiente:

**Tabla 7.** Datos para seleccionar rodamientos de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad (ver anexo 4)

Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento							Dimensiones de escalón preferido		Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática $C_0$	Capacidad básica de carga dinámica C
	d		D		B		$r_1$	Eje	Caja			
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	Pulg	Pulg	Pulg			
201	12	0.4724	32	12.598	10	0.3937	0.024	0.578	1.063	0.08	675	1180

(Mott, 2006)

## 4.5 SELECCIÓN DE ACOPLAMIENTO

Debido a que el acoplamiento del motor es directo al eje de la máquina, se selecciona un acoplamiento flexible que cumpla con las siguientes condiciones

1. Potencia a transmitir: ¼ hp
2. Características de la transmisión:
3. Velocidad en revoluciones por minuto: 48rpm
4. Dimensiones de los ejes a acoplar:

## 4.6 DISEÑO DE GEOMETRÍA DEL ENGRANE

Se ha seleccionado un engrane cilíndrico de dientes rectos de tipo normal, con 20 dientes y distancia entre ejes de 120mm, a continuación se detalla el cálculo de la geometría del engrane.

Nº de dientes = 20 = z

Distancia entre centros = 120 mm, 4.7pulg = a

- Cálculo de diámetro primitivo a partir de la distancia entre centros:

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad [2.20]$$

$d_1 = d_2$  ya que los engranes servirán para transmisión de movimiento con velocidad constante

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

- Módulo a partir del número de dientes:

$$d = a = 120 \text{ mm}$$

$$d = m * z$$

$$m = \frac{d}{z} = \frac{120}{20} = 6$$

- Relación de transmisión

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{20}{20} = 1 \quad \mathbf{[2.21]}$$

- Para ha y hf para dientes normales:

$$ha = 1 * m = 1 * 6 = 6$$

$$hf = 1.25 * m = 1.25 * 6 = 7.5$$

- Diámetro exterior:

$$de = d + 2 ha \quad \mathbf{[2.22]}$$

$$de = 120 + 9 = 129 \text{ mm}$$

- Diámetro interior:

$$di = d - 2 hf \quad \mathbf{[2.23]}$$

$$di = 120 - 11.5 = 108.5 \text{ mm}$$

- Espesor del diente:

$$s = \frac{19}{40} \pi * m = \frac{19}{40} \pi * 6 = 8.9 \text{ mm} \quad \mathbf{[2.24]}$$

- Ancho del hueco:

$$s' = \frac{21}{40} \pi * m = \frac{21}{40} \pi * 6 = 10 \text{ mm} \quad \mathbf{[2.25]}$$

## 4.7 DISEÑO DE BASTIDOR

### 4.7.1 CÁLCULO DE VIGAS

Fuerza total = 115lb

Características del material:

Acero ASTM A-36

$S_u = 58 \text{ ksi}$

$S_y = 36 \text{ ksi}$

$S_n = 20 \text{ ksi}$  laminado en caliente

- Cálculo esfuerzos con software MDSolid 2015

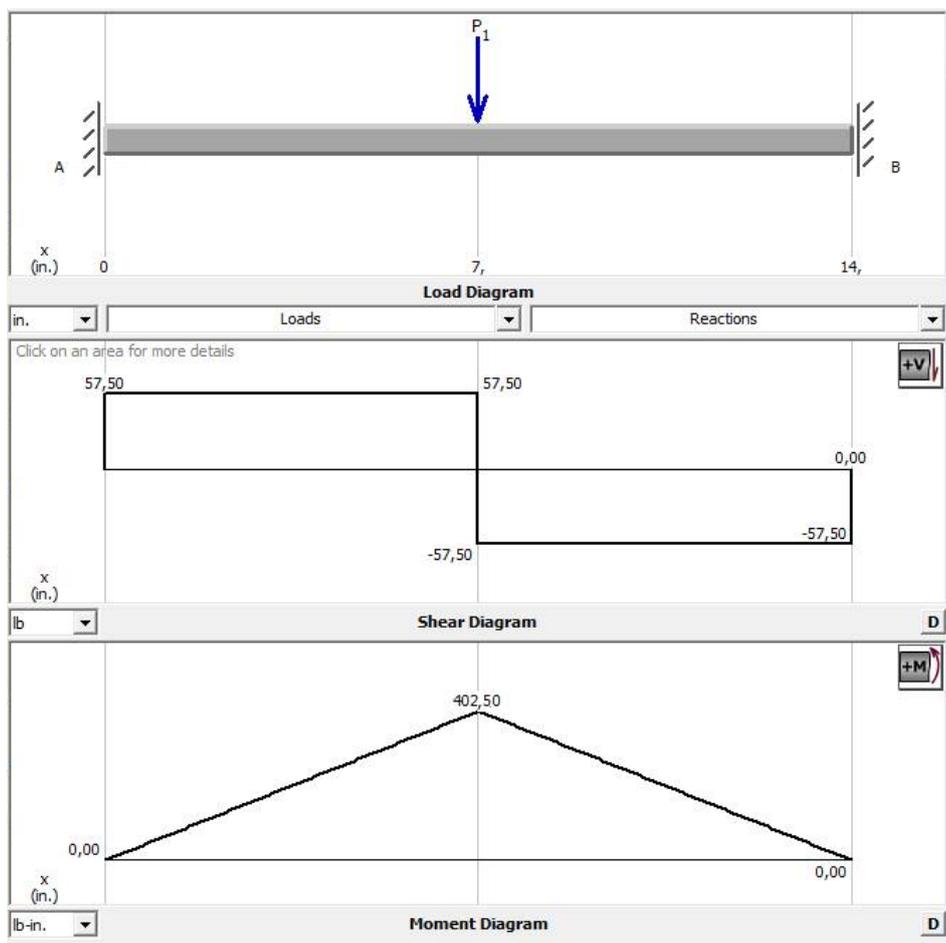


Figura 31. Cálculo de esfuerzos de vigas en MDSolid

- Cálculo de  $\sigma_{perm}$

$$\sigma_{perm} = \frac{S_y}{N} \quad [2.35]$$

→ Dado por el material estructural

$$\sigma_{perm} = \frac{36000}{3} = 12000 \frac{lb}{pulg^2}$$

- Cálculo de  $S_{req}$

$$S_{req} = \frac{M_{max}}{\sigma_{perm}} \quad [2.36]$$

$$S_{req} = \frac{402,5}{12000} = 0,0335 \text{ pulg}^3$$

$$S_{req} = 0.55 \text{ cm}^3$$

Según  $S_{req}$  se escoge el siguiente perfil angular:

**Tabla 8.** Especificaciones Técnicas. Perfiles Estructurales: Ángulos Doblados” de IPAC Sección L ángulos de patas iguales. (Anexo 1)

DIMENSIONES			PESO	AREA	PROPIEDADES			
H	B	E			EJES X-X e Y-Y			
mm	Mm	mm	Kg/6m	cm <sup>2</sup>	I	W	I	x=y
30	30	3	7.80	1.65	1.41	0.67	0.92	0.89

(IPAC, 2011)

#### 4.7.2 DISEÑO DE COLUMNAS

Asumir columna larga:

$L = 16$  pulg → longitud de las patas del bastidor

$P_a = 115$  lb

$E = 30 * 10^6$

$K = 0,8$  → empotrada - articulada

$N = 3$  → utilizado en todo el diseño

$$I = \frac{N * P_a * (KL)^2}{\pi * E} \quad [2.37]$$

$$I = \frac{3 * 115 * (0,8 * 16)^2}{\pi * 30 * 10^6} = 5,9 * 10^{-4} \text{ pulg}^4$$

$$I = 0,02 \text{ cm}^4$$

Escoger de catálogo de perfiles estructurales. Ver anexo 1.

Ángulo en L 20\*20\*3

Cuya área 1.05 cm<sup>2</sup>

$r = 0,60$  cm = 0.236 pulg

- Relación de esbeltez

$$\text{relación de esbeltez} = \frac{K * L}{r_{min}} = \frac{0,8 * 16 \text{ pulg}}{0,24 \text{ pulg}} = 53,33 \quad [2.39]$$

- Constante de columna

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{S_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 30 * 10^6}{36000}} = 128,25 \quad [2.41]$$

Por tanto es columna corta

Asumir perfil de ángulo L 20\*20\*3

$$P_{cr} = A S_y \left[ 1 - \frac{s_y \left( \frac{KL}{r} \right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad [2.40]$$

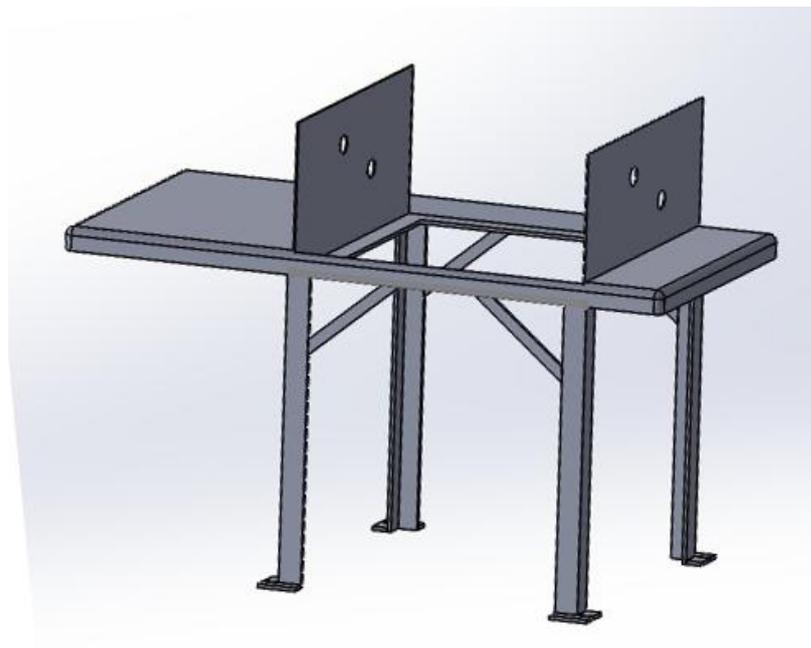
$$P_{cr} = (0,16)(36000) \left[ 1 - \frac{(36000)(53.33)^2}{4\pi^2(30*10^6)} \right]$$

$$P_{cr} = 4195,642469$$

Carga aplicada 115 lb

115 < 4195,64 lb

Por tanto el perfil es el indicado.



**Figura 32.** Modelamiento del bastidor en SolidWorks 2015

## 4.8 SELECCIÓN DEL MOTOR

Para la selección del motor se tomará en cuenta tanto la velocidad como la potencia calculadas a continuación:

- Cálculo de la velocidad:

En el diseño de rodillos se ha determinado que se requiere 3 vueltas del rodillo para la laminación de la botella más grande, y se pretende laminar 34 botellas en un minuto.

$$V = \text{número de botellas} * \text{vueltas del rodillo}$$

$$V = 34 \text{ botellas / minuto} * 1,4 \text{ rev} = 48 \text{ rpm}$$

## **4.9 SELECCIÓN DE SENSORES**

Los criterios para la selección de sensores serán los siguientes:

- Tipo de medición
- Tipo de salida
- Rango
- Exactitud
- Tiempo de respuesta

### **4.9.1 SENSOR DE LUZ**

El sensor deberá medir la proximidad del objeto, para el control se requiere como salida una señal digital, el rango de medición que se acepta como eficiente es 15 mm, no es necesaria alta sensibilidad, y el tiempo de respuesta puede estar en el rango de los milisegundos.

### **4.9.2 SENSOR DE CORRIENTE**

Deberá detectar cambios en la corriente nominal del motor hasta 2A con alta sensibilidad, se requiere una salida analógica que se refleje en un LCD, además se requiere facilidad de conexión con arduino y alimentación de 5v.

## 4.10 DISEÑO DE PUENTE RECTIFICADOR

Datos de motor

$$I_{CD} = 2A$$

$$V_o = 110 V_{AC}$$

Voltaje de pico

$$V_p = V_o \sqrt{2}$$

$$V_p = (110)\sqrt{2} = 155,6 V$$

Voltaje resultante en corriente continúa

$$V_{CD} = \frac{2V_p}{\pi}$$

$$V_{CD} = \frac{2(155,6)}{\pi} = 99,03 V$$

El puente rectificador seleccionado es el KBP C5002, según el voltaje de pico obtenido, este rectificador soporta 50 A, que resulta mayor a la corriente de consumo del motor, por lo tanto se concluye que es de total utilidad para el proyecto en cuestión.

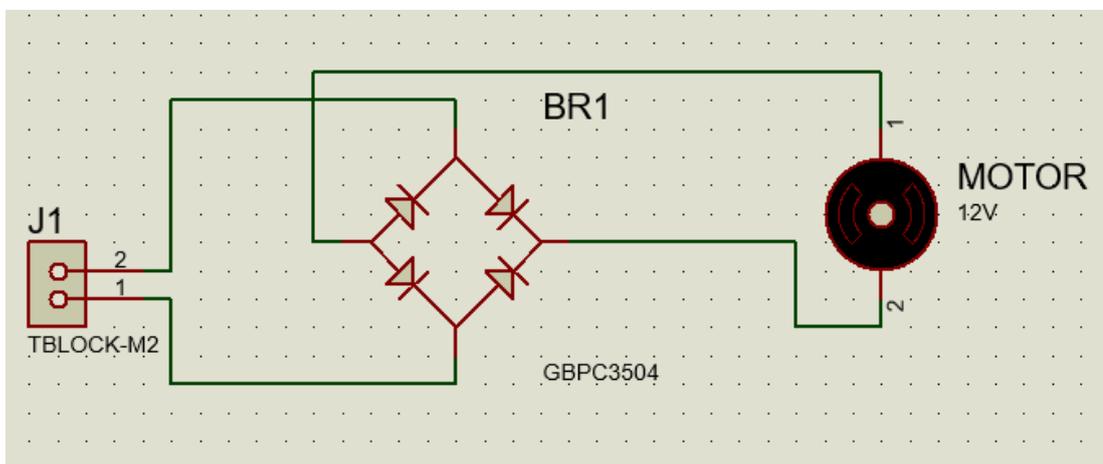


Figura 33. Ares de puente de diodos

El diseño y la simulación de la placa del puente rectificador se realizaron en Proteus 8 y se detalla en la figura 33.

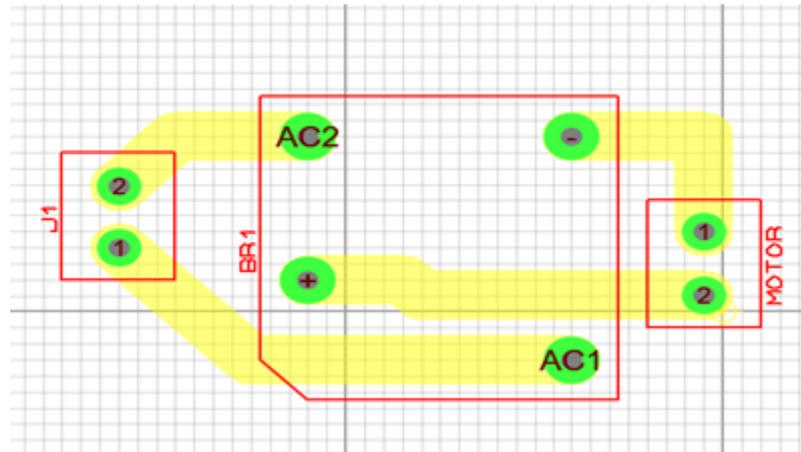


Figura 34. Isis de puente de diodos

## 4.11 SELECCIÓN DE BRAKER DE PROTECCIÓN

Datos:

Corriente de motor seleccionado = 2A

$$C_p = 1,5 C_N$$

$$C_p = 1,5 * 2$$

$$C_p = 3A$$

## 4.12 ARQUITECTURA DE CONTROL

### 4.12.1 PROGRAMACIÓN DE PROYECTO COMENTADA

```
#include<LiquidCrystal.h> //libreria de la lcd
#include<SoftwareSerial.h> //libreria del serial para la sim900
SoftwareSerialSIM900(8, 9); //pines de conexion TX-RX con la SIM900
#define pwr 2 //pin para encender el modem
#define m1 4 //pines de motor
#define m2 5
```

```

//sensores
constintcount = 6; //pin de inicio para arranque del motor
constintend_bottle = 7; //pin para el paro del motor
constint full = 3 ; //pin de contenedor lleno
//auxiliares de sensores
int button1 = 0;
int button2 = 0;
int button3 = 0;
//variables de enclavamiento
int xx = 0; //enclave en la rutina de lectura del sensor y arranque del motor
intyy = 0; //enclave en la rutina de para y retro en caso de sobrecarga de
corriente
intzz = 0; //enclave en rutina de contenedor lleno
LiquidCrystalcd(A2, A3, A4, A5, A6, A7); // pines de conexion con la lcd
intn_bottle; //variable para en conteo de las botellas
voidsetup(){
SIM900.begin(19200); //declaracion de velocidad de trabajo de la SIM900
con el arduino
pinMode(pwr,OUTPUT);
pinMode(m1,OUTPUT);
pinMode(m2,OUTPUT);
pinMode(count,INPUT);
pinMode(full,INPUT);
digitalWrite(m1,HIGH);
digitalWrite(m2,HIGH);
lcd.begin(16,2);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("BOTTLES COUNTER");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("  SYSTEM  ");
digitalWrite(pwr,HIGH); //enciendo el modem
digitalWrite(m1,HIGH); //motor inicia apagado

```

```

digitalWrite(m2,HIGH);
delay(1500);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("INITIATING MODEM"); //espera para que el modem arranque
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("WAIT... ");
digitalWrite(pwr,LOW);
delay(10000);
digitalWrite(m1,HIGH);
digitalWrite(m2,HIGH);
digitalWrite(pwr,LOW);
lcd.clear();
delay(1);
}
voidloop(){
    button1 = digitalRead(count); //lectura de paso de botella para arranque
    button3 = digitalRead(full); //lectura en el caso de contenedor lleno
    //para que el motor este apagando m1 y m2 deben estar en HIGH
digitalWrite(m1,HIGH);
digitalWrite(m2,HIGH);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("BOTTLES:");
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print(n_bottle);
if(button1 == LOW){ //si detecta el apso de la botella en contador va
sumando
n_bottle ++;
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("BOTTLES:");
lcd.setCursor(9,0);
lcd.print(n_bottle);
digitalWrite(m1,HIGH);

```

```

digitalWrite(m2,LOW);
delay(1000);
lcd.clear();
delay(500);
xx = 1; //cambai la variable para enclavarse en la rutina pause_1
    pause_1(); //va a la rutina pause_1
    }
if(button3 == LOW){ // si el contenedor esta lleno manda el mensaje
SIM900.print("AT+CMGF=1\r");          // AT command to send SMS
message
delay(100);
SIM900.println("AT + CMGS = \"+593969060870\""); // recipient's mobile
number, in international format
delay(100);
SIM900.println("Full container. Check System"); // message to send
delay(100);
SIM900.println((char)26);           // End AT command with a ^Z, ASCII
code 26
delay(100);
SIM900.println();
delay(100);
zz = 1;
lcd.clear();
full_a();
    }
}

void pause_1(){ //rutina de arranque y lectura del consumo del motor
while(xx == 1){ //mientras xx = 1 se quedara en esta rutina
floataverage = 0; //variable para el valor de la corriente en consumo
for(int i = 0; i < 1000; i++) { //tiempo de actualizacion del sensor de corriente
(no modificar tiemppo)
average = average + (.0264 * analogRead(A0) -13.51) / 1000; //this is

```

```
//for the 5A mode, if 20A or 30A mode, need to modify this formula to
//(0.19 * analogRead(A0) -25) for 20A mode and
//(0.044 * analogRead(A0) -3.78) for 30A mode
delay(1);
}
digitalWrite(m1,HIGH);
digitalWrite(m2,LOW);//enciendo un rele para que pueda girar el motor
  button2 = digitalRead(end_bottle); //lectura para apagado del motor
  button3 = digitalRead(full); //lectura de contenedor lleno
lcd.setCursor(0,0);
```

## **5. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS**

Después de haber realizado el diseño, se procedió a la construcción mecánica y electrónica. En primer lugar se muestran los diferentes equipos individuales:

## 5.1 CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA MECÁNICO



**Figura 35.** Máquina construida

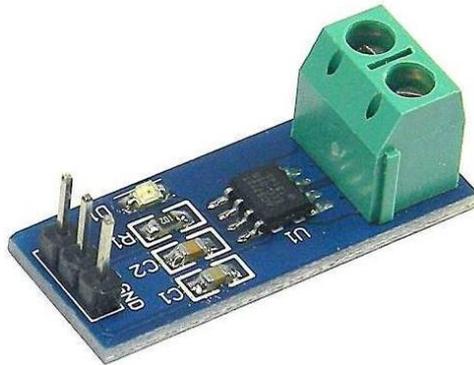
## 5.2. CONSTRUCCIÓN Y PRUEBAS DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Al trabajar con corriente continua permite variar la velocidad del motor con facilidad, este es uno de los requerimientos principales del sistema y ya que la maquina laminadora no es de carácter industrial se considera que las características técnicas son las adecuadas.



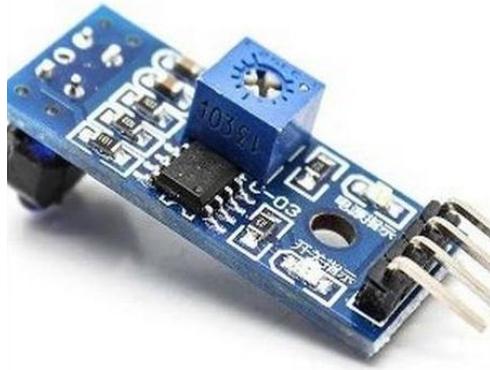
**Figura 36.** Motor

Para el sensor de corriente ha sido escogido el ACS712 ya que presenta efecto Hall, requerido para medir corriente inmersa en el campo magnético del motor seleccionado, sus especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 6.



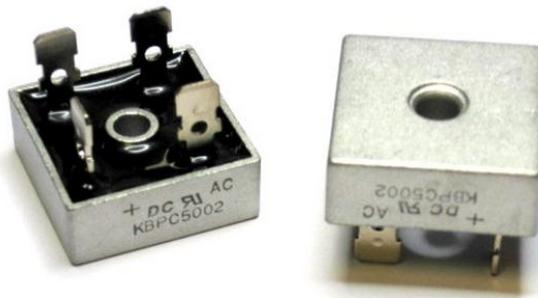
**Figura 37.** Sensor ACS712  
(Allegro MicroSystems, 2013)

Para el sensor de luz ha sido escogido el TCRT5000 ya que cumple las características mencionadas en el capítulo de diseño, sus especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 7.



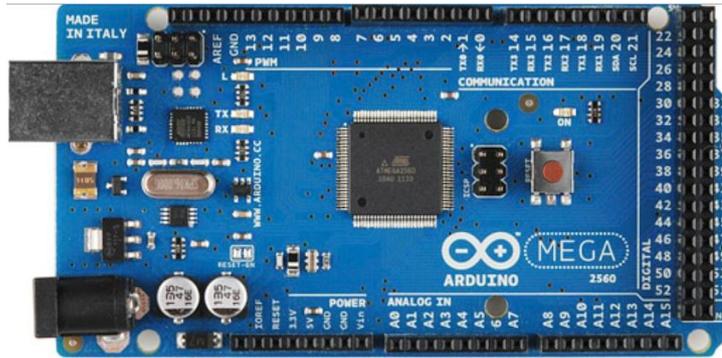
**Figura 38.** Sensor TCRT5000  
(Vishay, 2012)

La conexión de red eléctrica será a 110v AC por lo que es necesario incluir un transformador AC-DC.



**Figura 39.** Transformador AC-DC KBPC5002

El hardware y software de control escogido es Arduino Mega la primera razón es su capacidad de memoria de 256kb la misma que permite usar librerías complejas como la del módulo GSM, permite comunicación serial, las entradas y salidas son las suficientes para la cantidad de sensores y actuadores que fueron implementados, es software libre por lo que el proyecto puede ser comercializado si ningún inconveniente, adicional a esto su costo es reducido y se encuentra con facilidad en el mercado.



**Figura 40.** Arduino Mega

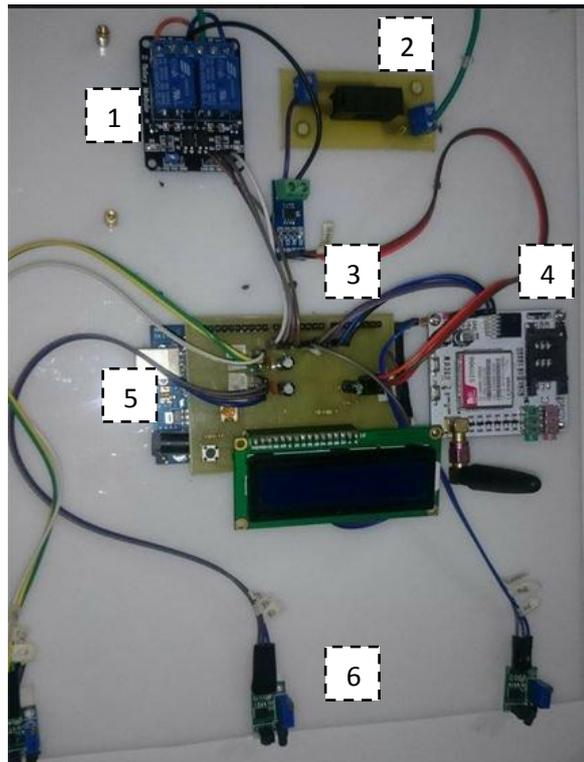
El sistema también integra un módulo de relés para activar y realizar el cambio de giro del motor DC.



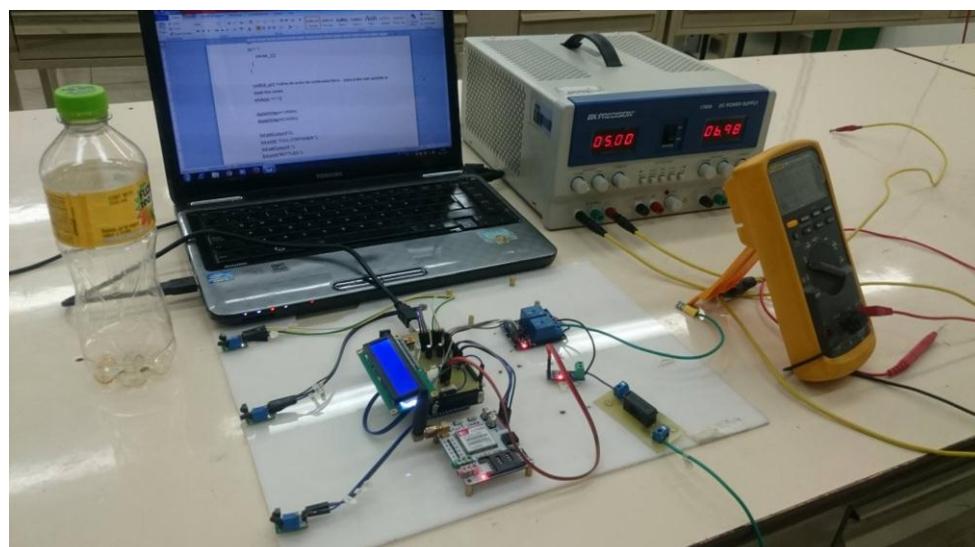
**Figura 41.** Módulo de relés

Se ha descrito el circuito de control por secciones:

- Sección 1: encargada de recibir la señal de 110v en DC que viene rectificadas del KBPC5002 rectificador de voltaje de AC a DC al recibir esta señal la transforma a 30 v en corriente continua mediante contactos abiertos de los relés.
- Sección 2: una protección de corriente mediante un fusible de 2 A.
- Sección 3: sensor de corriente el cual al superar el valor nominal de 0.9 mA cambiará el giro del motor.
- Sección 4: Módulo GSM que enviará SMS de saturación al operario
- La sección 5 se encargará de recibir las señales de los sensores para indicar el orden de las operaciones del actuador, reflejándolas en un LCD.
- La sección 6 contiene sensores infrarrojos que indicarán el ingreso de botella, salida de botella y saturación de bolsa receptora.



**Figura 42.** Circuito de control



**Figura 43.** Pruebas del circuito de control

## 5.3 INFORMATIVO DE LA MÁQUINA

### LAMINADORA DE BOTELLAS PLÁSTICAS PET



Figura 44. Laminadora construida

**Origen:** Ecuador

**Función:**

Máquina de laminación de botellas plásticas PET de interacción directa con el consumidor, ideal para lugares concurridos, buen diseño exterior, llamativa e innovadora. Perfecta combinación entre capacidad y rendimiento, lamina todo tipo de botellas plásticas

**Características técnicas:**

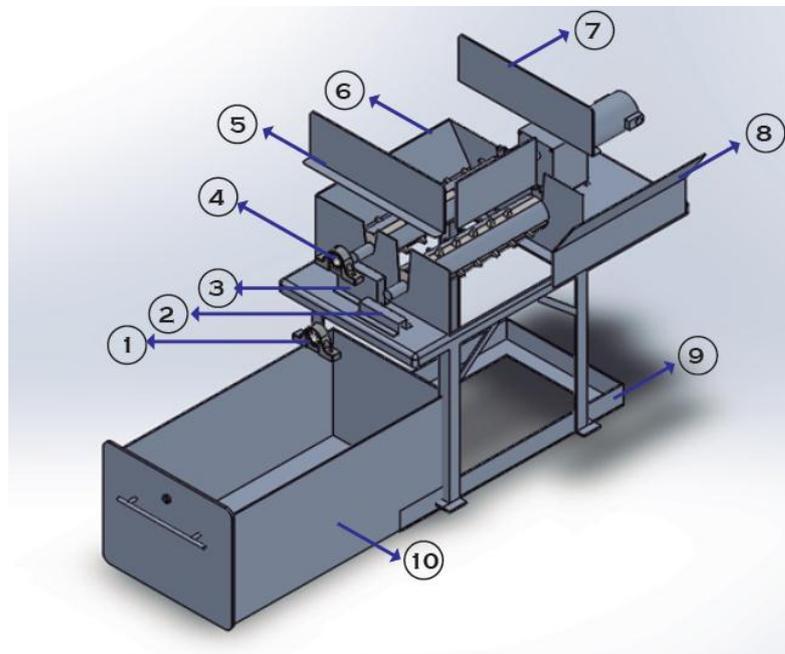
- Sistema automático de laminación
- Longitud práctica de laminado 13”
- El sentido de giro de los rodillos puede ser invertido
- Contenedor de botellas ubicado en la parte inferior de la máquina
- Pulsador de paro de emergencia con bloqueo inmediato y reactivación manual
- Protección general eléctrica por medio de fusibles
- Motor protegido por interruptor de circuito
- Prevención de atasco por control automático

**Tabla 9.** Datos técnicos de la máquina laminadora

Potencia de motor	1/4 de HP
Capacidad de material laminado	4.4 lb
Velocidad de laminación	48 RPM
Espacio requerido para la instalación	40" x 23"
Longitud de rodillos	24"
Separación entre rodillos	4.72"
Especificación de instalación	Conexión eléctrica 110v AC

### Construcción

- Máquina laminadora de botellas montada sobre base de madera
- Posibilidad de variación de velocidad
- Velocidad de entrada 48 RPM
- Rodillos desmontables para limpieza
- Ejes de acero reforzado
- Bastidor de perfil estructural



**Figura 45.** Despiece frontal de la máquina

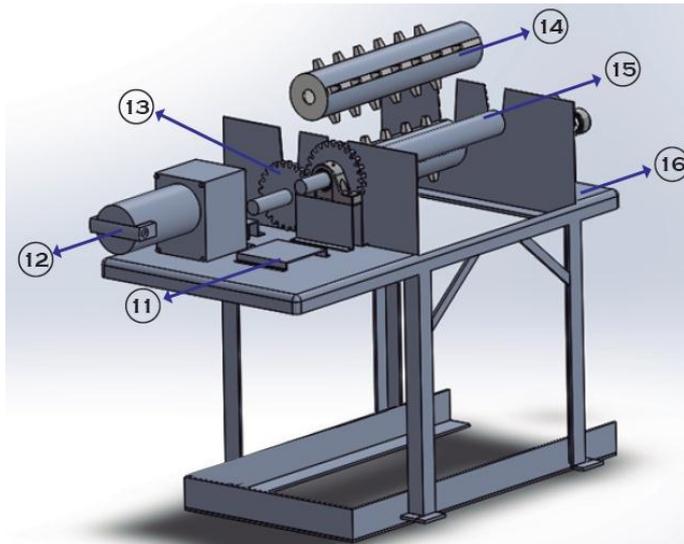


Figura 46. Despiece posterior de la máquina

## DESPIECE DE LA MÁQUINA

1. Chumacera de eje secundario
2. Apoyo de chumacera de eje secundario
3. Apoyo de chumacera de eje principal
4. Chumacera de eje principal
5. Lámina derecha de tolva
6. Cubierta de rodillo principal
7. Lámina izquierda de tolva
8. Cubierta de rodillo secundario
9. Riel
10. Cajón receptor de botellas
11. Apoyo del motor
12. Motor
13. Engrane principal
14. Rodillo secundario
15. Eje secundario
16. Bastidor

### Mantenimiento preventivo:

Mantenimiento de motor cada 1000h de trabajo

## 5.4 PRUEBAS REALIZADAS A LA MÁQUINA RECICLADORA

Para la tabla de resultados se ha tomado 5 muestras por tipo de botella:

**Tabla 10.** Pruebas de validación del sistema

Marca	Volumen (ml)	ancho inicial (pulg)	espesor inicial (pulg)	Ancho final (pulg)	espesor final (pulg)	Tiempo de laminado (s)	Botellas laminadas por minuto
Orangine	400	2,36	2,36	3,03	0,58	2,39	25
Cielo	625	2,17	2,17	3,19	0,60	2,29	26
Cifrut	360	2,17	2,17	2,75	0,57	1,19	50
Cifrut	1700	3,54	3,54	5,92	0,57	8,05	7
coco freeze	355	2,24	2,24	2,79	0,56	1,16	51
coca cola	1350	3,15	3,15	4,51	0,54	5,17	11
Orangine	3000	3,74	3,74	4,33	0,50	7,15	8
Coca-Cola	400	1,97	1,97	2,66	0,52	3,30	18
Coca-Cola	3000	3,74	3,74	5,51	0,52	6,53	9
Dasani	600	2,36	2,36	3,54	0,50	2,28	26
Dasani	500	2,36	2,36	3,15	0,44	2,25	26
Dasani	1000	3,15	3,15	3,57	0,46	6,54	9
del valle	250	2,17	2,17	2,80	0,55	1,16	51
Fuze Tea	550	2,17	2,17	3,12	0,56	1,99	30
Guitig	1500	3,35	3,35	49,49	0,60	7,10	8
Guitig	500	2,17	2,17	3,28	0,57	2,89	20
Ice	2000	3,94	3,94	4,74	0,56	7,75	7
Ice	500	2,36	2,36	2,98	0,57	2,35	25
Manantial	500	2,17	2,17	3,03	0,57	2,33	25
Mas	400	2,17	2,17	3,33	0,56	2,57	23
nestea	500	2,36	2,36	3,12	0,53	2,36	25
pepsi	250	1,97	1,97	2,46	0,54	1,09	55
pony malta	330	1,97	1,97	2,73	0,54	1,79	33
Sprite	250	1,97	1,97	2,58	0,54	1,62	37
Sprite	1350	3,15	3,15	4,67	0,55	7,28	8
sun tea	365	1,97	1,97	2,54	0,53	1,75	34
Tesalia	250	1,97	1,97	2,50	0,54	1,43	41
v220	365	2,17	2,17	2,94	0,59	2,88	20
vivant	400	2,36	2,36	2,76	0,51	1,98	30
Promedio	725,9	2,53	2,53	4,97	0,54	3,40	17



**Figura 47.** Muestra antes de ser laminada



**Figura 48.** Conjunto de botellas



**Figura 49.** Muestra luego de ser laminada

## 5.5 ANÁLISIS DE VENTA DE BEBIDAS EMBOTELLADAS EN EL BAR DEL CAMPUS OCCIDENTAL DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

A continuación se presenta un estudio de venta de bebidas embotelladas por mes realizada en el bar de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

Los locales analizados son los siguientes:

- Motes “Doña Sarita”
- Cafetería de Omar
- Tin Burger
- MFC Pizza

Los cuales arrojaron los siguientes datos:

**Tabla 11.** Ventas de bebidas embotelladas y valor de retorno.

Bebidas embotelladas (marca)	Tamaño (ml)	Consumo semanal	Consumo mensual
		Número botellas	Número botellas
Orangine familiar	3000	66	264
Coca-Cola, Fanta, Sprite	400	792	3168
Dasani	600	1032	4128
V220	500	144	576
Fuze tea	550	456	1824
Del Valle Fresh	550	276	1104
Tesalia Ice	500	120	480
Orangine	400	48	192
		2934	11736

Como se muestra en la tabla 11, dentro de los bares de la Universidad Tecnológica Equinoccial (campus Occidental) se venden 11736 bebidas embotelladas por mes.

## 5.6 ANÁLISIS DE TIEMPO DE LAMINADO

A continuación se realiza una segregación de marcas de bebidas de la tabla 10 según las ventas en el bar de la Universidad Tecnológica Equinoccial, con sus respectivos tiempos de laminado con el fin de evaluar el tiempo requerido para el procesamiento total de los desechos de botellas plásticas.

**Tabla 12.** Ventas de bebidas embotelladas y valor de retorno.

Bebidas embotelladas (marca)	Tamaño (ml)	Consumo mensual	Velocidad procesam.	Tiempo total procesam.
		Número botellas	Botellas por minuto	Minutos
Orangine familiar	3000	264	8	33
Coca-Cola, Fanta, Sprite	400	3168	18	176
Dasani	600	4128	25	165,12
V220	500	576	20	28,8
Fuze tea	550	1824	30	60,8
Del Valle Fresh	550	1104	51	21,647
Tesalia Ice	500	480	25	19,2
Orangine	400	192	25	7,68
		Total minutos		512,25
		Total en horas		8,54

La tabla 12 muestra que el tiempo requerido de trabajo de máquina es de 8,54 horas por mes.

## 5.7 PRESUPUESTO DEL SISTEMA

**Tabla 13.** Cotización de la máquina recicladora

CONCEPTO	VALOR
Componentes electrónicos	\$ 225
Componentes mecánicos	\$ 380
Mano de obra	\$ 400
Transporte	\$ 50
Varios	\$ 50
TOTAL	\$ 1105

En la tabla 13 se observa que la mano de obra es lo más costoso dentro del presupuesto del sistema con un valor de \$400, seguido por los componentes mecánicos con \$380. Al sumar todos los ítems de la tabla 13 se obtiene como resultado una inversión total de \$1105 para la fabricación de la máquina.

## 5.8 ANÁLISIS DE INGRESO BRUTO MENSUAL

Al relacionar el número de botellas que sale del bar de la Universidad Tecnológica Equinoccial con el valor de retribución por botella de 0,02 cent se obtiene:

$$\text{Ingreso} = \# \text{ de botellas} * 0,02$$

$$\text{Ingreso} = 11736 * 0,02$$

$$\text{Ingreso} = \$ 234,27$$

## 5.9 FLUJO DE CAJA PROYECTADA DEL PRIMER AÑO

Tabla 14. Flujo de caja proyectada

MES	Inversión	Ventas	Transporte	Tarjeta	Saldo Final
1	-1105	234,27	-50	-3	-923,7
2	-923,73	234,27	-50	-3	-742,46
3	-742,46	234,27	-50	-3	-561,19
4	-561,19	234,27	-50	-3	-379,92
5	-379,92	234,27	-50	-3	-198,65
6	-198,65	234,27	-50	-3	-17,38
7	-17,38	234,27	-50	-3	163,89
8	163,89	234,27	-50	-3	345,16
9	345,16	234,27	-50	-3	526,43
10	526,43	234,27	-50	-3	707,7
11	707,7	234,27	-50	-3	888,97
12	888,97	234,27	-50	-3	1070,24

Como muestra la tabla 14, el total de ingresos mensuales es de \$234,27, al restar el total de los egresos, resulta una ganancia neta de \$181,27 que restado de la inversión mensual señala que a partir del séptimo mes la ganancia es positiva.

## 5.10 FLUJO DE CAJA NETA A 5 AÑOS

Tabla 15. Flujo de caja neta

Año	Ventas
1	1070,24
2	2175
3	2175
4	2175
5	2175

## 5.11 VALOR ACTUAL NETO

$$VAN = \frac{1070,24}{(1+0,10)^1} + \frac{2175}{(1+0,10)^2} + \frac{2175}{(1+0,10)^3} + \frac{2175}{(1+0,10)^4} + \frac{2175}{(1+0,10)^5} - 1105$$

$$VAN = 6136$$

## 5.12 TASA INTERNA DE RETORNO

$$0 = \frac{1070,24}{(1+i)^1} + \frac{2175}{(1+i)^2} + \frac{2175}{(1+i)^3} + \frac{2175}{(1+i)^4} + \frac{2175}{(1+i)^5} - 1105$$

$$TIR = 138\%$$

La tasa interna de retorno muestra que la rentabilidad de la máquina recicladora es del 138%.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Luego del diseño y construcción del prototipo de una máquina laminadora de botellas de plástico PET, fue posible llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

## 6.1 CONCLUSIONES

- Al diseñar el sistema mecatrónico fue necesaria la implementación de un solo par de rodillos laminadores, con una separación entre los ejes de 4,5", además para aumentar la sujeción de las botellas se implantó un tipo de dientes al rodillo, con el fin de garantizar que la botella no patine y entre en el proceso para asegurar resultados favorables del laminado.
- Se determinó que las variables que interactuaron en el proceso de laminado fueron: tamaño de botellas, dimensionamiento de rodillos, tiempo de laminado, robustez del sistema, y diseño de control.
- Los mecanismos mecatrónicos que se relacionan entre sí, se formaron con: sensores infrarrojos, un motor dc, dos rodillos laminadores dentados, bastidor que resiste la intemperie, un módulo GSM, y un controlador programado en software libre.
- Para el bastidor se utilizó tol galvanizado ya que es resistente a la corrosión, los ejes fueron construidos con acero reforzado, el motor de corriente continua permite un fino control de velocidad y también presenta alta capacidad de sobrecarga, lo que robustece el sistema, las señales lógicas se envían mediante sensores infrarrojos y son interpretadas por sistema de control de software libre ATMEL, con todos estos materiales se logró optimizar la fabricación del sistema.
- Con las pruebas de validación según la tabla 10 muestra que la máquina reduce un 25% de espesor de la botella en promedio; no se observa ningún tipo de restricción en botellas, marcas y volumen, siempre y cuando el tamaño de pico de botella sea estándar. Según la misma tabla las botellas que son mejor receptadas son las que van desde los 250 mililitros hasta los 600 mililitros.

- El costo total de fabricación de la máquina es de \$1105 según la tabla 13; el valor de retribución neto es de \$234,27 mensuales al vender las botellas a 0,02 centavos, lo que permite concluir que al restar los gastos de transporte y mensajes de texto, la máquina se autofinanciará luego de los 7 meses, después de este tiempo se obtendrá una ganancia neta de aproximadamente \$181,27 mensuales; por lo cual el proyecto es factible, realizable y autosustentable.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Se considera la implementación de un ducto conductor de botella que asegure un ingreso perpendicular a los rodillos laminadores con el fin de garantizar el mejor tiempo de laminación.
- Si el sistema se desmonta y posteriormente se vuelve a ensamblar en el momento de la conexión, se deberá energizar primero el sistema de control, y luego el actuador eléctrico para que el sistema de relés tome sus posiciones iniciales y evitar cortocircuitos o pulsos falsos que accionen el sistema.
- El módulo de relés solo puede ser manipulado por un técnico especializado que previamente haya revisado el diagrama de conexión, es necesario revisar periódicamente el crédito de la tarjeta SIM para asegurarse de que el mensaje de saturación llegue correctamente al operario.
- Al realizar los mantenimientos: el sistema debe estar completamente desconectado ya que la estación de laminado es altamente peligrosa, el mantenimiento preventivo del motor se lo debe hacer cada mil horas de trabajo para alargar la vida útil de la máquina.
- Para futuras modificaciones se recomienda ampliar el espacio del contenedor de botellas ya laminadas y si se desea laminar botellas de mayor tamaño se debe adicionar a la máquina un par de rodillos secundarios.

## BIBLIOGRAFÍA

Alciatore, D. G. (2008). Introducción a la Mecatrónica y los sistemas de medición. (Tercera Edición). México: McGraw-Hill.

Bolton, W. (2006). Mecatrónica. Sistemas de control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica. (Tercera edición). México: Pearson Education Limited.

Boylestad, Nashelsky. (2003). Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos (octava edición). México: Pearson Prentice Hall.

Camarero, D. (2003). Materiales y Moldeo. (Cuarta Edición). España: Gráficas Bionde, S.L.

Canto, C. (2006). Sensores y Actuadores Retrieved 14, Diciembre, 2006, from [galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/APUNTES\\_CURSO/CAPITUL8.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/APUNTES_CURSO/CAPITUL8.PDF)

Carrillo, L. (2013). Fabricación de botellas Plásticas from [es.slideshare.net/alejoarenas792/trabajo-escrito-ing-de-manu](http://es.slideshare.net/alejoarenas792/trabajo-escrito-ing-de-manu)

Castillo, P. (2010). Arduino, Septiembre, 2010, from [www.arduino.cc](http://www.arduino.cc)

Correa, J. (2014). Sistemas automáticos, Enero, 2014, from [www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/Sensores.pdf](http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/Sensores.pdf)

Groover. (2008). Protocolo de laminación CURSO DE MATERIALES, from <http://copernico.escuelaing.edu.co/lpinilla/www/protocols/MATE/PROTOCOLO%20LAMINACION.pdf>

Hibbeler, R. (2011). Mecánica de Materiales (8va ed.). México: Pearson Prentice Hall.

Hughes, A. (2006). Electric Motors & Drives. Fundamentals, Types and Applications (3th ed.). London: Elsevier Ltd.

Marrufo, E. (2010). Instalaciones Eléctricas Básicas. Grado Medio (1era ed.). Madrid: McGraw-Hill.

Marín, A. (2014). Propiedades del polietileno from [http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos\\_Politereftalato\\_PET.html](http://www.plasticos-mecanizables.com/plasticos_Politereftalato_PET.html)

Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas (Cuarta Edición). México: Pearson Prentice Hall.

Polania, J. (2010). Motores Eléctricos Retrieved 28, Julio, 2010, from <http://www.joanpola.com/resources/Motores%20el%C3%A9ctricos.pdf>

Posada. (2011). Actuadores Retrieved 18, Agosto, 2011, from [hangar.org/webnou/wp-content/uploads/2012/01/capsulab101.pdf](http://hangar.org/webnou/wp-content/uploads/2012/01/capsulab101.pdf) 119

Radionics. (2001). Tipos de señales, from [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4925/html/2\\_tipos\\_de\\_seales.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4925/html/2_tipos_de_seales.html)

Romero, O. (2014). Importancia y manejo del reciclado PET from <http://es.slideshare.net/kxrenabark/proyecto-casas-ecologicas-a-base-de-botellas-plasticas>

Salvat, J. (1981). Cómo funciona Enciclopedia Salvat de la técnica (Vol. 7 pp. 255 - 260). Madrid: Salvat.

Shaefer, D. (2012). Uso de las botellas de plástico. from <http://es.calameo.com/books/0024645006fbf015be4cd>

Velásquez, P. (2010). Reciclaje mecánico del PET from <https://prezi.com/pryywtgbjirm/polimero-polietilenotereftalato-pet/>

Vignoni, J. (2003). Sensores Retrieved 15, Octubre, 2003, from [www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/Sensores.pdf](http://www.ing.unlp.edu.ar/electrotecnia/procesos/transparencia/Sensores.pdf)

## ANEXOS

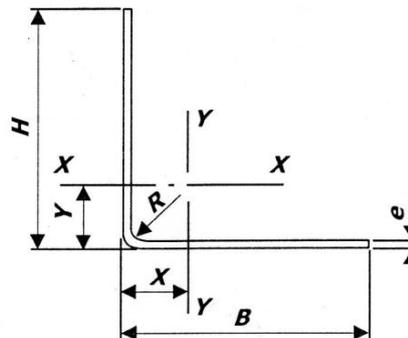
ANEXO 1. Especificaciones Técnicas. Perfiles estructurales: Ángulos Doblados

### Especificaciones Técnicas Perfiles Estructurales: Ángulos Doblados

DIMENSIONES			PESO	AREA	PROPIEDADES			
H	B	e			EJES X-X e Y-Y			
mm	mm	mm	Kg/6m	cm <sup>2</sup>	I	W	i	x = y
					cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm
20	20	2	3.48	0.73	0.28	0.20	0.62	0.59
		3	4.98	1.05	0.38	0.38	0.60	0.64
25	25	2	4.38	0.93	0.57	0.32	0.78	0.72
		3	6.36	1.35	0.79	0.45	0.76	0.77
30	30	2	5.34	1.13	1.00	0.46	0.94	0.84
		3	7.80	1.65	1.41	0.67	0.92	0.89
40	40	2	7.20	1.53	2.44	0.84	1.26	1.09
		3	10.62	2.25	3.50	1.22	1.25	1.14
		4	13.86	2.94	4.46	1.58	1.23	1.19
		5	16.92	3.59	5.31	1.92	1.22	1.24
50	50	6	19.80	4.21	6.07	2.23	1.20	1.28
		2	9.12	1.93	4.86	1.33	1.59	1.34
		3	13.44	2.85	7.03	1.95	1.57	1.39
		4	17.58	3.74	9.04	2.54	1.56	1.44
60	60	5	21.60	4.59	10.90	3.10	1.54	1.48
		6	25.50	5.41	12.60	3.62	1.52	1.53
		5	26.34	5.59	19.40	4.55	1.86	1.73
65	65	6	31.14	6.61	22.60	5.35	1.85	1.78
		5	28.68	6.09	25.00	5.38	2.03	1.86
75	75	6	33.96	7.21	29.10	6.34	2.01	1.90
		6	40.32	8.40	45.76	8.57	2.33	2.16
80	80	8	52.56	10.95	58.03	11.06	2.30	1.25
		8	56.40	11.75	71.32	12.67	2.46	2.37
100	100	10	68.94	14.36	84.97	15.36	2.43	2.47
		8	71.76	14.95	144.63	20.29	3.11	2.87
		10	88.14	18.36	173.85	24.73	3.08	2.97

#### NOMENCLATURA

- A** = Area de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>
- I** = Momento de Inercia de la sección, cm<sup>4</sup>
- W** = Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>
- i** = Radio de giro de la sección, cm
- x** = Distancia desde el eje menor Y-Y a la superficie exterior de un perfil, cm



Planta Guayaquil: Km 10.5 Vía Daule  
 PBX: (593-4) 2 110260 (Adm)  
 (Ventas) 2 110600 Fax: 2 110951  
 www.ipac-acero.com  
 Email Ventas: ventas@ipac-acero.com

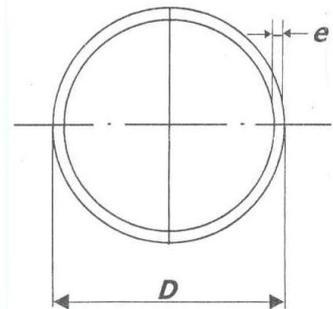
ANEXO 2. Especificaciones Técnicas. Tubo Mecánico Redondo

## Especificaciones Técnicas Tubo Mecánico Redondo

DIMENSIONES		e	P	AREA	PROPIEDADES		
DIAMETRO EXTERIOR(D)					A	I	W
Pulg.	mm	mm	Kg/6m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm
1/2	12.70	0.60	1.12	0.23	0.04	0.07	0.43
		0.75	1.40	0.28	0.05	0.08	0.42
		0.90	1.60	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	1.93	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.64	0.53	0.08	0.13	0.39
	15.88	0.60	1.44	0.29	0.08	0.11	0.54
		0.75	1.80	0.36	0.10	0.13	0.53
		0.90	1.98	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.40	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.28	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.60	1.68	0.35	0.15	0.16	0.65
		0.75	2.10	0.43	0.19	0.19	0.65
		0.90	2.40	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	2.94	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	3.90	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.60	1.92	0.41	0.24	0.21	0.76
		0.75	2.35	0.50	0.29	0.26	0.76
		0.90	2.82	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.42	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.62	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.60	2.19	0.47	0.36	0.28	0.88
		0.75	2.72	0.58	0.44	0.35	0.87
		0.90	3.24	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	3.96	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.28	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4	31.75	0.90	4.14	0.92	1.09	0.69	1.18
		1.10	4.98	1.06	1.24	0.78	1.08
		1.50	6.72	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2	38.10	0.90	5.00	1.11	1.91	1.00	1.31
		1.10	6.00	1.28	2.19	1.15	1.31
		1.50	8.10	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4	44.45	0.90	6.02	1.30	3.07	1.38	1.54
		1.10	6.99	1.50	3.52	1.58	1.53
		1.50	9.48	2.02	4.67	2.10	1.52
1 7/8	47.63	0.90	6.30	1.40	3.80	1.60	1.65
		1.10	7.62	1.61	4.35	1.83	1.64
		1.50	10.32	2.17	5.79	2.43	1.63
2	50.80	0.90	6.64	1.49	4.62	1.82	1.76
		1.10	8.09	1.72	5.30	2.09	1.76
		1.50	10.92	2.32	7.06	2.78	1.74
2 3/8	60.33	1.50	13.08	2.77	12.00	3.98	2.08
2 1/2	63.50	1.50	13.74	2.92	14.05	4.42	2.19

NOMENCLATURA

**A** = Area de la selección transversal del tubo, cm<sup>2</sup>  
**I** = Momento de Inercia de la sección, cm<sup>4</sup>  
**W** = Módulo resistente de la sección, cm<sup>3</sup>  
**i** = Radio de giro de la sección, cm



Planta Guayaquil: Km 10.5 Vía Daule  
 PBX: (593-4) 2 110260 (Adm)  
 (Ventas) 2 110600 Fax: 2 110951  
 www.ipac-acero.com  
 Email Ventas: ventas@ipac-acero.com

### ANEXO 3a. Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados

Designación del material (Número AISI)	Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
1020	Laminado en caliente	55	379	30	207	25	111
1020	Estirado en frío	61	420	51	352	15	122
1020	Recocido	60	414	43	296	38	121
1040	Laminado en caliente	72	496	42	290	18	144
1040	Estirado en frío	80	552	71	490	12	160
1040	OQT 1300	88	607	61	421	33	183
1040	OQT 400	113	779	87	600	19	262
1050	Laminado en caliente	90	620	49	338	15	180
1050	Estirado en frío	100	690	84	579	10	200
1050	OQT 1300	96	662	61	421	30	192
1050	OQT 400	143	986	110	758	10	321
1117	Laminado en caliente	62	427	34	234	33	124
1117	Estirado en frío	69	476	51	352	20	138
1117	WQT 350	89	614	50	345	22	178
1137	Laminado en caliente	88	607	48	331	15	176
1137	Estirado en frío	98	676	82	565	10	196
1137	OQT 1300	87	600	60	414	28	174
1137	OQT 400	157	1083	136	938	5	352
1144	Laminado en caliente	94	648	51	352	15	188
1144	Estirado en frío	100	690	90	621	10	200
1144	OQT 1300	96	662	68	469	25	200
1144	OQT 400	127	876	91	627	16	277
1213	Laminado en caliente	55	379	33	228	25	110
1213	Estirado en frío	75	517	58	340	10	150
12L13	Laminado en caliente	57	393	34	234	22	114
12L13	Estirado en frío	70	483	60	414	10	140
1340	Recocido	102	703	63	434	26	207
1340	OQT 1300	100	690	75	517	25	235
1340	OQT 1000	144	993	132	910	17	363
1340	OQT 700	221	1520	197	1360	10	444
1340	OQT 400	285	1960	234	1610	8	578
3140	Recocido	95	655	67	462	25	187
3140	OQT 1300	115	792	94	648	23	233
3140	OQT 1000	152	1050	133	920	17	311
3140	OQT 700	220	1520	200	1380	13	461
3140	OQT 400	280	1930	248	1710	11	555
4130	Recocido	81	558	52	359	28	156
4130	WQT 1300	98	676	89	614	28	202
4130	WQT 1000	143	986	132	910	16	302
4130	WQT 700	208	1430	180	1240	13	415
4130	WQT 400	234	1610	197	1360	12	461
4140	Recocido	95	655	60	414	26	197
4140	OQT 1300	117	807	100	690	23	235
4140	OQT 1000	168	1160	152	1050	17	341
4140	OQT 700	231	1590	212	1460	13	461
4140	OQT 400	290	2000	251	1730	11	578

### ANEXO 3b. Propiedades de diseño para los aceros al carbón y aleados

Designación del material (Número AISI)	Condición	Resistencia a la tensión		Resistencia de fluencia		Ductilidad (porcentaje de elongación en 2 pulgadas)	Dureza Brinell (HB)
		(ksi)	(MPa)	(ksi)	(MPa)		
4150	Recocido	106	731	55	379	20	197
4150	OQT 1300	127	880	116	800	20	262
4150	OQT 1000	197	1360	181	1250	11	401
4150	OQT 700	247	1700	229	1580	10	495
4150	OQT 400	300	2070	248	1710	10	578
4340	Recocido	108	745	68	469	22	217
4340	OQT 1300	140	965	120	827	23	280
4340	OQT 1000	171	1180	158	1090	16	363
4340	OQT 700	230	1590	206	1420	12	461
4340	OQT 400	283	1950	228	1570	11	555
5140	Recocido	83	572	42	290	29	167
5140	OQT 1300	104	717	83	572	27	207
5140	OQT 1000	145	1000	130	896	18	302
5140	OQT 700	220	1520	200	1380	11	429
5140	OQT 400	276	1900	226	1560	7	534
5150	Recocido	98	676	52	359	22	197
5150	OQT 1300	116	800	102	700	22	241
5150	OQT 1000	160	1100	149	1030	15	321
5150	OQT 700	240	1650	220	1520	10	461
5150	OQT 400	312	2150	250	1720	8	601
5160	Recocido	105	724	40	276	17	197
5160	OQT 1300	115	793	100	690	23	229
5160	OQT 1000	170	1170	151	1040	14	341
5160	OQT 700	263	1810	237	1630	9	514
5160	OQT 400	322	2220	260	1790	4	627
6150	Recocido	96	662	59	407	23	197
6150	OQT 1300	118	814	107	738	21	241
6150	OQT 1000	183	1260	173	1190	12	375
6150	OQT 700	247	1700	223	1540	10	495
6150	OQT 400	315	2170	270	1860	7	601
8650	Recocido	104	717	56	386	22	212
8650	OQT 1300	122	841	113	779	21	255
8650	OQT 1000	176	1210	155	1070	14	363
8650	OQT 700	240	1650	222	1530	12	495
8650	OQT 400	282	1940	250	1720	11	555
8740	Recocido	100	690	60	414	22	201
8740	OQT 1300	119	820	100	690	25	241
8740	OQT 1000	175	1210	167	1150	15	363
8740	OQT 700	228	1570	212	1460	12	461
8740	OQT 400	290	2000	240	1650	10	578
9255	Recocido	113	780	71	490	22	229
9255	Q&T 1300	130	896	102	703	21	262
9255	Q&T 1000	181	1250	160	1100	14	352
9255	Q&T 700	260	1790	240	1650	5	534
9255	Q&T 400	310	2140	287	1980	2	601

Nota: Propiedades comunes a todos los aceros al carbón y aleados:

Relación de Poisson: 0.27

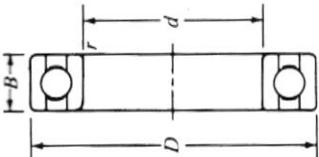
Módulo de cortante:  $11.5 \times 10^6$  psi; 80 GPa

Coefficiente de dilatación térmica:  $6.5 \times 10^{-6}$  °F<sup>-1</sup>

Densidad: 0.283 lb/pulg<sup>3</sup>; 7680 kg/m<sup>3</sup>

Módulo de elasticidad:  $30 \times 10^6$  psi; 207 GPa

ANEXO 4a. Datos para seleccionar rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad



**A. Series 6200**

Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento								Diámetro de escalón preferido	Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática $C_0$	Capacidad básica de carga dinámica $C$
	$d$		$D$		$B$		$r^*$	Caja				
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg						
6200	10	0.3937	30	1.1811	9	0.3543	0.024	0.500	0.984	0.07	520	885
6201	12	0.4724	32	1.2598	10	0.3937	0.024	0.578	1.063	0.08	675	1180
6202	15	0.5906	35	1.3780	11	0.4331	0.024	0.703	1.181	0.10	790	1320
6203	17	0.6693	40	1.5748	12	0.4724	0.024	0.787	1.380	0.14	1010	1660
6204	20	0.7874	47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.969	1.614	0.23	1400	2210
6205	25	0.9843	52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.172	1.811	0.29	1610	2430
6206	30	1.1811	62	2.4409	16	0.6299	0.039	1.406	2.205	0.44	2320	3350
6207	35	1.3780	72	2.8346	17	0.6693	0.039	1.614	2.559	0.64	3150	4450
6208	40	1.5748	80	3.1496	18	0.7087	0.039	1.811	2.874	0.82	3650	5050
6209	45	1.7717	85	3.3465	19	0.7480	0.039	2.008	3.071	0.89	4150	5650
6210	50	1.9685	90	3.5433	20	0.7874	0.039	2.205	3.268	1.02	4650	6050
6211	55	2.1654	100	3.9370	21	0.8268	0.059	2.441	3.602	1.36	5850	7500
6212	60	2.3622	110	4.3307	22	0.8661	0.059	2.717	3.996	1.73	7250	9050
6213	65	2.5591	120	4.7244	23	0.9055	0.059	2.913	4.390	2.18	8000	9900
6214	70	2.7559	125	4.9213	24	0.9449	0.059	3.110	4.587	2.31	8800	10800
6215	75	2.9528	130	5.1181	25	0.9843	0.059	3.307	4.783	2.64	9700	11400
6216	80	3.1496	140	5.5118	26	1.0236	0.079	3.504	5.118	3.09	10500	12600
6217	85	3.3465	150	5.9055	28	1.1024	0.079	3.740	5.512	3.97	12300	14600
6218	90	3.5433	160	6.2992	30	1.1811	0.079	3.937	5.906	4.74	14200	16600
6219	95	3.7402	170	6.6929	32	1.2598	0.079	4.213	6.220	5.73	16300	18800
6220	100	3.9370	180	7.0866	34	1.3386	0.079	4.409	6.614	6.94	18600	21100
6221	105	4.1339	190	7.4803	36	1.4173	0.079	4.606	7.008	8.15	20900	23000
6222	110	4.3307	200	7.8740	38	1.4961	0.079	4.803	7.402	9.59	23400	24900
6224	120	4.7244	215	8.4646	40	1.5748	0.079	5.197	7.992	11.4	26200	26900

ANEXO 4b. Datos para seleccionar rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad

Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento										Diámetro de escalón preferido	Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática $C_o$	Capacidad básica de carga dinámica $C$
	$d$		$D$		$B$		$r^*$	Eje		Caja				
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg		pulg	pulg					
<b>A. Series 6200, continuación</b>														
6226	130	5.1181	230	9.0551	40	1.5748	0.098	5.669	8.504	12.7	29 100	28 700		
6228	140	5.5118	250	9.8425	42	1.6535	0.098	6.063	9.291	19.6	29 300	28 700		
6230	150	5.9055	270	10.6299	45	1.7717	0.098	6.457	10.079	25.3	32 500	30 000		
6232	160	6.2992	290	11.4173	48	1.8898	0.098	6.850	10.886	32.0	35 500	32 000		
6234	170	6.6929	310	12.2047	52	2.0472	0.118	7.362	11.535	38.5	43 000	36 500		
6236	180	7.0866	320	12.5984	52	2.0472	0.118	7.758	11.929	41.0	46 500	39 000		
6238	190	7.4803	340	13.3858	55	2.1654	0.118	8.150	12.717	50.5	54 500	44 000		
6240	200	7.8740	360	14.1732	58	2.2835	0.118	8.543	13.504	61.5	60 000	46 500		
<b>B. Series 6300</b>														
6300	10	0.3937	35	1.3780	11	0.4331	0.024	0.563	1.181	0.12	805	1400		
6301	12	0.4724	37	1.4567	12	0.4724	0.039	0.656	1.220	0.13	990	1680		
6302	15	0.5906	42	1.6535	13	0.5118	0.039	0.781	1.417	0.18	1200	1980		
6303	17	0.6693	47	1.8504	14	0.5512	0.039	0.875	1.614	0.25	1460	2360		
6304	20	0.7874	52	2.0472	15	0.5906	0.039	1.016	1.772	0.32	1730	2760		
6305	25	0.9843	62	2.4409	17	0.6693	0.039	1.220	2.165	0.52	2370	3550		
6306	30	1.1811	72	2.8346	19	0.7480	0.039	1.469	2.559	0.76	3150	4600		
6307	35	1.3780	80	3.1496	21	0.8268	0.059	1.688	2.795	1.01	4050	5800		
6308	40	1.5748	90	3.5433	23	0.9055	0.059	1.929	3.189	1.40	5050	7050		
6309	45	1.7717	100	3.9370	25	0.9843	0.059	2.126	3.583	1.84	6800	9150		
6310	50	1.9685	110	4.3307	27	1.0630	0.079	2.362	3.937	2.42	8100	10 700		
6311	55	2.1654	120	4.7244	29	1.1417	0.079	2.559	4.331	2.98	9450	12 300		
6312	60	2.3622	130	5.1181	31	1.2205	0.079	2.835	4.646	3.75	11 000	14 100		
6313	65	2.5591	140	5.5118	33	1.2992	0.079	3.031	5.039	4.63	12 600	16 000		
6314	70	2.7559	150	5.9055	35	1.3780	0.079	3.228	5.433	5.51	14 400	18 000		
6315	75	2.9528	160	6.2992	37	1.4567	0.079	3.425	5.827	6.61	16 300	19 600		

ANEXO 4c. Datos para seleccionar rodamiento de una hilera de bolas y ranura profunda, tipo Conrad

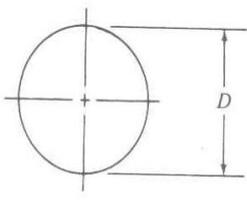
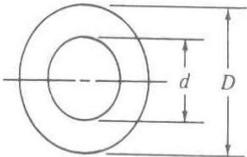
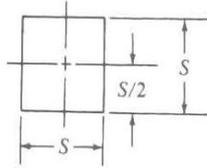
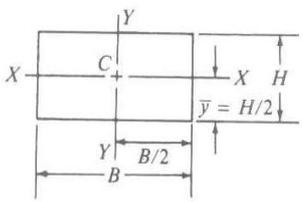
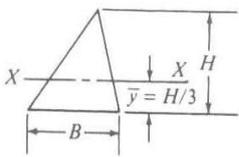
**B. Series 6300, continuación**

Número de rodamiento	Dimensiones nominales del rodamiento								Diámetro de escalón preferido	Peso del rodamiento	Capacidad básica de carga estática $C_o$	Capacidad básica de carga dinámica $C$
	$d$		$D$		$B$		$r^*$	Caja				
	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg						
6316	80	3.1496	170	6.6929	39	1.5354	0.079	3.622	6.220	7.93	18 300	21 300
6317	85	3.3465	180	7.0866	41	1.6142	0.098	3.898	6.535	9.37	20 400	22 900
6318	90	3.5433	190	7.4803	43	1.6929	0.098	4.094	6.929	10.8	22 500	24 700
6319	95	3.7402	200	7.8740	45	1.7717	0.098	4.291	7.323	12.5	24 900	26 400
6320	100	3.9370	215	8.4646	47	1.8504	0.098	4.488	7.913	15.3	29 800	30 000
6321	105	4.1339	225	8.8583	49	1.9291	0.098	4.685	8.307	17.9	32 500	31 700
6322	110	4.3307	240	9.4488	50	1.9685	0.098	4.882	8.898	21.0	38 000	35 500
6324	120	4.7244	260	10.2362	55	2.1654	0.098	5.276	9.685	27.6	38 500	36 000
6326	130	5.1181	280	11.0236	58	2.2835	0.118	5.827	10.315	40.8	44 500	39 500
6328	140	5.5118	300	11.8110	62	2.4409	0.118	6.220	11.102	48.5	51 000	43 500
6330	150	5.9055	320	12.5984	65	2.5591	0.118	6.614	11.890	57.3	58 000	47 500
6332	160	6.2992	340	13.3858	68	2.6772	0.118	7.008	12.677	58	58 500	48 000
6334	170	6.6929	360	14.1732	72	2.8346	0.118	7.402	13.465	84	73 500	56 500
6336	180	7.0866	380	14.9606	75	2.9528	0.118	7.795	14.252	98	84 000	61 500
6338	190	7.4803	400	15.7480	78	3.0709	0.157	8.346	14.882	112	84 000	61 500
6340	200	7.8740	420	16.5354	80	3.1496	0.157	8.740	15.669	127	91 500	65 500

Fuente: NSK Corporation, Ann Arbor, MI.

\*Chafilán máximo que rebasará el radio de la esquina.

## ANEXO 5. Propiedades de las áreas

a) Círculo		$A = \pi D^2/4 \quad r = D/4$ $I = \pi D^4/64 \quad J = \pi D^4/32$ $S = \pi D^3/32 \quad Z_p = \pi D^3/16$
b) Círculo hueco (tubo)		$A = \pi(D^2 - d^2)/4 \quad r = \sqrt{D^2 + d^2}/4$ $I = \pi(D^4 - d^4)/64 \quad J = \pi(D^4 - d^4)/32$ $S = \pi(D^4 - d^4)/32D \quad Z_p = \pi(D^4 - d^4)/16D$
c) Cuadrado		$A = S^2 \quad r = S/\sqrt{12}$ $I = S^4/12$ $S = S^3/6$
d) Rectángulo		$A = BH \quad r_x = H/\sqrt{12}$ $I_x = BH^3/12 \quad r_y = B/\sqrt{12}$ $S_x = BH^2/6$
e) Triángulo		$A = BH/2 \quad r' = H/\sqrt{18}$ $I = BH^3/36$ $S = BH^2/24$

## ANEXO 6a. Características del sensor ACS712

# ACS712

*Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC  
with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor*

### COMMON OPERATING CHARACTERISTICS<sup>1</sup> over full range of $T_A$ , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
<b>ELECTRICAL CHARACTERISTICS</b>						
Supply Voltage	$V_{CC}$		4.5	5.0	5.5	V
Supply Current	$I_{CC}$	$V_{CC} = 5.0$ V, output open	–	10	13	mA
Output Capacitance Load	$C_{LOAD}$	VIOUT to GND	–	–	10	nF
Output Resistive Load	$R_{LOAD}$	VIOUT to GND	4.7	–	–	k $\Omega$
Primary Conductor Resistance	$R_{PRIMARY}$	$T_A = 25^\circ\text{C}$	–	1.2	–	m $\Omega$
Rise Time	$t_r$	$I_P = I_P(\text{max})$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$ , $C_{OUT} = \text{open}$	–	3.5	–	$\mu\text{s}$
Frequency Bandwidth	f	–3 dB, $T_A = 25^\circ\text{C}$ ; $I_P$ is 10 A peak-to-peak	–	80	–	kHz
Nonlinearity	$E_{LIN}$	Over full range of $I_P$	–	1.5	–	%
Symmetry	$E_{SYM}$	Over full range of $I_P$	98	100	102	%
Zero Current Output Voltage	$V_{IOUT(Q)}$	Bidirectional; $I_P = 0$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$V_{CC} \times 0.5$	–	V
Power-On Time	$t_{PO}$	Output reaches 90% of steady-state level, $T_J = 25^\circ\text{C}$ , 20 A present on leadframe	–	35	–	$\mu\text{s}$
Magnetic Coupling <sup>2</sup>			–	12	–	G/A
Internal Filter Resistance <sup>3</sup>	$R_{F(INT)}$			1.7		k $\Omega$

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient,  $T_A$ , and internal leadframe temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>1G = 0.1 mT.

<sup>3</sup> $R_{F(INT)}$  forms an RC circuit via the FILTER pin.

### COMMON THERMAL CHARACTERISTICS<sup>1</sup>

			Min.	Typ.	Max.	Units
Operating Internal Leadframe Temperature	$T_A$	E range	–40	–	85	$^\circ\text{C}$
					Value	Units
Junction-to-Lead Thermal Resistance <sup>2</sup>	$R_{\theta JL}$	Mounted on the Allegro ASEK 712 evaluation board			5	$^\circ\text{C/W}$
Junction-to-Ambient Thermal Resistance	$R_{\theta JA}$	Mounted on the Allegro 85-0322 evaluation board, includes the power consumed by the board			23	$^\circ\text{C/W}$

<sup>1</sup>Additional thermal information is available on the Allegro website.

<sup>2</sup>The Allegro evaluation board has 1500 mm<sup>2</sup> of 2 oz. copper on each side, connected to pins 1 and 2, and to pins 3 and 4, with thermal vias connecting the layers. Performance values include the power consumed by the PCB. Further details on the board are available from the Frequently Asked Questions document on our website. Further information about board design and thermal performance also can be found in the Applications Information section of this datasheet.

### x05B PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1$ nF, and $V_{CC} = 5$ V, unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		–5	–	5	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	180	185	190	mV/A
Noise	$V_{NOISE(PP)}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 185 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47$ nF, $C_{OUT} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	–	21	–	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{OUT(Q)}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	–	–0.26	–	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	–	–0.08	–	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	–	0.054	–	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	–	–0.008	–	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{TOT}$	$I_P = \pm 5$ A, $T_A = 25^\circ\text{C}$	–	$\pm 1.5$	–	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 5$  A. Output filtered.

## ANEXO 6b. Características del sensor ACS712 (Continuación)

### x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	96	100	104	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 100 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.34	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.07	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.017	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.004	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 20\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 20\text{ A}$ . Output filtered.

### x30A PERFORMANCE CHARACTERISTICS<sup>1</sup> $T_A = -40^\circ\text{C}$ to $85^\circ\text{C}$ , $C_F = 1\text{ nF}$ , and $V_{CC} = 5\text{ V}$ , unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	$I_P$		-30	-	30	A
Sensitivity	Sens	Over full range of $I_P$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	63	66	69	mV/A
Noise	$V_{\text{NOISE(PP)}}$	Peak-to-peak, $T_A = 25^\circ\text{C}$ , 66 mV/A programmed Sensitivity, $C_F = 47\text{ nF}$ , $C_{\text{OUT}} = \text{open}$ , 2 kHz bandwidth	-	7	-	mV
Zero Current Output Slope	$\Delta V_{\text{OUT(Q)}}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	-0.35	-	mV/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.08	-	mV/ $^\circ\text{C}$
Sensitivity Slope	$\Delta\text{Sens}$	$T_A = -40^\circ\text{C}$ to $25^\circ\text{C}$	-	0.007	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
		$T_A = 25^\circ\text{C}$ to $150^\circ\text{C}$	-	-0.002	-	mV/A/ $^\circ\text{C}$
Total Output Error <sup>2</sup>	$E_{\text{TOT}}$	$I_P = \pm 30\text{ A}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$	-	$\pm 1.5$	-	%

<sup>1</sup>Device may be operated at higher primary current levels,  $I_P$ , and ambient temperatures,  $T_A$ , provided that the Maximum Junction Temperature,  $T_J(\text{max})$ , is not exceeded.

<sup>2</sup>Percentage of  $I_P$ , with  $I_P = 30\text{ A}$ . Output filtered.

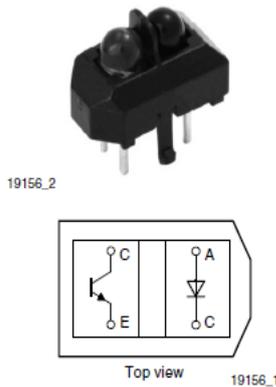
## ANEXO 7a. Características del sensor TCRT5000



### TCRT5000, TCRT5000L

Vishay Semiconductors

## Reflective Optical Sensor with Transistor Output



### FEATURES

- Package type: leaded
- Detector type: phototransistor
- Dimensions (L x W x H in mm): 10.2 x 5.8 x 7
- Peak operating distance: 2.5 mm
- Operating range within > 20 % relative collector current: 0.2 mm to 15 mm
- Typical output current under test:  $I_C = 1 \text{ mA}$
- Daylight blocking filter
- Emitter wavelength: 950 nm
- Lead (Pb)-free soldering released
- Compliant to RoHS directive 2002/95/EC and in accordance to WEEE 2002/96/EC



RoHS COMPLIANT

### DESCRIPTION

The TCRT5000 and TCRT5000L are reflective sensors which include an infrared emitter and phototransistor in a leaded package which blocks visible light. The package includes two mounting clips. TCRT5000L is the long lead version.

### APPLICATIONS

- Position sensor for shaft encoder
- Detection of reflective material such as paper, IBM cards, magnetic tapes etc.
- Limit switch for mechanical motions in VCR
- General purpose - wherever the space is limited

PRODUCT SUMMARY				
PART NUMBER	DISTANCE FOR MAXIMUM $CTR_{rel}$ (1) (mm)	DISTANCE RANGE FOR RELATIVE $I_{out} > 20\%$ (mm)	TYPICAL OUTPUT CURRENT UNDER TEST (2) (mA)	DAYLIGHT BLOCKING FILTER INTEGRATED
TCRT5000	2.5	0.2 to 15	1	Yes
TCRT5000L	2.5	0.2 to 15	1	Yes

#### Notes

(1) CTR: current transference ratio,  $I_{out}/I_{in}$

(2) Conditions like in table basic characteristics/sensors

ORDERING INFORMATION			
ORDERING CODE	PACKAGING	VOLUME (1)	REMARKS
TCRT5000	Tube	MOQ: 4500 pcs, 50 pcs/tube	3.5 mm lead length
TCRT5000L	Tube	MOQ: 2400 pcs, 48 pcs/tube	15 mm lead length

#### Note

(1) MOQ: minimum order quantity

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>INPUT (EMITTER)</b>				
Reverse voltage		$V_R$	5	V
Forward current		$I_F$	60	mA
Forward surge current	$t_p \leq 10 \mu\text{s}$	$I_{FSM}$	3	A
Power dissipation	$T_{amb} \leq 25^\circ\text{C}$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_j$	100	$^\circ\text{C}$

ANEXO 7b. Características del sensor TCRT5000 (Continuación)

**TCRT5000, TCRT5000L**



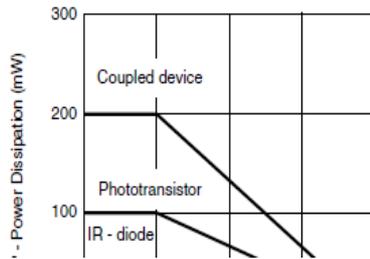
Vishay Semiconductors Reflective Optical Sensor with Transistor Output

<b>ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (1)</b>				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
<b>OUTPUT (DETECTOR)</b>				
Collector emitter voltage		$V_{CEO}$	70	V
Emitter collector voltage		$V_{ECO}$	5	V
Collector current		$I_C$	100	mA
Power dissipation	$T_{amb} \leq 55\text{ }^\circ\text{C}$	$P_V$	100	mW
Junction temperature		$T_j$	100	$^\circ\text{C}$
<b>SENSOR</b>				
Total power dissipation	$T_{amb} \leq 25\text{ }^\circ\text{C}$	$P_{tot}$	200	mW
Ambient temperature range		$T_{amb}$	- 25 to + 85	$^\circ\text{C}$
Storage temperature range		$T_{slg}$	- 25 to + 100	$^\circ\text{C}$
Soldering temperature	2 mm from case, $t \leq 10\text{ s}$	$T_{sd}$	260	$^\circ\text{C}$

**Note**

(1)  $T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$ , unless otherwise specified

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS**



A

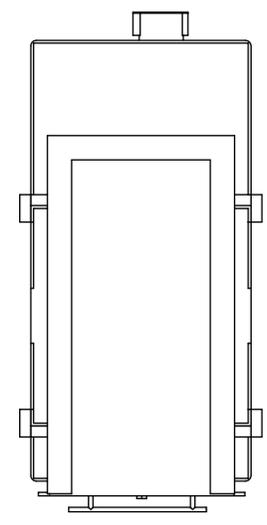
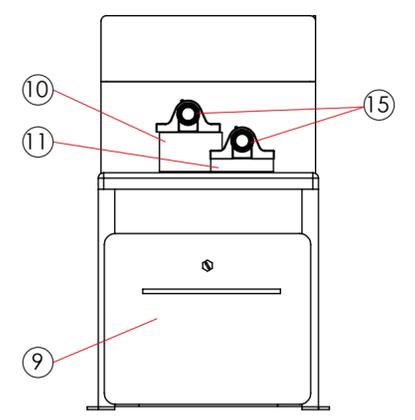
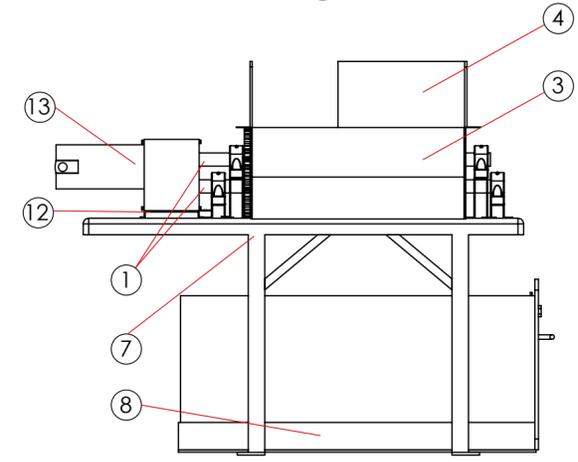
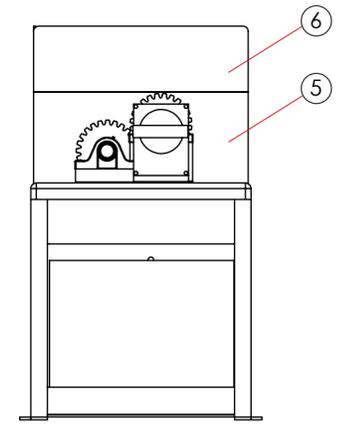
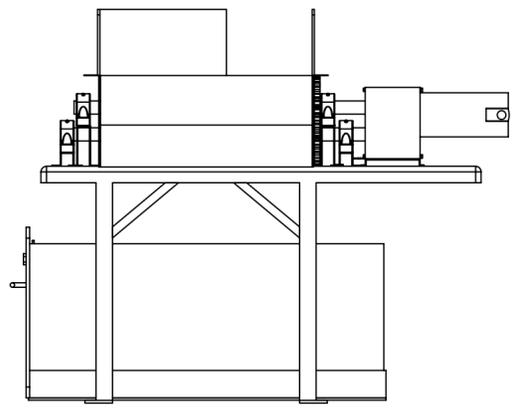
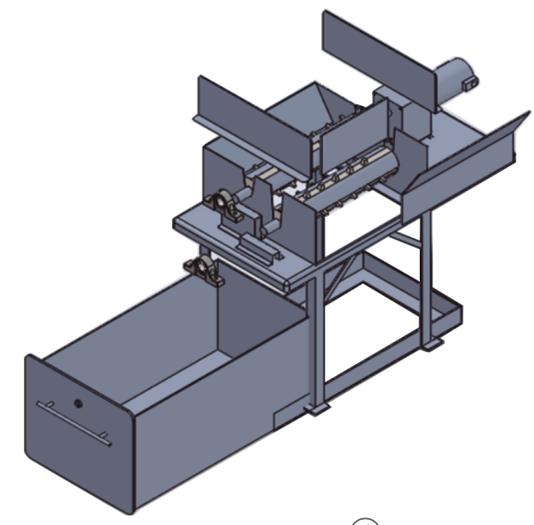
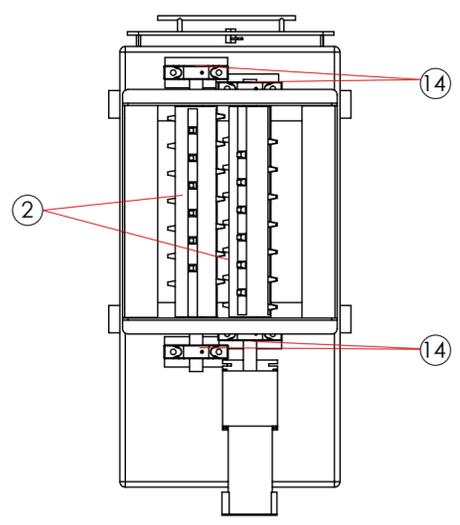
B

C

D

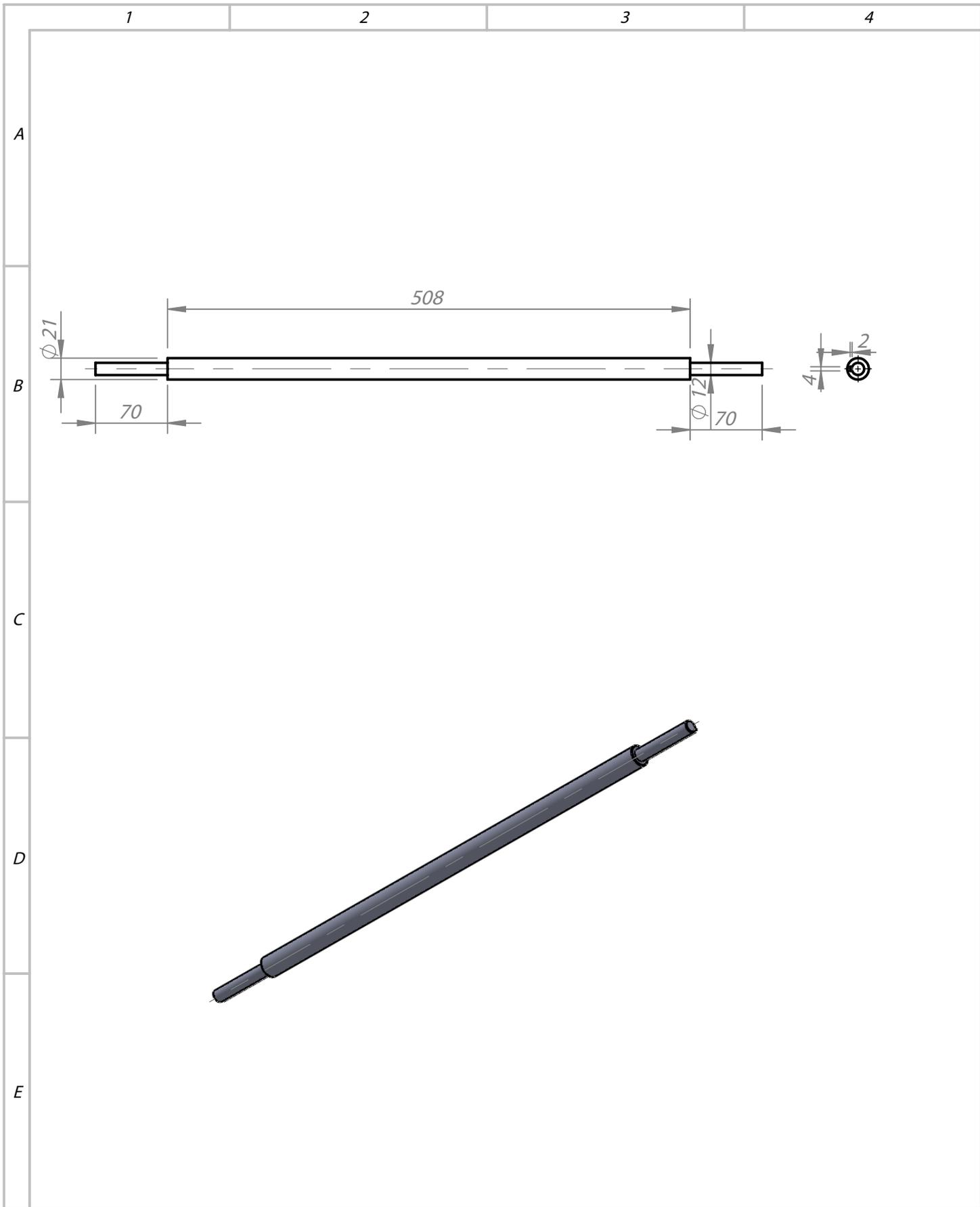
E

F



Nº	Denominación	Nº de Dibujo	Material	Nº de Orden	Semiproducto	Peso Kg	Observaciones
1	Eje	P002	AISI 4340	2		1,2	
2	Rodillo	P003	ASTM A-36	2		2,3	
3	Placa Lateral	P004	Latón	2		1	
4	Placa Ducto	P005	Latón	1		1	
5	Soporte de rodillos	P006	Latón	2		1	
6	Placa Superior	P007	Latón	2		1	
7	Bastidor	P008	ASTM A-36	1		18	
8	Riel	P009	Latón	1		2	
9	Cajón	P010	Latón	1		3	
10	Soporte alto de rodillo	P011	Latón	2		0.4	
11	Soporte bajo de rodillo	P012	Latón	2		0.25	
12	Soporte de motor	P013	Latón	1		0.5	
13	Motor	Weg 1,4 HP		1			48rpm
14	Rodamiento	6201		4			de una hilera de bolas y ranura profunda tipo Conrad
15	Chumacera	D 1.25 pulg d 0.47 pulg		4			Acorde con el rodamiento seleccionado

TOLERANCIA:		PESO (Kg):		MATERIAL:	
± 0.1					
Fecha		Nombre		ESCALA:	
24/06/2015		Andrea Mera		1:20	
Revisado		Msc. Luis Hidalgo		<b>Ensamblaje Laminadora</b>	
Aprobado		Ing. Raul Loor			
FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO Nº:		HOJA:	
UTE		001		A3	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre		



				TOLERANCIA:	PESO (Kg):	MATERIAL:	
				$\pm 0.1$	1,2	AISI 4340	
				Fecha	Nombre	<b>Eje</b>	ESCALA:
			Dibujado	19/11/2015	Andrea Mera		1:5
			Revisado		Msc. Luis Hidalgo		
			Aprobado		Ing. Raul Loor		
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				UTE		002	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



1

2

3

4

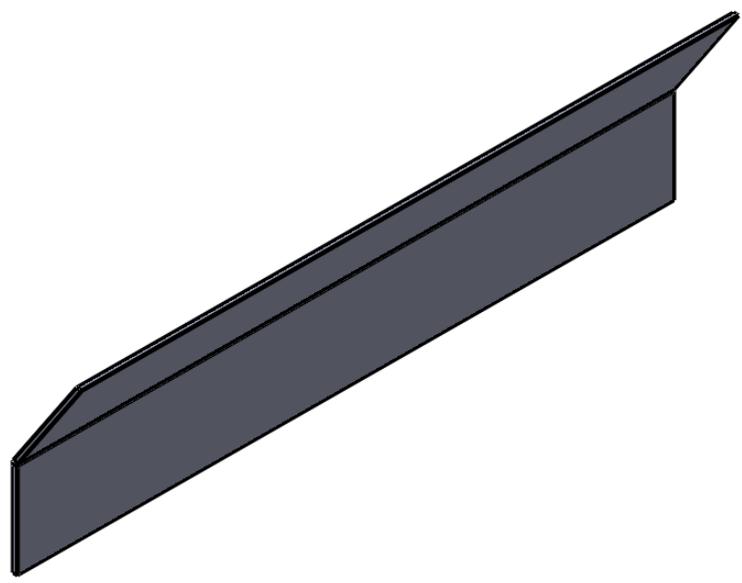
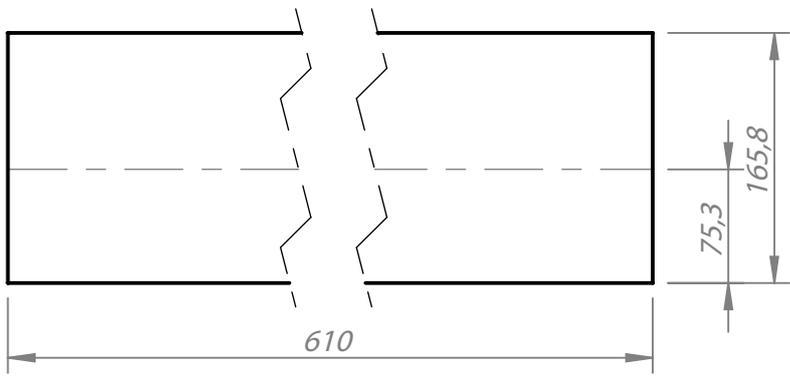
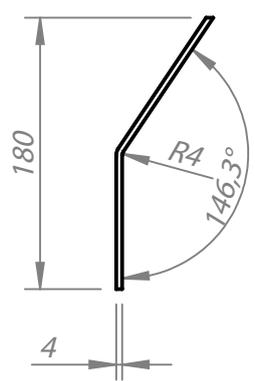
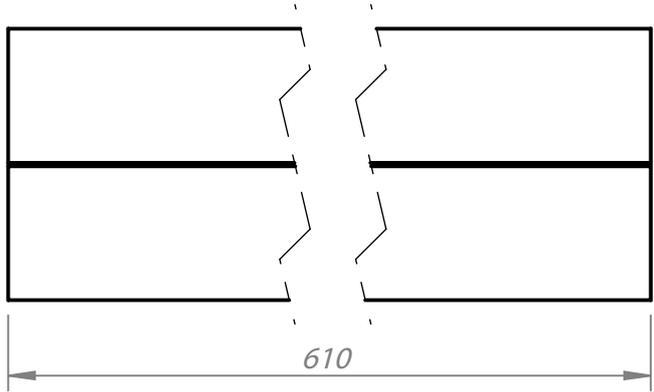
A

B

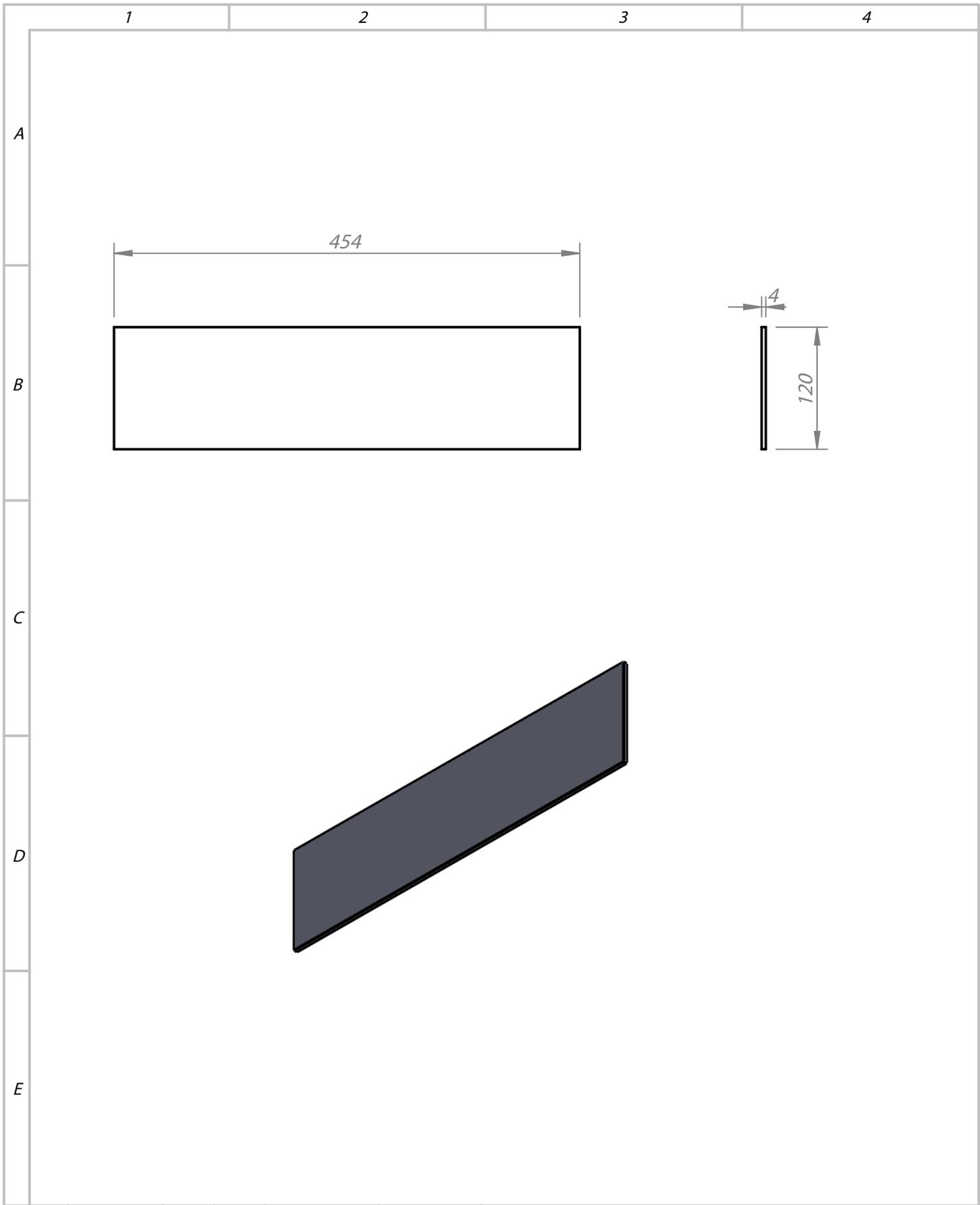
C

D

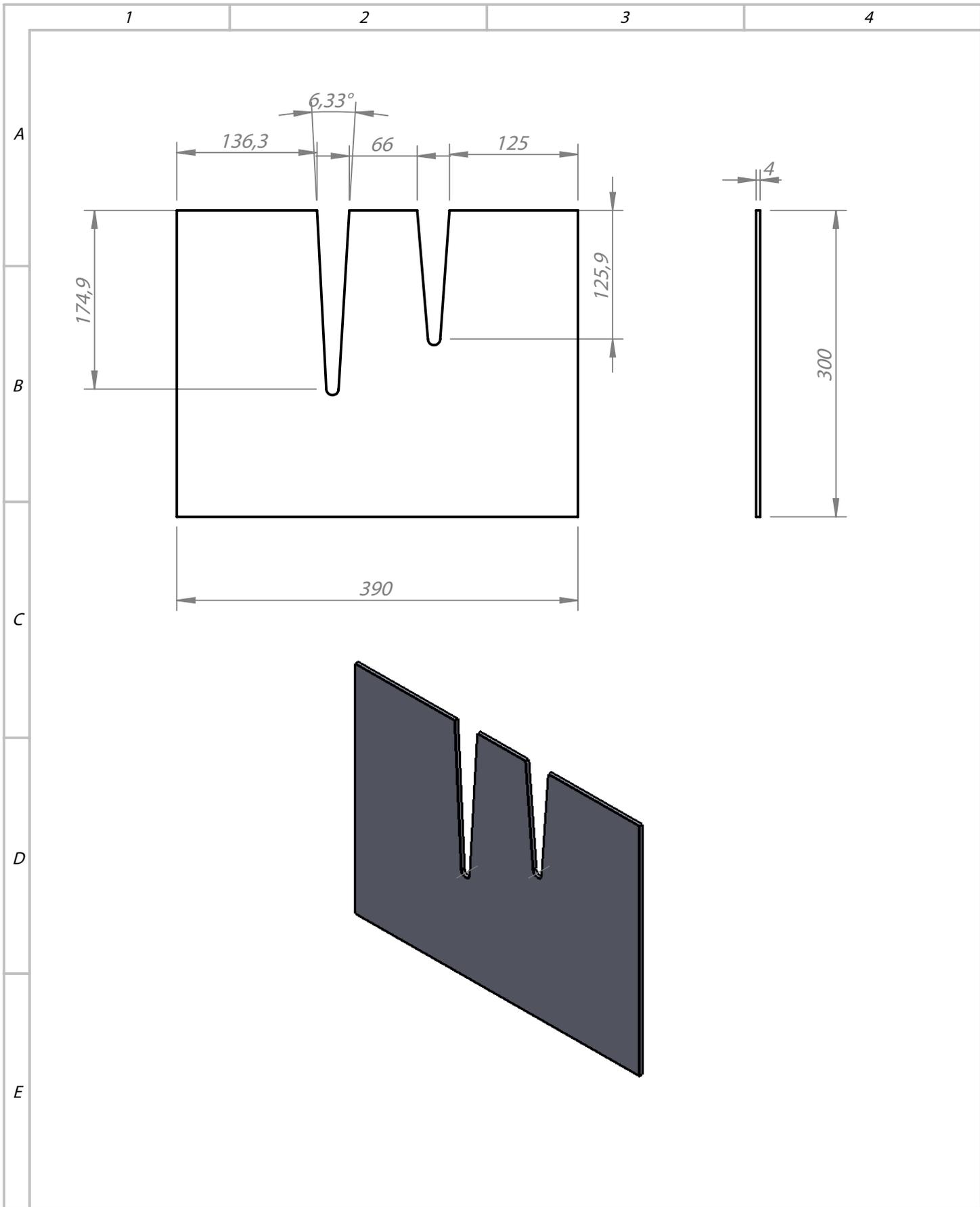
E



				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO (Kg): 1	MATERIAL: <b>Latón</b>	
						<b>Placa Lateral</b>	ESCALA: 1:5
				Fecha	Nombre		
				Dibujado	19/11/2015		Andrea Mera
				Revisado			Msc.Luis Hidalgo
				Aprobado		Ing.Raul Loor	
				FIRMA / EMPRESA: <b>UTE</b>		DIBUJO N°: <b>004</b>	HOJA: <b>A4</b>
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO (Kg): 1	MATERIAL: <b>Latón</b>		
						<b>Placa Ducto</b>	ESCALA: 1:5	
				Fecha	Nombre			
				Dibujado	19/11/2015		Andrea Mera	
				Revisado			Msc. Luis Hidalgo	
				Aprobado		Ing. Raul Loor		
				FIRMA / EMPRESA: <b>UTE</b>		DIBUJO N°: 005	HOJA: A4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



				TOLERANCIA:	PESO (Kg):	MATERIAL:	
				$\pm 0.1$	1	Latón	
				Fecha	Nombre	<b>Soporte de Rodillos</b>	
				Dibujado 19/11/2015	Andrea Mera		
				Revisado	Msc.Luis Hidalgo		
				Aprobado	Ing.Raul Loor		
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	ESCALA:
				UTE		006	1:5
							HOJA:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				A4

1

2

3

4

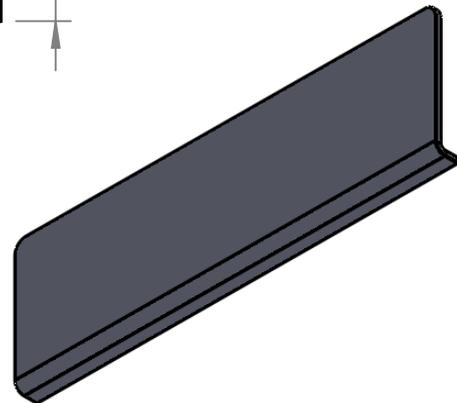
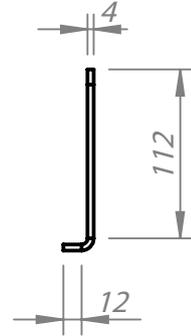
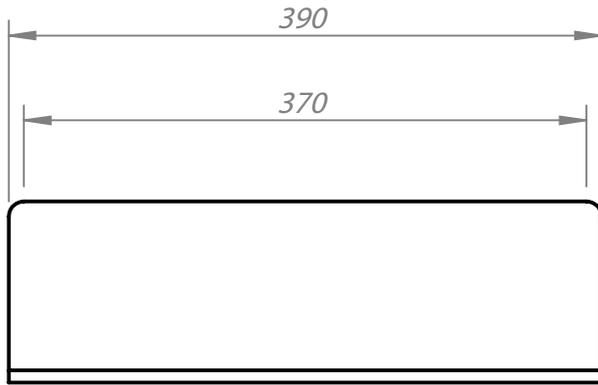
A

B

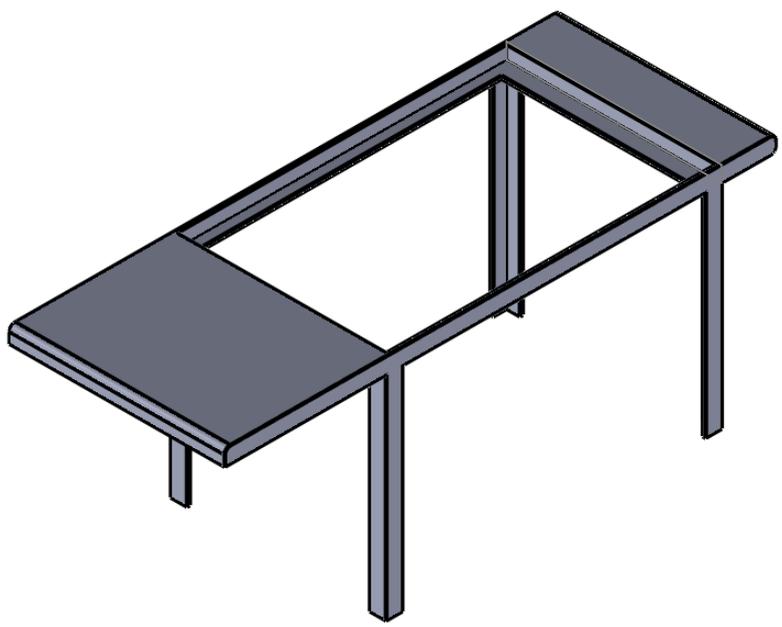
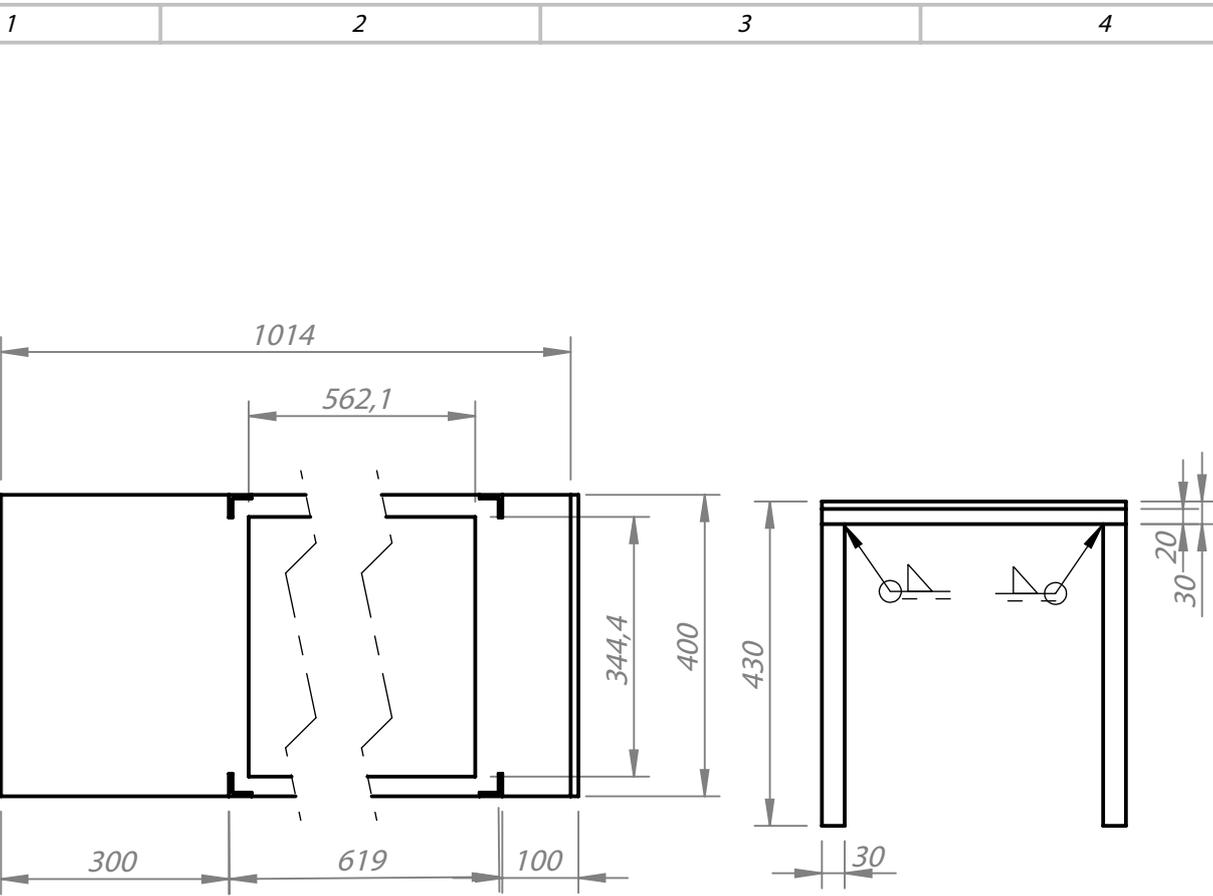
C

D

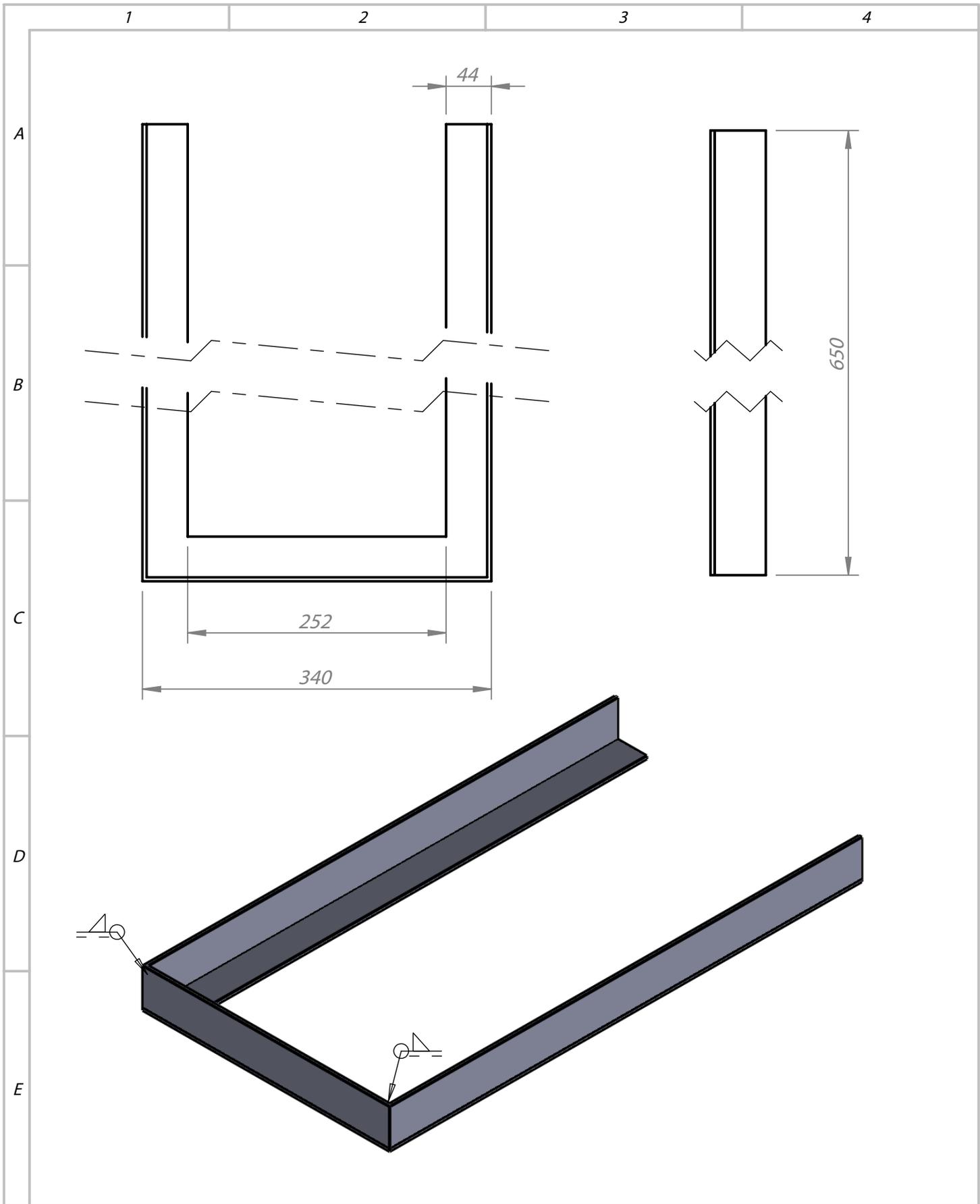
E



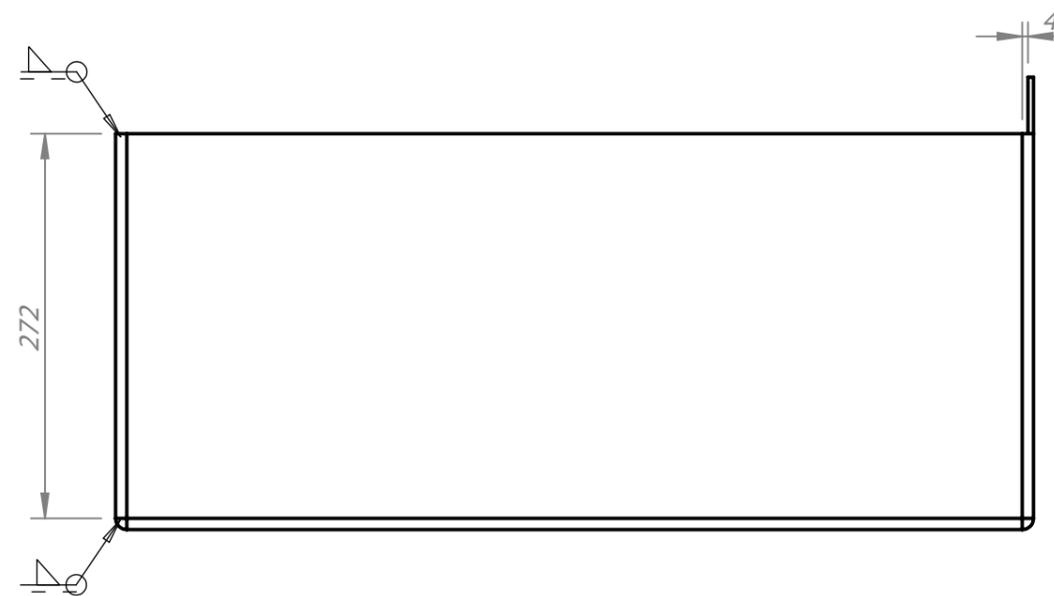
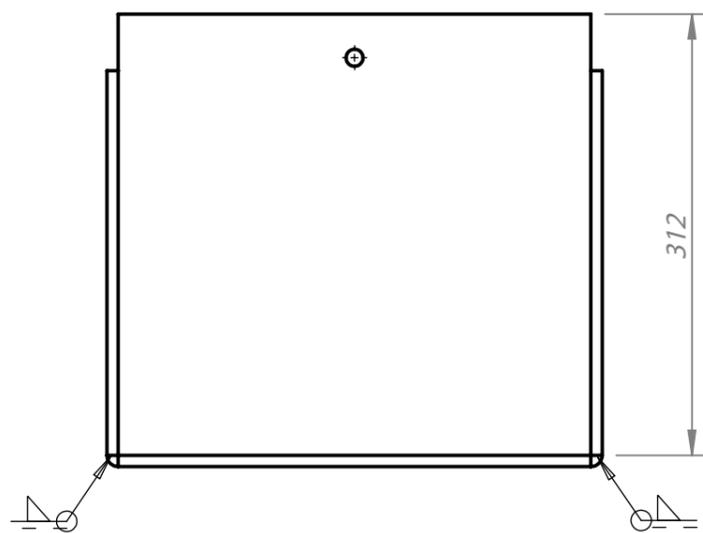
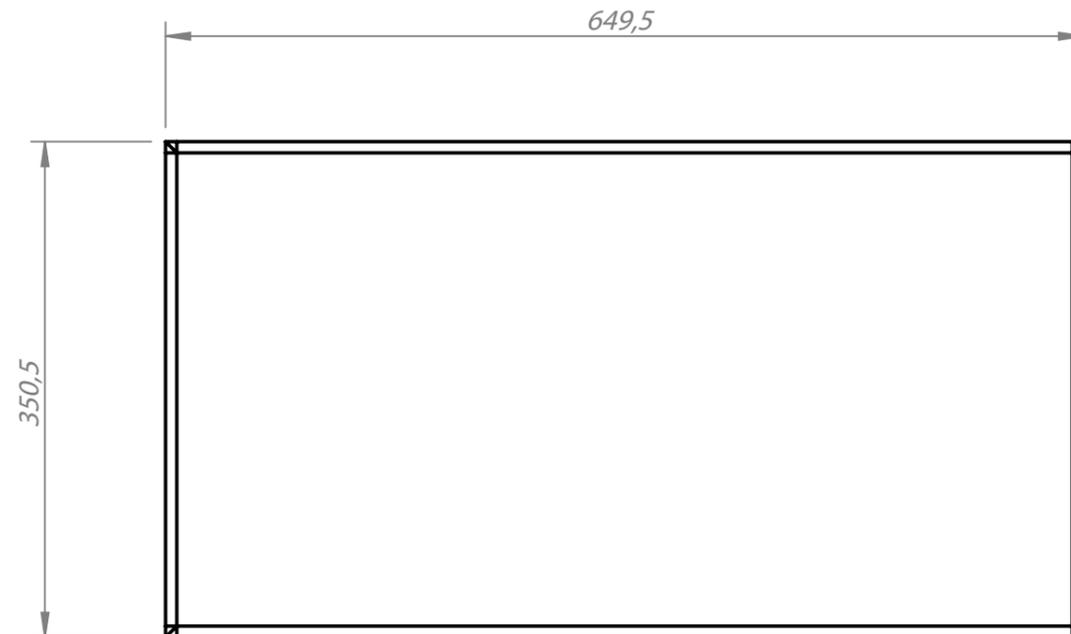
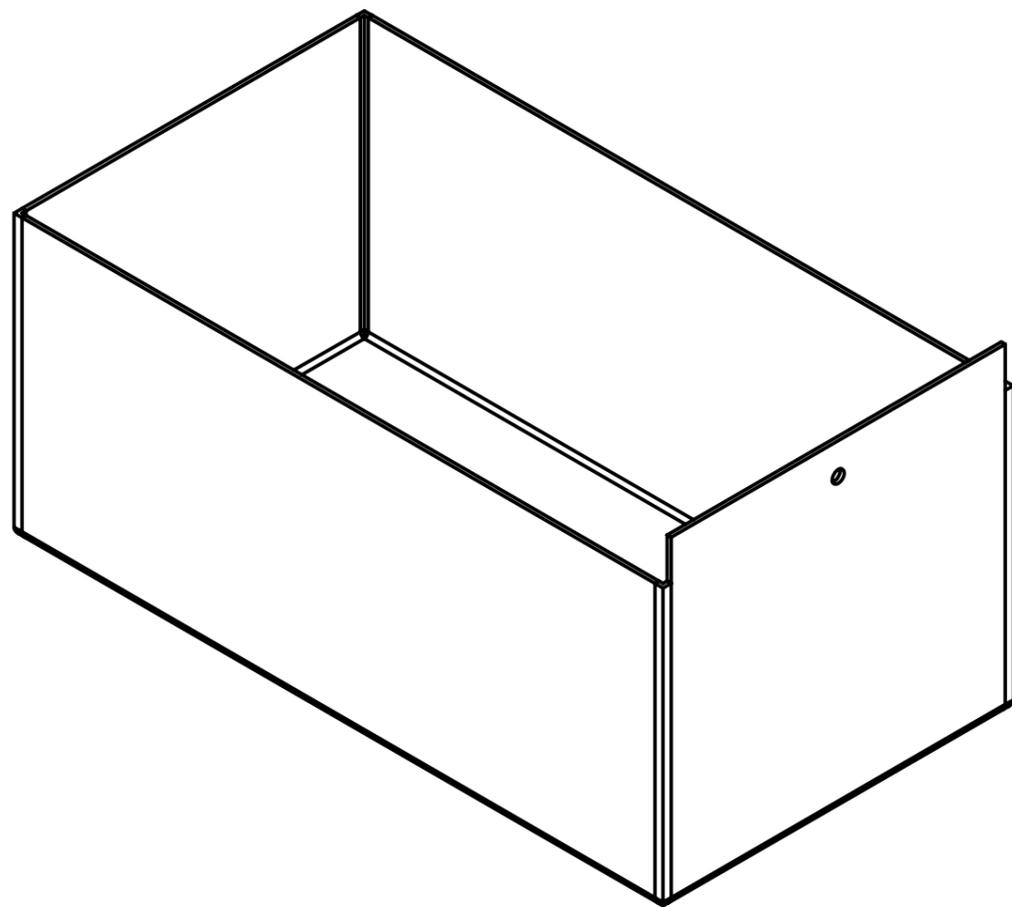
				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO (Kg): 1	MATERIAL: <b>Latón</b>	
						<b>Placa Superior</b>	ESCALA: 1:5
			Fecha	Nombre			
			Dibujado	19/11/2015	Andrea Mera		
			Revisado		Msc. Luis Hidalgo		
			Aprobado		Ing. Raul Loo		
				FIRMA / EMPRESA: <b>UTE</b>		DIBUJO N°: 007	HOJA: A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				TOLERANCIA:	PESO (Kg):	MATERIAL:		
				± 0.1	18	ASTM A-36		
				Fecha	Nombre	Bastidor		
				Dibujado	19/11/2015			Andrea Mera
				Revisado				Msc. Luis Hidalgo
				Aprobado				Ing. Raul Loor
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:	
				UTE		008	A4	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					



				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO (Kg): 2	MATERIAL: <i>Latón</i>	
							ESCALA: 1:5
				Fecha 19/11/2015	Nombre Andrea Mera	<i>Riel</i>	
				Revisado	Msc.Luis Hidalgo		
				Aprobado	Ing.Raul Loor		
				FIRMA / EMPRESA: <b>UTE</b>		DIBUJO N°: <i>009</i>	HOJA: <i>A4</i>
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				TOLERANCIA:	PESO [Kg]:	MATERIAL:	
				± 0.1	3	ASTM A-36	
					Fecha	Nombre	Cajón
				Dibujado	19/11/2015	Andrea Mera	
				Revisado		Msc. Luis Hidalgo	
				Aprobado		Ing. Raul Loo	ESCALA:
							1:10
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				UTE		010	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

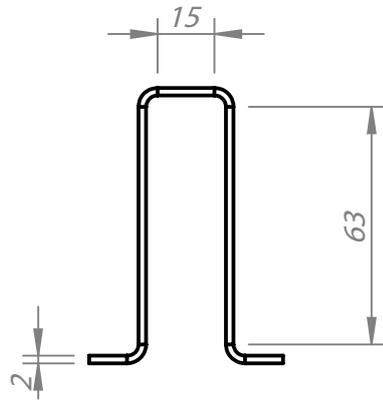
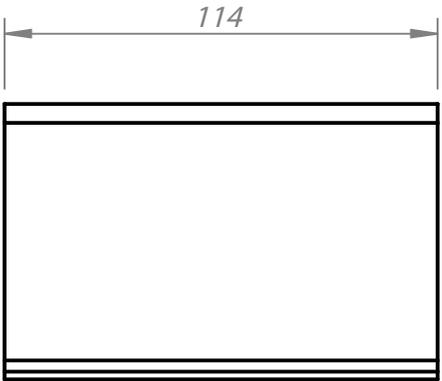
A

B

C

D

E



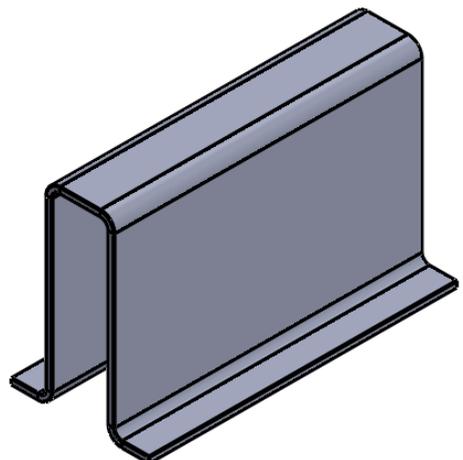
HACIA ABAJO 90° R 3

HACIA ARRIBA 90° R 3

HACIA ARRIBA 90° R 3

HACIA ABAJO 90° R 3

13,1  
69,3  
21,3  
69,3  
13,1



				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO (Kg): 0,4	MATERIAL: <b>Latón</b>	
						<b>Soporte alto de rodillo</b>	ESCALA: 1:2
			Fecha	Nombre			
			Dibujado	20/11/2015	Andrea Mera		
			Revisado		Msc.Luis Hidalgo		
			Aprobado		Ing. Raul Loor		
				FIRMA / EMPRESA: <b>UTE</b>		DIBUJO N°: <b>011</b>	HOJA: <b>A4</b>
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

1

2

3

4

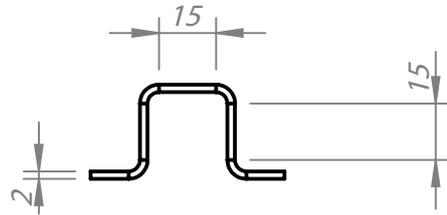
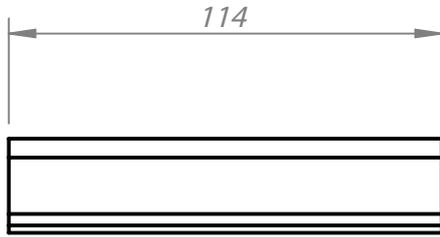
A

B

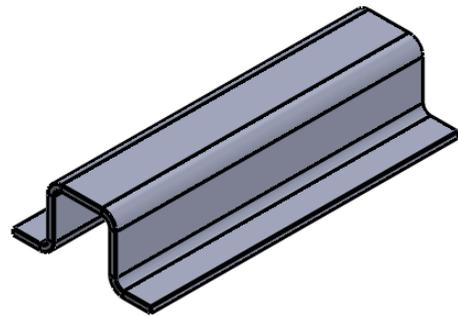
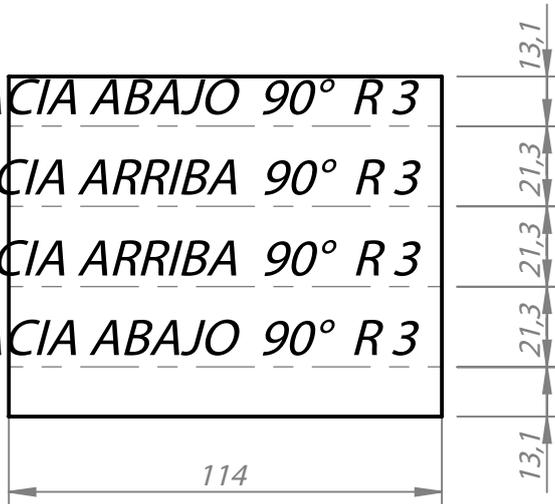
C

D

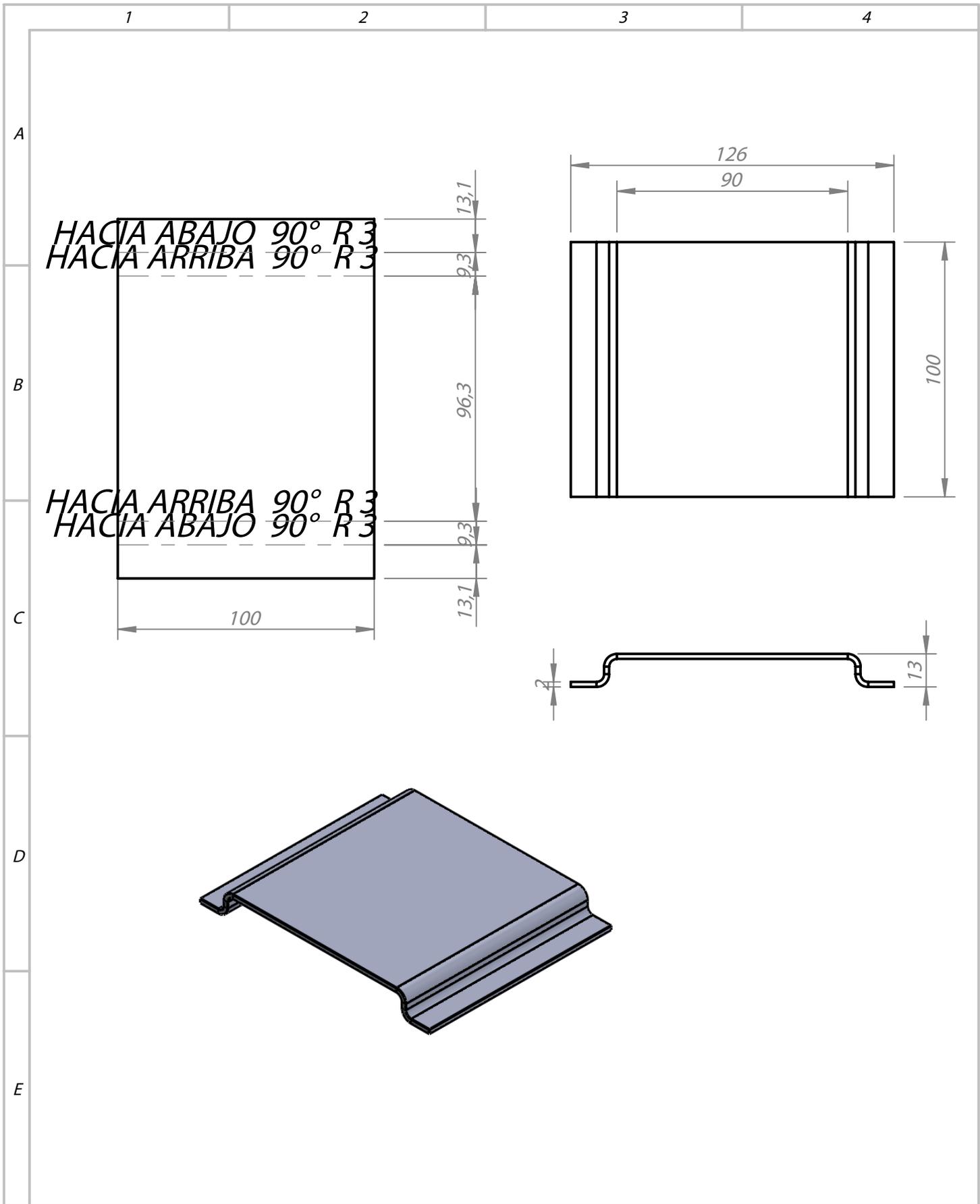
E



HACIA ABAJO 90° R 3  
 HACIA ARRIBA 90° R 3  
 HACIA ARRIBA 90° R 3  
 HACIA ABAJO 90° R 3



				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO (Kg): 0,25	MATERIAL: <b>Latón</b>	
					Fecha	Nombre	ESCALA:
				Dibujado	20/11/2015	Andrea Mera	<b>Soporte bajo de rodillo</b> 1:2
				Revisado		Msc.Luis Hidalgo	
				Aprobado		Ing. Raul Loor	
				FIRMA / EMPRESA: <b>UTE</b>		DIBUJO N°: 012	HOJA: A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				TOLERANCIA:	PESO (Kg):	MATERIAL:	
				± 0.1	0,5	Latón	
				Fecha	Nombre	<b>Soporte de motor</b>	ESCALA:
				Dibujado 20/11/2015	Andrea Mera		1:2
				Revisado	Msc.Luis Hidalgo		
				Aprobado	Ing. Raul Loor		
				FIRMA / EMPRESA:		DIBUJO N°:	HOJA:
				UTE		013	A4
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				