

# **DISEÑO MECATRÓNICO Y CONSTRUCCION DE UNA ENTORCHADORA DE ALAMBRE GALVANIZADO**

**JORGE MARIO DUQUE VILLA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PEREIRA  
2015**

**DISEÑO MECATRONICO Y CONSTRUCCION DE UNA ENTORCHADORA DE  
ALAMBRE GALVANIZADO**

**JORGE MARIO DUQUE VILLA**

Trabajo de grado para optar a título de ingeniero en Mecatrónica

**DIRECTOR  
M.Sc. CARLOS A. MONTILLA M.**

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE TECNOLOGÍA  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
PEREIRA  
2015

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Pereira, enero de 2016

## **DEDICATORIA**

*Dedico éste logro a todas las personas que en una u otra forma contribuyeron al desarrollo de este proyecto, compañeros de estudio, docentes y en especial a mis padres por creer siempre en mis habilidades y apoyarme durante este proceso de formación como profesional.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco a todas las personas que me apoyaron y aportaron su conocimiento para poder llevar a cabo este proyecto.*

*A Dios por darme vida y salud, así como a mi familia por brindarme el apoyo y la motivación incondicional durante todo el transcurso del desarrollo del proyecto, a mi director Carlos montilla, y demás profesores que a lo largo de la carrera me ofrecieron sus conocimientos*

## RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de diseñar y construir un automatismo para asistir un proceso de conformado de herraje para fibra óptica.

El proceso de manufactura busca proteger la fibra óptica con un herraje, para que al curvarla no se afecte la información que se trasmite por ésta; para tal fin se creó un mecanismo o herraje.

Con el automatismo se mejoró un proceso convencional de manufactura, el cual acarrea consecuencias ergonómicas en el operario, debido al esfuerzo físico.

En el diseño y construcción se trató de utilizar elementos comerciales disponibles en la región, para evitar dificultades en la consecución e incremento de costos.

En cuanto a la producción, el proceso tuvo un crecimiento representativo debido al diseño práctico para la operación.

# Contenido

1.	INTRODUCCIÓN.....	11
1.1	OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
1.3	ESTADO DEL ARTE .....	15
1.3.1	La Automatización.....	18
1.3.2	Actuador.....	18
1.3.3	Control.....	19
1.3.4	Sensor.....	20
1.3.5	Variador de velocidad .....	20
1.3.6	Contador de baches .....	21
1.4	MARCO LEGAL.....	23
2.	REQUERIMIENTOS INICIALES DEL DISEÑO .....	24
2.1	REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO .....	24
2.2	DESCRIPCIÓN MECANICA DE LA MÁQUINA .....	26
2.3	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.....	27
2.3.1	ACERO ASI-SAE 1020 .....	27
2.3.2	ACERO ASI-SAE 1045 .....	28
2.4	CÁLCULOS PARA CONSEGUIR EL TORQUE NECESARIO PARA TORSIONAR EL MATERIAL.....	29
2.5	CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA POTENCIA DE MOTOR.....	30
3.	DISEÑO MECANICO .....	31
3.1	SOFTWARE DE DISEÑO.....	31
3.1.1	Piezas mecánicas.....	32
3.1.2	ensamble.....	37
3.2	ANÁLISIS DE ESFUERZOS .....	38
3.3	TABLA DE COSTOS DE SUBSISTEMA MECÁNICO .....	40
4.	DISEÑO ELÉCTRICO.....	41
4.1	REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN DE LA MAQUINA .....	41
4.2	DIAGRAMA DE ESPACIO – FASE (ACTUADOR).....	42
4.3	CIRCUITO DE CONTROL .....	43
4.4	CALCULO DEL CONDUCTOR DE POTENCIA.....	44
4.4.1	Tabla de cables.....	45
4.5	DESCRIPCIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS.....	45

4.5.1 Breaker tripolar .....	45
4.5.2 Contactor.....	45
4.5.3 Interruptor de inicio .....	45
4.5.4 Pulsador de emergencia.....	46
4.5.5 Pulsador.....	46
4.5.6 Variador de velocidad .....	46
4.5.7 Motor .....	46
4.6 TABLA DE COSTOS ELÉCTRICOS.....	47
5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....	49
5.1 RESULTADOS .....	49
5.2CONCLUSIONES .....	50
6. RECOMENDACIONES .....	52
7. BIBLIOGRAFÍA.....	53
8. ANEXOS .....	54
8.1 anexo A mecanizado de las piezas .....	54
8.2 ANEXO B PLANOS DE LAS PIEZAS UTILIZADAS .....	59

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 máquina de par variable (FIE) .....	12
Ilustración 2 máquina de par constante .....	13
Ilustración 3 producto terminado .....	17
Ilustración 4 producto instalado .....	17
Ilustración 5 laboratorio de mecatronica utp .....	18
Ilustración 6 motor eléctrico (actuador del sistema).....	19
Ilustración 7 sensor inductivo .....	20
Ilustración 8 variador de velocidad.....	21
Ilustración 9 contador de baches ( elc bogot).....	22
Ilustración 10 bosquejo previo a la construcción .....	25
Ilustración 11 entorno de diseño solidworks.....	31
Ilustración 12 Chumaseras o rodamientos .....	32
Ilustración 13 soporte fijo. ....	33
Ilustración 14 platina de prensado. ....	33
Ilustración 15 base soporte.....	34
Ilustración 16 soporte fijación. ....	34
Ilustración 17 tubo. ....	35
Ilustración 18 arandela de torsión. ....	35
Ilustración 19 buje transmisión.....	36
Ilustración 20 ensamble final .....	37
Ilustración 21 desplazamiento después del par aplicado. ....	39
Ilustración 22 esfuerzo de deformación. ....	39
Ilustración 23 diagrama espacio-fase .....	42
Ilustración 24 circuito de control. ....	43
Ilustración 25 ensamblaje en solidworks.....	49
Ilustración 26 construcción mecánica.....	49
Ilustración 27 perforación buje.....	54
Ilustración 28. Mecanizado platina de sujeción.....	55
Ilustración 29 fresado platina de sujeción. ....	55
Ilustración 30. prueba entorchado. ....	56
Ilustración 31 pieza después del entorchado. ....	57
Ilustración 32. producto terminado .....	57
Ilustración 33. Producto para la comercialización. ....	58
Ilustración 34 plano 1.....	60
Ilustración 35 plano 2.....	61
Ilustración 36 plano 3.....	62
Ilustración 37 plano 4.....	63
Ilustración 38 plano5.....	64
Ilustración 39. plano 6.....	65
Ilustración 40. Plano 7.....	66

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1 características de máquina de par variable (fie) .....	12
Tabla 2 características de máquina de par constante .....	13
Tabla 3 diagrama de sistema de control .....	19
Tabla 4 características de contador de baches .....	22
Tabla 5 costos sistema mecánico .....	40
Tabla 6 tabla de corriente de conductores comerciales .....	45
Tabla 7 tabla de costos eléctricos. ....	47
Tabla 8 tabla de costos totales.....	48
Tabla 9 tabla de resultados. ....	50

## LISTADO DE ECUACIONES

Ecuación 1 ecuación de par resultante .....	29
Ecuación 2 ecuación de par del motor.....	30
Ecuación 3 ecuación factor de seguridad. ....	38
Ecuación 4 cálculo de conductor de potencia.....	44

# 1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto se originó por la constante presencia de un riesgo ergonómico ocurrido en operarios al momento de realizar un proceso de manufactura, el cual forma parte de un herraje utilizado en la instalación de cableados de fibra óptica dentro de los cuales, en ocasiones cuentan con una curvatura de 90°. Al darle momento torsional al material de manera manual es común que se presente un sobreesfuerzo en la muñeca de los operarios y se vea afectada con el transcurrir del tiempo.

## *Antecedentes teóricos y prácticos*

En diferentes empresas del mundo se han preocupado por el control y optimización del diferente tipo de variables que existen ejemplo: corriente, tensión, par, presión, caudal, potencia etc.

En este proyecto la variable principal a manipular es el par, ya que el proceso de manufactura por el cual se realiza el entorchado de metales se puede estimar con esta variable.

Actualmente en la industria se pueden encontrar máquinas que están a la vanguardia de la ingeniería con el control de procesos de entorchado y de propósito general las cuales se pueden utilizar en diferentes tipos de superficies o geometrías de los materiales para ejercer torque sobre ellos.

## *Máquina de par variable*

Es una máquina de propósito general utilizada para dar torsión a materiales metálicos de diferentes propiedades, superficies y/o geometrías. Se puede variar el torque con la ayuda de un variador vectorial, como la que se puede apreciar en

La ilustración 1. En la tabla 1 se presentan algunas variables de operación de una máquina de par variable.

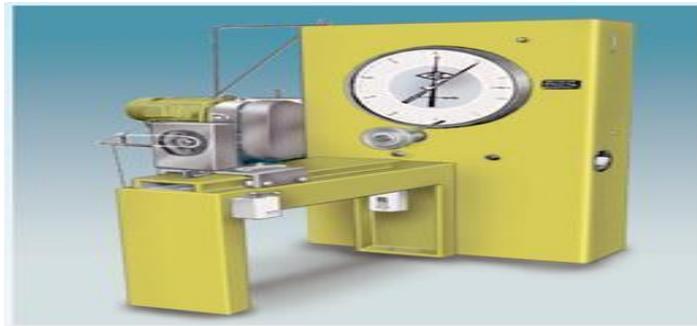


Ilustración 1 máquina de par variable (FIE)

Variable	Descripción
Torsión de máquina	Realiza torsión y giro en varios cables de metal, tubos, materiales de hoja de medición de par es por el sistema Dinamómetro péndulo.
Rangos de par	Se ajusta por el selector de par automático.
Par	Se aplica a la probeta por motoreductor a través de la caja de engranajes.
Precisión	Indicación de par es de $\pm 1$ del verdadero par.

Tabla 1 características de máquina de par variable (fie)

### *Máquina de par constante*

Máquina utilizada para entorchado con un torque constante, no cuenta con variador, pero utiliza una motoreductor para amplificar la torsión necesaria al momento de realizar el trabajo; a la vez que disminuye la velocidad de giro.

Es comúnmente utilizada para entorchar hierro debido a sus propiedades. En la ilustración 2 se puede apreciar una de las máquinas utilizadas. Y posteriormente se observa la tabla 2 donde se exponen las características principales de operación.



Ilustración 2 máquina de par constante

Variable	Descripción
Capacidad máxima de torsionado.	20mm o 3/4 de pulgada.
Capacidad máxima de doblado.	16mm o 5/8 de pulgada.
Capacidad máxima de torsionado y doblado en pletina, planchuela o Pasamano.	de 35X10mm o 1 ¼ X 3/8 de pulgada
Longitud máxima de torsionado seguido.	960mm. Potencia del Motor: 0,37Kw / 0,5 HP
Cinta milimetrada en el cabezal ajustable para poder realizar todas las piezas iguales.	
Tension.	3 fases: 230/400 V
Velocidad de rotación:	4 Rpm.

Tabla 2 características de máquina de par constante

Estas máquinas son las que se pueden encontrar en el mercado para este tipo de proceso hasta el momento para entorchado.

## **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un prototipo mecatrónico para entorchado de alambre galvanizado.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar los correspondientes planos de la estructura mecánica de Prototipo.
- Realizar los planos de los circuitos eléctricos del sistema.
- Seleccionar los materiales adecuados para la construcción de la máquina según las normas vigentes.

### **Alcances**

En los alcances de este proyecto se tuvo como visión implementar un sistema mecatrónico que reemplace la operación de entorchado actual, que se realiza de forma manual por operarios haciendo uso de piezas mecánicas para dar solución al problema de ergonomía presente en el personal de producción. Dicho diseño se rige por las normas correspondientes.

### **Limitaciones**

La principal limitación en el proyecto fue de tipo económico, ya que para implementar un sistema de control de la variable es necesario adquirir un variador vectorial el cual posee un alto costo en el mercado, y el administrador de la empresa decidió no adquirirlo por ahora.

### 1.3 ESTADO DEL ARTE

Los inicios de la comunicación entre los hombres se pueden datar desde la prehistoria donde los primeros humanos utilizaban lenguajes arcaicos para comunicarse y transmitir una idea o palabra como lo conocemos actualmente, hay elementos históricos que tienen escritos en tablas de arcilla o papiros como lo hacían la cultura egipcia. Posteriormente aparecen idiomas en distintas civilizaciones después se formalizan los escritos.

Los egipcios crean un alfabeto a base de jeroglíficos utilizando un soporte de papiro compuesto de plantas de los alrededores del río Nilo, con el tiempo estos símbolos fueron teniendo sonidos vocálicos y después se conforman los alfabetos fenicios, griego y romano.

Los romanos idearon una forma de escritura moderna con tipos de letra muy bonitos y a su vez utilizaron un soporte de escritura en pergamino innovando en manuscritos ya que este se puede escribir por los dos lados del pergamino.

En 1450 Johan Guttemberd un joyero alemán, Idea un nuevo sistema de escritura masiva, es decir, sacar muchas escrituras en muy poco tiempo este sistema se compone de piezas móviles que tienen un previo diseño para así tener una placa maestra y reproducir las escrituras. Este fue un gran avance en la comunicación

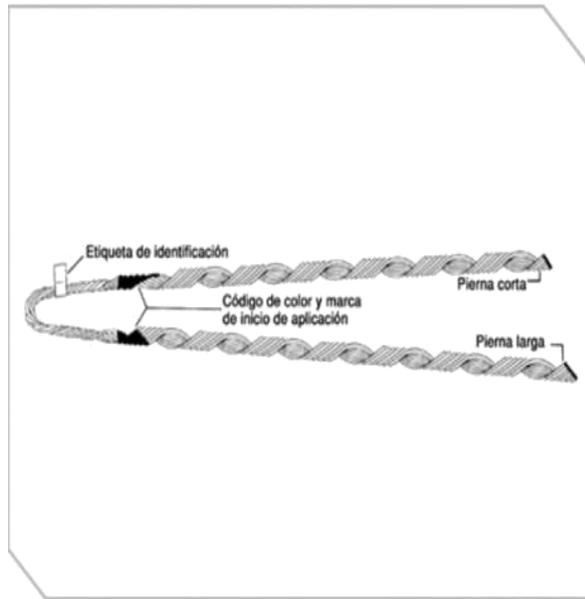
En el transcurso del tiempo se idea una forma de transmitir sonido por un conducto metálico. wheatstone logra por primer vez que un instrumento musical pase sus ondas sonoras a lo largo de una varilla para pasar el sonido de un recinto a otro. En 1861 el físico Felipe Reis retoma esta idea y produce el primer teléfono eléctrico que al principio poseía las mismas características del teléfono actual.

Los inicios de la fibra óptica se dan desde que el físico irlandés John Tyndall descubre que la luz podía viajar en otros materiales como es el agua, lo deduce desde que las fuentes de agua eran iluminadas y el haz de luz se curvaba internamente, de esta manera él creía que se podía enviar un haz de luz y modificarlo en su geometría de dispersión. En 1952 Narinder Kanpany retoma esta teoría y logra plasmar esta idea y llegar a la invención de la fibra óptica.

En 1966 CHARLES KAO en su tesis doctoral logra calcular la máxima pérdida en la fibra óptica, donde llega a un estimado de 20 dB/km, esta cifra años después fue optimizada por una empresa llamada Corning Glass Works en 1970, donde reducen las pérdidas a 17 dB/km. En esta década se trabajó intensamente en este aspecto hasta llegar a optimizar este proceso a un 0,5dB/km y llegar a una transmisión de datos de 10 Gb km/s.

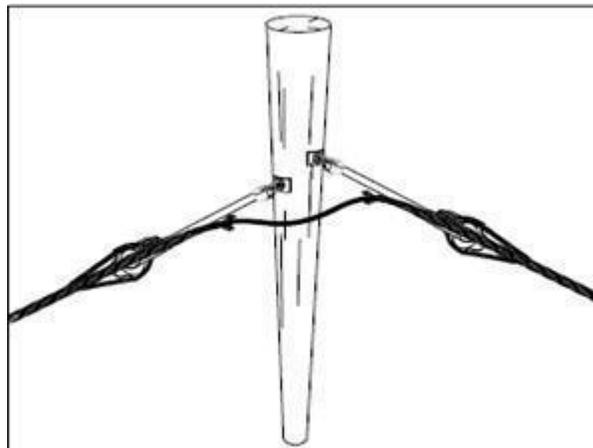
Así nace la transmisión de datos por fibra óptica, que hasta la actualidad es el método más eficiente para la transmisión de datos. Implementar una red de estas requiere de otros sistemas como lo son los kits de instalación o de montaje. Para el montaje de la acometida en un poste se requiere de unos respectivos herrajes para su tensión y su curvatura requerida para que el sistema esté en condiciones óptimas de funcionamiento y así garantizar la transmisión de datos, en este caso sería las empresas prestadoras de servicios web como lo es en la región una y claro.

En los herrajes utilizados para el montaje de una acometida en un poste se requiere de varios procesos de manufactura para complementar la instalación de la red, en uno de ellos está involucrado el entorchado de este herraje el cual se muestra en la ilustración 3.



**Ilustración 3 producto terminado**

En la ilustración 4 se puede apreciar el producto terminado instalado en una red.



**Ilustración 4 producto instalado**

### 1.3.1 La Automatización

Es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas normalmente por operadores humanos a un conjunto de máquinas y elementos tecnológicos como se puede observar en la ilustración 5 un ejemplo de un sistema automatizado donde la supervisión es la nueva labor de un operario.



Ilustración 5 laboratorio de mecatronica utp

### 1.3.2 Actuador

Un actuador es un dispositivo capaz de transformar energía en un movimiento mecánico sobre un proceso automatizado. (aie)

Este recibe la orden de un regulador o controlador y en función a ella genera la orden para activar un elemento final de control como, una válvula u otro.

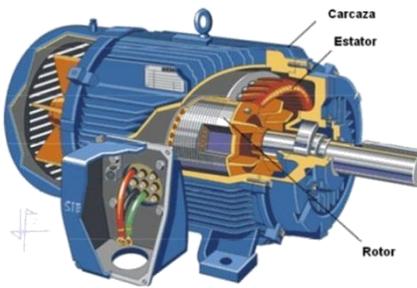


Ilustración 6 motor eléctrico (actuador del sistema)

### 1.3.3 Control

La palabra control proviene del término francés *contrôle* y significa comprobación, inspección, fiscalización o intervención. También puede hacer referencia al dominio, mando y preponderancia o a la regulación sobre sistemas. (isa-umh, 15)

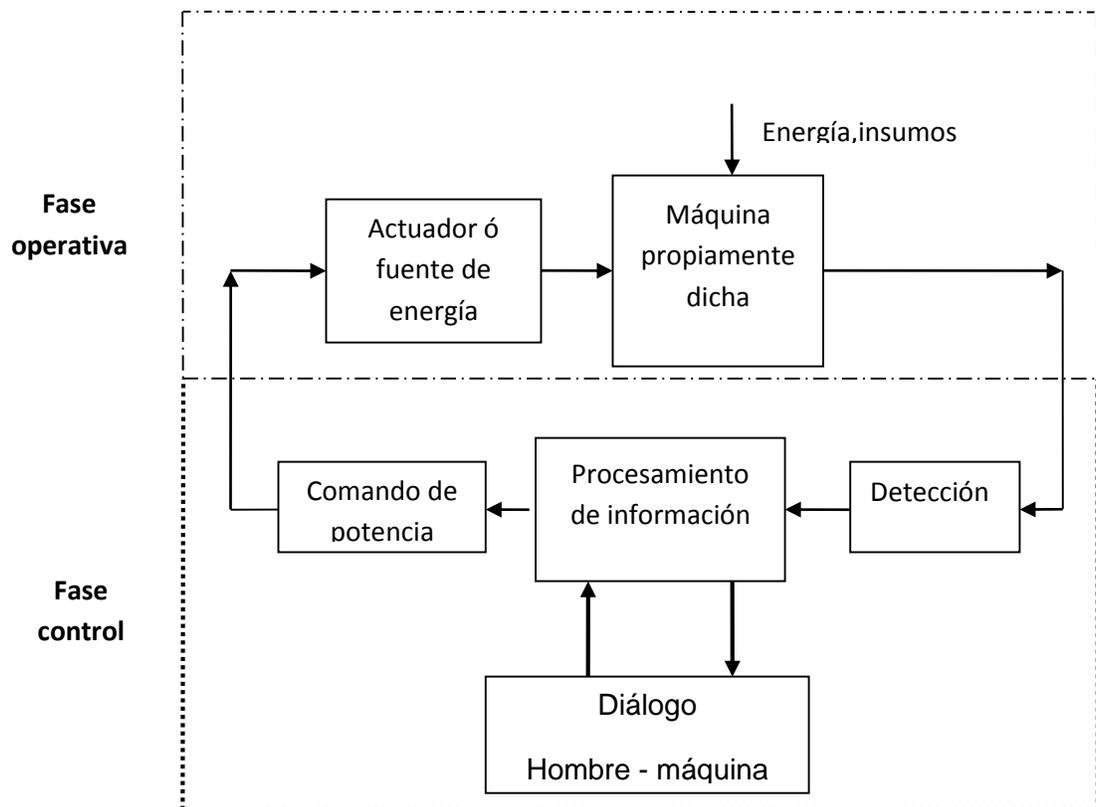


Tabla 3 diagrama de sistema de control

### 1.3.4 Sensor

Es un dispositivo capaz de medir variables físicas o químicas e interpretarlas mediante señales digitales en representación de estas. Un buen ejemplo de un sensor es el capacitivo mostrado en la ilustración 7 el cual es utilizado debido a sus propiedades y bajo costo para captar señal de un elemento metálico. (ciencias-uaslp)



Ilustración 7 sensor inductivo

### 1.3.5 Variador de velocidad

Un variador de frecuencia es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de rotación de un motor de corriente alterna o de inducción. Este tipo de motores también se conocen como motores asíncronos o en jaula de ardilla.

El variador de velocidad se coloca entre la red y el motor. El variador recibe la tensión de red a la frecuencia de red (50Hz) y tras convertirla y después ondularla produce una tensión con frecuencia variable. La velocidad de un motor va prácticamente proporcional a la frecuencia.

Además de cambiar la frecuencia, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de sobrecalentamiento.

En la ilustración 8 se puede apreciar un variador omron j7 estimado para la variación de la frecuencia de operación del motor.



Ilustración 8 variador de velocidad

### 1.3.6 Contador de baches

Para la medida de las vueltas de la torsión y apagado automático se cuenta con un contador de baches.

El contador nos permitirá dar la medida en vueltas necesarias para la entorchada de cada una de las aplicaciones, al igual poder contar con un proceso automático de apagado del motor cuando se ha cumplido con las vueltas necesarias de la aplicación.

En la ilustración 9 se muestra un contador de baches marca *atonics* ct6 y En la tabla 4 se pueden apreciar las características de este elemento



Ilustración 9 contador de baches ( elc bogot)

Variable	Descripción
Marca	AUTONIC
Doble display.	Pulsador tipo membrana
Preselección	Sencilla
Reset	Frontal, remoto y automático
Funciones	11 Cont. / 9 Temp.
Conteo	Ascendente / Descendente
Velocidad	1, 30cps 1, 5, 10Kcps
Tiempo	: 9 esc. 0,01seg. - 9.999Hr 59min.
Alim. Sensor	12VDC, 100mA NPN/PNP

Tabla 4 características de contador de baches

## 1.4 MARCO LEGAL

Para la construcción de un sistema eléctrico o mecánico hay normas que rigen para un adecuada operación, seguridad, salud en cada proceso industrial se involucran diferentes variables que en la mayoría de casos por una mala operación de ellas o de la maquina como tal puede causar daños tanto como en parte ergonómica del operario como en materia prima del proceso por ello se han establecido una pautas para el diseño de estas hay una norma internacional que contempla estos aspectos. Descripción general de EN ISO 13849-1 Esta norma tiene una amplia aplicabilidad, ya que puede aplicarse a todas las tecnologías, incluidas eléctrica, hidráulica, neumática y mecánica. Aunque la norma ISO 13849-1 se aplica a sistemas complejos, también dirige al lector a las normas IEC 62061 e IEC 61508 para complejos sistemas incorporados de software

Cuatro normas de seguridad funcional importantes para sistema de control para maquinaria son:

1. IEC/EN 61508 “Seguridad funcional de sistemas de control eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relacionados con la seguridad” Esta norma contiene los requisitos y las disposiciones aplicables al diseño de complejos sistemas y subsistemas electrónicos y programables. La norma es genérica; por lo tanto no está restringida al sector de máquinas. 68 SAFEBOOK 4 Sistemas de seguridad Para maquinaria industrial

2. IEC/EN 62061 “Seguridad de máquinas – Seguridad funcional de sistemas de control eléctricos, electrónicos y electrónicos programables relacionados con la seguridad” Esta norma es la implementación específica para maquinarias de IEC/EN 61508. Proporciona requisitos aplicables al diseño de nivel del sistema de todos los tipos de seguridad de maquinaria relacionada con sistemas de control eléctricos y también al diseño de subsistemas o dispositivos no complejos. Requiere que los subsistemas programables o complejos satisfagan los requisitos de la norma IEC/EN 61508

3. EN ISO 13849-1:2008 “Seguridad de máquinas – Piezas de los sistemas de control relacionadas a la seguridad” Esta norma está destinada a proporcionar una ruta de transición directa desde las categorías de la norma anterior EN 954-1

4. IEC 61511 “Seguridad funcional – Sistemas de instrumentos de seguridad para el sector de la industria de procesos”. (cedes)

## 2. REQUERIMIENTOS INICIALES DEL DISEÑO

### 2.1 REQUERIMIENTOS DEL DISEÑO

Este proyecto se realizó por medio de la investigación y la recopilación de información de máquinas entorchadora existentes en el mercado. De las cuales se pueden extraer las características que están acordes al diseño planteado, mejorando lo encontrado hasta el momento en los talleres de ornamentación, centrándose principalmente en dos fines como son el mejoramiento de las máquinas rudimentarias y manuales utilizadas en la región, y proveer una mejora en la ergonomía del operador al momento de manipular la máquina.

Cada diseño tiene requerimientos de acuerdo a su proceso o las variables involucradas, para así determinar los actuadores a utilizar del mismo modo que los algoritmos de control y elementos de potencia etc.

En este diseño las variables o condiciones involucradas son:

- Disponibilidad de componentes en la región. Esta es una de las principales condiciones para realizar un diseño, debido a que hay piezas no comerciales en la región.
- Conteo de vueltas para así asegurar un movimiento angular preciso además estandarizar el producto en esta variable.
- Variación de la velocidad angular se hace necesaria en el momento del entorchado para tener un entorchado uniforme.
- Garantía de un par constante.
- Robustez en el comportamiento mecánico, para así garantizar el mismo resultado con el paso del tiempo.
- Diseño apropiado para entorchar. Particularmente se requiere entorchar una longitud de 30 cm, de un alambre galvanizado de 6 hilos, con diámetro de hilos de 1,2mm.
- Construcción en un metal apropiado para el trabajo en frío de alambre

galvanizado en cuanto a la resistencia mecánica.

- Como principio del proyecto se espera una mejora en el producto; en calidad por tener una estandarización en el proceso y en uniformidad al entorchar
- Se espera con la máquina mejorar el rendimiento en la operación, ya que se realizará con mayor rapidez porque el operario no requiere realizar movimientos toscos en cuanto el rendimiento actual del operario tiene un promedio de (30 entorchados/ hora).
- Desde el punto de vista de la ergonomía y la salud ocupacional, la máquina pretende conservar la integridad física de los operarios, específicamente en su muñeca ya que para realizar la torsión del material era necesario girar la mano de manera brusca.

El diseño inicial del sistema desarrollado se presenta como un bosquejo, en el cual se aprecian las partes importantes de la máquina y se presenta en la ilustración 10.

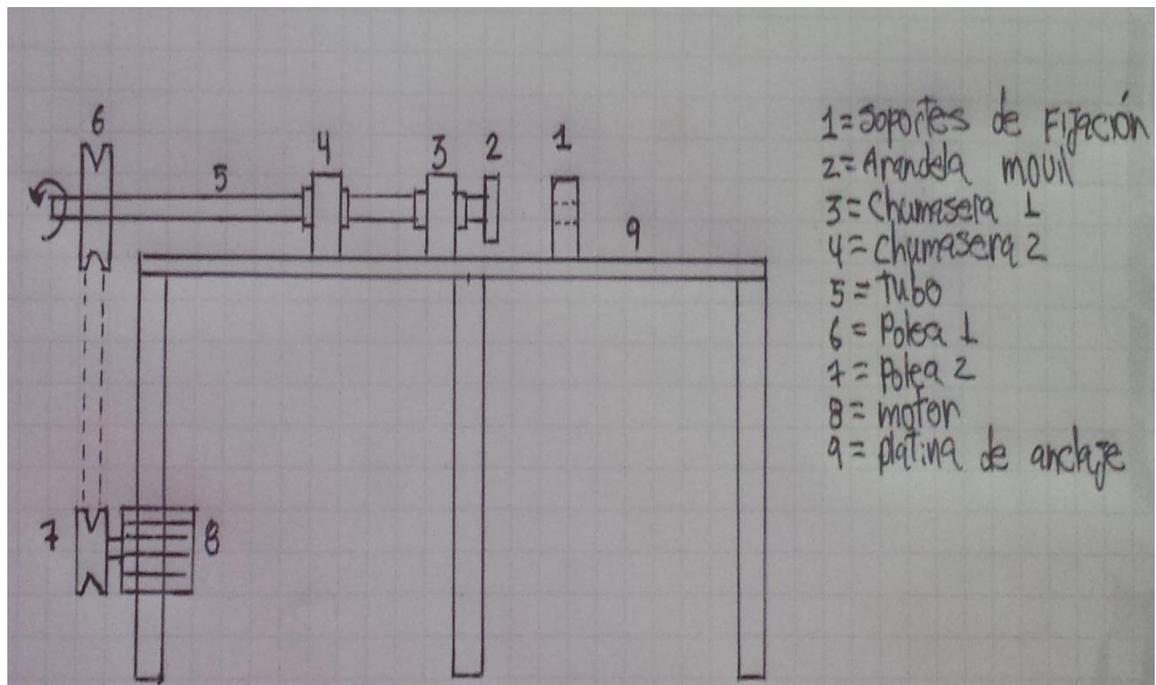


Ilustración 10 bosquejo previo a la construcción

## 2.2 DESCRIPCIÓN MECÁNICA DE LA MÁQUINA

La máquina entorchadora está diseñada, pensando en el desempeño y confiabilidad de su funcionamiento, servicio y eficiencia en el trabajo para el que fue desarrollada.

Se eligió fabricar la estructura metálica en material SAE 1020 de 3/16" de espesor, porque es un material muy comercial y satisface las necesidades en cuanto a esfuerzo; la estructura metálica es capaz de soportar el peso de los elementos de la máquina que la componen. Este armazón está formado por una lámina o platina calibrada. Por otra parte la máquina cuenta con un par de chumaceras de pedestal con rodamientos de 1 1/2" de diámetro interno las cuales permiten el movimiento de del eje del cabezal con total libertad.

La elección de los materiales es básicamente para la estructura y las matrices. La estructura debe ser suficientemente rígida, para tal caso se elige lamina de acero SAE 1020 de 3/16" de espesor esta lámina soporta todos los elementos que componen la maquina

Las partes que componen la estructura son diseñados teniendo presente la resistencia mecánica y la rigidez. En el capítulo 3,3 se realizó la simulación donde se valida el cumplimiento de esfuerzos y deformaciones las cuales dan buen criterio de los materiales utilizados y que sus puntos críticos tienen alta resistencia a la deformación.

En las matrices tanto de sujeción como móviles se utilizó acero 1045 para garantizar poca deformación en las matrices o dados y de esta manera tener una buena operación en la máquina.

## 2.3 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

### 2.3.1 ACERO ASI-SAE 1020

Este acero cuenta con mejores propiedades en cuanto a fortaleza que el acero 1018 y menos fácil de conformar. Responde bien al trabajo en frío y al tratamiento térmico de cementación. La soldabilidad es adecuada. Por su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para el diseño de maquinaria.

**Normas involucradas:** ASTM A 108

**Propiedades mecánicas:** Dureza 111 HB

Esfuerzo de fluencia 205 MPa  
(29700PSI) Esfuerzo máximo 380MPa  
(55100 PSI) Elongación 25%  
Reducción de área 50%  
Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI)  
Maquinabilidad 72% (AISI 1212 = 100%)

**Propiedades físicas:** Densidad 7.87 g/cm<sup>3</sup> (0.284 lb/in<sup>3</sup>)

**Propiedades químicas:** 0.18 – 0.23% C  
0.30 - 0.60% Mn  
0.04 % P máx.  
0.05 % S máx.

**Tratamientos térmicos:** Se puede cementar para aumentarle la resistencia al desgaste y su dureza mientras que el núcleo se mantiene tenaz. Se puede recocer a 870 grados °C y su dureza puede alcanzar los 111HB, mientras alcanza los 131 HB (General de aceros SA).

### 2.3.2 ACERO ASI-SAE 1045

Descripción: Acero de medio carbono, posee baja soldabilidad y buena Maquinabilidad, responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianuro.

Por su dureza y tenacidad es utilizado para la fabricación de componentes de maquinaria.

**Usos:** Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones automotrices y de maquinaria en general de resistencia media, tales como: ejes, semiejes, cigüeñales, engranajes, piñones, cuñas, tornillos, pernos, martillos, pasadores, remaches, partes de maquinaria y herramientas agrícolas.

Formas: Redonda, cuadrada y hexagonal

SAE 1045 Composición química (%) C 0,43 - 0,50 Mn 0,60 - 0,90 P 0,04 Máx. S 0,05 Máx.

**Tratamiento térmico:** Valores en °C

- Forjado 850 – 1100
- Normalizado 850 – 880
- Revenido 550 - 650
- Recocido 650 – 700
- Templado Agua 820 – 850
- Aceite 830 – 860

**Propiedades mecánicas:** Laminado en caliente Resistencia a la 63 - 73 kgf/mm<sup>2</sup> (General de aceros SA).

## 2.4 CÁLCULOS PARA CONSEGUIR EL TORQUE NECESARIO PARA TORSIONAR EL MATERIAL

Para realizar el cálculo del torque necesario para entorchar una cantidad definida de alambres galvanizados y de geometría circular se utiliza la formula expresada como Formula 1 y se muestra a continuación.

$$Ty = \frac{\pi * r^3 * 0.5 * \sigma f * N}{2} * \text{factor de seguridad}$$

$$Ty = \frac{3,1416 * (0,6mm)^3 * 0.5 * 50MpA * 6 \text{ alambres}}{2} * (\text{factor de seguridad} = 1,2)$$

$$Ty = \frac{6,687 * 10^{-9} m^3 * 25000000 N * m * 6}{2} * 1,2$$

$$Ty = \frac{1,00305 N * m}{2} * 1,2$$

$$Ty = 0,501525 * 1,2 = 0,601 N * m$$

**Ecuación 1 ecuación de par resultante**

## 2.5 CÁLCULOS PARA DETERMINAR LA POTENCIA DE MOTOR

Para determinar la potencia del motor se debe tener en cuenta las propiedades mecánicas del material. Con el torque necesario para hacer torsión de los alambres galvanizados se procede a calcular la potencia del motor, según se encuentra indicado en la fórmula 2.

$$\text{par del motor}(N.m) = \frac{\text{Potencia (W)}}{2\pi * \text{Velocidad angular}}$$

Haciendo uso de la formula número 3, se procede a calcular el par para el diseño desarrollado.

$$\text{par del motor} = \frac{746 W}{177,93 rps}$$

$$\text{par del motor} = 4,19 N * m$$

Ecuación 2 ecuación de par del motor

### 3. DISEÑO MECANICO

#### 3.1 SOFTWARE DE DISEÑO

Para la tarea del diseño gráfico se cuenta con el diseño asistido por computador, Solidworks®; éste es un software de diseño del cual la Universidad Tecnológica de Pereira tiene su respectiva licencia, además se ha recibido capacitación sobre su manejo en el transcurso del programa académico.

#### **SOLIDWORKS**

Es un *software* de diseño asistido por computadora para modelado mecánico, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., que ofrece a profesionales creativos herramientas para crear, diseñar e innovar elementos en 3D sin límites (SolidWorks). En la ilustración 11 se puede observar el entorno inicial que se muestra para iniciar el diseño.

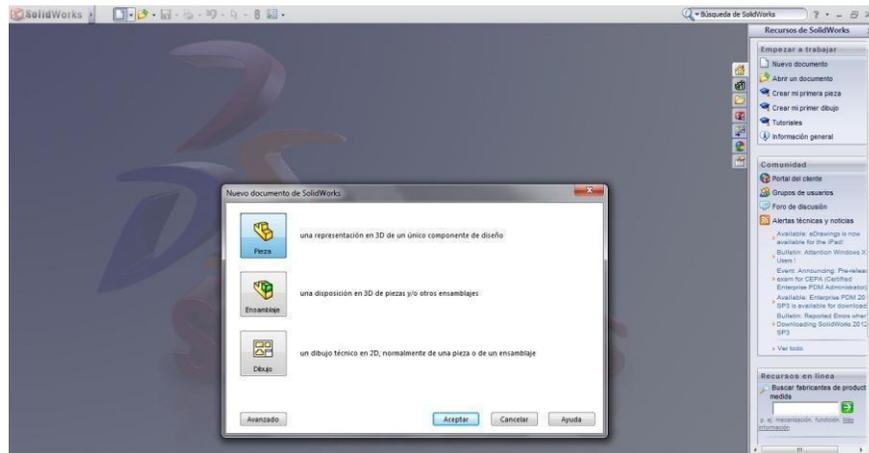


Ilustración 11 entorno de diseño solidworks

### 3.1.1 Piezas mecánicas

Se elabora cada una de las piezas mecánicas que hacen parte de la maquina en este software de diseño, con sus medidas específicas y el tipo de material correcto para corroborar que en el tiempo de funcionamiento no se vaya a presentar ningún problema. Las piezas elaboradas se mencionan a continuación.

#### ***Chumacera o rodamiento***

Este elemento es utilizado para movimientos rotacionales por medio de un eje y así prevenir la fricción entre dos metales, en pocas palabras altas temperaturas se ilustra a continuación.

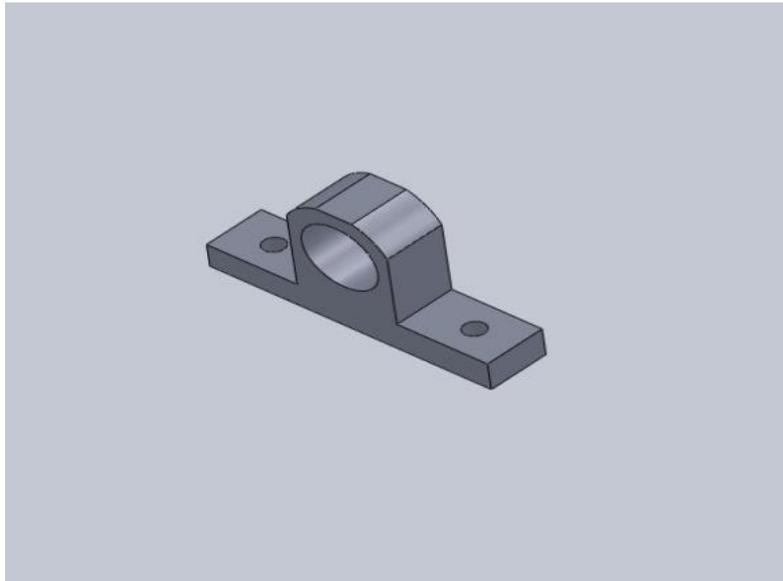
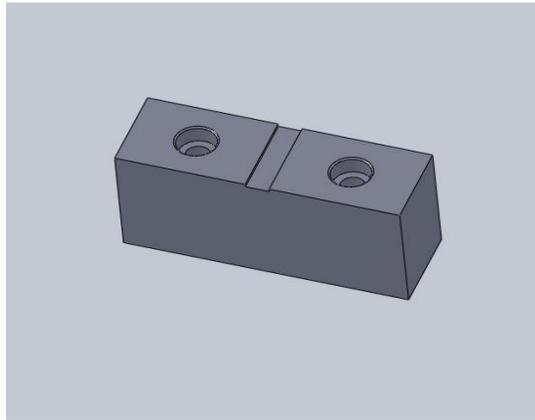


Ilustración 12 Chumasera o rodamiento

### ***Soporte fijo***

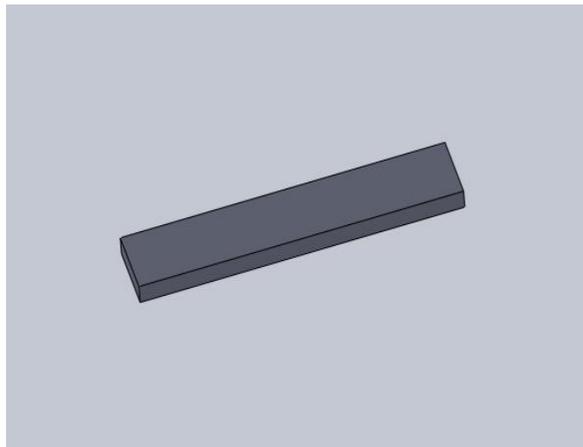
Este soporte es utilizado en este proceso para prensar los alambres en el momento del torque; se puede visualizar en la ilustración 13.



**Ilustración 13 soporte fijo.**

### ***Platina de prensado***

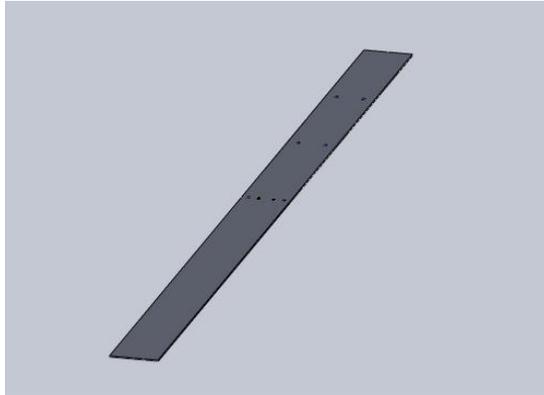
Esta platina sirve para guiar los alambres en el momento del torque. Su diseño se ve en la ilustración 14.



**Ilustración 14 platina de prensado.**

### ***Base soporte***

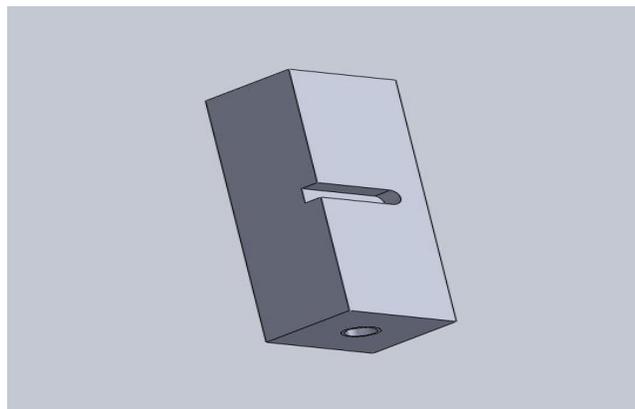
Este elemento es la parte más importante de la maquina ya que sobre esta van soportados todos los elementos, está diseñado tal y como se observa en la ilustración 15.



**Ilustración 15 base soporte.**

### ***Soporte de fijación***

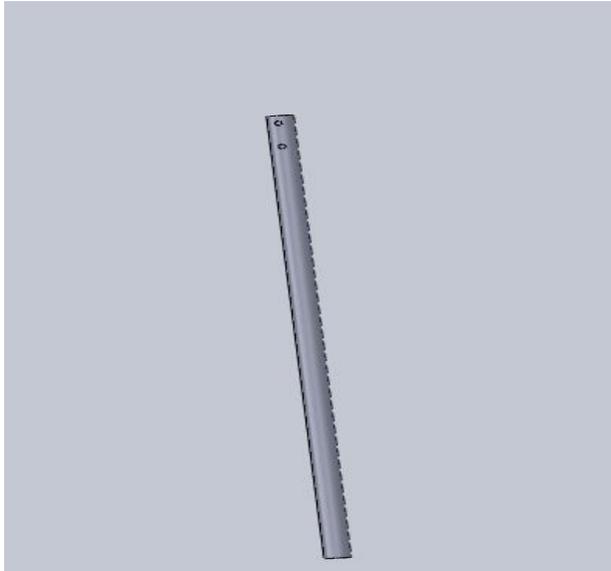
Este soporte sirve para guiar la platina y lograr un buen prensado en el soporte fijo, la pieza diseñada se observa en la ilustración 16.



**Ilustración 16 soporte fijación.**

### ***Tubo***

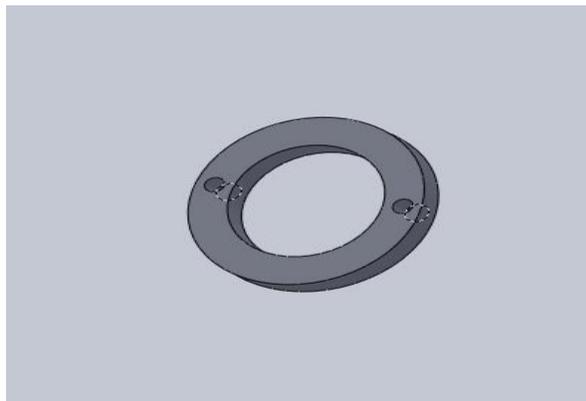
Este sirve como eje del proceso, cuenta con un orificio por todo el medio por donde pasa los alambres y va soportado por las dos chumaceras. El tubo se ilustra en la figura 17.



**Ilustración 17 tubo.**

### ***Arandela torsión***

Esta hace parte del mecanismo móvil o rotacional del sistema de entorchado. Se puede observar en la ilustración 18.



**Ilustración 18 arandela de torsión.**

### ***Buje transmisión***

Este buje tiene como función unir el eje o tubo al sistema móvil y se aprecia en la ilustración 19.



**Ilustración 19 buje transmisión.**

### 3.1.2 ensamble

Después de crear las piezas con el software de diseño gráfico, se procede a realizar en ensamble, como se aprecia en ilustración 20.

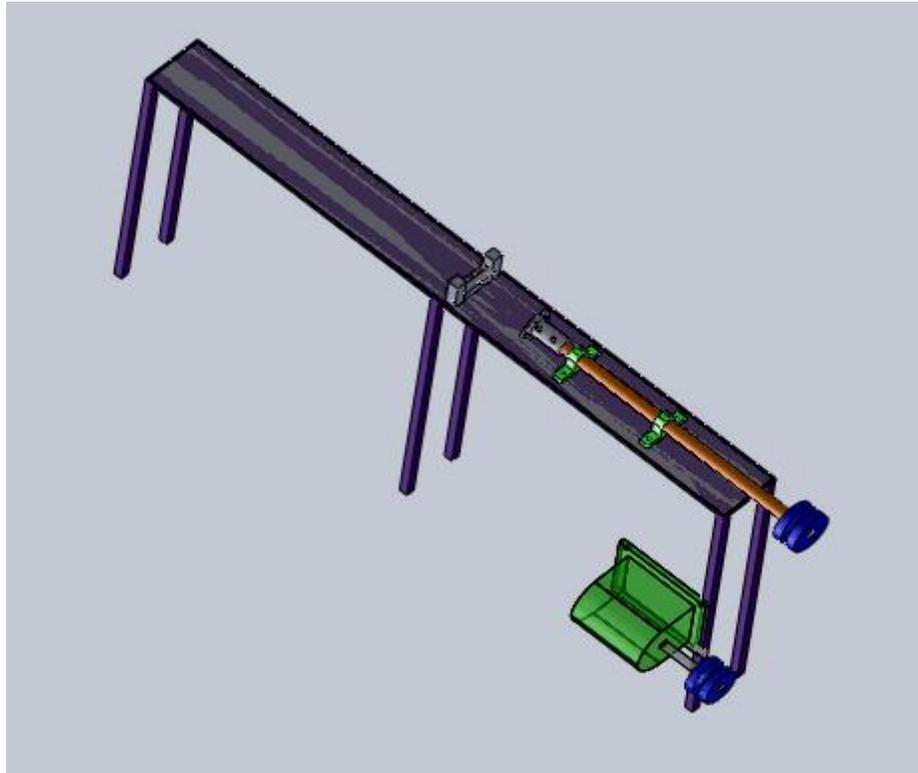


Ilustración 20 ensamble final

### 3.2 ANÁLISIS DE ESFUERZOS

En el mismo software se realiza un análisis de esfuerzos y deformaciones para corroborar que no haya ruptura por las fuerzas aplicadas, los colores que muestra el análisis da a conocer los lugares en los que es posible que ocurra una ruptura por exceso de fuerza o pocas propiedades elásticas del material, siendo azul el estado inicial y rojo el punto de ruptura.

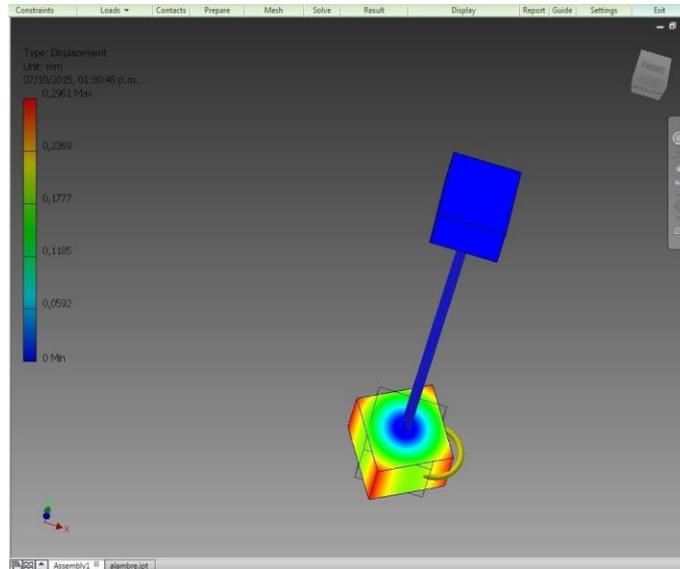
Uno de los criterios a evaluar es que el factor de seguridad por lo regular se escoge mayor a uno o igual, también depende del proceso a utilizar el factor de seguridad el cual se define

$$\text{factor de seguridad} = \sigma \text{ ultimo} / \sigma \text{ aplicado}$$

Ecuación 3 ecuación factor de seguridad.

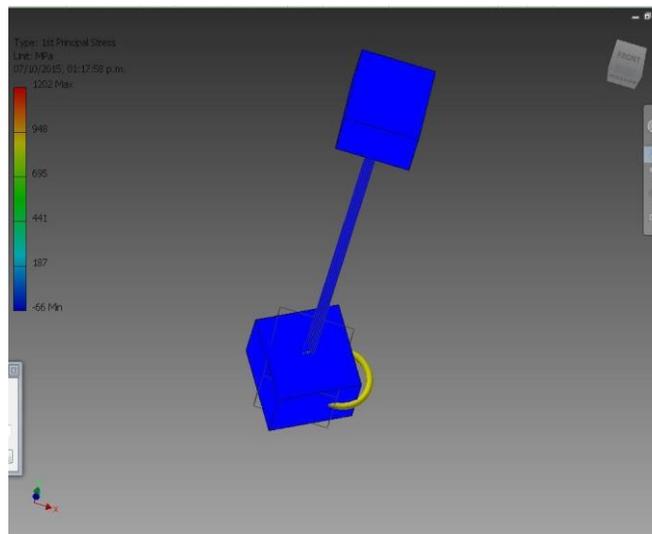
Razón por la cual se escoge mayor a uno

En la ilustración 21 se muestra el desplazamiento después de aplicar el par a los alambres. El dado móvil se desplaza circularmente y en la línea punteada se puede observar el punto inicial u origen.



**Ilustración 21 desplazamiento después del par aplicado.**

En la ilustración 22 se puede observar que después de someter a un esfuerzo circular a los alambres no sobrepasa el límite elástico en pocas palabras no tiene deformación plástica.



**Ilustración 22 esfuerzo de deformación.**

En el anexo 1 se puede consultar el proceso de fabricación de la maquina componentes mecánicos mecanizados en el lugar de fabricación el cual se puede apreciar en las ilustraciones 34, 35 ,36.

### 3.3 TABLA DE COSTOS DE SUBSISTEMA MECÁNICO

Se realiza una tabla de costos del sistema mecánico, en donde se estima el precio en Colombia de los materiales, necesarios para construir la máquina diseñada. Como se puede apreciar a continuación se estima la descripción del material seleccionado y la cantidad necesaria para construir una unidad, al final se presenta un precio.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio total</b>
Platina 3/16" x20x180 cm - 1020	1und	\$ 70.000
Barra cuadrada 1 1/4"x 10cm - 1045	4und	\$ 30.000
Tornillos de 3/8"x 5cm	8 und	\$ 3.000
Barra 2"x 10cm -1020	1und	\$ 7.000
Tubo 1 1/2" x 70cm	1und	\$ 10.000
Arandela 3 1/2"x1cm - 1020	1 und	\$ 6.000
Platinas 1/4" x10cm - 1045	2 und	\$ 8.000
<b>total</b>		<b>\$ 134.000</b>

Tabla 5 costos sistema mecánico

## 4. DISEÑO ELÉCTRICO

### 4.1 REQUERIMIENTOS DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

Se nombrarán los pasos para operar la máquina de una forma adecuada de acuerdo con el sistema de control

#### Automático

- Conmutar interruptor principal de la máquina
- Seleccionar “giro a derecha”
- Ajustar la frecuencia de operación del variador
- Verificar si es la frecuencia mejor para el proceso
- Verificar la calidad de entorchado
- Oprimir el *reset* cada pieza
- En caso de emergencia o de un imprevisto pulsar el paro de emergencia

#### Manual

- Conmutar el interruptor principal de la máquina
- Ajustar la frecuencia de operación de la máquina
- Pulsar el giro deseado

### 4.2 DIAGRAMA DE ESPACIO – FASE (ACTUADOR)

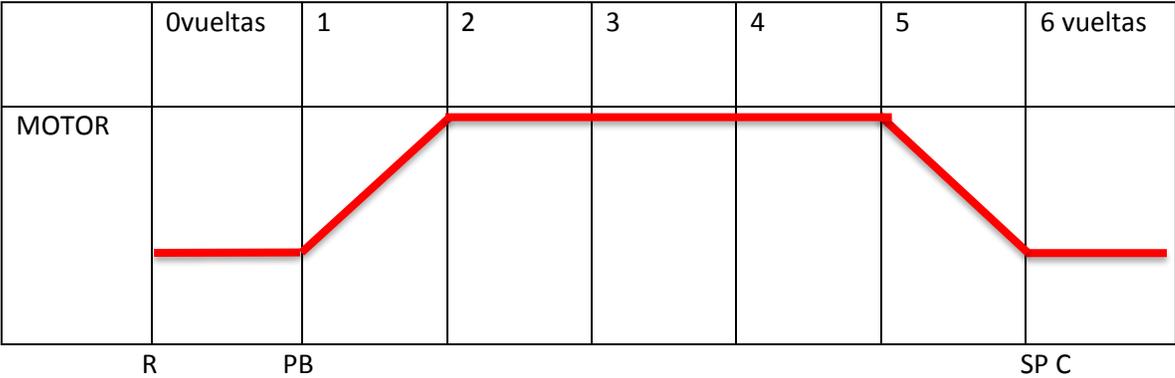


Ilustración 23 diagrama espacio-fase

R: reposo

PB: pulsar botón y seleccionar giro

SP C: *set point* contador

### 4.3 CIRCUITO DE CONTROL

En la ilustración 24 muestra la etapa diseñada para el control de la máquina la cual se ha realizado en el software “*automation studio*” en su versión de prueba, en donde se muestra la secuencia desde el momento de energizar el sistema pasando por todos los interruptores y hasta llegar al sitio de movimiento del actuador.

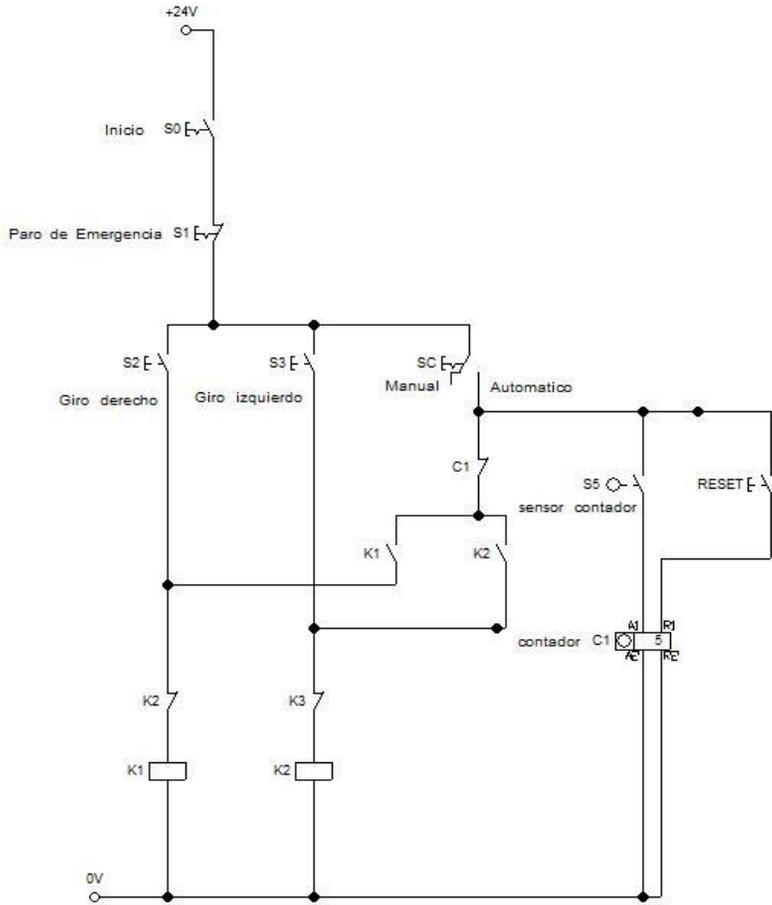


Ilustración 24 circuito de control.

#### 4.4 CALCULO DEL CONDUCTOR DE POTENCIA

En la fórmula 3 se realiza con el fin de determinar el tipo de conductor utilizado.

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{1 \text{ HP}}{V * \sqrt{3} * \text{COS}\varphi * \eta}$$

$$I = \frac{736 \text{ W}}{220 * \sqrt{3} * 0,8 * 0,75}$$

$$I = 3.21 \text{ A}$$

Ecuación 4 cálculo de conductor de potencia.

#### 4.4.1 Tabla de cables

Con la tabla 6 se establecen los cálculos realizados para determinar el conductor.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Tabla 6 tabla de corriente de conductores comerciales.

## 4.5 DESCRIPCIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS

A continuación se hace mención de los materiales utilizados, al igual que una breve descripción de los mismos usados para la construcción de la parte eléctrica del diseño, al igual que la parte de control

### 4.5.1 Breaker tripolar

Protección de potencia contra cortocircuitos y un sobre esfuerzo de la red.

### 4.5.2 Contactor

Para la activación del motor y un relé térmico para la protección del motor cuando haya sobre carga.

### 4.5.3 Interruptor de inicio

Este es un selector de dos posiciones el cual tiene normalmente cerrado y

normalmente abierto es decir nc y no.

#### **4.5.4 Pulsador de emergencia**

Este detendrá inmediatamente la máquina cuando se abre el contacto normalmente cerrado.

#### **4.5.5 Pulsador**

Este elemento enclava un relé para darle un flanco de activación al motor hasta que el contador llegue al “*set point*” programado.

#### **4.5.6 Variador de velocidad**

Este se encarga de variar la frecuencia de operación del motor para así tener una velocidad deseada en el proceso de entorchado.

#### **4.5.7 Motor**

El motor es el actuador del sistema el cual utiliza una energía eléctrica y la convierte en una energía mecánica; para que, por medio de este movimiento tener torque y utilizarlo en el proceso de entorchado.

#### 4.6 TABLA DE COSTOS ELÉCTRICOS

La siguiente tabla muestra el valor de los elementos requeridos para la construcción de la etapa eléctrica de la máquina, teniendo en cuenta cada pieza usada para desarrollar una unidad.

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio total</b>
Breaker tripolar 25 amp	1und	\$ 25.000
Pulsador nc	1und	\$ 7.000
Pulsador no	1und	\$ 7.000
Variador vectorial 1hp	1und	\$ 700.000
Motor 1 hp - trifasico	1und	\$ 250.000
Paro de emergencia	1 und	\$ 8.000
Contactador 25 amp-220v	1und	\$ 31.000
Cable encauchetado 3x14	10mts	\$ 25.000
Contador de baches	1und	\$ 90.000
Rele 10 amp -220v	1 und	\$ 12.000
improvisos		\$ 200.000
Mano de obra		\$ 500.000
<b>Total</b>		\$ 1.855.000

Tabla 7 tabla de costos eléctricos.

Se elaboró una tabla con la estimación de costos totales para dar claridad del costo por separado de la máquina en la que se tienen dos partes fundamentales, la parte mecánica y la parte eléctrica. La suma de los costos de las dos estimaciones se expresa en la tabla 8.

<b>Costos totales</b>	<b>Valor</b>
Costos eléctricos	\$ 1.855.000
Costos mecánicos	\$ 134.000
<b>Total costos</b>	<b>\$ 1.989.000</b>

Tabla 8 tabla de costos totales.

## 5. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 5.1 RESULTADOS

En la ilustración 25 se puede apreciar el diseño realizado en el software *solidworks* mientras que en la ilustración 26 se puede observar la maquina terminada, realizando el proceso de entorchado con alambre galvanizado.

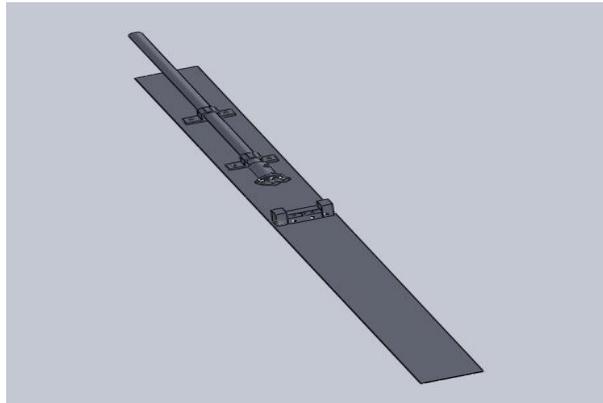


Ilustración 25 ensamblaje en solidworks.



Ilustración 26 construcción mecánica.

Es conveniente mencionar que el variador de frecuencia inicialmente proyectado no fue instalado debido a que su costo es elevado y mecánicamente en el lugar donde se llevó a cabo el proceso de construcción no lo requería ya que se satisfacía la necesidad inicial.

En la tabla 8 (numeral 4.6) se pueden apreciar los costos establecidos para la elaboración mecánica y eléctrica de la máquina, dando como resultado una estimación total apreciativa de los precios en el año actual para cada material necesario en la construcción.

En la tabla 9 se puede observar una síntesis los resultados esperados con los resultados obtenidos

	<b>Esperado o actual</b>	<b>Obtenido</b>
1	Eliminar movimiento brusco de la muñeca del operador	Se obtuvo un menor esfuerzo en el proceso
2	Incrementar el rendimiento de la producción, por encima de 13 unidades/hora	Se incrementó notablemente en un 30 %
3	Lograr construir una maquina compacta y practica	Se construyó una maquina compacta para así tener un beneficio en el volumen
4	Lograr un entorchado uniforme	Se logró mejorar la calidad de entorchado
5	Estandarizar el producto	Se logró estandarizar el producto en cuanto a medidas

Tabla 9 tabla de resultados.

## 5.2 CONCLUSIONES

- Para el prototipo construido se han elaborado los planos respectivos para que se pueda llevar a cabo La construcción del mismo, es decir, los planos de la estructura mecánica al igual que los planos de los circuitos eléctricos

utilizados para la parte automática del proceso.

- Se realizó la construcción del prototipo mecánico, teniendo en cuenta los criterios principales de diseño, antes expuestos.
- Se diseñó y construyó un prototipo mecatrónico para entorchado de alambre galvanizado.
- En este diseño se simplifica el sistema, implementando las variables que se requieren en el proceso y garantizando los rangos de operación dentro de los que se puede poner en funcionamiento dicho proceso; garantizando las normas de operación y estandarización, y así proporcionar un buen entorchado
- Se ha tenido en cuenta para la realización del proyecto adquirir productos que se encuentren en el mercado local, para así, en una posterior construcción no hayan problemas en obtener algunos productos específicos o no comerciales
- Se realizó el diseño mecánico contemplando la viabilidad de los materiales usados con la ayuda de los simuladores, obteniendo datos constructivos y operativos, los cuales indicaron los factores para tener en cuenta en la elección. También, Gracias a esto, se obtuvo una solución que hace que el espacio ocupado por la máquina sea menor; dando facilidades a las empresas en cuanto a orden.

## 6. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones en este prototipo son importantes, ya que de no ser tenidas en cuenta se puede llegar a tener un mal funcionamiento de la máquina.

- Tener en cuenta una buena graduación de las vueltas requeridas.
- Una supervisión del posicionamiento de la superficie de apoyo.
- Un buen uso del panel

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- aie. (s.f.). Obtenido de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>
- cedes. (s.f.). Obtenido de [http://www.cedes-sa.com/de/assets/File/PDF/safebook/SAFEBK\\_RM002B\\_ES\\_P.pdf](http://www.cedes-sa.com/de/assets/File/PDF/safebook/SAFEBK_RM002B_ES_P.pdf)
- ciencias-uaslp, f. d. (s.f.). Obtenido de [http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES\\_PLC\\_PD F\\_S/24\\_SENORES\\_INDUCTIVOS.PDF](http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/automatas/PRESENTACIONES_PLC_PD F_S/24_SENORES_INDUCTIVOS.PDF)
- FIE, f. a. (s.f.). *ww.fuelinstrument.com*. Obtenido de [http://www.fuelinstrument.com/torsion\\_testing\\_machine.html](http://www.fuelinstrument.com/torsion_testing_machine.html)
- General de aceros SA, C. (s.f.). *repository.unilibre.edu.co*. Obtenido de SAE1020 y SAE 1045 Aceros ingeniería al carbono: <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/10901/7826/2/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf>
- isa-umh. (29 de 11 de 15). Obtenido de [http://isa.umh.es/asignaturas/asct/automatas/TranspASCT\\_IntroduccionCon trollIndustrial\\_color.pdf](http://isa.umh.es/asignaturas/asct/automatas/TranspASCT_IntroduccionCon trollIndustrial_color.pdf)
- LTDA, E. B. (s.f.). *www.electricasbogota.com*. Obtenido de electricas bogota LTDA/autonics: <http://www.electricasbogota.com/detalles/contadores/1486-ct6m-1p4>
- maser, g. (s.f.). Obtenido de [http://www.grupo-maser.com/PAG\\_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Autom atizacion/Automatizacion.htm](http://www.grupo-maser.com/PAG_Cursos/Auto/auto2/auto2/PAGINA%20PRINCIPAL/Autom atizacion/Automatizacion.htm)
- Nargesa. (s.f.). *www.nargesa.com*. Obtenido de [www.nargesa.com/torsionadora de forja](http://www.nargesa.com/torsionadora de forja): <http://www.nargesa.com/es/maquinaria-industrial/torsionadoras-de-forjamt150r>
- NCalculators. (s.f.). *es.ncalculators.com*. Obtenido de par calculator: <http://es.ncalculators.com/electrical/horsepower-to-torque-calculadora.htm>
- Systemes, D. (s.f.). *SolidWorks*. Obtenido de [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com/): <http://www.solidworks.com/>

## 8. ANEXOS

### 8.1 ANEXO A MECANIZADO DE LAS PIEZAS

A continuación se detalla parte del proceso de fabricación de la entorchadora de alambre galvanizado.

- En la ilustración 27 se puede apreciar el procedimiento de perforación del buje utilizado.

*Lugar: Publiplásticos s a s (Pereira, Risaralda)*



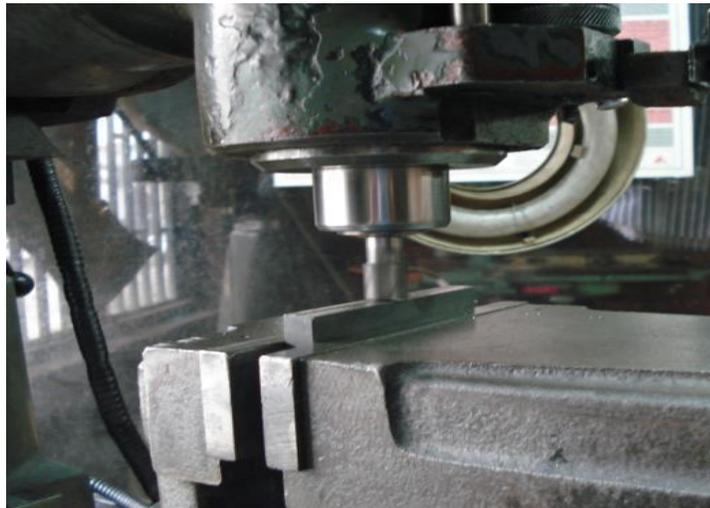
Ilustración 27 perforación buje.

- El siguiente procedimiento es el mecanizado de platina de sujeción como se puede observar en la ilustración 28.



**Ilustración 28. Mecanizado platina de sujeción.**

- Luego del mecanizado se procede a realizar un fresado o planeado a la platina de sujeción.



**Ilustración 29 fresado platina de sujeción.**

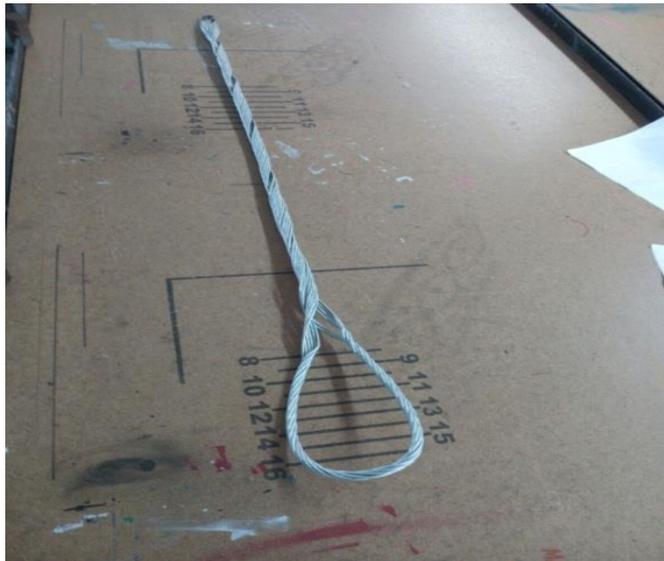


- De la manera como se ilustración 31 se puede observar cómo queda la pieza después del entorchado.



**Ilustración 31** pieza después del entorchado.

- En la ilustración 32 se muestra el producto terminado sin anticorrosivo



**Ilustración 32.** producto terminado.

- Producto terminado listo para la comercialización



**Ilustración 33. Producto para la comercialización.**

## **8.2 ANEXO B PLANOS DE LAS PIEZAS UTILIZADAS**

Las ilustraciones 34, 35 36, 37, 38, 39, muestran los planos de las piezas diseñadas, que constan de las medidas adecuadas y suministradas a fin de dar claridad acerca de las medidas de la máquina. Cabe mencionar que se puede ver cada pieza en 3 vistas principales (superior, lateral y frontal), al igual que la isométrica.

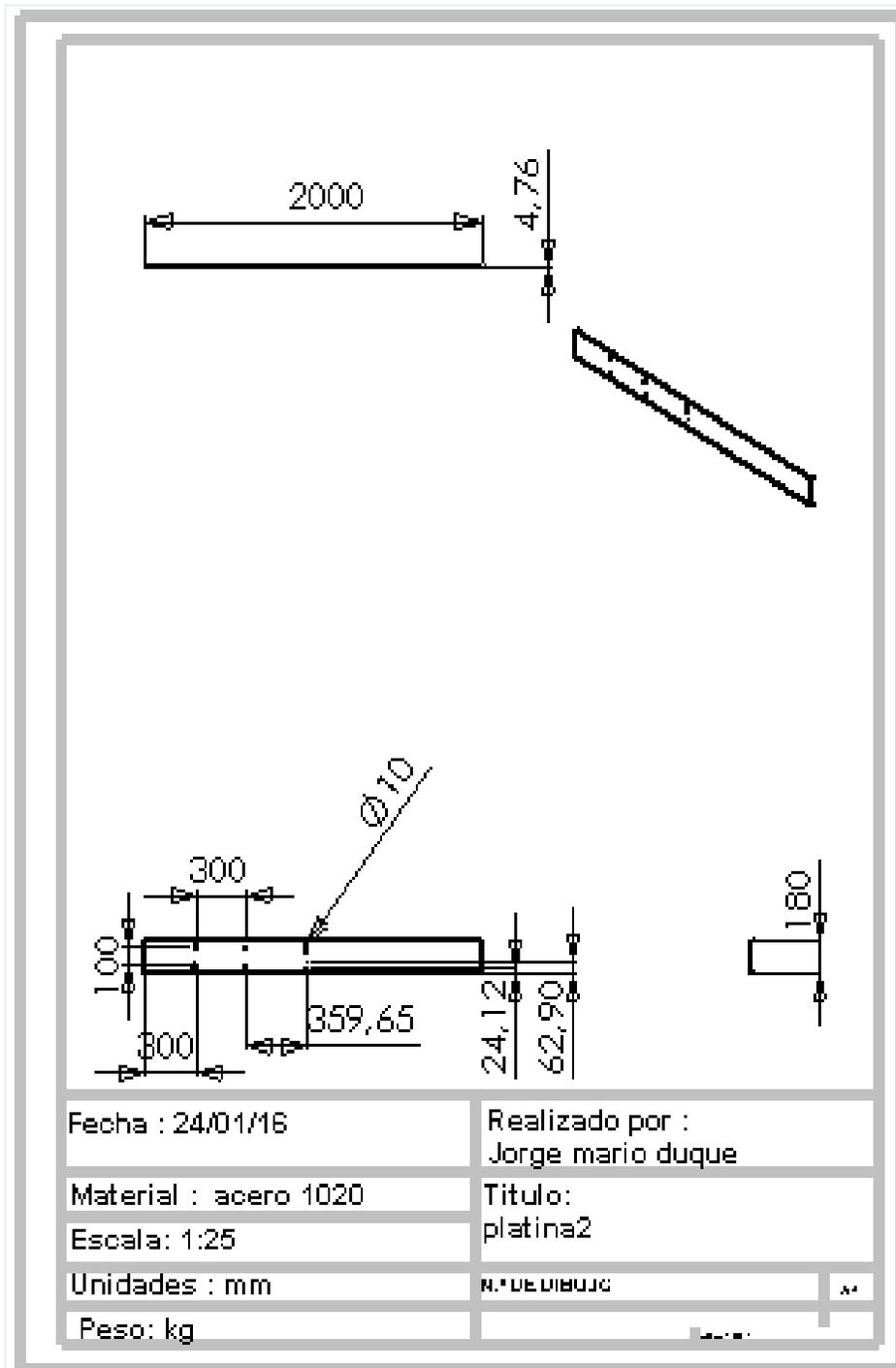
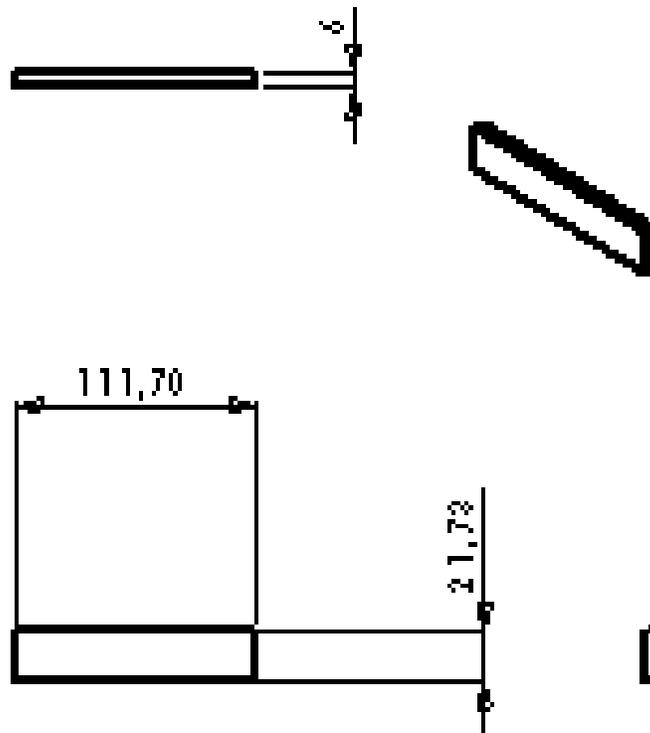


Ilustración 34 plano 1.



Fecha : 24/01/18	Realizado por : Jorge maría duque
Material : acero 1020	Título : platina pñecado
Escala : 1:2	
Unidad c : mm	
Peso : kg	

Ilustración 35 plano 2.

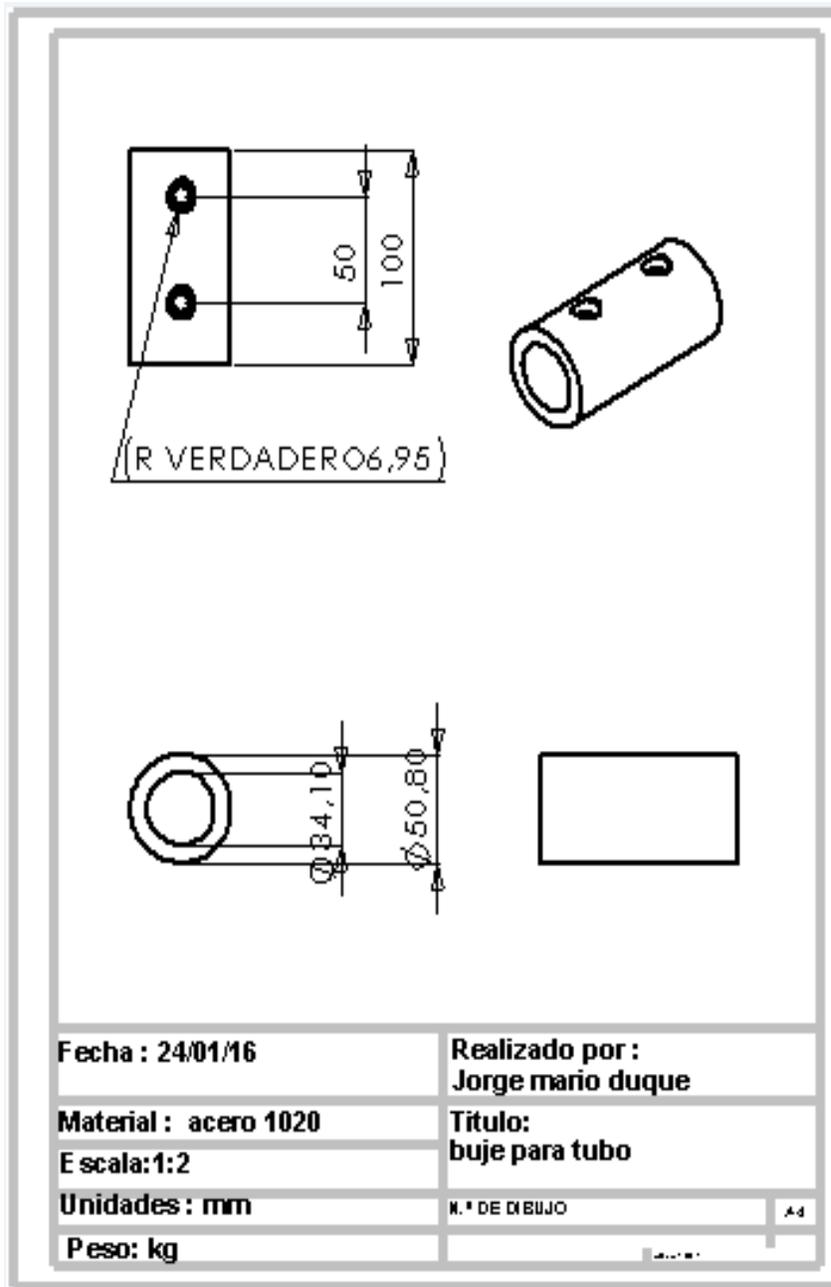


Ilustración 36 plano 3.

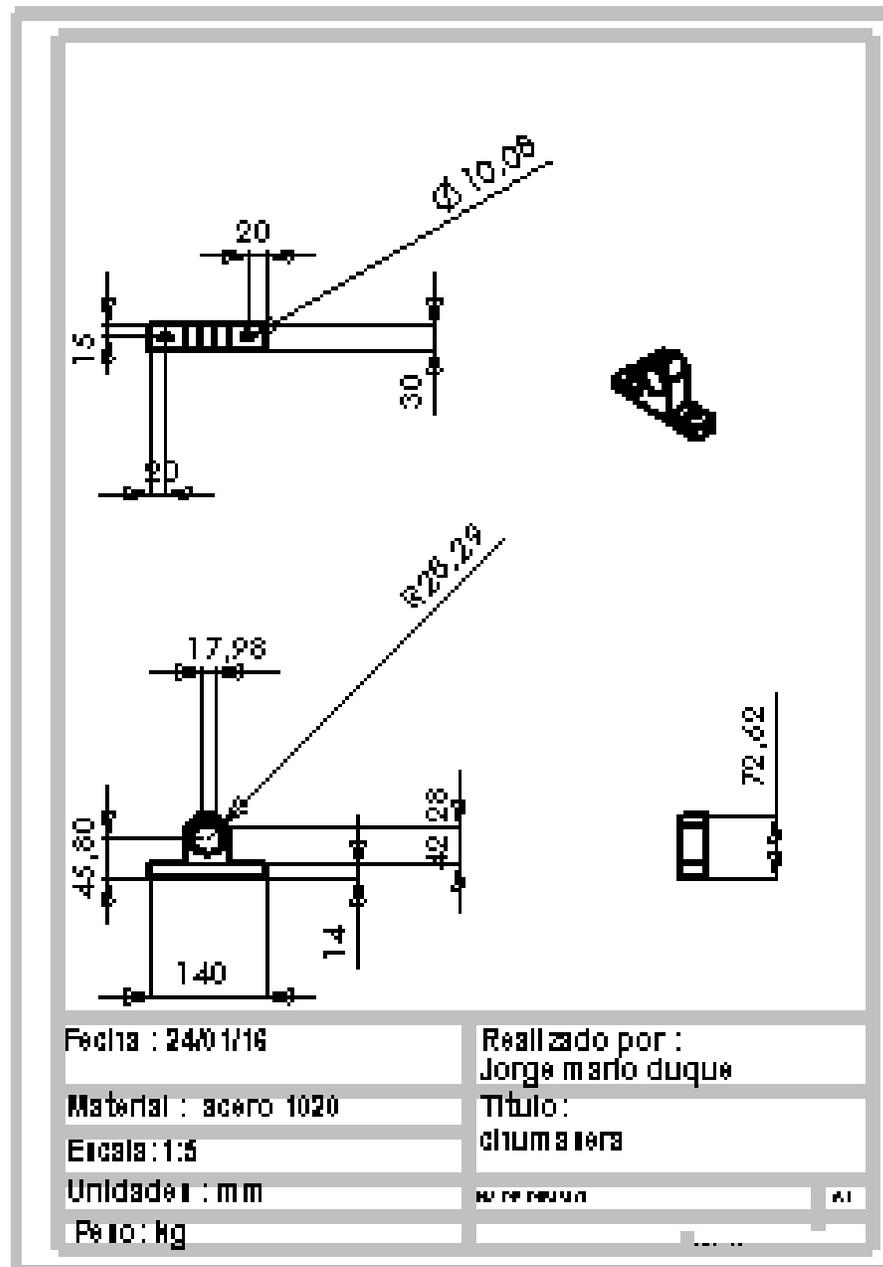


Ilustración 37 plano 4.

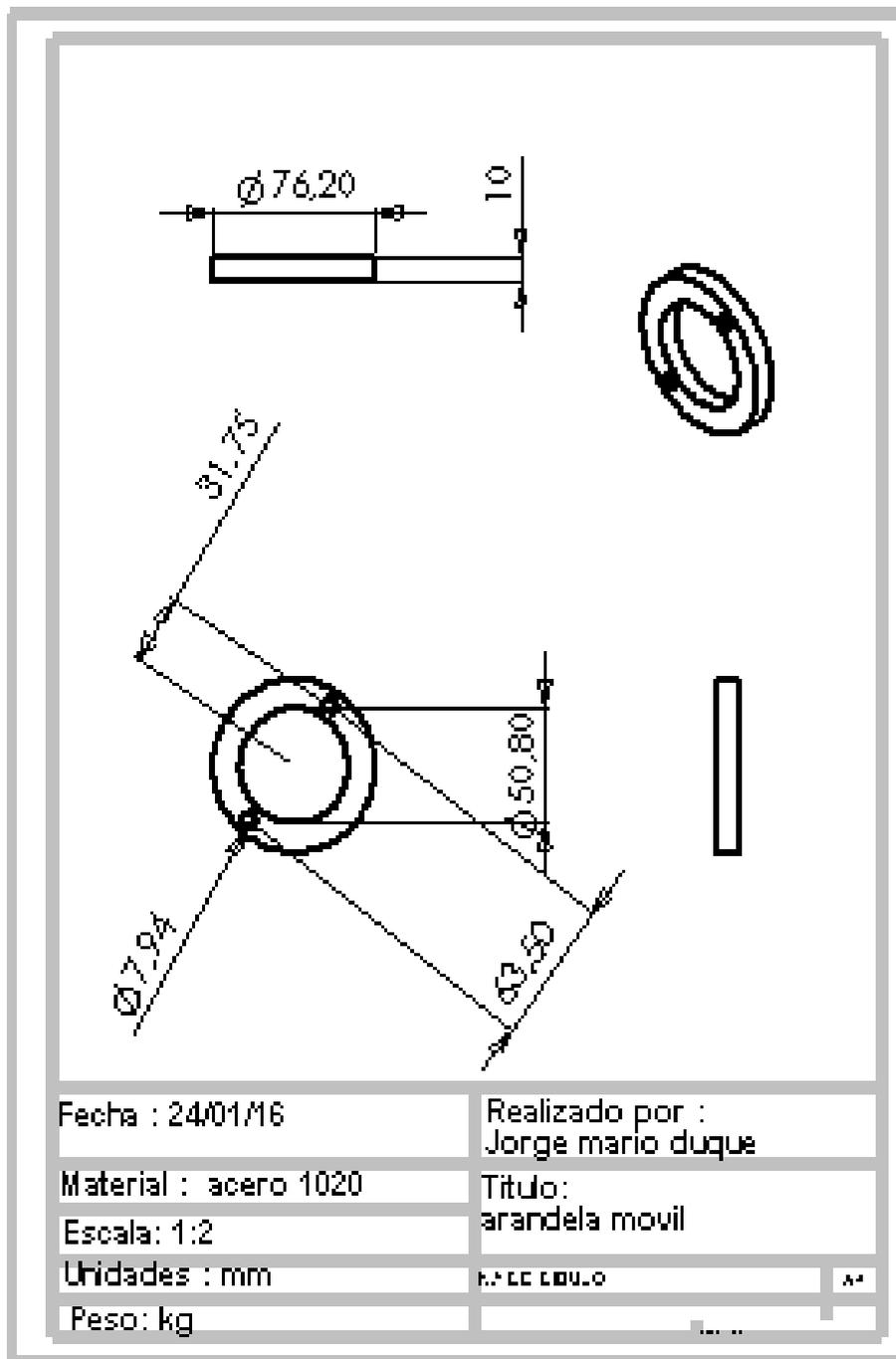
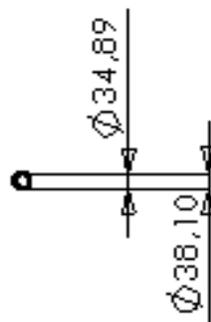
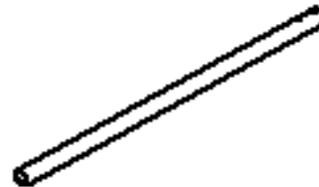
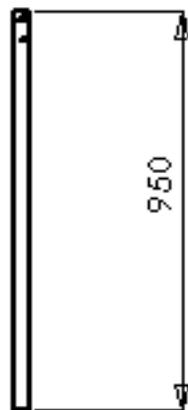


Ilustración 38 plano5.



<b>Fecha :</b> 24/01/16	<b>Realizado por :</b> Jorge mario duque
<b>Material :</b> acero 1020	<b>Titulo:</b> tubo
<b>Escala:</b> 1:10	
<b>Unidades :</b> mm	N.º DE DIBUJO
<b>Peso:</b> kg	44

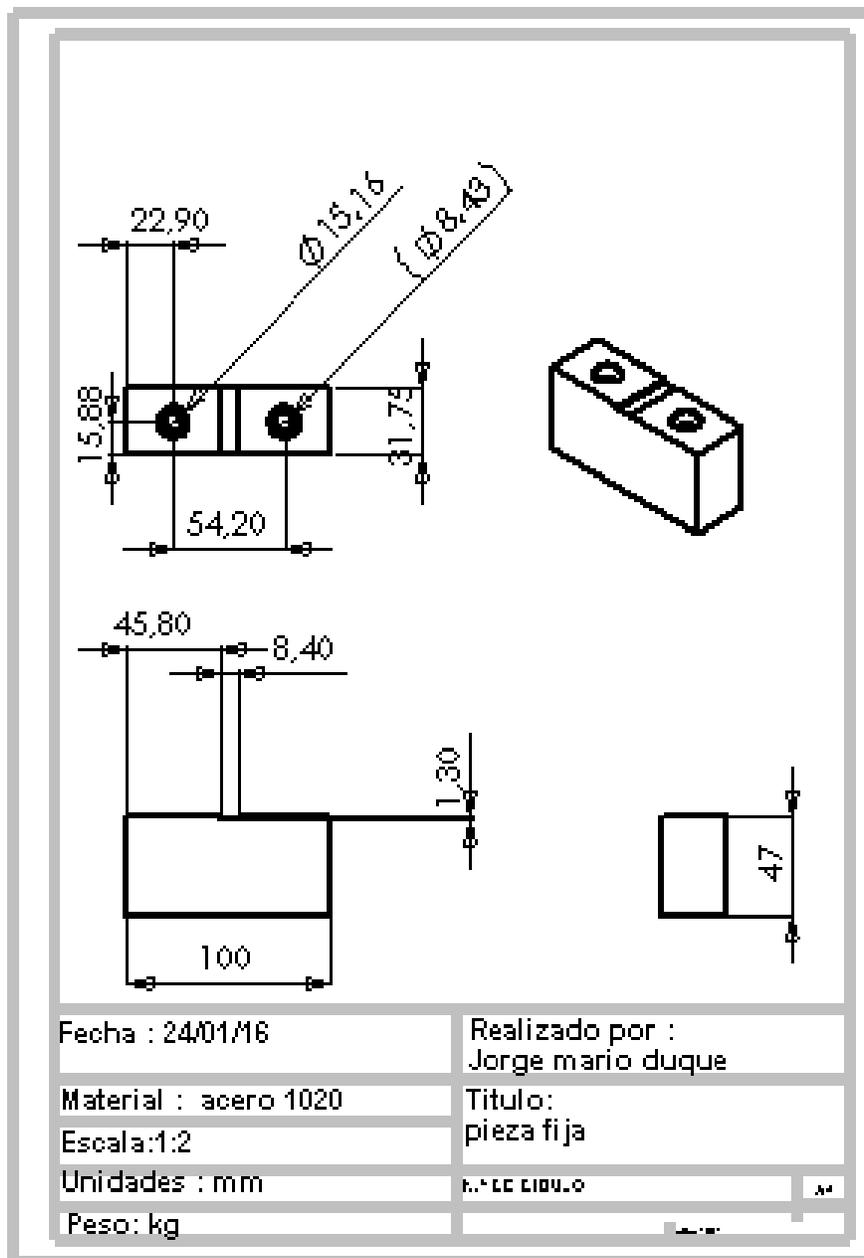


Ilustración 40. Plano 7.

