



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Máquina Rectificadora por Bandas para Súper Acabado de Piezas  
Rotativas de Acero AISI 1018, y Acero AISI 1018 con Cromado Duro:  
Diseño, Construcción y Pruebas**

**Rubén Daniel Vera Vallejo**

**Alfredo Valarezo Ph.D. Director de Tesis**

Tesis de grado presentada como requisito

para la obtención del título de Ing. Mecánico

Quito, mayo de 2015

**Universidad San Francisco de Quito**  
**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Máquina Rectificadora por Bandas para Súper Acabado de Piezas  
Rotativas de Acero AISI 1018 y Acero AISI 1018 con Cromado Duro:  
Diseño, Construcción y Pruebas**

**Rubén Daniel Vera Vallejo**

Alfredo Valarezo Ph. D.,

Director y miembro del comité de Tesis

Lorena Bejarano, Ph. D.,

Miembro del Comité de Tesis

Patricio Chiriboga, Ph. D.,

Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph. D.,

Decana de la Escuela de Ingeniería

Colegio de Ciencia e Ingeniería

Quito, marzo de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

-----

Nombre: Rubén Vera

C. I.: 1718816091

Fecha: Quito, mayo de 2015

## Dedicatoria

Dedico esta tesis en primer lugar a Dios y a todas las personas que me cuidan desde el cielo por haberme permitido llegar a esta etapa de mi vida.

A mis padres Lauro y Jaqueline que me apoyaron incondicionalmente a lo largo de mi carrera universitaria y a mis hermanas Cristina y Luciana por ser un pilar fundamental en mi vida.

A toda mi familia por siempre estar pendiente de mí y no dejarme caer, pese a las adversidades; en especial a Fernando, Andrés y Alfredo.

A mi novia Lizeth, que me apoyo y me alentó en todo momento para culminar esta etapa de mi vida. Y a todos mis amigos que han estado presentes a lo largo de mi formación universitaria.

## Agradecimientos

Agradezco a Dios y a mis padres, porque sin su apoyo no podría haber llegado a culminar mi carrera universitaria.

A mi mejor amigo Jorge Luis Loyola por el apoyo que me brindo para llevar a cabo esta tesis.

De manera especial agradezco a mis profesores Édison Bonifaz y Alfredo Valarezo por haber confiado en mí y haberme alentado en momentos difíciles de mi carrera. Gracias al apoyo y orientación de ambos me encuentro culminando mi carrera universitaria y con ánimos de triunfar en mi vida profesional.

Agradezco a toda mi familia y amigos. Y especialmente a mis abuelitos por saber guiarme y así formarme como una persona correcta en la vida.

Agradezco al Ing. Fredy Padilla gerente de la fábrica ACROSEL por la colaboración en la construcción del armazón de la máquina de súper-acabados. Y a la empresa ALFIZA por permitirme realizar las pruebas de la máquina.

De igual manera agradezco al Ing. Gabriel Contreras, gerente regional de FANDELI por las pautas y consejos para la creación de la máquina de súper-acabados.

Y finalmente agradezco a Cecilia Valdez por la colaboración en los detalles finales de esta tesis de grado.

## Resumen

Con la adaptación de nuevas tecnologías, día a día se busca optimizar y mejorar procesos para manufacturar más piezas y elementos de alta precisión. Siendo una necesidad de la empresa Alfiza este proyecto de tesis busca el diseño, construcción y la realización de pruebas de una máquina rectificadora por bandas para súper acabado de piezas rotativas. Con un sistema de bandas abiertas, se busca en primera instancia realizar ensayos de tensión a las bandas que se van a utilizar y con respecto a la máquina se busca hallar la configuración ideal para que realice el trabajo de súper acabado, esto incluye: definir el tamaño de las piezas necesarias, definir velocidades relativas de corte, definir velocidades de avance y tensión de la banda de lija. Con todos estos parámetros el objetivo perseguido en el diseño de la máquina es que las piezas que se trabajan con la misma, tengan un coeficiente de rugosidad que se encuentre dentro de los parámetros establecidos para un súper acabado superficial el cual oscila entre 0.025 y 0.2  $\mu\text{m}$ . Utilizando un rugosímetro se obtuvieron las medidas de

rugosidad de las piezas que fueron sometidas a pruebas (incluyendo el análisis de una pieza con recubrimiento de cromo duro), obteniendo en el mejor de los casos un coeficiente de rugosidad de  $R_a = 0.12 \mu\text{m}$ . La máquina finalmente, cumple con todas las especificaciones de servicio, costo, seguridad, etc.

## Abstract

With the adaptation of new technologies, it is required to optimize and improve processes to manufacture more parts and components of high precision. This project, being a local need for the company Alfiza, is based on the design, construction and testing of a grinding belt machine for superfinishing of rotating parts. With the use of an open belt system, it is desired -in the first place- to perform stress testing to the required belts. Regarding the machine, it is needed to find the ideal configuration to perform the superfinishing work such as: required size of all the components, relative cutting speed, feed rates and pre-load for the sanding belt. With all these parameters in place, the goal is to reach a superfinish with coefficients of roughness that fall within the parameters (between 0.025 and 0.2  $\mu\text{m}$ ). Using a profilometer the roughness of the pieces was measured (including a piece with hard chrome plating), obtaining the best coefficient of roughness  $R_a = 0.12 \mu\text{m}$ . The designed machine is within the planned specifications, cost, safe operation, etc.



## Tabla de contenido

Resumen.....	7
Abstract.....	8
Tabla de contenido.....	9
Lista de figuras.....	13
Lista de tablas .....	15
Lista de Ecuaciones.....	16
1. Capítulo I: Descripción del problema.....	18
1.1 Introducción .....	18
1.2 Justificación .....	19
1.3 Descripción del problema .....	20
1.4 Alcance .....	22
1.4.1 Requerimientos de diseño .....	25
1.4.1.1 Características detalladas del funcionamiento.....	29
1.4.1.2 Montaje.....	29
1.4.1.3 Características de seguridad .....	31
1.4.1.4 Pesos máximos admisibles .....	31
1.4.1.5 Requerimientos ambientales.....	32

1.5.1 Vida útil.....	33
1.5.1.1 Vida útil de la banda de lija .....	33
1.5.1.2 Vida útil del caucho en las poleas .....	33
1.6 Requerimientos financieros .....	34
2. Capítulo II: Objetivos .....	35
2.1 Objetivo general .....	35
2.2 Objetivos específicos.....	35
3. Capítulo III: Descripción del funcionamiento de la máquina.....	37
3.1 Sistema de potencia y variador de velocidad .....	39
3.2 Sistema de Pre-tensión de la banda.....	40
3.3 Requerimientos de las bandas para lograr un súper- acabado.....	42
3.3.1 Material de la banda .....	42
3.3.2 Ensayos de tensión en las bandas (esfuerzo-deformación) .....	43
3.3.3 Métodos y pasos para la utilización de las bandas .....	45
3.6 Velocidades de corte recomendadas por el fabricante .....	45
4. Capítulo IV: Diseño y cálculos .....	47
4.1 Diseño.....	47
4.1.1 Descripción del diseño de la máquina de súper - acabados.....	47
4.1.2 Funcionamiento de la máquina de súper acabados.....	49
4.2 Diseño crítico .....	50
4.2.1 Cálculo de la velocidad angular de la polea transmisora (D) .....	53

4.2.2 Cálculo de los ángulos de contacto entre la banda y las poleas .....	54
4.2.3 Cálculo de la longitud de banda necesaria para el sistema.....	56
4.2.4 Cálculo del exponencial dependiente de la fuerza de fricción .....	56
4.2.5 Cálculo de la velocidad de corte.....	57
4.2.6 Cálculo del peso específico de la banda .....	59
4.2.7 Cálculo de la fuerza centrífuga.....	60
4.2.8 Cálculo del torque.....	61
4.2.9 Cálculo de las fuerzas de la banda que actúan en el sistema.....	63
4.3 Cálculos para el sistema de tensión de la banda.....	66
4.4 Calculo experimental de la constante del resorte que utiliza la máquina de súper- acabado.....	70
4.5 Calculo de la frecuencia natural del Sistema .....	72
4.6 Valoración del coeficiente de fricción .....	73
4.7 Valoración del factor de seguridad.....	74
5. Capítulo V: Manufactura de piezas.....	76
5.1 Maquinado de poleas.....	77
5.2 Maquinado de la camisa para el eje del motor. ....	79
5.3 Maquinado del eje superior para el sistema de resorte.....	80
5.4 Maquinado del eje para polea d2 (d=52mm.) .....	81
5.5 Brazo para polea d2.....	81
5.6 Sistema de tensión.....	82

5.6.1 Tornillos M & H.....	83
5.6.2 Eje para sistema de tensión.....	84
5.6.3 Sistema empuje de resorte .....	85
5.7 Planchas de soporte .....	86
5.7.1 Soporte principal.....	87
5.7.2 Plancha de soporte para el motor.....	88
6. Capítulo VI: Análisis del desempeño de la máquina y evaluación del acabado superficial .....	90
6.1 Velocidad optima de avance y pasos de la máquina sobre las superficies rotacionales .....	91
6.2 Análisis de rugosidad sobre la superficie de piezas rotacionalmente simétricas con diferentes pasos de lija .....	93
6.3 Análisis de rugosidad sobre piezas de diferentes diámetros .....	96
6.4 Análisis del recubrimiento posterior (Cromo duro) para verificar si el terminado superficial se encuentra dentro de las tolerancias de rugosidad.....	100
6.5 Tabla de resultado de las diferentes velocidades de corte optimas .....	103
6.6 Recomendaciones de Operación del Equipo.....	104
7. Capítulo VII: Conclusiones.....	106
Bibliografía .....	108
ANEXO A: GLOSARIO DE TERMINOS: .....	110
Anexo B Ficha técnica.....	112

Anexo C Planos de construcción .....	115
--------------------------------------	-----

### **Lista de figuras**

Figura 1 Rugosímetro SURFTEST-II.....	24
Figura 2 Máquina de súper-acabados de LOESER SP377 .....	26
Figura 3 Máquina de súper-acabados LAD 1 .....	29
Figura 4 Soporte y placa vertical de sujeción .....	30
Figura 5 Esquema de máquina de súper-acabados .....	38
Figura 6 Motor 1.5 HP.....	39
Figura 7 Variador de frecuencia .....	40
Figura 8 Sistema de tensión de la banda.....	41
Figura 9 Diagrama esfuerzo-deformación de la banda de lija .....	43
Figura 10 Curva esfuerzo vs longitud de la banda de lija.....	44
Figura 11 Velocidades de corte para productos Fandeli.....	46
Figura 12 Ensamble primera fase (dos poleas).....	48
Figura 13 Ensamble segunda fase (tres poleas).....	49
Figura 14 Ensamble de máquina de súper-acabados .....	50
Figura 15 Sistema de bandas abiertas .....	51
Figura 16 Diagrama de cuerpo libre del sistema .....	63
Figura 17 Esquema del sistema de Tensión de la máquina .....	66
Figura 18 Sumatoria de fuerzas del sistema .....	68
Figura 19 Desplazamiento Vs Fuerza del resorte .....	71

Figura 20	Ensamble del sistema de resorte.....	72
Figura 21	Componentes de máquina de súper-acabados .....	77
Figura 22	Maquinado polea 52mm.....	78
Figura 23	Maquinado polea 180mm.....	79
Figura 24	Camisa para el eje del motor .....	80
Figura 25	Eje superior para el sistema de resorte .....	80
Figura 26	Eje para polea d2 .....	81
Figura 27	Brazo para polea d2.....	82
Figura 28	Sistema de tensión .....	83
Figura 29	Tornillos H & M para sistema de tensión.....	84
Figura 30	Eje para el sistema de tensión.....	85
Figura 31	Sistema empuje de resorte .....	86
Figura 32	Planchas de soporte .....	87
Figura 33	Soporte principal .....	88
Figura 34	Soporte para motor .....	89
Figura 35	Máquina de súper-acabados LAD 1 .....	91
Figura 36	Superficie rayada con granos de lija.....	92
Figura 37	Eje de prueba segmentado con distintos terminados superficiales.....	94
Figura 38	Eje de prueba d= 8 1/2 in. ....	97
Figura 39	Eje de prueba d= 3 1/2 in. ....	98
Figura 40	Plunger de prueba metalizado d= 2 1/4 in. ....	100
Figura 41	Rodillo d=5 15/16 con soldadura en la superficie .....	102
Figura 42	Rodillo d=5 15/16 in.....	103

## Lista de tablas

Tabla 1. Ficha técnica de máquina de súper-acabados de LOESER SP377 .....	27
Tabla 2 Ficha técnica de máquina de súper-acabados LAD 1 .....	28
Tabla 3 Especificación de pesos máximos.....	32
Tabla 4 Datos iniciales.....	51
Tabla 5 Tabla de las propiedades de los materiales de bandas planas y redondas .....	52
Tabla 6 Datos necesarios para los cálculos.....	53
Tabla 7. Velocidades óptimas del torno para rectificado.....	58
Tabla 8. Relación de equivalencia entre HZ y RPM del motor de la máquina de súper-acabados.....	59
Tabla 9 Tabla de las propiedades del resorte a utilizar .....	70
Tabla 10 Ensayos realizados.....	90
Tabla 11 Mediciones de rugosidad en eje $d= 1\frac{3}{4}$ in.....	95
Tabla 12 Rugosidad Ra, Rz y pasos de lija en eje $d= 1\frac{3}{4}$ in. ....	96
Tabla 13 Mediciones de rugosidad en eje $d= 1\frac{1}{2}$ in.....	97
Tabla 14 Valores de Ra & Rz para eje $d= 1\frac{1}{2}$ in.....	98
Tabla 15 Mediciones de rugosidad en eje $d= 1\frac{1}{2}$ in.....	99
Tabla 16 Valores de Ra & Rz para eje $d= 1\frac{1}{2}$ in.....	99

Tabla 17 Mediciones de rugosidad en plunger $d= 2\frac{1}{4}$ in. ....	101
Tabla 18 Valores de Ra & Rz para plunger $d= 2\frac{1}{4}$ in. ....	101
Tabla 19 Parámetros y Velocidades de corte óptimas .....	104
Tabla 20 Clases de rugosidad .....	110
Tabla 21 Rugosidad según el proceso de fabricación .....	111

### **Lista de Ecuaciones**

Ecuación 1 Cálculo de rugosidad Ra .....	23
Ecuación 2 Cálculo de Rugosidad Rz .....	23
Ecuación 3 Calculo de la velocidad angular .....	53
Ecuación 4 Ángulos de contacto .....	54
Ecuación 5 Longitud de la banda .....	56
Ecuación 6 Exponencial dependiente de la geometría y la fricción .....	56
Ecuación 7 Calculo de velocidad relativa .....	59
Ecuación 8 Calculo del peso de la banda por unidad de longitud .....	59
Ecuación 9 Calculo de la fuerza centrífuga .....	60
Ecuación 10 Calculo del Torque .....	61
Ecuación 11 Calculo de la tensión inicial .....	64
Ecuación 12 Tensión de arco debida a la fuerza centrífuga .....	65
Ecuación 13 Cálculo de la tensión en el lado holgado .....	65
Ecuación 14 Fuerza aplicada .....	67
Ecuación 15 Ley de Hooke .....	70



Ecuación 16 Calculo de la frecuencia natural del sistema .....	72
Ecuación 17 Calculo de la fuerza de fricción .....	73
Ecuación 18 Calculo de la potencia nominal .....	74
Ecuación 19 Calculo del factor de seguridad.....	75

## 1. Capítulo I: Descripción del problema

### 1.1 Introducción

La sociedad actual se desarrolla día a día, con la adaptación de nuevas tecnologías que ayudan a optimizar y mejorar procesos; con esto se alcanza cada vez manufacturar más piezas y elementos de alta precisión, corrigiendo cada vez más los acabados y logrando una menor rugosidad en su superficie. Una de las máquinas que ayuda en la obtención de este tipo de elementos es la rectificadora de bandas para dar súper-acabados.

En Ecuador es difícil encontrar este tipo de servicios de súper-acabados superficiales en piezas, pues en lo que se refiere a desarrollo industrial, se acostumbra realizar piezas (rotacionalmente simétricas) con acabados superficiales mínimos como lo es el desbaste, pulido y rectificado por piedra de desbaste, tomando en cuenta que si la pieza va a ser sometida a un posterior recubrimiento como el “cromado duro”, se necesita que la superficie tenga un coeficiente de rugosidad  $R_a$  bajo, obtenido con rectificado por piedra o por rectificado con bandas. Dado que el revestimiento con cromo duro se realiza mediante un proceso electrolítico y que el objetivo del mismo es adherir una película de cromo sobre una pieza resistente al desgaste y de bajo coeficiente de fricción (por tanto, con muy baja rugosidad), dicha película se adhiere copiando la superficie de la pieza y no rellena las imperfecciones, por lo que se debe tomar en cuenta que si se tiene un coeficiente de rugosidad alto no se va a obtener un acabado superficial sin rugosidades; siendo el problema del terminado superficial uno de los principales para no lograr un proceso de cromado exitoso. (Chessin, Knill, & E. Seyb, 1981)

Las técnicas que dan un pre-acabado de las piezas, no toman en cuenta un pulido fino. El pulido fino permite lograr que una pieza tenga un súper-acabado con el menor número de asperezas o variaciones en el relieve superficial; esto se relaciona al mecanizado de precisión en donde las tolerancias son medidas en micras  $\mu m$  (milésimas de milímetro) y los acabados superficiales finos permiten el ensamblaje de las partes conjugadas.

## 1.2 Justificación

Este proyecto de tesis consta del diseño, la construcción y la realización de pruebas de una máquina capaz de desbastar (fino), pulir y dar súper-acabados a las superficies de piezas rotacionalmente simétricas. Este tipo de máquina no se encuentra disponible en talleres de servicios ni en locales importadores (hasta donde es del conocimiento del autor) solo se dispone bajo pedido al extranjero.

En la parte de diseño, es necesario partir de un diseño CAD tomando en cuenta los parámetros de máquinas ya existentes para lograr la fabricación de una máquina eficiente capaz de realizar un pulido fino que satisfaga la necesidad de la empresa que requiere esta máquina.

En cuanto al ámbito económico, se justifica el desarrollo de una máquina con estas características debido a que en el país no existe ningún proveedor en talleres, capaz brindar este servicio eficazmente, por lo que las piezas rotacionalmente simétricas son entregadas con un acabado superficial con coeficientes de rugosidad que van entre los 0.2 y 3  $\mu m$  en el mejor de los casos, y no se alcance el super-acabado. Representa un gran ahorro la construcción

local de esta máquina, debido a los altos costos que representa traer una del extranjero con las especificaciones necesarias.

En Ecuador existen varias fábricas capaces de realizar recubrimientos con cromo duro, pero utilizan métodos empíricos para dar los acabados superficiales previos al baño electrolítico, como es el caso de la empresa “Meqselective” donde se construyó una máquina con el mismo objetivo, la cual posee muchos problemas de funcionamiento; por lo que la industria no es capaz de confiar en que localmente se puedan producir piezas con acabados de alta calidad. Con la finalidad de cambiar esta realidad de la industria local, se busca desarrollar esta máquina para brindar un súper-acabado en la superficie de las piezas, capaz de cambiar las capacidades de manufactura en el Ecuador y aprovechando el cambio de la matriz productiva, demostrar que en el país se pueden producir estas piezas logrando satisfacer las expectativas requeridas.

---

### **1.3 Descripción del problema**

El problema a dar solución, es el ofrecer un servicio de acabado superficial con una alta precisión mediante el diseño y construcción de una máquina rectificadora con bandas de lija.

Se conocen varios procesos abrasivos en el mercado como: el rectificado, el lapeado, el pulido, el bruñido, entre otros.

Mediante un proceso utilizando materiales abrasivos, se busca obtener un acabado superficial liso, con el menor número de variaciones en el relieve superficial de las piezas

Tomando en cuenta los parámetros de funcionamiento de una rectificadora, se emplea el mismo principio para la fabricación de una máquina que mediante un sistema de bandas de lija realice el desbaste y posterior súper-acabado en la superficie de las piezas a trabajar, estableciendo una nueva referencia en calidad de terminados. La banda de lija es hecha con tela y en una de sus caras posee granos abrasivos, que con la velocidad adecuada de corte, trabaja arrancando pequeñas cantidades de material; de manera que la pieza rotacionalmente simétrica pierde centésimas en su diámetro pero se logra eliminar las rugosidades en la superficie. “La calidad de superficie obtenida solo es comparable con el lapeado o el honing”. (GmbH, 2006) Una vez que la cuchilla del torno o la muela de rectificado trabaja sobre una pieza, se generan imperfecciones en la superficie que se las conoce como picos de rugosidad. Estos se generan por la temperatura elevada a la que trabaja o debido a que muchas veces la cuchilla deforma plásticamente el material base que se está trabajando. Con la ayuda del súper-acabado se logran corregir estas rugosidades sin alterar la geometría original de la pieza rotacionalmente simétrica.

Para el diseño de la máquina de súper-acabado se considera un sistema con poleas de bandas abiertas (Shigley, Mischke, & Budynas, 2004). Estas poleas poseen un recubrimiento con la dureza adecuada para soportar el impacto que va a tener la banda al entrar en contacto con la pieza que se desea trabajar. El recubrimiento de las poleas está hecho de un polímero con dureza 60-65 Shore “A”, que además ayuda a fijar la banda a las poleas; generando un coeficiente de fricción entre la banda y la polea, ayudando a que gire todo el sistema, conociendo que la fricción se debe al contacto de superficies con irregularidades y en cierta medida a la atracción molecular. (Beer, Johnston, & Eisenberg, 2007)

El diseño consta de tres poleas que se mueven rotacionalmente y sobre estas va colocada la banda que debe estar previamente tensada para realizar la remoción de material de la pieza que se va a trabajar.

El súper-acabado se realiza con bandas de lija (proveedor Fandeli). Esta banda va colocada entre las poleas con una configuración llamada “open belt” y se utiliza los diferentes tipos de lija según recomienda el proveedor para lograr un desbaste, pulido y posteriormente un súper-acabado. (Collins, Busby, & Staab, 2003)

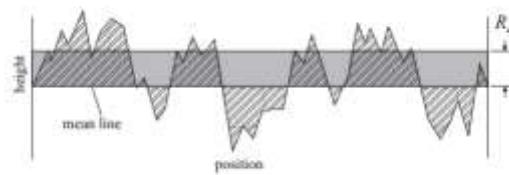
Al entrar en contacto tanto la velocidad de rotación de la pieza, como la velocidad de rotación de la banda, se obteniendo como resultado una velocidad relativa entre ambas, la cual se puede combinar de manera distinta Hasta llegar a la velocidad de corte relativa que recomienda el fabricante.

## 1.4 Alcance

Este proyecto de tesis busca solventar la necesidad de la empresa ALFIZA con la manufactura de una máquina capaz de brindar un súper-acabado superficial a piezas rotacionalmente simétricas. El trabajo se complementa con la verificación de la rugosidad de las piezas resultantes después de utilizar la máquina de súper-acabados, para verificar que efectivamente poseen una superficie lisa y están dentro del rango de tolerancias que oscila entre  $R_a = 0.025 - 0.2 \mu m$ . (Vorburguer & Raja, 1990)

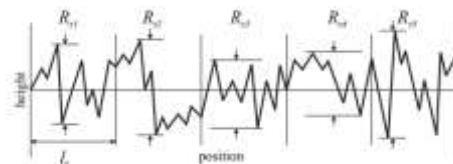
Los estándares de rugosidad se representan con los parámetros  $R_a$  y  $R_z$ .  $R_a$  es el promedio de las alturas que el rugosímetro mide en una sección transversal de la muestra

como se muestra en la ecuación 1.  $R_z$  es la medida máxima desde el pico hasta el valle de todos los datos tomados, como se aprecia en la ecuación 2. (López, Cavazos, & Delgado, 2003)



$$R_a = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N [\text{Datos}]$$

*Ecuación 1 Cálculo de rugosidad  $R_a$*



$$R_z = [\text{max Valor}]$$

*Ecuación 2 Cálculo de Rugosidad  $R_z$*

Las medidas de rugosidad se realizan con un rugosímetro Mitutoyo SURFTEST-III el cual se observa en la Fig.1. Capaz de determinar las variaciones en las rugosidades de piezas.

Mediante una punta de diamante, el rugosímetro se fija y recorre una cierta longitud de la pieza dando tres lecturas de los picos de rugosidad encontrados, con lo cual se determina experimentalmente el valor de Ra y Rz.



Figura 1 Rugosímetro SURFTTEST-II

La parte de diseño se la realiza utilizando el software Inventor, mientras que la construcción se la realizó en el taller de la Universidad San Francisco de Quito y en las instalaciones de la empresa Alfiza.

Se adaptó un variador de frecuencia que trabaja con un motor trifásico de 1.5HP capaz de facilitar la operación de la máquina regulando las velocidades y los sentidos de giro de la



polea transmisora, así como una base que es montable a cualquier torno para no limitar su uso a nivel industrial.

El diseño posee una ficha técnica de la máquina que se encuentra en el anexo A, para el uso apropiado de la misma; así como sus parámetros de mantenimiento, parámetros de velocidad de corte y tensión particular a cada banda a utilizar dependiendo del acabado final que se desea obtener y del material a trabajar

### 1.4.1 Requerimientos de diseño

Las especificaciones de diseño para la fabricación de esta máquina incluyen:

- Funcional en desbaste fino, pulido grueso, pulido fino y súper-acabado.
- Fácil operación
- Operable por una persona
- Versátil en disponer varias velocidades lineales de las bandas
- Sistema de apagado de emergencia

Basados en parámetros de máquinas similares (marca LOESER, Alemania), se obtuvieron los parámetros necesarios para la construcción de una máquina que cumpla con características similares de máquinas ya existentes en el exterior. En la Figura 2, se observa uno de los diseños de un cabezal de la marca Alemana capaz de brindar a las piezas un súper-acabado superficial.



Figura 2 Máquina de súper-acabados de LOESER SP377

SP 377	
Datos técnicos	
Dimensiones de Banda	2500x100 mm
Potencia de Motor	4 kW
Velocidad de corte	28 m/s
Dimensiones de las ruedas de contacto	
Diámetro	250 mm
Ancho	100 mm
Protección de seguridad con conducto de aspiración	100 mm
Rueda de contacto: control de presión mediante sistema mecánico de amortiguación o cilindro neumático	
Peso	60 kg.
Dimensiones:	
Altura	1900 mm
Ancho	630 mm
Longitud	900 mm
Voltaje	400 V

Tabla 1. Ficha técnica de máquina de súper-acabados de LOESER SP377

En la tabla 1 se detalla la ficha técnica para la máquina de súper- acabados alemana SP377. Con la ayuda de estos datos a manera de referencia se determina las especificaciones para la construcción local de una máquina que cumpla con características similares. La máquina que se va a construir a sido designada como LAD-1 y su ficha técnica se detalla en la tabla 2:

LAD-1	
Datos técnicos	
Dimensiones de Banda	1600x700 mm
Potencia de Motor	1.5 kW
Velocidad de corte	2100 m/min
Dimensiones de las ruedas de contacto	
Diámetro	210 mm
Ancho	70 mm
Rueda Tensora d1, se mantiene tensionada mediante sistema mecánico de amortiguación de resorte.	
Peso	50 kg.
Dimensiones:	
Altura	8500 mm
Ancho	340 mm
Longitud	230 mm
Voltaje	220 V

Tabla 2 Ficha técnica de máquina de súper-acabados LAD 1

Es indispensable tomar en cuenta todas las recomendaciones de uso de las bandas de lija, con los cuales se fijan parámetros para calcular las velocidades de corte, diámetros necesarios para las poleas, torque necesario para lograr realizar un trabajo de alta calidad en la superficie de las piezas a trabajar y lograr una tensión inicial de la banda que esté dentro de sus parámetros de funcionamiento.

En la figura 3, se observa a la izquierda el ensamble CAD total de la máquina y al lado izquierdo una fotografía de la máquina LAD-1



*Figura 3 Máquina de súper-acabados LAD 1*

### **1.4.1.1 Características detalladas del funcionamiento**

#### **1.4.1.2 Montaje**

La máquina está diseñada para ser colocada sobre un torno estándar, mediante un soporte de acero que se fija al carro de desplazamiento del torno (chariot), sobre el cual va colocado el motor.

Este soporte a su vez tiene soldada una placa vertical colocada a 90 grados, con lo que se asegura la sujeción y alineamiento de la máquina. De esta manera se puede operar la maquina en cualquier torno industrial. Un parámetro importante para la construcción fue la alineación, a fin de asegurar que el punto de contacto entre la rueda de rectificado y la pieza

rotacional se encuentren a la misma altura. En la figura 4 se puede apreciar la placa horizontal que soporta al motor soldada a la placa vertical; toda la estructura está fijada al carro de desplazamiento del torno.

Para el posicionamiento de la máquina, se toma en cuenta parámetros como:

- Las medidas del torno donde se va a colocar.
- Peso máximo que soporta el carro de desplazamiento.



*Figura 4 Soporte y placa vertical de sujeción*

### 1.4.1.3 Características de seguridad

- Se toma en cuenta parámetros en el diseño para que la máquina sea manipulada por un solo operario. Considerando la comodidad del mismo para lograr enfocar su atención al 100% en el trabajo que va realizando la máquina para evitar cualquier problema que se pueda suscitar.
- La máquina consta de una carcasa protectora, para evitar cualquier incidente en caso de que la banda se salga de las poleas de caucho o si se da el caso que la banda se fatigue por el uso y se llegue a romper. La carcasa protege al operador de ser lastimado por cualquier fallo accidental.
- El diseño consta de una botonera, en donde se encuentra un comando de apagado de emergencia el cual corta el suministro de energía que va hacia el variador de frecuencia, con lo cual se detiene el funcionamiento de la máquina ante cualquier accidente o eventualidad que llegase a ocurrir en el proceso.
- El equipo de protección personal necesario para operar la máquina es el básico de seguridad industrial de una planta. Siendo necesario zapatos y ropa de trabajo, una mascarilla adecuada y gafas de seguridad; debido a la gran cantidad de desprendimientos que se produce del material en forma de polvo.

### 1.4.1.4 Pesos máximos admisibles

En la tabla 3 se detallan los pesos máximos de los componentes, utilizando planchas de acero de un elevado espesor de entre 12 y 20 mm, tal que no permita que la máquina se deforme por el peso propio y ayude a eliminar las vibraciones producidas por el motor.

Tomando en cuenta el peso de las planchas anteriormente mencionadas, el diseño se complementa con piezas de aluminio para que el peso total no exceda la capacidad del carro de desplazamiento del torno.

Pieza	Peso Kg. c/u	Peso total Kg
Polea D	4,2	4,2
Polea d1	1,1	1,1
Polea d2	1,1	1,1
Rulimanes	0,15 c/u	0,6
Brazo para d2	1,85	1,85
Ejes para d1 & d2	0,25 c/u	0,5
Motor Siemens	12,8	12,8
Estructura Metálica	17,8	17,8
Armazón	10	10
Peso total		49,95

Tabla 3 Especificación de pesos máximos

La máquina de súper-acabados debe ser capaz de operar sobre el carro de desplazamiento del torno, sin necesidad de un motor adicional que ayude a su desplazamiento, por lo que es esencial respetar los pesos estipulados de los componentes, para que el carro de desplazamiento sobre el cual está montada la maquina funcione sin problemas con su velocidad automática.

#### 1.4.1.5 Requerimientos ambientales

La máquina posee un armazón de latón, el cual recolecta los desechos que se producen al operar el sistema. El material abrasivo (banda de lija) va removiendo material de la superficie en forma de polvo con el objetivo de eliminar las rugosidades e imperfecciones



en la superficie de la pieza que está trabajando. Estos desechos son depositados en la parte interior del armazón de la máquina y con la ayuda de un magneto, atrae las partículas metálicas; de esta manera el área de trabajo no se verá afectada por estos desechos.

### **1.5.1 Vida útil**

La máquina de súper acabados tendrá una vida útil de mínimo cinco años, teniendo en cuenta un mantenimiento preventivo en el motor y considerando un re-encauche de las poleas para lograr que la máquina se mantenga en un nivel óptimo de desempeño.

#### **1.5.1.1 Vida útil de la banda de lija**

Acatando los parámetros de velocidad de corte sugeridos por el fabricante, la banda tendrá una vida útil de al menos 150 minutos de trabajo. Se debe colocar la banda con una tensión inicial que se mantenga dentro del rango para la que fue fabricada, capaz de soportar un esfuerzo de entre 5 y  $5.6 \frac{kg}{cm^2}$ . A partir de este tiempo, la geometría de los granos se verán afectados por el trabajo de corte realizado y el rayado de la superficie no será el mismo.

#### **1.5.1.2 Vida útil del caucho en las poleas**

Las tres poleas con las que cuenta la máquina, están en contacto directo con la banda de lija. Tomando en cuenta la fuerza de fricción y la fuerza de corte, estas sufren un desgaste considerable, las mismas que deben ser reencauchadas después de 500 horas de trabajo. Por parámetros de seguridad no hay como sobrepasar este tiempo, debido a que la sujeción de la

banda de lija depende del caucho que poseen las poleas y podría ocurrir un accidente si el recubrimiento de polímero se encuentra en mal estado.

## **1.6 Requerimientos financieros**

El costo máximo de diseño y construcción de la máquina de súper-acabados es de \$2500. Valor establecido por el presupuesto de la empresa Alfiza, dentro del cual se contemplan costos de materiales, mano de obra, diseño y fabricación de la máquina.

El alto costo de comprar e importar una de estas máquinas del extranjero justifica la inversión en la máquina. Y basándose en la demanda de esta máquina, se estima la recuperación del valor de la inversión en un lapso de 6 a 8 meses de utilización del equipo.

## 2. Capítulo II: Objetivos

### 2.1 Objetivo general

Diseñar, construir y probar una máquina rectificadora con un sistema de bandas de lija, capaz de brindar un súper-acabado en piezas rotacionalmente simétricas, para la obtención de un acabado superficial de alta calidad.

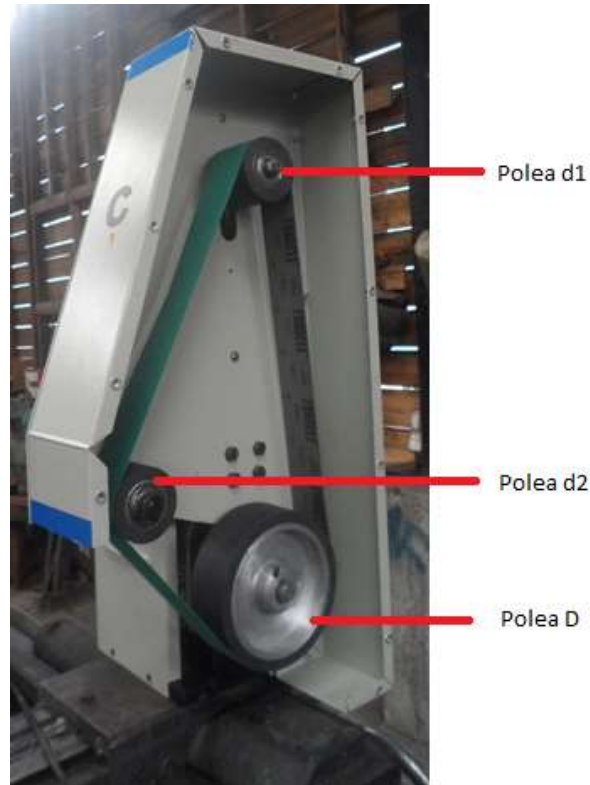
### 2.2 Objetivos específicos

- Desarrollar el modelo CAD para el diseño virtual de la máquina de súper acabados.
- Realizar pruebas de resistencia y cálculos de las condiciones de rectificado de las bandas de lija para establecer un sistema óptimo con el cual se logre que la banda tenga una tensión ideal para corte.
- Optimizar la fijación de la máquina construida y todos sus componentes a la estructura de un torno, para evitar problemas de vibraciones, alineación, etc.
- Realizar pruebas de rectificado con piezas rotacionalmente simétricas de acero AISI 1018 y acero AISI 1018 con recubrimiento de cromado duro, para poder determinar la velocidad óptima de corte con la que se debe operar la máquina para lograr que la superficie tenga un súper-acabado que cumpla con las especificaciones deseadas. Se ensayará probetas de distintos diámetros (al menos 3 con y sin cromado duro).

- Realizar ensayos de rugosidad en la superficie de piezas de revolución bajo varias condiciones de rectificado/corte para determinar si están dentro del rango admisible de entre  $R_a = 0.025 - 0.2 \mu m$  (rango considerado de super-acabado)
- Realizar varios ensayos en piezas de diferentes diámetros para asegurar la calidad del terminado superficial controlando los parámetros para determinar un método adecuado para el funcionamiento de la máquina

### 3. Capítulo III: Descripción del funcionamiento de la máquina

La máquina de rectificado por bandas es una herramienta capaz de rotar una pieza mientras bandas se encargan de dar un acabado de muy baja rugosidad a piezas cilíndricas. Básicamente, realiza un trabajo similar al de un torno que con su herramienta de corte otorga cilíndricidad al material. En el caso del sistema a presentarse en este estudio, se fabrica un dispositivo acoplable a un torno común capaz de portar bandas que giran a altas velocidades. En su desplazamiento, se apoyan contra la pieza a ser pulida y mediante fricción y desbaste de material, logran un acabado superficial liso. Esquemáticamente, el sistema se presenta en la siguiente figura 5. En el anexo B se encuentran detallados los planos de cada pieza. El sistema posee tres poleas recubiertas con caucho, dos de diámetro igual;  $d_1$  es la polea de la parte superior la cual se encarga de tensar el sistema, mientras que  $d_2$  es un aditamento de la máquina que se lo utiliza para los últimos pasos de lija. Adicionalmente la polea de diámetro mayor ( $D$ ) que es la polea transmisora del torque del motor.



*Figura 5 Esquema de máquina de súper-acabados*

Se identifican varios sistemas para la máquina:

- 1.- En las figuras 6 y 7 se puede apreciar los sistemas de potencia y variador de velocidad de la banda utilizados.
- 2.- En la figura 8 se encuentra el sistema de pre-tensión de la banda, el cual mediante un resorte mantiene el sistema trabajando a tensión para que la banda pueda realizar el trabajo de súper-acabado.

### 3.1 Sistema de potencia y variador de velocidad

Para transferir el torque necesario a la polea transmisora, se utiliza un motor eléctrico trifásico de 1.5 Hp que gira a 1750 RPMs capaz de transformar la energía eléctrica con la cual se alimenta en energía mecánica. (WEG, 2014)



Figura 6 Motor 1.5 HP

Para controlar la velocidad de corte óptima de la banda de lija que presenta el fabricante, el diseño incluye un variador de frecuencia el cual es un dispositivo electrónico, que permite el control completo de motores eléctricos de inducción; los hay de c.c. (variación de la tensión), y de c.a. (variación de la frecuencia); los más utilizados son los de motor trifásico de inducción y rotor sin bobinar (jaula de ardilla). También se les suele denominar inversores (inverter) o variadores de velocidad. (Sevillano, 2010). Su principio de funcionamiento para variar la velocidad de rotación del motor, se basa en....



Figura 7 Variador de frecuencia

### 3.2 Sistema de Pre-tensión de la banda

La banda del sistema porta-bandas, cuenta con dos poleas principales (alternativamente, se puede usar tres), las mismas que se disponen alineadas y separadas aproximadamente 30 cm. La posición de la polea del extremo superior puede variarse para aplicar tensión previa en la banda, afín de que ésta no se deslice fuera del sistema, y puede producir un corte sobre la superficie de la pieza a rectificar. El posicionamiento de la polea superior, controla la tensión de la deformación sobre un resorte que empuja la polea superior sobre la banda aplicando una fuerza de pre-carga.



Partiendo del esfuerzo sugerido para la pre-tensión de la banda, el cual oscila entre 5 y  $5.6 \frac{kg}{cm^2}$ , dato proporcionado por el proveedor FANDELI; se puede calcular la fuerza que se debe emplear para que la banda se encuentre lo suficientemente tensionada para lograr que trabaje óptimamente. (Contreras, 2014)

Con el esfuerzo como dato y conociendo la sección transversal de la banda de lija, se puede obtener la fuerza que actúa en el sistema para calcular la constante “k” del resorte que va a tensar a la banda en condiciones iniciales con parámetros de velocidad inicial  $V_i = 0$  (cuando el motor se encuentre apagado).

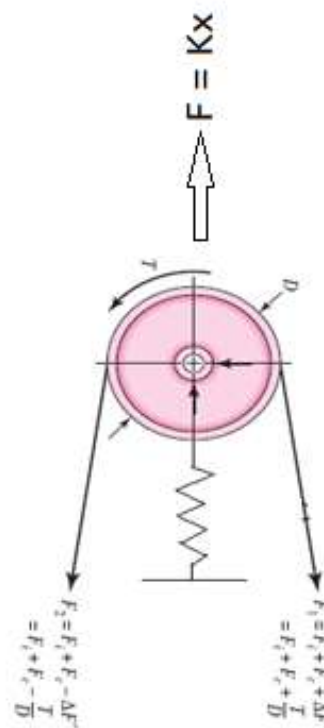


Figura 8 Sistema de tensión de la banda

El cálculo de la constante “k” del resorte se presenta en la sección 4.3.

### 3.3 Requerimientos de las bandas para lograr un súper- acabado

La variedad de bandas de lija que se puede encontrar en el mercado es muy amplia y depende directamente para la aplicación que se necesite; de esta manera guiados por la necesidad de brindar un súper-acabado a las piezas, se opta por utilizar lijas que importa la marca FANDELI con las que se busca cumplir el requerimiento de trabajo de la máquina.

#### 3.3.1 Material de la banda

La máquina de súper-acabados utiliza bandas provistas por la empresa FANDELI, las mismas que están fabricadas con tela tejida logrando una configuración cuadrículada. En una de las caras de la tela se encuentran posicionados diferentes tipos de granos abrasivos de varios espesores, los cuales realizan el trabajo de corte sobre la superficie a pulir. Existen 3 tipos de materiales con los que se fabrican las lijas base. (Contreras, 2014)

- 100% Algodón
- Poli algodón
- 100% Poliéster

Existen tres tipos de normas para la graduación de las lijas, las cuales con diferente nomenclatura pueden llegar a ser equivalentes entre sí. Las normas son ANSI, FEPA y JIS. Estas normas nos indican el número de granos que posee la lija en una pulgada cuadrada. Los minerales de los granos pueden ser de cuatro tipos: carburo de silicio, oxido de aluminio, alúmina Zirconia, o un abrasivo cerámico. (FANDELI, 2013)

### 3.3.2 Ensayos de tensión en las bandas (esfuerzo-deformación)

Se realizaron ensayos de tracción a las bandas de lija que utiliza la máquina de súper-acabado, utilizando una máquina Tinius Olsen que permite realizar ensayos de tensión y compresión obteniéndose la curva de esfuerzo vs deformación como se muestra en la FIG. 9 de una sección de lija JF88 de numeración P100 con dimensiones de 60 mm de largo, 56 mm de ancho y espesor 0.8 mm, la cual fue sometida a tracción.



Figura 9 Diagrama esfuerzo-deformación de la banda de lija

El análisis arrojó varios resultados de la lija que se muestran en la figura 10. Entre los cuales se observa el esfuerzo último de la banda que es de  $5.14 \frac{kg}{mm^2}$  que equivale a 50.44 MPa (Fig. 10).

Tomando en cuenta que el fabricante Fandeli recomienda que la lija no sea sometida a un esfuerzo mayor de entre 5 y  $5.6 \frac{kg}{cm^2}$ . Se trabaja con los datos de la zona elástica que varían

aproximadamente entre 5 y 16 MPa de la figura 10 (zona amarilla).

Escogiendo un dato que se encuentre en este rango, como 8MPa que es equivalente a  $81.5 \frac{kg}{cm^2}$ ,

Este valor es mayor que el que recomienda el fabricante, por lo cual podemos notar el

alto porcentaje de seguridad que se maneja para asegurar la resistencia de las lijas.

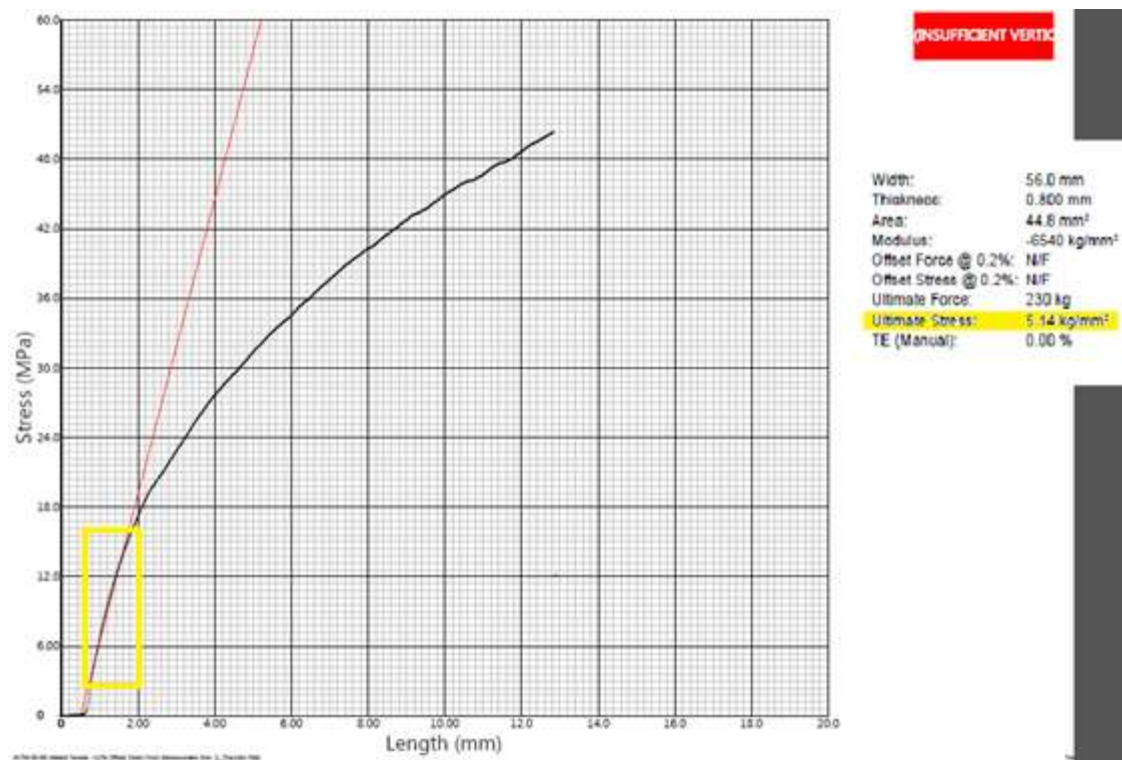


Figura 10 Curva esfuerzo vs longitud de la banda de lija

No se recomienda trabajar la banda con un esfuerzo de tensión alto, debido a que esto haría que la configuración de granos de lija por pulgada cuadrada cambien y el rayado de la lija sobre una superficie ya no sea el mismo.

### 3.3.3 Métodos y pasos para la utilización de las bandas

Existen diferentes tipos de granos que pueden configurar la estructura de las lijas. La selección del tipo de lija que se requiere utilizar depende de la superficie con la que se va a trabajar. Como se citó anteriormente el grano se refiere al número de partículas abrasivas contenidas dentro de una zona de una pulgada cuadrada de la superficie de la lija. Cuanto menor sea el número de partículas, más abrasivo será el papel de lija” (Miceli, 2014).

La secuencia de aplicación de las lijas va de un grano mayor a un grano menor, con el objetivo de ir borrando los rayones que la lija anterior dejó. Conociendo que las lijas vienen en granos de 20 en 20, se recomienda no trabajar con lijas de numeración seguida, sino saltar 1 o 2 grados máximo; pero nunca saltar 3 entre una y otra lija. Por ejemplo si se comienza con un paso de lija “80”, el siguiente paso deber ser de numeración “120” o “140”, pero no una lija “100” o “160” (Contreras, 2014)

Una vez colocada la banda en la máquina de súper-acabado, la presión de la rueda transmisora que acarrea la banda de lija sobre la pieza rotatoria a trabajar, deber ser mínima, logrando un roce tal que los granos de la lija no deformen a la pieza y se conserve la geometría original de la pieza.

### 3.6 Velocidades de corte recomendadas por el fabricante

Con la ayuda del fabricante de bandas, se utiliza referencialmente las velocidades de corte óptimas para el proceso de rectificado y pulido fino que oscila entre 1200 y 2400 m/min. Velocidad que dependerá del material a trabajar, especificando velocidades mínimas,

óptimas y máximas para el proceso, Fig. 12 (FANDELI, 2013) Estas velocidades de corte son parámetros que ayudan a determinar las revoluciones por minuto a las que debe girar el motor junto a las revoluciones a las que debe girar la pieza, para determinar una velocidad relativa lineal entre estos dos elementos para poder dar el súper-acabado deseado.

**Velocidades de Corte recomendadas para diferentes superficies.**

BANDA	MATERIAL	Velocidad Recomendada (m/min)		
		MINIMA	OPTIMA	MAXIMA
Angosta	Maderas sólidas duras	800	1200	1400
Angosta	Maderas sólidas suaves	600	900	1400
	Chapas			
Angosta	Stroke Sander de palanca	600	900	1200
Angosta	Lijadora de Platina	350	600	700
Angosta	Lijadora de Zapata	350	500	700
Angosta	Lacas en general	300	500	800
Angosta	Nitro celulosa	120	300	800
Angosta	Poliéster claro	120	300	500
Angosta	Poliéster pigmentado	400	600	1000
Angosta	Acrílico pigmentado	350	600	1000
Angosta	Laca ácida cuadrada	700	700	1000
Ancha	Madera sólida	700	1200	1500
Ancha	Chapas	600	1200	1500
Ancha	Triplay	800	1200	1500
Ancha	Sellador	500	500	600
Ancha	M.D.F.	1000	1500	1500
Ancha	Tablero de fibra	1400	1500	1500
Ancha	Melamina	600	700	1500
Ambas	Acero al carbón	1800	2100	2300
Ambas	Acero forjado	1200	1800	1800
Ambas	Acero inoxidable	1200	1800	1800
Ambas	Fundición gris	1800	2100	2400
Ambas	Cobre y broce	1800	2100	2400
Ambas	Aceros cementados	1000	1300	1800
Ambas	Titanio (ayuda de corte seco)	240	500	700
Ambas	Titanio (ayuda de corte húmedo)	600	700	900
Ambas	Aluminio de fundición	1800	2100	2400
Ambas	Vidrio	500	800	1100
Ambas	Vidrio emplomado	900	1200	1500
Ambas	Cerámica	600	800	1000
Ambas	Cuero, Hule, Corcho, Fieltro	1200	1500	1800
Ambas	Duroplastic	1100	1300	1500
Ambas	Plástico (corte seco)	350	600	700
Ambas	Plástico (corte húmedo)	500	900	1100

Figura 11 Velocidades de corte para productos Fandeli

## **4. Capítulo IV: Diseño y cálculos**

### **4.1 Diseño**

Basándose en diseños de máquinas ya existentes en el mercado, se realiza un diseño CAD utilizando el software Inventor para la máquina de doble propósito capaz de proporcionar a piezas rotacionales un súper-acabado superficial.

#### **4.1.1 Descripción del diseño de la máquina de súper - acabados**

La primera fase, trabaja solo con dos poleas y una banda de lija acorde a las dimensiones del primer modelo como se muestra en la Fig.12. La polea con diámetro mayor está alineada con el eje longitudinal del torno, pues esta polea va a ser la que entre en contacto con la superficie de la pieza que rota en el torno para su primera fase de pulido. Se definen también diferentes ángulos de contacto, que varían dependiendo de los diámetros de las piezas que se van a pulir.



Figura 12 Ensamble primera fase (dos poleas)

La segunda fase, utiliza 3 poleas como se muestra en la Fig.13. Una polea extra se incluye al sistema, para lograr tener una superficie de contacto formada entre la polea de diámetro mayor y una de las de diámetro menor. De esta manera la banda de lija va realizando el trabajo y dando un súper-acabado a la pieza con las bandas de lija y posteriormente para culminar el proceso, una banda de tela o felpa da el último paso, junto a una pasta abrasiva para pulir superficies y obtener un acabado tipo espejo.





Figura 13 Ensamble segunda fase (tres poleas)

#### 4.1.2 Funcionamiento de la máquina de súper acabados

El primer paso es posesionar la banda de lija en la máquina, con la ayuda del sistema de resorte que nos ayuda para que la banda tenga una tensión inicial antes de empezar a trabajar como se muestra en la Fig.14. Posteriormente se ubica toda la estructura en el carro de desplazamiento de un torno industrial; tomando en cuenta la alineación que debe tener la polea de diámetro mayor con la pieza rotacional que va a ser trabajada, se acerca la maquina hasta que la porción de banda de lija que está en la “polea D”, entre ligeramente en contacto con la pieza que se desea pulir.



Figura 14 Ensamble de máquina de súper-acabados

## 4.2 Diseño crítico

El diseño de bandas abiertas se muestra en la Fig. 15 obtenida del libro de Shigley et al. (Shigley, Mischke, & Budynas, 2004)

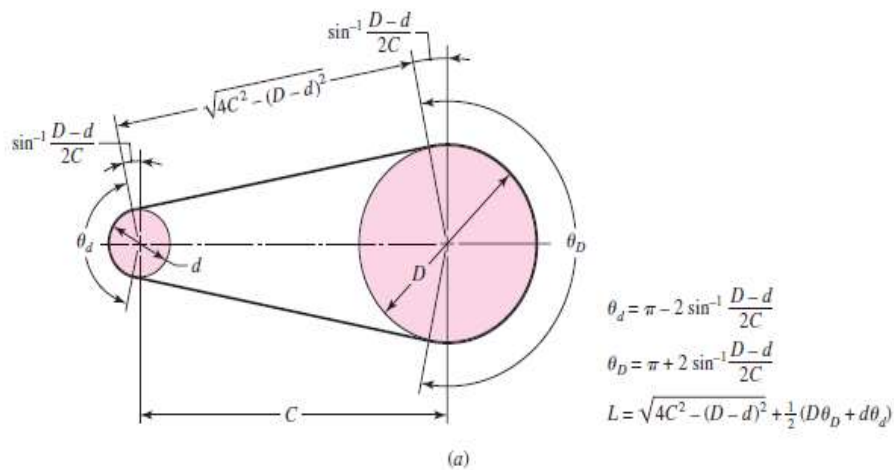


Figura 15 Sistema de bandas abiertas

Partiendo de este diseño se realizan los cálculos con los siguientes datos iniciales que se muestran en la tabla 4 y los datos de algunas propiedades necesarias obtenidas de Shigley et al (Shigley, Mischke, & Budynas, 2004), como se muestra en la tabla 5.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Polea <b>D</b>	200 mm.
Polea <b>d1</b> & <b>d2</b> -flotante	80 mm.
Longitud <b>C</b>	585 mm.
Potencia del Motor	1.5 HP
Velocidad angular	1750 rpm
Velocidad de corte recomendada	1800 m/min

Tabla 4 Datos iniciales

Material	Specification	Size, in	Minimum Pulley Diameter, in	Allowable Tension per Unit Width at 600 ft/min, lbf/in	Specific Weight, lbf/in <sup>3</sup>	Coefficient of Friction
Leather	1 ply	$t = \frac{11}{64}$	3	30	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{13}{64}$	$3\frac{1}{2}$	33	0.035-0.045	0.4
	2 ply	$t = \frac{18}{64}$	$4\frac{1}{2}$	41	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{20}{64}$	6 <sup>a</sup>	50	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{22}{64}$	9 <sup>a</sup>	60	0.035-0.045	0.4
Polyamide <sup>b</sup>	F-0 <sup>c</sup>	$t = 0.03$	0.60	10	0.035	0.5
	F-1 <sup>c</sup>	$t = 0.05$	1.0	35	0.035	0.5
	F-2 <sup>c</sup>	$t = 0.07$	2.4	60	0.051	0.5
	A-2 <sup>c</sup>	$t = 0.11$	2.4	60	0.037	0.8
	A-3 <sup>c</sup>	$t = 0.13$	4.3	100	0.042	0.8
	A-4 <sup>c</sup>	$t = 0.20$	9.5	175	0.039	0.8
	A-5 <sup>c</sup>	$t = 0.25$	13.5	275	0.039	0.8
Urethane <sup>d</sup>	w = 0.50	$t = 0.062$	See	5.2 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
	w = 0.75	$t = 0.078$	Table	9.8 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
	w = 1.25	$t = 0.090$	17-3	18.9 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
	Round	$d = \frac{1}{8}$	See	8.3 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{16}$	Table	18.6 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{4}$	17-3	33.0 <sup>e</sup>	0.038-0.045	0.7

Tabla 5 Tabla de las propiedades de los materiales de bandas planas y redondas

De esta tabla del libro de Shigley se extraen los datos que se muestran en la tabla 6, que se va a utilizar para este utilizar, considerando que la banda utilizada es similar a la Polyamide F-2 (usar tabla 5):

<b>Peso específico:</b>	$\gamma = \frac{0.051 \text{ lbf}}{\text{in}^3} \rightarrow 1411.68 \text{ kgf/m}^3$
<b>Espesor de la banda (t):</b>	$t = 0.07 \text{ in} \rightarrow 1.778 \text{ mm}$
<b>Diámetro mínimo de la polea:</b>	$d = 2.4 \text{ in} \rightarrow 60.96 \text{ mm}$
<b>Tensión permitida (pre-carga):</b>	$60 \frac{\text{lb}}{\text{in}} \rightarrow a \ 600 \frac{\text{ft}}{\text{min}}$

Tabla 6 Datos necesarios para los cálculos

#### 4.2.1 Cálculo de la velocidad angular de la polea transmisora (D)

A partir de la ecuación 3, calculamos la velocidad angular en (RPM-revoluciones por minuto) necesarias para que la banda trabaje adecuadamente.

$$\omega = \frac{V_T}{\pi \emptyset}$$

Ecuación 3 Calculo de la velocidad angular

Donde:

$\omega$  = la velocidad angular.

$V_T$  = la velocidad de corte recomendada por el fabricante.

$\emptyset$  = diametro de la polea mayor D.

Calculando:

$$\omega = \frac{1800 \text{ (m/min)}}{\pi (0.2\text{m})}$$

$$\omega = 2864.78 \left( \frac{\text{rad}}{\text{min}} \right) \left[ \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \right] = \mathbf{455.94 \text{ rpm}}$$

#### 4.2.2 Cálculo de los ángulos de contacto entre la banda y las poleas

Basado en el modelo empleado para bandas abiertas, se pueden definir los ángulos de contacto. (Shigley, Mischke, & Budynas, 2004)

- Para la polea impulsada

$$\theta_d = \pi - \left[ \frac{D-d}{2C} \right]$$

*Ecuación 4 Ángulos de contacto*

Donde:

$\theta_d$  = ángulo de contacto entre la polea de diámetro menor y la banda.

Calculando  $\theta_d$  *obtenemos*:

$$\theta_d = \pi - \left[ \frac{0.2 - 0.08}{2(0.585)} \right]$$

$$\theta_d = 180^\circ - [5.886^\circ] = 174.11^\circ * \left[ \frac{2\pi \text{ rad}}{360^\circ} \right]$$

$$\theta_d = 3.038 \text{ rad}$$

- Para la polea impulsora calculamos  $\theta_D$ .  $\theta_D = \pi + \left[ \frac{D-d}{2c} \right]$

Donde  $\theta_D$  = el ángulo de contacto entre la polea de diámetro mayor y la banda.

Calculando  $\theta_D$  obtenemos:

$$\theta_D = \pi + \left[ \frac{0.2 - 0.08}{2(0.585)} \right]$$

$$\theta_D = 180^\circ + [5.886^\circ] = 185.88^\circ * \left[ \frac{2\pi \text{ rad}}{360^\circ} \right]$$

$$\theta_D = 3.24 \text{ rad}$$

### 4.2.3 Cálculo de la longitud de banda necesaria para el sistema

Para obtener la longitud de la banda (L) de lija se emplea la ecuación de la figura 15 y los datos de la tabla 6.

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d)$$

*Ecuación 5 Longitud de la banda*

Calculando:

$$L = [4(0.585 \text{ m})^2 - (0.2 - 0.08\text{m})^2]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2}(0.2\text{m} * 3.24 + 0.08\text{m} * 3.038)$$

$$L = (1.16 \text{ m}) + (0.44552 \text{ m})$$

$$L = 1.6093 \text{ m}$$

### 4.2.4 Cálculo del exponencial dependiente de la fuerza de fricción

Se calcula el factor  $\exp(f\varphi)$  que va a depender de la geometría del diseño y la fricción de la transmisión de la banda (Shigley, 2004)

$$\exp(f\varphi)$$

*Ecuación 6 Exponencial dependiente de la geometría y la fricción*



Donde:

$f$  = coeficiente de fricción (dato de la tabla).

$\varphi$  = ángulo de contacto entre la banda y la polea de diámetro mayor.

Calculando:

$$\exp(f\varphi) = \exp[(0.5)(3.24)] = 5.05$$

#### 4.2.5 Cálculo de la velocidad de corte

Recordando que la velocidad recomendada por el fabricante es:

$$V = 1800 \left( \frac{m}{min} \right) * \left[ \frac{1min}{60s} \right] = 30 (m/s)$$

Esta velocidad es la velocidad relativa de corte que se debe obtener en el punto de contacto entre la velocidad tangencial a la que gira la pieza rotacional en el torno y la velocidad tangencial a la que gira la polea de diámetro mayor de la máquina (equivalente a la velocidad de la banda). Las velocidades del torno (tabla 7) y las velocidades que permite el variador de frecuencia para la polea (tabla 8) son:

rpm torno	V m/min
103	228
136	403
172	380
273	604

Tabla 7. Velocidades óptimas del torno para rectificado

HZ	RPM rectific	V rectificador
		m/min
5	145	598
10	291	1197
15	437	1796
20	583	2395
25	729	2993
30	875	3592
35	1020	4191
40	1166	4790
45	1312	5388
50	1458	5987

55	1604	6586
60	1750	7185

Tabla 8. Relación de equivalencia entre HZ y RPM del motor de la máquina de súper-acabados

Conociendo el concepto de velocidad relativa, se puede variar los sentidos de rotación entre el torno y la polea de diámetro mayor, de tal manera que si las dos tienen el mismo sentido en el punto de corte, las velocidades se restan, mientras que si las dos giran en sentidos contrarios las velocidades se suman para obtener la velocidad relativa (velocidad del corte).

$$V_{rel} = V_{rectificador} \pm V_{torno} .$$

*Ecuación 7 Calculo de velocidad relativa*

#### 4.2.6 Cálculo del peso específico de la banda

El peso de un metro de banda está dado en términos del peso específico dado en  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$  de la

tabla 6 (Shigley, 2004)

$$W = \gamma b t$$

*Ecuación 8 Calculo del peso de la banda por unidad de longitud*

Donde:

W= peso específico de la banda

b= es la sección transversal de la banda

t= es el espesor de la banda.

$\gamma$  = es el peso específico de la banda (Tabla MM)

Calculando:

$$W = \left[ 1411.68 \frac{kg}{m^3} \right] [0.08m] [1.778E^{-3}m]$$

$$W = 0.2 (kgf/m)$$

#### 4.2.7 Cálculo de la fuerza centrífuga

La polea transmisora (D) imprime una fuerza centrífuga sobre la banda, que es generada por el motor y el torque aplicado a dicha polea.

$F_c \rightarrow$  Tensión de arco debido a la fuerza centrífuga

$$F_c = \frac{W}{g} [V]^2$$

*Ecuación 9 Calculo de la fuerza centrífuga*

Donde:

$F_c \rightarrow$  Tensión de arco debido a la fuerza centrífuga

g= la gravedad

V = la velocidad lineal

Calculando:

$$F_c = \frac{0.2(kgf/m)}{9.8 (m/s^2)} [32.89 (m/s)]^2$$

$$F_c = 0.020408 \frac{kgf * s^2}{m^2} * \left[ 1081.72 \frac{m^2}{s^2} \right]$$

$$F_c = 22.08 \text{ kgf} \rightarrow 216.35 \text{ (N)}$$

#### 4.2.8 Cálculo del torque

Para el cálculo de torque, se usa la ecuación siguiente:

$$T = \frac{H_{nom} k_s n_d}{n}$$

*Ecuación 10 Calculo del Torque*

Donde:  $k_s \rightarrow$  *Medium shock (Torque normal)* Factor que establece el tipo de contacto

entre la rueda y la banda.

Datos conocidos y de tablas:

$$k_s = 1.2 \text{ to } 1.4$$

$$n = \text{velocidad angular} = 500 \text{rpm}$$

$H_{nom} = \text{potencia nominal del motor} = 1.5 \text{ hp}$

$n_d \rightarrow \text{factor de seguridad}$

$$n_d = 1.1$$

Resolviendo unidades:

$$H_{nom} = 1.5 \text{HP} \left[ \frac{75 \text{ kgf} * \left(\frac{\text{m}}{\text{s}}\right)}{1 \text{HP}} \right] = (112.5 \text{ kgf} * \frac{\text{m}}{\text{s}})$$

$$w = 455.94 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \left[ \frac{1 \text{min}}{60 \text{ s}} \right] * \left[ \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} \right] = 47.76 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

Con la ayuda de la ecuación 10 se calcula el torque:

$$T = \frac{\left(112.5 \text{ kgf} * \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (1.4) (1.1)}{47.76 \frac{\text{rad}}{\text{s}}} = 3.628 \text{ (kgf} * \text{m)}$$

$$T = (3.628 \text{ (kgf} * \text{m)}) * \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$T = 35.55 \text{ (N} * \text{m)}$$

### 4.2.9 Cálculo de las fuerzas de la banda que actúan en el sistema

En la figura 15 (Shigley, Mischke, & Budynas, 2004), se encuentra el diagrama de cuerpo libre para una parte de la polea transmisora y una sección de la banda. En donde se localiza  $F_1$  que refiere a la tensión del lado tenso. Mientras que  $F_2$  hace referencia a la tensión del lado holgado.

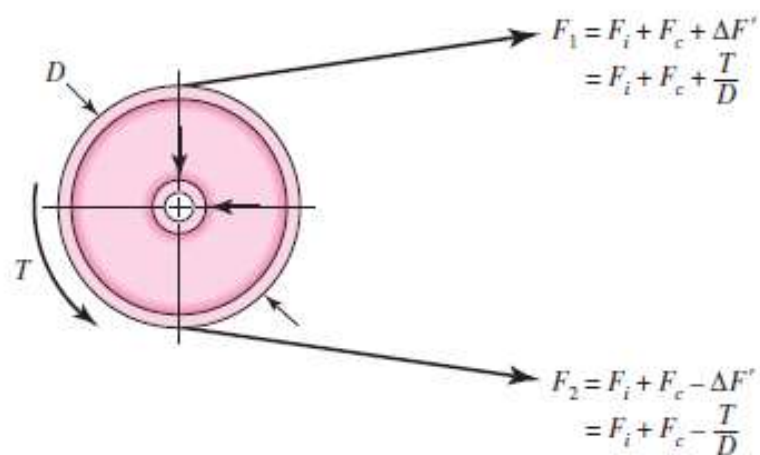


Figura 16 Diagrama de cuerpo libre del sistema

**Donde:**

$F_i =$  Tensión inicial o pre-carga

$F_c =$  Tensión de arco debida a la fuerza centrífuga

$\Delta F'' =$  Tensión debida al par de torsión que se transmite (torque)

$D =$  diámetro de la polea mayor

Entonces:

$$F_1 = F_i + F_c + \Delta F'' = F_i + F_c + \left(\frac{T}{D}\right)$$

$$F_2 = F_i + F_c - \Delta F'' = F_i + F_c - \left(\frac{T}{D}\right)$$

Donde  $F_1$  corresponde a la tensión en la banda en el lado que corta.

Podemos relacionar  $F_1$  y  $F_2$  con el torque de la polea y obtenemos la siguiente ecuación:

$$F_1 - F_2 = \frac{2T}{D}$$

Sumando algebraicamente las ecuaciones anteriores tenemos:

$$F_i = \frac{F_1 + F_2}{2} - F_c$$

Con la cual se obtiene la siguiente ecuación

$$F_i = \frac{T}{D} \frac{\exp(f\varphi)+1}{\exp(f\varphi)-1}$$



Calculando:

$$F_i = \frac{35.55 \text{ (N}\cdot\text{m)}}{0.2 \text{ (m)}} \frac{(5.05)+1}{(5.05)-1}$$

$$F_i = 265.52 \text{ N}$$

Con la ayuda de la ecuación 11 obtenemos algebraicamente la siguiente ecuación

$$F_1 = F_c + F_i \frac{2 \exp(f\varphi)}{\exp(f\varphi)+1}$$

*Ecuación 12 Tensión de arco debida a la fuerza centrífuga*

Calculando:

$$F_1 = 216.35 \text{ (N)} + 245.64 \text{ (N)} \frac{2 (5.05)}{(5.05) + 1}$$

$$F_1 = 641.45 \text{ (N)}$$

Ahora utilizando las ecuaciones anteriores definimos la tensión del lado holgado de la banda.

$$F_2 = F_c + F_i \frac{2}{\exp(f\varphi)+1}$$

*Ecuación 13 Cálculo de la tensión en el lado holgado*

$$F_2 = 216.35 \text{ (N)} + 245.64 \text{ (N)} \frac{2}{(5.05) + 1}$$

$$F_2 = 297.55 \text{ (N)}$$

### 4.3 Cálculos para el sistema de tensión de la banda

Para obtener la constante K del resorte tenemos el siguiente diagrama:

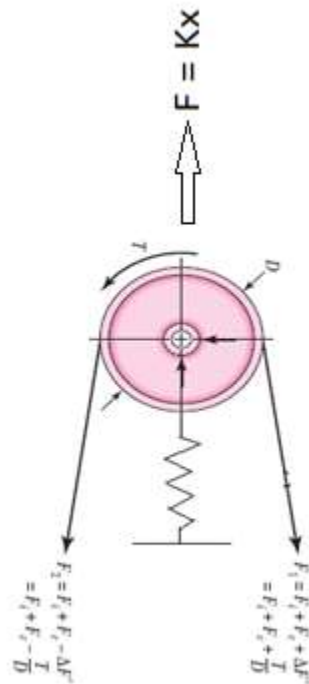


Figura 17 Esquema del sistema de Tensión de la máquina

El esfuerzo máximo que soporta la banda (recomendada por el fabricante) es de 5 a  $5.6 \frac{kg}{cm^2}$

El área transversal para la banda será de:

$$A = t * l = 0.6(mm) * 80(mm) = 48 mm^2$$

$$A = 0.48 cm^2$$

$$F = \sigma * A$$

*Ecuación 14 Fuerza aplicada*

Donde:

A = el área transversal

$\sigma$  = el esfuerzo máximo

Calculando:

$$F = \sigma * A = 5.6 \frac{kgf}{cm^2} * 0.48 (cm^2)$$



$$F = 2.69 \text{ kgf} * 9.8 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)$$

$$F = 26.34 \text{ (N)}$$

Fuerza de pre carga sugerida.

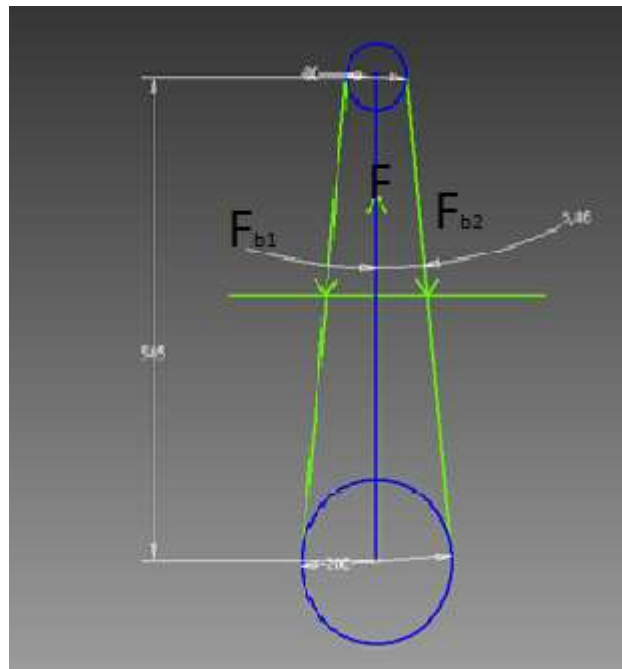


Figura 18 Sumatoria de fuerzas del sistema

Para  $\theta = 5.86$  y

$$F_{y2} = F_{b2} * \cos \theta$$

$$F_{y1} = F_{b1} * \cos \theta$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F - F_{y1} - F_{y2} = 0$$

$$F - F_{b2} * \cos \theta - F_{b1} * \cos \theta = 0$$

Calculando:

$$F = 297.55 * \cos(5.86) + 641.45 * \cos(5.86)$$

$$F = 271.3 + 584.86$$

$$F = 856.16 \text{ (N)}$$

Para hallar la  $k_{teorica}$  del resorte tenemos:

$$F - F_{b2} * \cos \theta - F_{b1} * \cos \theta = 0$$

$$k * x - F_{b2} * \cos \theta - F_{b1} * \cos \theta = 0$$

Donde:

x= el valor que se comprime el resorte (en este caso 85mm.)

Calculando:

$$k * (0.085m) - 271.3 - 584.86 = 0$$

$$k = \frac{856.16}{0.085} = 10070 \left( \frac{N}{m} \right) \approx 10 \left( \frac{kN}{m} \right)$$

#### 4.4 Calculo experimental de la constante del resorte que utiliza la máquina de súper-acabado

Mediante la ley de Hooke que se muestra en la ecuación 15 y los datos obtenidos experimentalmente se calcula la constante que tiene el resorte que va a trabajar en la máquina.

$$F = -k_{exp} \delta$$

*Ecuación 15 Ley de Hooke*

Masa (kg)	Fuerza (N)	Desplazamiento (m)
5	49	0,004
8	78,4	0,01
13,7	134,26	0,018
21	205,8	0,029

*Tabla 9 Tabla de las propiedades del resorte a utilizar*

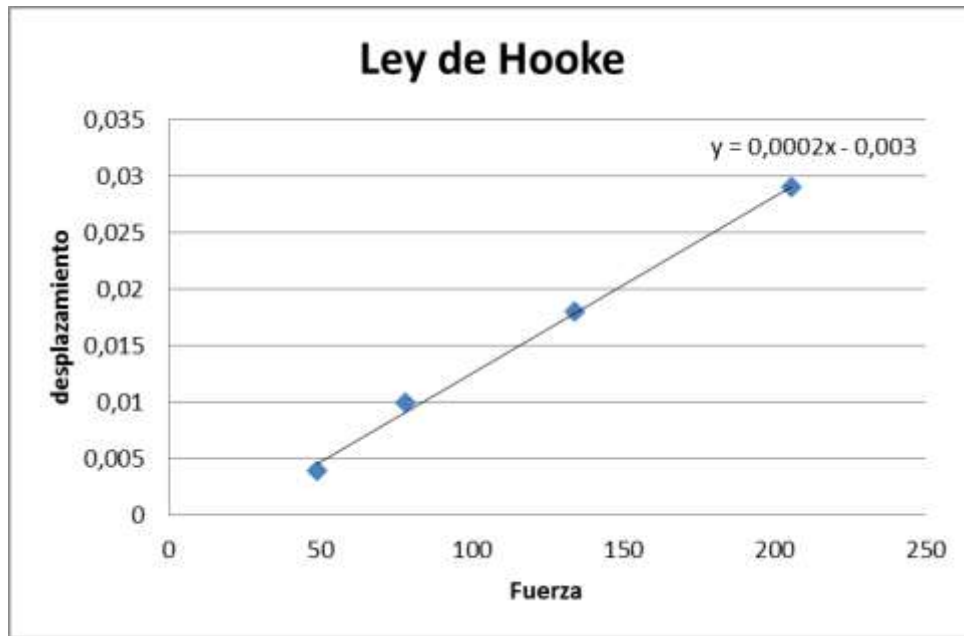


Figura 19 Desplazamiento Vs Fuerza del resorte

Utilizando los datos de desplazamiento y fuerza de la figura 19, se calcula una constante para el resorte de 5 (kN/m). El mismo que se coloca dentro de un eje que lo va a mantener trabajando a compresión, para que la banda se mantenga tensa mientras trabaja como se muestra en la Fig. 20.

Este resorte equivale a la mitad del valor requerido teóricamente. Se concluye que funciona bien en el sistema debido a que para los cálculos se utilizan las cargas y fuerzas máximas que puede soportar el sistema, así como datos establecidos en tablas, los cuales se asemejan al diseño de la máquina LAD-1 (figura 20) pero no son iguales.



Figura 20 Ensamble del sistema de resorte

#### 4.5 Calculo de la frecuencia natural del Sistema

Considerando el sistema de la figura 20 como un sistema masa resorte, se calcula la frecuencia natural del sistema.

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Ecuación 16 Calculo de la frecuencia natural del sistema

Donde:

$\omega$  = Frecuencia natural

$k$  = Constante del resorte

$m$  = masa del sistema



Calculando:

$$\omega = \sqrt{\frac{5000}{10}} = 22.36 \frac{\text{rad}}{\text{seg}}$$

$$\omega = 22.36 \frac{\text{rad}}{\text{seg}} \rightarrow \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} = 3.7 \text{ Hz} \approx 4 \text{ Hz}$$

La frecuencia natural del sistema son 4 Hz; considerando que la maquina trabaja a las frecuencias de oscilación que se muestran en la tabla 19 que van de entre 18.8 a 31.3 Hz se puede deducir que el sistema no va a entrar en resonancia.

#### 4.6 Valoración del coeficiente de fricción

Se determina el coeficiente de fricción para determinar si va a existir deslizamiento.

$$f^r = \frac{1}{\varphi} \ln \frac{(F_1)_a - F_c}{F_2 - F_c}$$

*Ecuación 17 Calculo de la fuerza de fricción*

Donde:

$f^r$  = coeficiente de fricción real

Calculando:

$$f' = \frac{1}{3.038} \ln \frac{(653.05 - 216.35)}{(208.61 - 216.35)}$$

$$f' = 0.3552$$

El valor del coeficiente de fricción de la tabla es  $f = 0.5$

Tenemos que  $f' < f \rightarrow$  Por este motivo se deduce que no hay peligro de deslizamiento.

#### 4.7 Valoración del factor de seguridad

Se calcula la potencia nominal con la siguiente ecuación:

$$H_{nom} = \frac{H_d}{k_s * n_d}$$

Ecuación 18 Calculo de la potencia nominal

Donde:

$H_{nom}$  = Potencia nominal del sistema

Calculando:

$$H_{nom} = \frac{1.5}{1.2 * 1.1} = 1.13HP$$

Tenemos que:

$$H_d > H_{nom}$$

Para verificar el factor de seguridad tenemos la siguiente ecuación:

$$n_{fs} = \frac{H_d}{H_{nom} k_s}$$

*Ecuación 19 Calculo del factor de seguridad*

Donde:

$n_{fs}$  = al factor de seguridad real.

$H_d$  = potencia real.

Calculando:

$$n_{fs} = \frac{1.5}{1.13 * 1.2} = 1.1$$

## 5. Capítulo V: Manufactura de piezas

Las piezas de la máquina de súper-acabados fueron manufacturadas localmente en el país, utilizando las instalaciones del taller mecánico de la USFQ, Alfiza e Imetca. Con la ayuda de cálculos y el diseño previo se designó los tamaños de las piezas a construir. Respetando factores esenciales de ajustes, tolerancias y concentricidad de las piezas se logró que la máquina sea funcional y logre dar un súper-acabado a las piezas que se trabajan con esta.

La figura 21 se muestra el diseño final de la máquina con todos sus componentes manufacturados; a excepción del motor, rodamientos, resorte, pernos, tuercas y rodela que se los consiguió por separado en el mercado local.



Figuran 21 Componentes de máquina de súper-acabados

## 5.1 Maquinado de poleas

El diseño de la máquina consta de tres poleas de aluminio. Dos con diámetro de 52 mm. Con un agujero pasante en el centro y dos agujeros con ajustes para colocar rodamientos a sus extremos como se muestra en la fig. 22. Una tercera polea de diámetro 180mm. Es la que se encarga de transmitir el torque; posee un agujero pasante con chavetero y un vaciado para disminuir su peso; además posee dos perforaciones para colocar prisioneros y asegurar la sujeción de la polea al eje del motor como se muestra en la Fig. 23. Las tres poleas fueron maquinadas en un torno, el chavetero de la polea de diámetro mayor

fue realizado en una fresa y las perforaciones para los prisioneros se las realizo con un taladro.

Las tres poleas fueron recubiertas con caucho, utilizando un pegante especial se adhirió una capa de caucho el cual fue vulcanizado para alcanzar la dureza deseada y posteriormente fueron rectificadas.

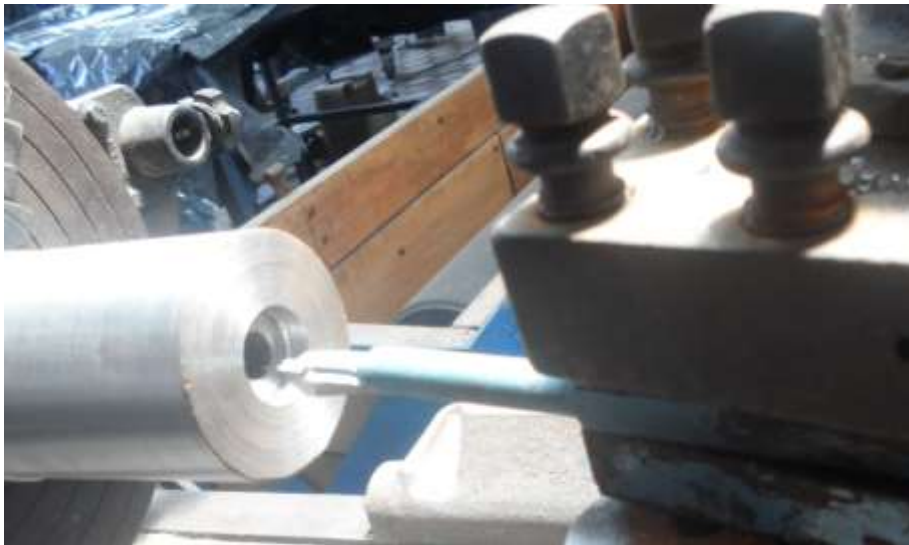


Figura 22 Maquinado polea 52mm.



Figura 23 Maquinado polea 180mm.

## 5.2 Maquinado de la camisa para el eje del motor.

El motor siemens de 1.5HP que utiliza la máquina, posee un eje de 35mm. Por lo cual se fabricó una camisa para alcanzar una mayor longitud y que pueda ser ensamblada con la polea transmisora. Se lo maquino en acero AISI 1018; como se muestra en la Fig. 24 en un torno, el agujero para la chaveta interna y externa se lo realizó en una fresa. En el extremo posee un desbaste para la colocación de una vincha de seguridad para que la polea transmisora no se salga de la camisa del eje cuando esté en movimiento.



Figura 24 Camisa para el eje del motor

### 5.3 Maquinado del eje superior para el sistema de resorte

Para la parte superior del diseño se maquinó un eje para el sistema de resorte que se ensambla a una de las poleas de diámetro=52mm. Se utilizó un acero AISI 1018 y fue manufacturada en un torno como se muestra en la fig. 25 con un extremo roscado y en el otro un desbaste que permite la colocación de una vincha de seguridad para que la polea no se salga del eje cuando se encuentre en movimiento.



Figura 25 Eje superior para el sistema de resorte



#### 5.4 Maquinado del eje para polea d2 (d=52mm.)

El diseño consta de un brazo que ayuda a la sujeción de la segunda polea de diámetro menor  $d_2=52\text{mm}$ . Esta pieza fue manufacturada en acero AISI 1018 en un torno como se muestra en la fig. 26 con sus dos extremos roscados que ayudan en la calibración de la banda para que esta no se salga de la máquina cuando esté trabajando.



Figura 26 Eje para polea d2

#### 5.5 Brazo para polea d2

En la fig. 27 se muestra una plancha de acero AISI 1018 la cual fue rectificada en ambas caras y posee agujeros realizados con un taladro de pedestal. Esta plancha sirve como sujeción para la polea d2.



Figura 27 Brazo para polea d2

## 5.6 Sistema de tensión

El sistema fue diseñado para que el resorte trabaje a tensión como se muestra en la fig. 28 y permita que la banda este siempre tensa. Ayuda también a eliminar las vibraciones que se puedan llegar a producir, logrando que la banda realice el trabajo de súper-acabado sobre la pieza que se está trabajando.



Figura 28 Sistema de tensión

### 5.6.1 Tornillos M & H

A manera de un ensamble conocido como hembra y macho, se fabricaron dos tornillos que hacen que el resorte trabaje a tensión en el sistema. Estos tornillos se fabricaron en acero AISI 1018 en un torno como se muestra en la fig. 29.



Figura 29 Tornillos H & M para sistema de tensión

### 5.6.2 Eje para sistema de tensión

El sistema de tensión de la Fig. 28, va contenido en un eje que fue fabricado en acero AISI 1018, el cual se lo realizó en un torno como se muestra en la fig. 30. Este posee un “ojo chino” en el centro que permite que el eje superior se desplace verticalmente.



Figura 30 Eje para el sistema de tensión

### 5.6.3 Sistema empuje de resorte

El sistema de tensión como ya se describió previamente trabaja a tensión. En la parte superior del eje, se diseñó un sistema a manera de gato hidráulico como se muestra en la fig. 31 que ayude a tensionar más el resorte y poder sacar y colocar las bandas con las que trabaja la máquina con más facilidad.



Figura 31 Sistema empuje de resorte

### 5.7 Planchas de soporte

El diseño consta de dos planchas que soportan todos los componentes de la máquina de súper-acabados. En la Fig. 32 se muestra la plancha que soporta el motor, la cual fue soldada a 90° al soporte principal. Esta estructura es la que se posiciona directamente en el carro de desplazamiento del torno.



Figura 32 Planchas de soporte

### 5.7.1 Soporte principal

La plancha de acero AISI 1018 que se muestra en la Fig. 33 es el soporte principal de toda la estructura. Esta plancha fue rectificada en ambas caras para que se encuentre totalmente plana. Posee varios orificios que se realizaron con un taladro de pedestal y un “ojo chino” que se lo realizo con una fresadora.



Figura 33 Soporte principal

### 5.7.2 Plancha de soporte para el motor

La plancha que se muestra en la Fig. 34 es la que soporta el motor. Fue fabricada en acero AISI 1018 y rectificada en ambas caras. Posee dos perforaciones en la base con las cuales se sujeta al carro de desplazamiento del torno. Se soldaron cuatro soportes que ayudan a que el motor este fijo a la estructura y a su vez que alcance la altura requerida según las dimensiones de un torno estándar.





Figura 34 Soporte para motor

## 6. Capítulo VI: Análisis del desempeño de la máquina y evaluación del acabado superficial

La máquina de súper-acabados, fue designada como LAD-1 como se muestra en la figura 35. En la tabla 10 se muestra los ensayos que se realizaron, especificando su material, recubrimiento superficial, pasos de lija y diámetro de cada pieza, El objetivo de variar los diámetros de las muestras es comprobar la repetitividad del proceso de súper-acabado con la máquina.

Posteriormente para cada uno se realizara un cuadro donde se muestran los valores de las rugosidades Ra y Rz obtenidas.






Descripción de la pieza	Diámetro	Pasos de Lija	Recubrimiento	Figura
Análisis de rugosidad sobre la superficie de piezas rotacionalmente simétricas con diferentes pasos de lija	1 3/4	Desde la P80 hasta la P400 y banda de tela. Por secciones	Sin cromo duro	
Eje de acero AISI 1018	8 1/2 in	Desde la P80 hasta la P400 y banda de tela.	Sin cromo duro	
Eje de acero AISI 1018	3 1/2 in	Desde la P80 hasta la P400 y banda de tela.	Sin cromo duro	
Plunger (2 fases)	2 1/4 in	Desde la P80 hasta la P400 y banda de tela.	Superficie metalizada y con cromo duro	
Rodillo cromado	5 15/16 in	Desde la P80 hasta la P400 y banda de tela.	Con cromo duro	

Tabla 10 Ensayos realizados



Figura 35 Máquina de súper-acabados LAD 1

## 6.1 Velocidad óptima de avance y pasos de la máquina sobre las superficies rotacionales

La velocidad ideal automática de avance del carro del torno es de 0.08 m/min. Velocidad obtenida experimentalmente y con la cual se garantiza que las superficies de las piezas rotacionalmente simétricas posean una rugosidad que se encuentre dentro de los parámetros del súper-acabado.

La máquina debe pasar sobre la superficie de la pieza mínimo 3 veces para garantizar que la lija raye al material de tal manera que borre las rayas causadas por la lija anterior. El número de pasos está ligado directamente a que tan dañada se encuentre la superficie a dar el

súper-acabado. Es de criterio del operario el utilizar los 3 pasos recomendados o más; considerando que la superficie que se está trabajando debe quedar rayada por cada lija de manera uniforme. En la figura 23 se puede apreciar como la superficie posee todavía rayas del paso anterior de lija, por lo que esta superficie se debe seguir siendo trabajada hasta que estas rayas sean eliminadas.



Figura 36 Superficie rayada con granos de lija

Los pasos de lija deben ser aplicados en el orden que se establece a continuación, para poder lograr que la superficie de una pieza rotacionalmente simétrica alcance un súper-acabado después de haber sido desbastada con una cuchilla:

1. Paso de lija P80.
2. Paso de lija P120.
3. Paso de lija P180
4. Paso de lija p240
5. Paso de lija P320
6. Paso de lija P400
7. Paso de banda de tela con pasta abrasiva.

## **6.2 Análisis de rugosidad sobre la superficie de piezas rotacionalmente simétricas con diferentes pasos de lija**



Figura 37 Eje de prueba segmentado con distintos terminados superficiales

Para determinar las rugosidades que se obtienen con los diferentes pasos de lija y poder demostrar como el coeficiente de rugosidad superficial va disminuyendo conforme se trabaja la superficie de las piezas con lijas de grano cada vez menores; se trabajó un eje de diámetro =  $1\frac{3}{4}$  in. Y una sección transversal de 100 cm. Dividido en segmentos de 10 cm como se muestra en la fig. 24.

Este eje se sometió a pruebas con el rugosímetro, obteniendo diferentes medidas de rugosidad como se muestran en la tabla 11.

100 mm

1	2	3	4	5	6
0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,55
0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	0,5
0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,45

Tabla 11 Mediciones de rugosidad en eje  $d=1\frac{3}{4}$  in.

En la tabla 12 se puede apreciar la rugosidad promedio (Ra) obtenida en cada una de las 6 secciones del eje así como la medida de (Rz) y adicionalmente los pasos de lija con los que se trabajó cada sección para obtener los diferentes acabados.

Sección	Lijas utilizadas (JF88)	Rugosidad Ra ( $\mu\text{m}$ )	Rugosidad Rz ( $\mu\text{m}$ )
6	P80	0,5	0.55
5	P80; P120	0,4	0.4
4	P80; P120; P180	0,32	0.35
3	P80; P120; P180;	0,28	0.3
2	P80; P120; P180; P240;	0,22	0.25

	P320		
1	P80; P120; P180; P240; P320; P400 Banda de tela y pasta abrasiva	0,12	0.15

Tabla 12 Rugosidad Ra, Rz y pasos de lija en eje  $d=1\frac{3}{4}$  in.

### 6.3 Análisis de rugosidad sobre piezas de diferentes diámetros

Para asegurar la repetitividad en los acabados superficiales de las piezas, se realizó el proceso para llegar al súper-acabado (pasos de lija desde la P80 hasta la P400 y terminando con la banda de tela y pasta abrasiva) sobre 2 ejes de distintos diámetros que en primera instancia fueron desbastados con una cuchilla de torno y posteriormente fueron trabajados con la máquina de súper-acabados.

Los resultados de las rugosidades obtenidas se las presenta a continuación independientemente para cada eje:

- Eje de diámetro =  $8\frac{1}{2}$  in





Figura 38 Eje de prueba  $d=8\ 1/2$  in.

Este eje fue sometido a un proceso completo, comenzando con un desbaste para obtener una superficie regular y posteriormente se la trabajó con la máquina de súper-acabados. Obteniendo los resultados de rugosidad que se muestran en la tabla 13.

Eje D=8 1/2	
Numero de ensayo	Rugosidad ( $\mu\text{m}$ )
1	0.2
2	0.15
3	0.2
4	0.25

Tabla 13 Mediciones de rugosidad en eje  $d=8\ 1/2$  in.

Y con la ayuda de los valores de la tabla 13. Se pueden obtener los respectivos valores de Ra y Rz, mostrados en la tabla 14.

	Valor
Ra ( $\mu\text{m}$ )	0.2
Rz ( $\mu\text{m}$ )	0.25

Tabla 14 Valores de Ra & Rz para eje  $d=8\frac{1}{2}$  in.

- Eje de diámetro =  $3\frac{1}{2}$  in



Figura 39 Eje de prueba  $d=3\frac{1}{2}$  in.

De igual manera que el eje anterior, esta muestra fue sometida a los pasos completos de la máquina de súper-acabado; logrando obtener los resultados de rugosidad que se muestran en la tabla 15.

Eje D=3 1/2	
Numero de ensayo	Rugosidad $\mu\text{m}$
1	0,2
2	0,2
3	0,25
4	0,2

Tabla 15 Mediciones de rugosidad en eje  $d=3\frac{1}{2}$  in.

Los valores de Ra y Rz para este eje se muestran en la tabla 16.

	Valor
Ra ( $\mu\text{m}$ )	0.21
Rz ( $\mu\text{m}$ )	0.25

Tabla 16 Valores de Ra & Rz para eje  $d=3\frac{1}{2}$  in.

## 6.4 Análisis del recubrimiento posterior (Cromo duro) para verificar si el terminado superficial se encuentra dentro de las tolerancias de rugosidad

- **Plunger**



Figura 40 Plunger de prueba metalizado  $d=2\frac{1}{4}$  in.

Una de las pruebas se las realizó sobre un plunger de  $d=2\frac{1}{4}$  in y una longitud transversal de  $L=32$ cm; el cual posee un recubrimiento por metalización para corregir imperfecciones superficiales y agregar espesor a su diámetro. Tomando en cuenta que el metalizado deja un terminado superficial muy poroso y lleno de rugosidades; se hizo una prueba trabajando la mitad del plunger con la máquina de súper-acabado y la otra mitad se la dejó con el terminado original después del metalizado para determinar la rugosidad en ambas partes. El plunger se sometió a un baño electrolítico en el cual se adhirió una película de cromo obteniendo los resultados de rugosidad mostrados en la tabla 17.

Plunger D=2 1/4	
Metalizado	
Numero de ensayo	Rugosidad $\mu\text{m}$
1	1,4
2	1,6
3	1,6
4	1,5

Plunger D= 2 1/4	
Metalizado & de súper- maquina acabado	
Numero de ensayo	Rugosidad $\mu\text{m}$
1	0,8
2	1
3	0,8
4	1

Tabla 17 Mediciones de rugosidad en plunger  $d=2\frac{1}{4}$  in.

Plunger D=2 1/4	
Metalizado	
Valor	
Ra ( $\mu\text{m}$ )	1.53
Rz ( $\mu\text{m}$ )	1.6

Plunger D= 2 1/4	
Metalizado & de súper- maquina acabado	
Valor	
Ra ( $\mu\text{m}$ )	0.9
Rz ( $\mu\text{m}$ )	1

Tabla 18 Valores de Ra & Rz para plunger  $d=2\frac{1}{4}$  in.

- **Rodillo Cromado**

Como prueba final de la máquina de súper-acabados, se realizó el primer trabajo de la empresa ALFIZA. Un rodillo de  $d=150$  mm y  $L= 1600$ mm. Para este trabajo se utilizaron todos los pasos de lija desde la P80 hasta la P400 y posteriormente se cromo la pieza. La pieza tenía varios cordones de soldadura muy pronunciados como se muestra en la figura 41, los cuales fueron eliminados en su totalidad al finalizar el proceso de súper-acabado. Por cuestiones de dimensión y peso del rodillo no fue posible trasladarlo hasta los laboratorios de Metrología de la ESPE para medir su rugosidad; pero basados en las pruebas ya realizadas anteriormente y observando el terminado como se aprecia en la figura 42 se puede deducir que la máquina logró dar a la pieza el súper-acabado deseado.



Figura 41 Rodillo  $d=5$  15/16 con soldadura en la superficie



Figura 42 Rodillo  $d=5 \frac{15}{16}$  in.

## 6.5 Tabla de resultado de las diferentes velocidades de corte optimas

La velocidad relativa en el punto de corte recomendada por el fabricante de las bandas de lija es 1800 m/min. Sin embargo, experimentalmente se llegó a establecer una  $V_{rel} = 2100 \frac{m}{min}$  para el pulido con las bandas desde la P80 hasta la P240. Mientras que para obtener un súper-acabado, se recomienda una  $V_{rel} = 2600 \frac{m}{min}$  Para las lijas P 320, P400 y banda de tela con pasta abrasiva. En la tabla 19 se muestran todas las velocidades, RPM, HZ y velocidades relativas de corte utilizadas en las piezas de prueba que se realizaron.

	D (in)	D (m)	$V_{\text{torno}} \text{ (rpm)}$	$V_{\text{torno}} \text{ (m/min)}$	$V_{\text{Rec}} \text{ (m/min)}$	$V_{\text{Rec}} \text{ (rpm)}$	Hz	$V_{\text{Rel}} \text{ (m/min)}$
Eje								
Pulido	8 1/2	0,215	172	730	2830	689	23,6	2100
S-A	8 1/2	0,215	273	1159	3759	915	31,3	2600
Eje								
Pulido	3 1/2	0,088	172	302	2402	585	20	2100
S-A	3 1/2	0,088	273	479	3079	750	25,7	2600
Eje								
Pulido	2 1/4	0,057	172	194	2294	559	19,2	2100
S-A	2 1/4	0,057	273	308	2908	708	24,3	2600
Plinger								
Pulido	1 3/4	0,044	172	151	2251	548	18,8	2100
S-A	1 3/4	0,044	273	239	2839	692	23,7	2600
Rodillo								
Pulido	5 15/16	0,15	172	509	2609	636	21,8	2100
S-A	5 15/16	0,15	273	808	3408	830	28,4	2600

Tabla 19 Parámetros y Velocidades de corte óptimas

$V_{\text{torno}}$  = velocidad a la que gira el torno

$V_{\text{rec}}$  = velocidad a la que gira la rueda del rectificador

$V_{\text{rel}}$  = velocidad relativa de corte

Hz = hertzio

## 6.6 Recomendaciones de Operación del Equipo.

Para la obtención de una superficie que tenga un súper-acabado, se recomienda seguir todos los parámetros, desde el posicionamiento de la máquina sobre el torno, velocidad de avance, velocidad de corte, pasos de lija, etc, guiados por un juicio crítico que depende de cómo se encuentre la pieza en primera instancia antes de ser trabajada.

Se recomienda una vez posicionada la banda de lija, prender la maquina en revoluciones bajas (que no supere los 5 Hz en el variador de frecuencia) y controlar que la banda no se salga. Los sistemas de poleas d1 y d2 deben ser calibrados independientemente



para asegurar que la banda se mantenga dentro de las poleas y realice el trabajo de súper-acabado deseado.

La banda de lija debe rozar apenas con la pieza simétricamente rotacional, asegurándonos de que no exista mucha presión en el punto de contacto, para el que ya fueron especificadas ciertas velocidades de corte, debido a que una presión excesiva de la banda en este punto; hará que la polea transmisora del torque frene su rotación, lo cual nos va a generar un vibrado en la superficie de las piezas, teniendo como resultado una superficie rotacional no uniforme. Este defecto se lo puede apreciar visualmente, pues en la superficie aparecerán marcas en forma de olas.

## 7. Capítulo VII: Conclusiones

Los objetivos propuestos al inicio del proyecto fueron cumplidos. Se diseñó, construyó y posteriormente se realizaron pruebas de una máquina rectificadora con un sistema de bandas de lija, capaz de brindar un súper-acabado a piezas rotacionalmente simétricas, obteniendo un acabado superficial que está dentro de los parámetros de calidad esperados.

Se desarrolló el modelado CAD utilizando el software INVENTOR 2015, que nos permitió establecer parámetros para el tamaño de los componentes de la máquina que se construyeron.

Como se muestra en la sección 3.3.2 se realizaron los ensayos de tensión a las bandas de lija con las que trabaja la máquina de súper-acabados. Obteniendo como resultado que el esfuerzo recomendado por el fabricante de las bandas, está dentro del rango elástico de 5 a  $5.6 \frac{kg}{cm^2}$ . El mismo que tiene un alto factor de seguridad, ya que el valor promedio de la zona elástica llega hasta  $81.5 \frac{kg}{cm^2}$ . ..

Se logró una fijación eficiente y segura de la máquina, lo cual nos garantiza que se encuentre alineada para posteriormente poder trabajar sobre cualquier torno industrial donde se la vaya a montar.

Al realizar las pruebas sobre piezas rotacionalmente simétricas con diferentes diámetros de acero AISI 1018 se obtuvieron varias mediciones de rugosidad. Teniendo en

cuenta que teóricamente un súper acabado está en el rango de  $Ra = 0.025 - 0.2 \mu m$  de rugosidad. La mejor medida se obtuvo en la muestra de diámetro =  $1 \frac{3}{4}$  in; la cual fue de  $Ra = 0.12 \mu m$ . Con lo cual se garantiza que la máquina, designada como LAD 1, brinda a las piezas rotacionalmente simétricas un súper-acabado superficial.

Se realizó el mismo procedimiento sobre 5 piezas más como se muestra en la sección 4 de análisis del desempeño de la máquina y evaluación del acabado superficial, obteniendo resultados similares que están dentro de los parámetros de súper acabado; con lo cual se comprueba la capacidad de lograr súper-acabados en piezas de diferentes diámetros, siempre y cuando se respeten los parámetros de operación de la máquina.

Adicionalmente se realizó una muestra sobre la superficie de un plunger de diámetro  $2 \frac{1}{4}$  que fue metalizado previamente como se muestra en la sección 4.4. Partiendo de que esta superficie superaba la dureza de un acero normal AISI 1018 se procedió a trabajar la mitad de la sección transversal para posteriormente cromar este eje y verificar su rugosidad. Los resultados que se obtuvieron en la parte metalizada original fueron de ( $Ra = 1.53$ ) y la parte metalizada que fue trabajada con la máquina de súper-acabados fueron ( $Ra = 0.9$ ), pese a que no están dentro del rango de un súper-acabado, nos deja como conclusión que la máquina ayuda a obtener una superficie con menos imperfecciones y variaciones en el relieve.

## Bibliografía

- ASTM. (2010, Mayo). Standard Test Method for Rubber Property—Durometer Hardness. Pensilvania, United States of America.
- Beer, F., Johnston, R., & Eisenberg, E. (2007). *Mecánica vectorial para ingenieros*. México, D.F.: Mc graw Hill.
- Cembrero, J., Ferrer, C., Guillamón, M., & Pérez, M. (2005). *Ciencia y Tecnología de materiales*. Madrid: PEARSON Educación.
- Chessin, H., Knill, E., & E. Seyb, J. (1981). *Defects in hard chromium deposits*. New Jersey: M&T Chemicals Inc.
- Collins, J., Busby, H., & Staab, G. (2003). *Mechanical Desing of Machine Elements and Machines*. United States: John Wiley & Sons, Inc.
- Contreras, G. (2014, Octubre 16). Bandas de Lija y súper acabados. (R. Vera, Interviewer)
- FANDELI. (2013). *Velocidades de Corte*. Houston TX: Nova, S.A.
- GmbH, L. (2006). *Tcnología Súeracabado*. Retrieved from Loeser.de: [http://www.loeser.de/uploads/media/sf\\_tech\\_web\\_es.pdf](http://www.loeser.de/uploads/media/sf_tech_web_es.pdf)
- Higinio, R. (n.d.). *Departamento de Ingeniería Mecánica*. Retrieved from Rugosidades Superficiales: [http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/diseno-mecanico-1/material\\_clase/ocw\\_rugosidades](http://ocw.uc3m.es/ingenieria-mecanica/diseno-mecanico-1/material_clase/ocw_rugosidades)
- López, F., Cavazos, R., & Delgado, M. (2003). *Caracterización de Superficies maquinadas por medio de parametros de rugosidad*. México: Sistemas Integrados de manufactura.
- Miceli, P. (2014, Abril 12). *Diferentes granos de papel de lija*. Retrieved from ehowenespanol.com: [http://www.ehowenespanol.com/diferentes-granos-papel-lija-info\\_237048/](http://www.ehowenespanol.com/diferentes-granos-papel-lija-info_237048/)
- Mott, R. (2006). *Diseñode elementos de máquinas*. Mexico: PEARSON Educación .
- Poveda, S. (n.d.). Acabados superficiales.
- Schmahling, J., Hamprecht, F., & Hoffmann, D. (2016, May 2). A three-dimensional measure of surface roughness based on mathematical morphology. Heidelberg, Germany.
- Sevillano, F. (2010). *Variadores de Frrecuencia*. Retrieved from Sistemas de Regulación y Control Automáticos: [http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores\\_de\\_frecuencia.pdf](http://ingenieros.es/files/proyectos/Variadores_de_frecuencia.pdf)
- Shigley, J., Mischke, C., & Budynas, R. (2004). *Mechanical Engineering Design*. McGraw-Hill.

Standard, I. (1987). ISO 4287/1 Surface roughness- Terminology - Part 1: Surface and its Parameters. United States.

Vorburguer, T., & Raja, J. (1990, June). Surface finish metrology tutorial. Michigan , United States.

WEG, G. (2014, Septiembre). *Motores Electricos. Guía de Especificación*. Retrieved from WEG - Unidad motores: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manual-espanol.pdf>

## ANEXO A: GLOSARIO DE TERMINOS:

Rugosidad:

Las rugosidades “ $R_a$ ” son un conjunto de irregularidades superficiales y son utilizadas para medir estas variaciones en el relieve.

La rugosidad superficial se mide con ayuda de un aparato llamado “rugosímetro” el cual determina el perfil de las piezas en una sección transversal. Las normas de rugosidad son: DIN 4762, DIN 4768, DIN 4771, DIN 4775. Las clases de rugosidad “ $R_a$ ” se agrupan según una apreciación visual o táctil como se muestra en la tabla 20. (Higinio)

Rugosidad $R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Clase de rugosidad
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

Tabla 20 Clases de rugosidad

- N1 – N4: Superficie tipo espejo
- N5 - N6: Las marcas del mecanizado no se aprecian ni con el tacto ni con la vista pero si con lupa.
- N7 – N8: Se puede apreciar visualmente las marcas del mecanizado pero no el tacto.
- N9 – N12: Se aprecian visualmente y con el tacto las rugosidades.

Considerando que el proceso de súper-acabado se lo realiza con lijas, es de suma importancia tener en cuenta el procedimiento de aplicación para poder llegar al terminado deseado en la superficie de las piezas; sin que el grano de la lija raye el material. En la tabla 21 se pueden apreciar los diferentes tipos de rugosidades que se pueden obtener dependiendo del proceso de fabricación.

Proceso de fabricación	Rugosidad												
	Ra [µm]	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3	6	12	20	25
Desbarbado, Oxicorte													
Torneado, Fresado, Limado													
Taladrado													
Cepillado													
Rectificado													
Superacabado (apeado)													
Pulido													
Laminación en caliente													
Moldeo en arena													
Forja													
Moldeo en coquilla													
Moldeo a presión													
Laminado, estirado, treflado													
Extrusión													
Rugosidad más frecuente													
Rugosidad menos frecuente													

Tabla 21 Rugosidad según el proceso de fabricación

## **Anexo B Ficha técnica**



## Ficha Técnica de máquina rectificadora de bandas para Súper-acabados

Construida y ajustada por:  
Ruben Vera

Aprobada por:  
Alfredo Valarezo Ph. D.

Versión:  
2015

### DESCRIPCIÓN FÍSICA:

Esta construida con partes de acero y poleas de aluminio con recubrimiento de caucho adaptable para cualquier torno industrial y capaz de dar un súper-acabado con un sistema de bandas de lija. Cuenta con un sistema autónomo de tensión que mantiene a las bandas tensionadas para trabajar y un variador de velocidades para regular la velocidad de corte necesaria, dependiendo del diámetro de la pieza que se va a trabajar.



MODELO:	D1	Fecha de	10/01/2015
MARCA MOTOR:	Siemens	fabricación:	
POTENCIA DEL MOTOR:	1.5 HP		
VARIADOR DE FRECUENCIA	Mitsubishi		



### ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Peso: 50 kg.
- Motor: 1.5 Hp trifásico
- Corriente: 220 V.
- Polea rectificadora de aluminio 200 mm.
- Variador de frecuencia:  
Siemens
- Boton de encendido y apagado

Ficha Técnica de maquina rectificadora de bandas para Súper-acabados		
Construida y ajustada por: Ruben Vera	Aprobada por: Alfredo Valarezo Ph. D.	Versión: 2015

#### INSTRUCCIONES DE USO:

- Posicionar la maquina sobre el torno y verificar que este correctamente ajustada.
- Colocar la banda de lija correspondiente.
- Prender el variador de frecuencia y setear a la velocidad de corte adecuada, dependiendo del diámetro de la pieza a trabajar.
- Prender el torno con la pieza respectivamente cuadrada a la velocidad de corte correspondiente.
- Colocar la velocidad de avance automático del torno adecuada.
- Acercar la banda a la pieza hasta que ligeramente rosen las superficies de la pieza y la banda de lija.
- Activar el automático del torno.
- Se recomienda 3 pasos de la maquina por cada banda de lija.
- El último paso debe ser trabajado con una banda de tela, con ayuda de una pasta abrasiva para lograr que la superficie de la pieza de un terminado espejo.
- Al finalizar el último paso, apague el variador de frecuencia, el torno y deje el área de trabajo limpia.

#### CONTROL ESPECIAL DURANTE EL MANEJO:

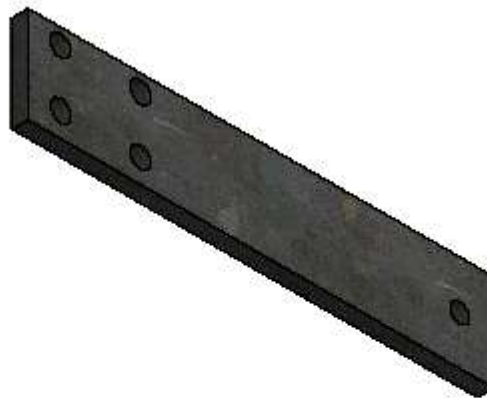
- Cumplir con los parámetros de seguridad industrial a todo momento.
- El operario debe estar pendiente de la máquina de súper-acabados desde el momento que enciende el variador de frecuencia hasta que lo apague; pues se pueden suscitar problemas con la banda, o con el avance automático del torno.
- Evitar introducir cualquier objeto en el armazón de la máquina una vez encendida, pues teniendo en cuenta que la misma funciona con altas revoluciones, se puede producir un accidente.

## **Anexo C Planos de construcción**

PARTS LIST				
ITEM	PART NUMBER	STANDARD	QTY	MATERIAL DESCRIPTION
1	Plancha soporte motor	USPQ 116	1	Acero AISI 1018
2	Soporte principal	USPQ 117	1	Acero AISI 1018
3	Soporte para motor	USPQ158	4	Acero AISI 1018
4	Ensamble Pata dZ	USPQ: 110, 110, 111, 104	1	Pala - Aluminio 6061
5	Ensamble sistema resorte	USPQ: 113, 111, 112, 113, 115, 115	1	Acero US9 2381
6	Motor		1	Genérico 1.5 HP
7	Ensamble pata dI	USPQ: 110, 110, 115	1	Pala - Aluminio 6061
8	Ensamble Pata O	USPQ: 116, 117, 118, 109	1	Pala - Aluminio 6061
9	Carcasa motor	USPQ 120	1	Latón
10	Carcasa Mángara	USPQ 122	2	Latón
11	Tapa Carcasa Mángara	USPQ 121	1	Latón
12	Perno		6	Acero AISI 307 M 12 x 50
13	Tuerca		4	Acero AISI 307 M12
14	Rodillo		4	Aluminio 6061 M 12
15	Bloque apate motor	USPQ 119	2	Aluminio 6061

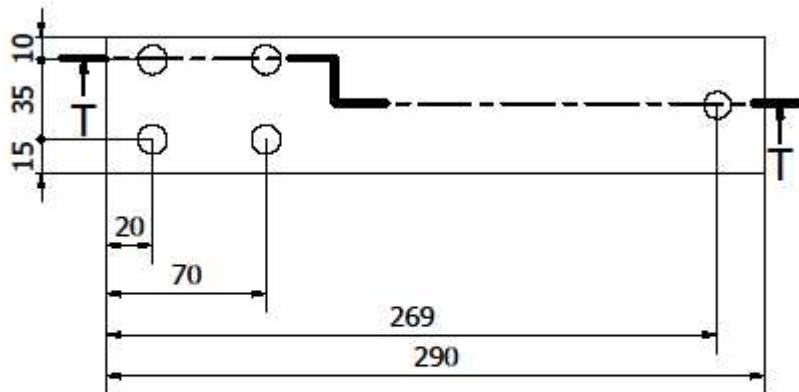
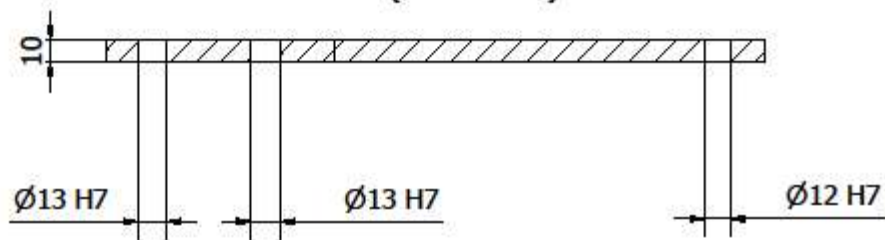
  

	Facultad de Ingeniería Mecánica	Dra.	Rubén O. Torres	Escala: 1 : 7
		Dra.	Dr. A. Salazar, R. Hernández, M. Linares Rojas	
Máquina de vapor acobada LAD - 1		USPQ 300	Fecha: 01/09/21	

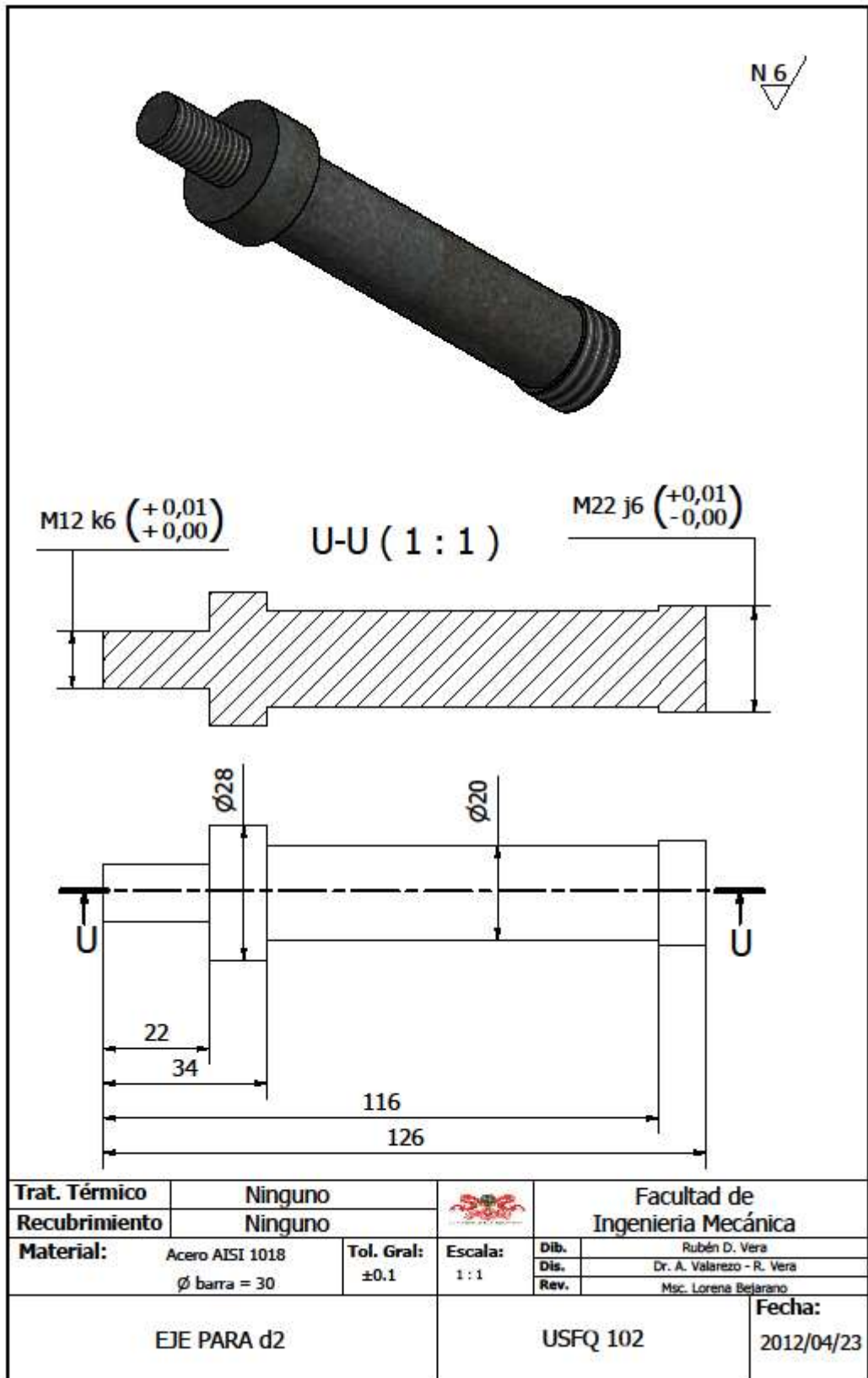


N5 / N8

T-T ( 1 : 2.5 )



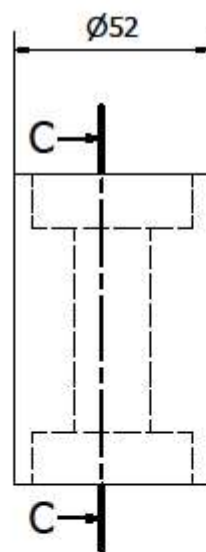
Trat. Térmico	Ninguno		Facultad de Ingeniería Mecánica		
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Rubén D. Vera	
Material:	Acero AISI 1018 Plancha original espesor= 12mm	Tol. Gral: ±0.1	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Dr. A. Valarezo - R. Vera
				Rev.	Msc. Lorena Bejarano
				Fecha: 2012/04/23	
SOPORTE PARA d2			USFQ 101		



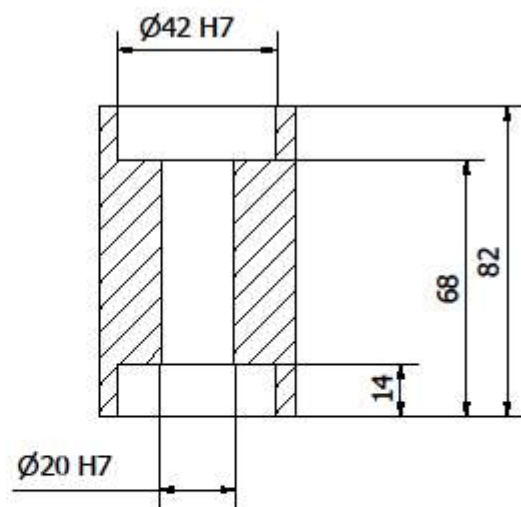
N 6



ESPECIFICACIONES
Fabricar 2 elementos

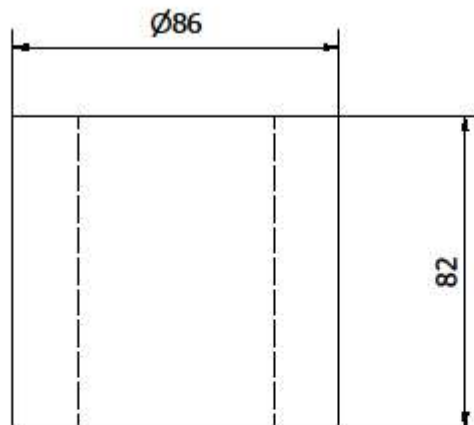
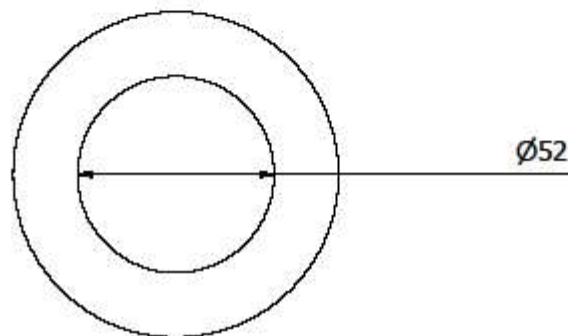


C-C ( 1 : 1.5 )



Trat. Térmico	Ninguno		Facultad de Ingeniería Mecánica	
Recubrimiento	Ninguno			
<b>Material:</b> Aluminio 6061 $\varnothing$ barra = 55mm.	<b>Tol. Gral:</b> $\pm 0.1$	<b>Escala:</b> 1 : 1.5	<b>Dib.</b>	Rubén D. Vera
			<b>Dis.</b>	Dr. A. Valarezo - R. Vera
			<b>Rev.</b>	Msc. Lorena Bejarano
POLEA INFERIOR d2		USFQ 103		<b>Fecha:</b> 2012/04/23

N 6



ESPECIFICACIONES  
 Fabricar 2 elementos

<b>Trat. Térmico</b>	Ninguno		Facultad de Ingeniería Mecánica		
<b>Recubrimiento</b>	Ninguno				
<b>Material:</b>	Polímero: caucho Dureza: 60-65 Shore "A"	<b>Tol. Gral:</b> ±0.1	<b>Escala:</b> 1 : 1.5	<b>Dib.</b>	Rubén D. Vera
				<b>Dis.</b>	Dr. A. Valarezo - R. Vera
				<b>Rev.</b>	Msc. Lorena Bejarano
RECUBRIMIENTO DE CAUCHO PARA d2			USFQ 104		<b>Fecha:</b> 2012/04/23

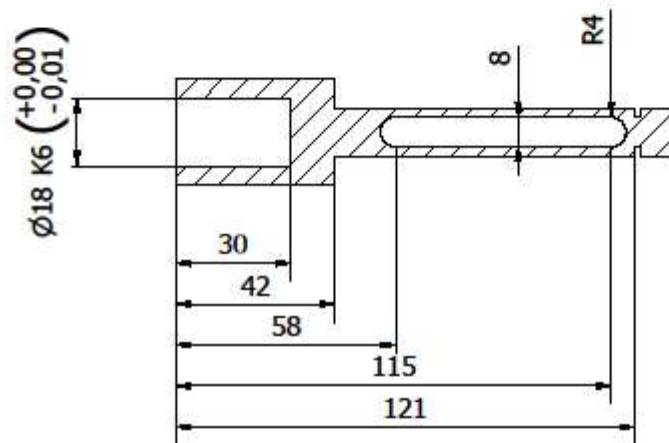




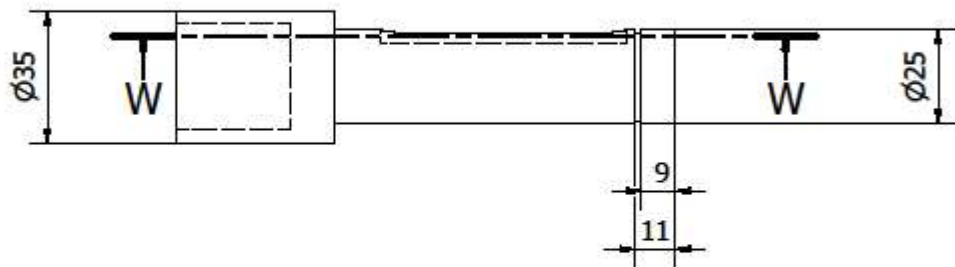


N 6 /

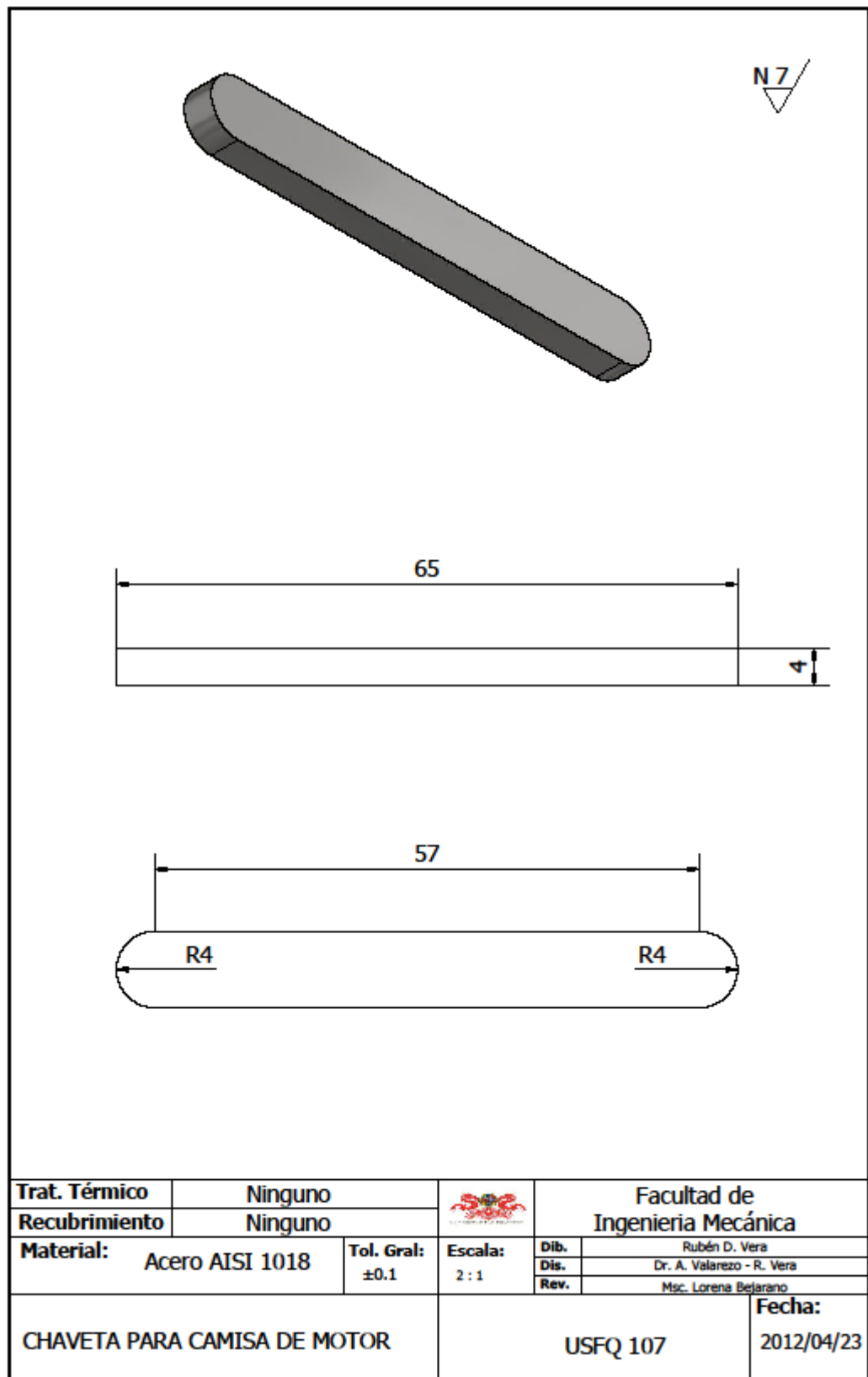
W-W ( 1 : 1.5 )

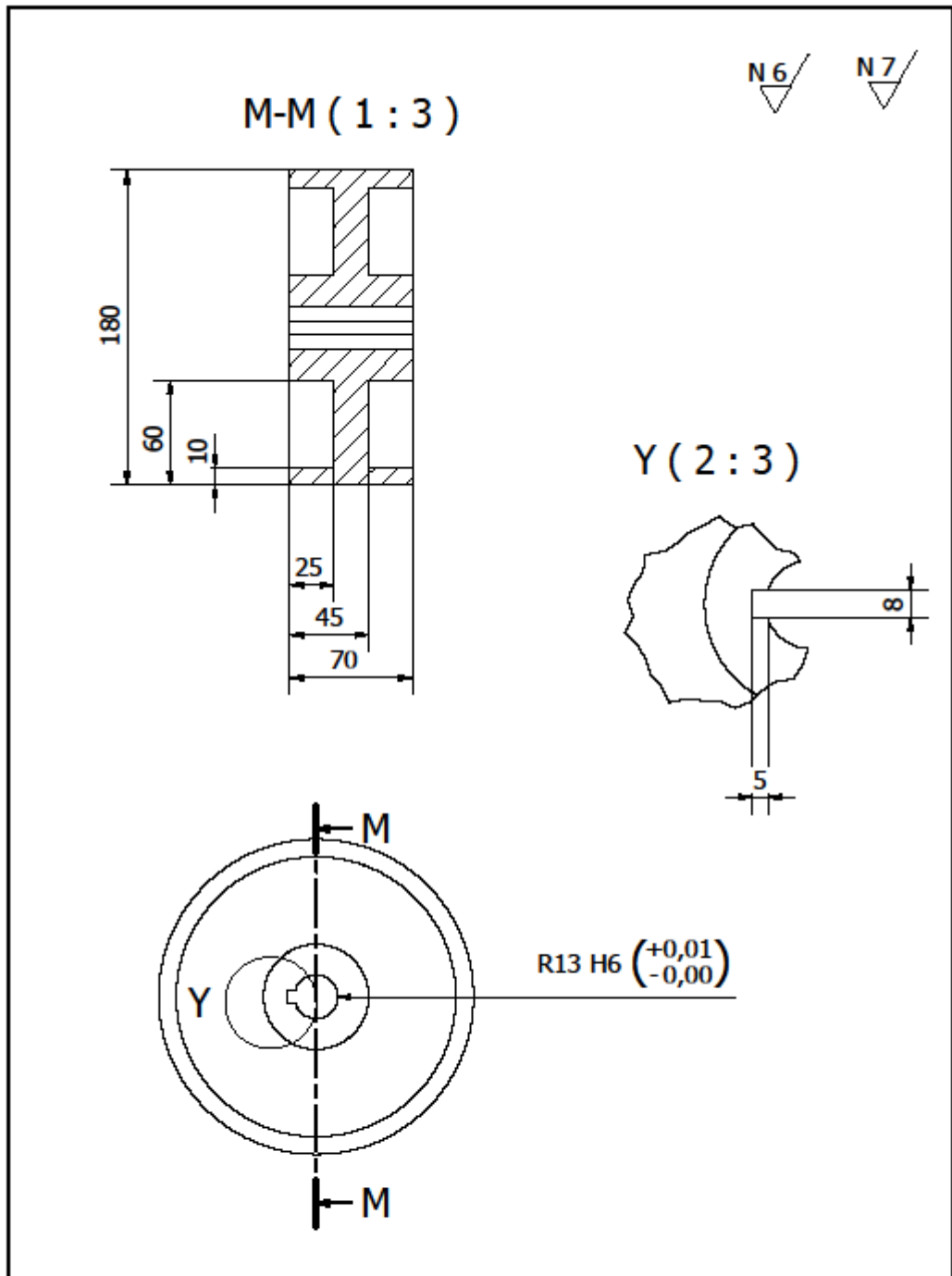


ESPECIFICACIONES
Chaveta t=3.5mm



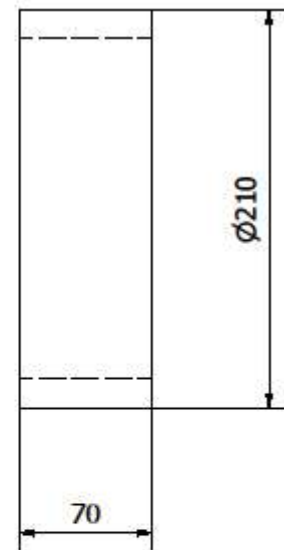
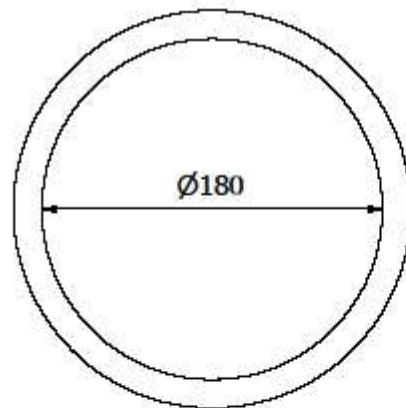
Trat. Térmico	Ninguno			Facultad de Ingeniería Mecánica	
Recubrimiento	Ninguno			Dib.	Rubén D. Vera
Material:	Acero AISI 1018	Tol. Gral: $\pm 0.1$	Escala: 1 : 1.5	Dis.	Dr. A. Valarezo - R. Vera
	$\varnothing$ barra= 30mm			Rev.	Msc. Lorena Bejarano
	CAMISA PARA MOTOR			USFQ 106	Fecha:



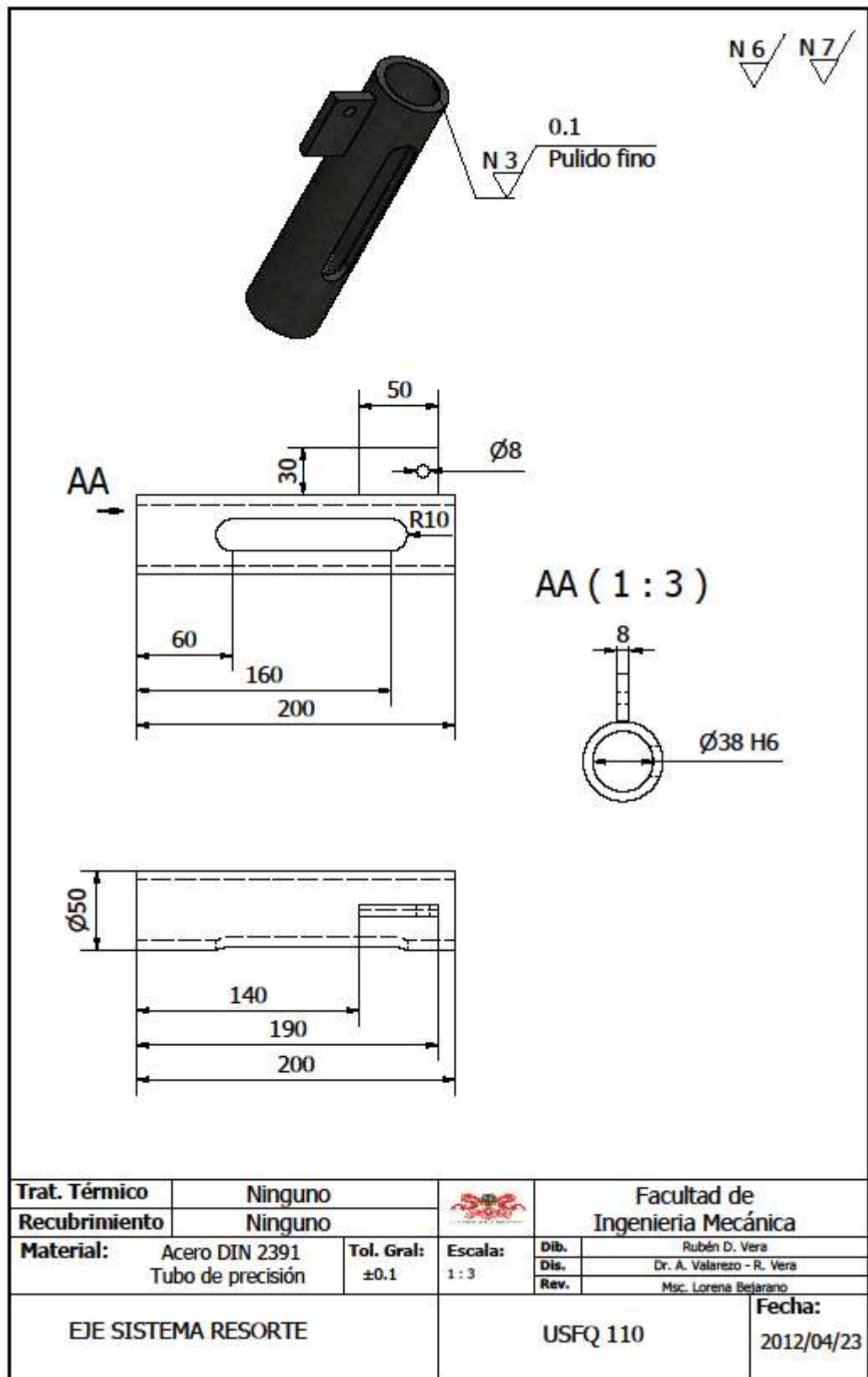


Trat. Térmico	Ninguno		Facultad de Ingeniería Mecánica	
Recubrimiento	Ninguno		Dib.	Rubén D. Vera
Material: Aluminio 6061 Øbarra = 200mm	Tol. Gral: ±0.1	Escala: 1:3	Dis.	Dr. A. Valarezo - R. Vera
			Rev.	Msc. Lorena Bejarano
			Fecha:	2012/04/23
POLEA D		USFQ 108		

N 6



<b>Trat. Térmico</b>	Ninguno		<b>Facultad de Ingeniería Mecánica</b>		
<b>Recubrimiento</b>	Ninguno		<b>Dib.</b>	Rubén D. Vera	
<b>Material:</b>	Polímero: caucho Dureza: 60-65 Shore "A"	<b>Tol. Gral:</b> ±0.1	<b>Escala:</b> 1 : 3	<b>Dis.</b>	Dr. A. Valarezo - R. Vera
				<b>Rev.</b>	Msc. Lorena Bejarano
				<b>Fecha:</b> 2012/04/23	
RECUBRIMIENTO DE CAUCHO PARA D			USFQ 109		

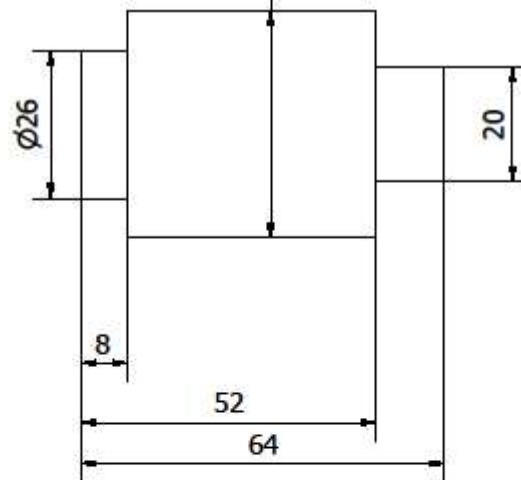


N 6

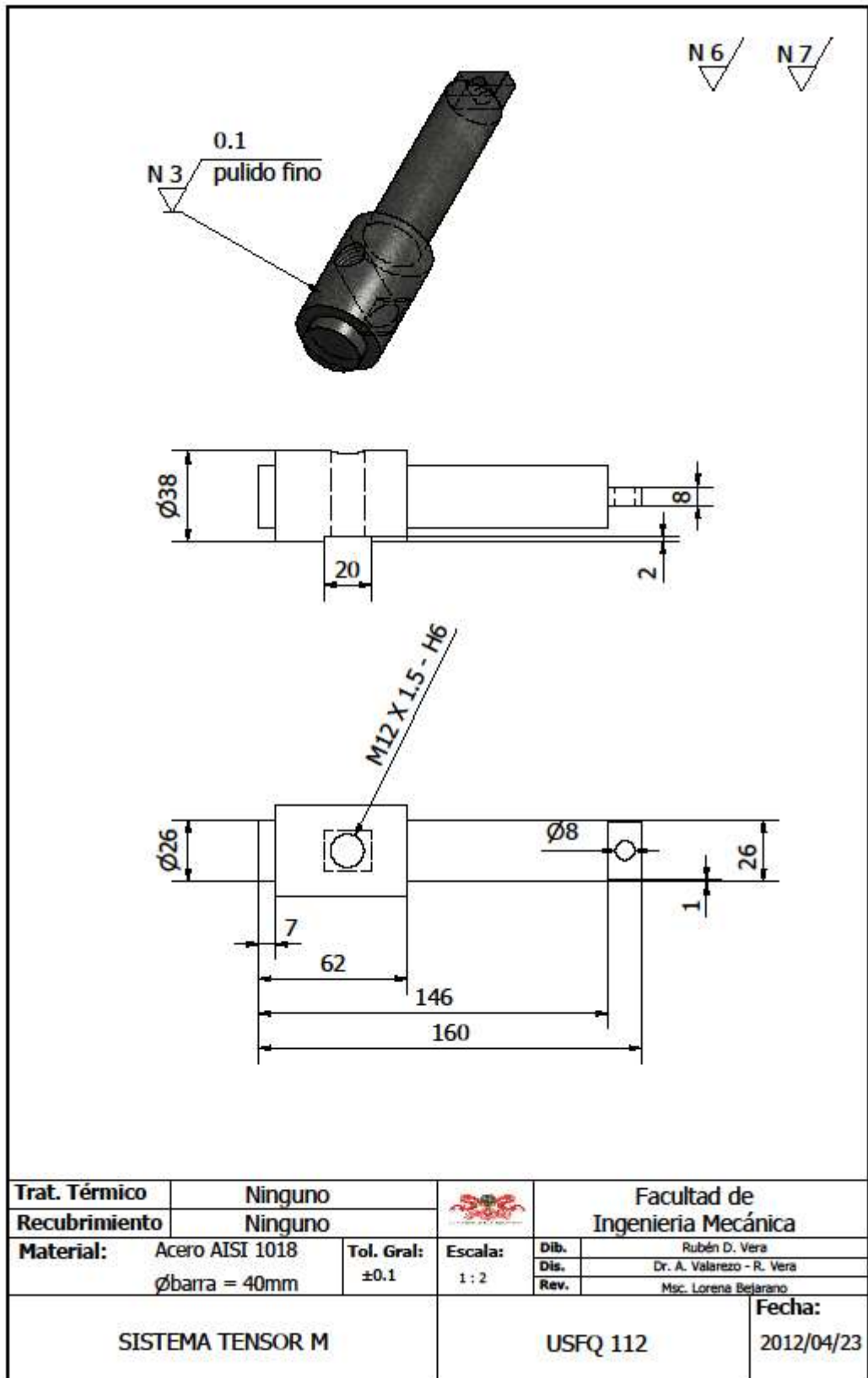
N 7



M40 X 2 - k6



<b>Trat. Térmico</b>	Ninguno			<b>Facultad de Ingeniería Mecánica</b>	
<b>Recubrimiento</b>	Ninguno			<b>Dib.</b>	Rubén D. Vera
<b>Material:</b>	Acero AISI 1018	<b>Tol. Gral:</b>	<b>Escala:</b>	<b>Dis.</b>	Dr. A. Valarezo - R. Vera
	Øbarra = 42mm	±0.1	1 : 1	<b>Rev.</b>	Msc. Lorena Bejarano
<b>TORNILLO SISTEMA TENSOR H</b>			<b>USFQ 111</b>		<b>Fecha:</b> 2012/04/23

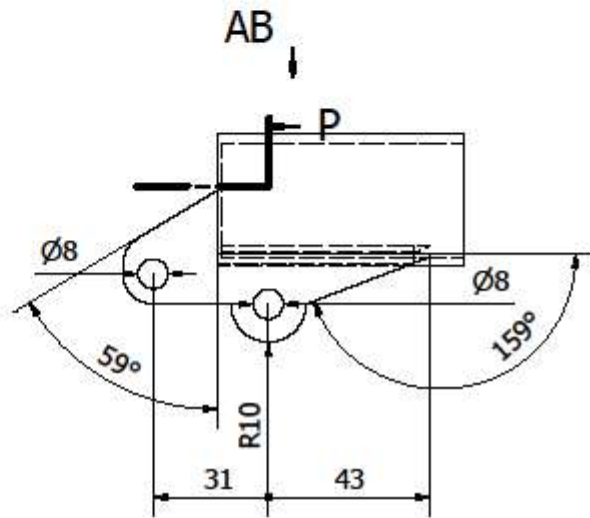
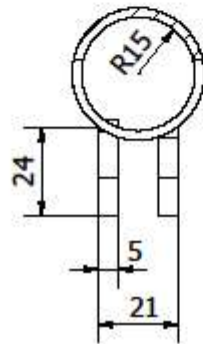




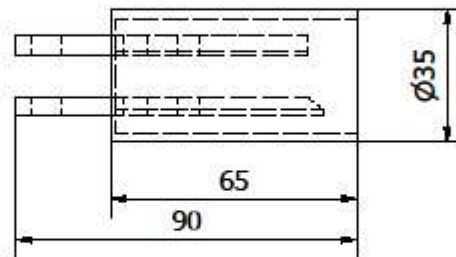
N6 / N7



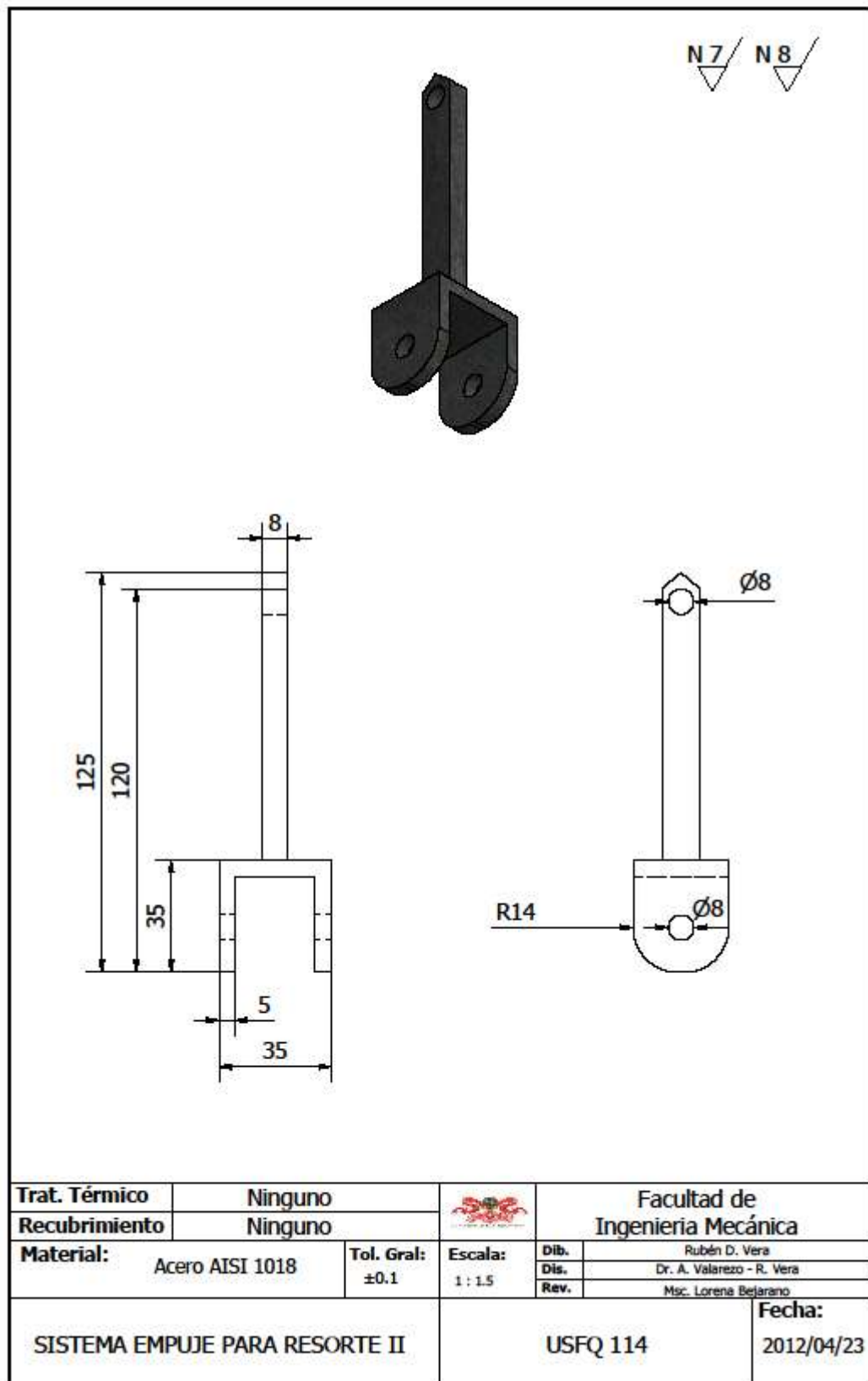
P-P ( 1 : 1.5 )



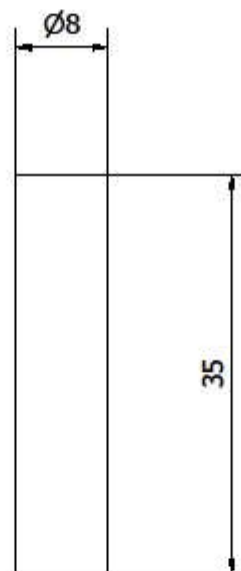
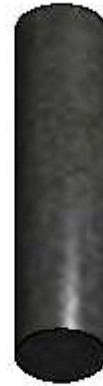
AB ( 1 : 1.5 )



Trat. Térmico	Ninguno		Facultad de Ingeniería Mecánica	
Recubrimiento	Ninguno			
Material: Acero AISI 1018	Tol. Gral: ±0.1	Escala: 1 : 1.5	Dib.	Rubén D. Vera
			Dis.	Dr. A. Valarezo - R. Vera
			Rev.	Msc. Lorena Bejarano
SISTEMA EMPUJE PARA RESORTE I		USFQ 113		Fecha: 2012/04/23



N 6



<b>Trat. Térmico</b>	Ninguno			Facultad de Ingeniería Mecánica	
<b>Recubrimiento</b>	Ninguno				
<b>Material:</b>	Acero AISI 1018	<b>Tol. Gral:</b>	<b>Escala:</b>	<b>Dib.</b>	Rubén D. Vera
	$\varnothing$ barra = 12mm	$\pm 0.1$	2 : 1	<b>Dis.</b>	Dr. A. Valarezo - R. Vera
				<b>Rev.</b>	Msc. Lorena Bejarano
PIN SISTEMA EMPUJE DE RESORTE			USFQ 115		<b>Fecha:</b> 2012/04/23

