



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA ROTATIVA DE
CORTE LONGITUDINAL DE PLANCHAS DE ACERO
GALVANIZADO DE 1 MM DE ESPESOR EN LA EMPRESA
CARROCERÍAS "IBIMCO S.A."

AUTOR: Egdo. Edgar Vinicio Iza Carrillo

TUTOR: Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

AMBATO - ECUADOR

2017

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del proyecto técnico “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA ROTATIVA DE CORTE LONGITUDINAL DE PLANCHAS DE ACERO GALVANIZADO DE 1 MM DE ESPESOR EN LA EMPRESA CARROCERÍAS BIMCO S.A.” elaborado por el Sr. Edgar Vinicio Iza Carrillo, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente informe es original de su autor.
- Ha sido revisado en cada uno de sus capítulos.
- Esta concluido y puede continuar con el trámite correspondiente

Ambato, Enero 2017

EL TUTOR

.....
Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

C.I.: 1802039485

AUTORÍA DEL TRABAJO DE GRADO

Declaro que el contenido del trabajo investigativo bajo el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA ROTATIVA DE CORTE LONGITUDINAL DE PLANCHAS DE ACERO GALVANIZADO DE 1 MM DE ESPESOR EN LA EMPRESA CARROCERÍAS IBIMCO S.A.”, así como sus ideas, opiniones, resultados, análisis y conclusiones vertidas son auténticos y de responsabilidad exclusiva de mi persona en calidad de autor del presente proyecto.

Ambato, Enero 2017

EL AUTOR

.....

Edgar Vinicio Iza Carrillo

C.I.: 1804091567

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Univesidad Técnica de Ambato, para que haga de este informe técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigacion, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en linea patrimoniales de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproduccion no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Enero 2017

AUTOR

Edgar Vinicio Iza Carrillo

C.C: 1804091567

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal examinador aprueban el informe de investigación, sobre el tema: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA ROTATIVA DE CORTE LONGITUDINAL DE PLANCHAS DE ACERO GALVANIZADO DE 1 MM DE ESPESOR EN LA EMPRESA CARROCERÍAS “IBIMCO S.A.”, del egresado Edgar Vinicio Iza Carrillo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Ambato, Enero del 2017.

Para constancia firman.

Ing. Mg. Víctor Espín

Ing. Mg. Cristian Castro

DEDICATORIA

A mi madre que me ha apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores y por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien.

A mi padre que a pesar de haberlo perdido a muy temprana edad sus ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizaban me ha infundado además que siempre ha estado cuidándome y guiándome desde el cielo.

A mis hermanos que siempre han estado junto a mí, brindándome su apoyo incondicional y por compartir conmigo los buenos y malos momentos.

A mi esposa por su apoyo, consejos, comprensión, amor, y ayuda en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

A dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y fortaleza para lograr mis objetivos y no desmayar ante las adversidades.

A la empresa carrocerías “IBIMCO S.A.”, y su gerente Ing. Geovanny Constante por las facilidades y conocimientos importantes y necesarios para el desarrollo de esta investigación.

Expreso mi más sincero agradecimiento a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, al personal docente de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de manera especial a mi Tutor, el Ing. Mg. Jorge Guamanquispe, por su ayuda y sapiencia brindada para el desarrollo del presente proyecto técnico.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINAS PRELIMINARES

Portada.....	I
Certificación del tutor	II
Autoría del trabajo de grado.....	III
Derechos de autor.....	IV
Aprobación del tribunal de grado.....	V
Dedicatoria	VI
Agradecimiento	VII
Índice general	VIII
Índice de figuras	XI
Índice de tablas.....	XV
Resumen ejecutivo	XXI
Executive summary	XXII
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>XXIII</i>

<i>CAPÍTULO I</i>	<i>1</i>
--------------------------------	-----------------

<i>EL PROBLEMA</i>	<i>1</i>
---------------------------------	-----------------

1.1 Tema	1
----------------	---

1.2 Justificación	1
-------------------------	---

1.3 Objetivos.....	2
--------------------	---

1.3.1 Objetivo general	2
------------------------------	---

1.3.2 Objetivos específicos	3
-----------------------------------	---

CAPITULO II	4
--------------------------	----------

FUNDAMENTACIÓN	4
2.1 Antecedentes Investigativos	4
2.2 Fundamentación Legal	5
2.3 Fundamentación Teórica	5
2.3.1 Corte por cizallamiento.....	5
2.3.2 Cizallas con cuchillas rotativas.....	10
2.3.3 Fuerza de corte.....	12
2.3.4 Criterio de diseño de la herramienta de corte	15
2.3.5 Láminas de acero galvanizado.....	23
CAPÍTULO III.....	25
DISEÑO DEL PROYECTO	25
3.1 Presentación y Selección de alternativas	26
3.1.1 Componentes de la máquina.....	27
3.1.2 Alternativas para el módulo 1	27
3.1.3 Alternativas para el módulo 2.....	31
3.1.4 Evaluación de soluciones, método ordinal corregido de criterios ponderados.....	34
3.1.5 Alternativas seleccionadas.....	38
3.2 Cálculos	39
3.2.1 Diseño del sistema de corte	39
3.2.2 Diseño del sistema de transmisión de potencia	49
3.2.3 Diseño del eje	68
3.2.4 Selección de rodamientos [28].....	78
3.2.5 Diseño del chavetero [25].....	82
3.2.6 Diseño de pernos [26].....	83
3.2.7 Diseño de la bancada	87

3.2.8	Construcción.....	92
3.3	Análisis económico.....	107
3.3.1	Materia Prima	108
3.3.2	Mano de obra.....	110
3.3.3	Ingeniería.....	110
3.3.4	Costos totales.....	111
3.4	Especificaciones técnicas.....	111
CAPITULO IV		112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		112
4.1	Conclusiones.....	112
4.2	Recomendaciones	113
BIBLIOGRAFÍA.....		114
ANEXOS		117
PLANOS		142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Slitting [1].....	1
Figura 2.1: Corte por cizallamiento [5].....	6
Figura 2.2: Proceso de corte mecánico [6].....	7
Figura 2.3: Proceso de cizallado [7].....	8
Figura 2.4: Partes de la cara de corte [6].....	8
Figura 2.5: Tipos de fallo en un fleje de corte de acero [6]	10
Figura 2.6: Etapas de corte cizalla circular [2]	11
Figura 2.7: Esquema de la forma de la grieta frontal [2]	11
Figura 2.8: Efecto del espacio entre las cuchillas (c) sobre el corte [6].....	11
Figura 2.9: Superficie de cizallado [10].....	13
Figura 2.10: Cizalla de cuchilla inclinada [2]	14
Figura 2.11: Curva de fuerza de corte con cuchillas inclinadas y paralelas [2]...	14
Figura 2.12: Esquema del área de cizallamiento [11]	15
Figura 2.13: Ángulos de filos de cuchillas [1]	22
Figura 2.14: Láminas de acero galvanizado [16]	24
Figura 3.1: Flujograma del diseño del proyecto.....	25
Figura 3.2: Identificación de componentes de la alternativa 1 [17].....	27
Figura 3.3: Identificación de componentes de la alternativa 2 [17]	29
Figura 3.4: Identificación de componentes de la alternativa 3 [18].....	30
Figura 3.5: Transmisión de potencia por cadena-catarina y polea-banda [19]	31

Figura 3.6: Esquema de transmisión de potencia por engranes [20].....	32
Figura 3.7: Esquema de transmisión de potencia por motorreductor [21].....	33
Figura 3.8: Alternativas seleccionadas para el diseño	38
Figura 3.9: Componentes de la máquina.....	39
Figura 3.10: Esquema de corte del metal con cuchillas circulares	40
Figura 3.11: Diagrama de fuerzas del sistema de corte	44
Figura 3.12: Diagrama de fuerzas del sistema de corte	46
Figura 3.13: Diagrama de fuerzas del sistema de corte	47
Figura 3.14: Diagrama de fuerzas que generan torque	48
Figura 3.15: Motor trifásico WEG [24]	49
Figura 3.16: Esquema del sistema de transmisión y corte	50
Figura 3.17: Diagrama cinemático del sistema de transmisión.	51
Figura 3.18: Reductor de velocidad [24].....	52
Figura 3.19: Transmisión de potencia por cadena	53
Figura 3.20: Diagrama cinemático de poleas.....	57
Figura 3.21: Diagrama de cuerpo libre del engrane N2.....	59
Figura 3.22: Disposición de elementos mecánicos	62
Figura 3.23: Diagrama de cuerpo libre de la catarina	67
Figura 3.24: Disposición de los elementos mecánicos sobre el eje	68
Figura 3.25: Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante plano x-z	69
Figura 3.26: Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante	70

Figura 3.27: Sección crítica del eje	70
Figura 3.28: Diagrama de la flexión en el eje	76
Figura 3.29: Diagrama de la flexión en el eje (plano x-z)	77
Figura 3.30: Diagrama de selección de viscosidades [28]	80
Figura 3.31: Soporte-brida FL206 [29]	82
Figura 3.32: eje-chavetero.....	83
Figura 3.33: Apoyo B.....	84
Figura 3.34: Distribución de pernos.....	84
Figura 3.35: Conjunto armado en la Bancada.....	87
Figura 3.36: Bancada	88
Figura 3.37: Mallado de la bancada	90
Figura 3.38: Esfuerzos Máximos	90
Figura 3.39: Desplazamiento máximo	91
Figura 3.40: Factor de seguridad.....	91
Figura 3.41: Alto de plano de trabajo.....	93
Figura 3.42: Proceso de construcción	99
Figura 3.43: Cuchillas	101
Figura 3.44: Engranés	101
Figura 3.45: Eje.....	102
Figura 3.46: Bancada	102
Figura 3.47: Guía	103

Figura 3.48: Estructura base.....	103
Figura 3.49: Proceso de ensamble de la máquina	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Claro vertical y horizontal para corte longitudinal [8]	12
Tabla 2-2: Resistencia a la cortadura de algunos materiales [10]	13
Tabla 2-3: Aceros para trabajo en frío de alto carbono y alto cromo (D) [13]	18
Tabla 2-4 Propiedades de tres clases de aceros para herramientas [13]	19
Tabla 2-5: Designación de aceros especiales según BOHLER [14]	20
Tabla 2-6: Propiedades físicas [14].....	21
Tabla 2-7: Propiedades físicas [14].....	22
Tabla 2-8: Usos de los diferentes tipos de acero galvanizado [15].....	23
Tabla 3-1: Lista de especificaciones	26
Tabla 3-2: Evaluación del peso específico de cada criterio	35
Tabla 3-3: Evaluación del peso específico del criterio de Volumen.....	35
Tabla 3-4: Evaluación del peso específico del criterio de Fiabilidad	35
Tabla 3-5: Evaluación del peso específico del criterio de Regulación	36
Tabla 3-6: Evaluación del peso específico del criterio de Eficiencia	36
Tabla 3-7: Evaluación del peso específico del criterio de Costo	36
Tabla 3-8: Evaluación del peso específico Alternativa-Criterio (Módulo 1).....	36
Tabla 3-9: Evaluación del peso específico de cada criterio	37
Tabla 3-10: Evaluación del peso específico del criterio de montaje.....	37
Tabla 3-11: Evaluación del peso específico del criterio de volumen.....	37
Tabla 3-12: Evaluación del peso específico del criterio de eficiencia.....	37

Tabla 3-13: Evaluación del peso específico del criterio de costo	38
Tabla 3-14: Evaluación del peso específico Alternativa-Criterio (Módulo 2).....	38
Tabla 3-15: Cálculo de diámetros cuchilla-engrane con $m = 3$	42
Tabla 3-16: Diámetros cuchilla-engranes	42
Tabla 3-17: especificaciones técnicas del acero K100 [14]	43
Tabla 3-18: Análisis de velocidades	52
Tabla 3-19: Selección del tipo de cadena [25]	54
Tabla 3-20: Datos de catarinas y cadena seleccionada	56
Tabla 3-21: Tamaños tentativos de poleas para el sistema de transmisión.....	58
Tabla 3-22: Factores de sobrecarga, K_o [26]	61
Tabla 3-23: Características dimensionales	66
Tabla 3-24: Componentes mecánicos acoplados a la bancada.....	88
Tabla 3-25: Cargas de diseño	89
Tabla 3-26: Resultados del análisis estático de la bancada.....	92
Tabla 3-27: Cronograma de la construcción de la máquina.....	95
Tabla 3-28: Lista de Materiales.....	108
Tabla 3-29: Costo de mano de obra	110
Tabla 3-30: Costos de ingeniería.....	110
Tabla 3-31: Costo total de la Máquina	111
Tabla 3-32: Especificaciones Técnicas	111

SIMBOLOGÍA

A	: Área de cizallamiento
a	: Addendum (cabeza)
a_1	: Factor para la probabilidad de fallo del rodamiento
a_{23}	: El factor para la determinación de la vida ampliada del rodamiento
A_p	: Área proyectada de un perno individual
A_r	: Área del diámetro menor del perno
b	: Dedendum (raíz)
c	: Cuerda
C	: Capacidad de carga dinámica del rodamiento
C_e	: Factor de corrección de la alineación del acoplamiento
C_{ma}	: Factor de alineación del acoplamiento
C_{mc}	: Factor de corrección de carga
C_{pf}	: Factor de proporción del piñón
C_{pm}	: Modificador de proporción del piñón
C_o	: Capacidad de carga estática del rodamiento
C_s	: Distancia entre centros de las catarinas
D	: Diámetro de la cuchilla
d	: Diámetro del remache o perno
D_c	: Diámetro de la catarina conducida
D_m	: Diámetro de la polea motriz
D_p	: Diámetro de paso, engrane
D_R	: Diámetro de la polea conducida
D_s	: Diámetro de la catarina motriz
F	: Ancho neto de la cara del elemento más angosto, engranes
F_C	: Fuerza de corte
F_C'	: Fuerza de corte neta
F_{AV}	: Fuerza de avance
F_N	: Fuerza radial o normal
F_p	: Fuerza transmitida, perno
F_R	: Fuerza de rozamiento.

f_s : Factor de servicio para transmisión por cadena
 f_{sr} : Factor de esfuerzos estáticos en rodamientos
 H : La potencia total necesaria para realizar el corte
 H_C : La potencia necesaria para realizar el corte
 H_{nom} : Potencia nominal
 i_s : Relación de transmisión entre las catarinas
 i_R : Relación de transmisión del reductor
 i_B : Relación de transmisión entre las poleas
 K_B : Factor del espesor del aro
 K_o : Factor de sobrecarga
 K_s : Factor de tamaño
 K_V : Factor dinámico
 k_a : Factor de modificación de la condición superficial
 k_b : Factor de modificación del tamaño
 k_c : Factor de modificación de la carga
 k_d : Factor de modificación de la temperatura
 k_e : Factor de confiabilidad
 k_f : Factor de modificación de efectos varios
 L : Longitud de la cadena
 l : longitud de corte
 l_c : Longitud de la chaveta
 m : Módulo métrico
 m_B : Relación de apoyo
 m_G : Relación de engranes (nunca menor que 1)
 m_N : Relación de distribución de carga
 N : Número de dientes
 N_c : Número de dientes de la Catarina conducida.
 N_s : Número de dientes de la Catarina motriz
 n : Velocidad angular
 n_c : Velocidad de giro requerido para el corte
 n_d : Factor de diseño
 n_m : Velocidad de giro del motor

n_R	: Velocidad de giro del reductor
n_s	: Velocidad de giro a la salida del reductor.
P	: Carga dinámica equivalente del rodamiento
P_c	: Fuerza transmitida a la chaveta y chavetero
P_d	: Paso diametral
P_o	: Carga estática equivalente del rodamiento
p	: Paso circular
p	: Exponente de vida del rodamiento
p_d	: El paso de la cadena.
Q_v	: Número del nivel de precisión de la transmisión
R	: Radio de la cuchilla
S	: Claro entre cojinetes
s_c	: Resistencia a la fatiga superficial AGMA
S_F	: Factor de seguridad a flexión, AGMA
S_H	: Factor de seguridad, picadura AGMA
S_P	: Resistencia de prueba
S_t	: Resistencia a la flexión AGMA
S_y	: Resistencia a la fluencia de material de las placas
S_1	: Desplazamiento del piñón desde el centro del claro
S_e'	: Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria
S_e	: Límite de resistencia a la fatiga
s	: Factor de limpieza s para rodamientos
s_v	: Claro vertical (traslape)
T	: Temperatura de servicio del rodamiento
T_a	: El torque transmitido por las catarinas
T_C	: Torque máximo
T_E	: El torque transmitido por el engrane
t	: Espesor del material
t_l	: Espesor de lámina
t_c	: Alto de la chaveta
t_p	: Espesor de la placa más delgada
μ	: Coeficiente de fricción por rodadura

V	: Velocidad de corte
w	: Ancho de la chaveta
W^t	: Carga transmitida
X, Y	: Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas
Y_J	: Factor geométrico de resistencia a la flexión
Y_N	: Factor de ciclos de esfuerzo de resistencia a la flexión
Y_Z	: Factores de confiabilidad
Y_θ	: Factor de temperatura
Z_E	: Coeficiente elástico
Z_I	: Factor geométrico de resistencia a la picadura
Z_N	: Factor de ciclos de esfuerzo de resistencia a la picadura
Z_R	: Factores de la condición superficial
Z_W	: Factores de la relación de durezas de resistencia a la picadura
α	: Ángulo de corte formado por las cuchillas y la tangente común.
δ	: Deflexión
σ	: Esfuerzo de flexión
σ_c	: Esfuerzo de contacto a partir de relaciones AGMA
$\sigma_{c,per}$: Esfuerzo de contacto permisible, AGMA
\emptyset	: Ángulo de presión
τ_c	: Resistencia al corte
τ	: Resistencia específica a la cizalladura

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MÁQUINA ROTATIVA DE CORTE
LONGITUDINAL DE PLANCHAS DE ACERO GALVANIZADO DE 1 MM
DE ESPESOR EN LA EMPRESA CARROCERÍAS IBIMCO S.A.”

Autor: Edgar Vinicio Iza Carrillo

Tutor: Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

Fecha: 06 de Enero del 2017

RESUMEN EJECUTIVO

Para la ejecución del proyecto se investigó el proceso de corte por cizallamiento mediante un sistema no convencional el cual permita realizar cortes longitudinales de dimensiones mayores a los establecidos para una plancha metálica estándar, de donde se determinaron diferentes alternativas de diseño. De las cuales se seleccionó como mecanismo principal el sistema de corte por cuchillas circulares, el mismo que consta de una transmisión combinada de cadenas, catarinas, poleas y bandas, además de un reductor de potencia y un motor eléctrico trifásico.

Los parámetros específicos en cuanto a partes y componentes, se diseñó tomando en cuenta las condiciones reales sobre las cuales va a trabajar la máquina además de factores de seguridad recomendados por entidades como ASTM-HANDBOOK.

Una vez efectuado el diseño y la construcción se procedió a las pruebas de funcionamiento donde se comprobó que con la implementación de la máquina se pueden realizar cortes limpios con tolerancias mínimas, reduciendo el 40 % de tiempo durante el proceso de corte en relación al proceso convencional utilizado en la empresa.

Palabras claves: cizallamiento, corte, cuchillas circulares, factor de seguridad, máquina, potencia, tiempo, tolerancias, transmisión.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL AND MECHANICAL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING

“DESIGN AND CONSTRUCTION OF THE ROTARY AND
LONGITUDINAL CUTTING MACHINE OF GALVANIZED STEEL
PLATES OF 1 MM THICKNESS IN THE COMPANY BODYWORK
IBIMCO S.A.”

Author: Edgar Vinicio Iza Carrillo

Tutor: Ing. Mg. Jorge Patricio Guamanquispe Toasa

Date: January 06, 2017

EXECUTIVE SUMMARY

For the execution of the project the shear cutting process was investigated by means of an unconventional system which allows longitudinal cuts of dimensions larger than those established for a standard metal plate, from which different design alternatives were determined. Of these, the circular blade cutting system was selected as the main mechanism, which consists of a combined transmission of chains, catars, pulleys and belts, as well as a power reducer and a three-phase electric engine.

The parameters specific to parts and components were designed taking into account the actual conditions on which the machine will work in addition to safety factors recommended by entities such as ASTM-HANDBOOK.

Once the design and construction were carried out, the functional tests were carried out where it was verified that with the implementation of the machine clean cuts can be made with minimum tolerances, reducing the 40% of time during the cutting process in relation to the conventional process used in the company.

Key words: shearing, slitting, circular knives, safety factor, machine, power, time, tolerance, transmission.

INTRODUCCIÓN

La presente tesis es un trabajo técnico que tiene por objetivo Diseñar y construir una máquina rotativa de corte longitudinal de planchas de acero galvanizado de 1 mm de espesor en la empresa Carrocerías “IBIMCO S.A.” Lo cual permitirá plantear nuevas alternativas en cuanto a la construcción de máquinas para la ejecución de trabajos específicos dentro de la industria carrocera.

El diseño y construcción de esta máquina está basada en métodos conceptuales y procesos de fabricación estudiados a lo largo de la formación profesional, en donde se aplica la selección de materiales, cálculos estructurales, hojas de proceso, planos, etc.

Este trabajo se ha desarrollado de forma sistemática mediante la aplicación de los siguientes capítulos:

En el capítulo I se presenta el planteamiento del problema, la justificación y los objetivos.

En el capítulo II se abordan los antecedentes investigativos relacionados con el tema, la fundamentación legal sobre la cual se rige la construcción de la máquina, así como también aspectos teóricos donde se describen los principios del corte por cizallamiento, criterios para selección de materiales, etc.

En el capítulo III se realiza el desarrollo técnico de la tesis, donde se plantean alternativas de diseño para máquinas cizalladoras de cuchillas circulares; una vez establecida la alternativa de mayor ponderación se ha diseñado los elementos principales como son las cuchillas, engranes, ejes, chumaceras, poleas, catarinas, etc., para finalmente proceder con la construcción y evaluación de costos de fabricación de la máquina.

Por ultimo en el capítulo IV se presentan las conclusiones y recomendaciones de esta tesis.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Tema

Diseño y construcción de máquina rotativa de corte longitudinal de planchas de acero galvanizado de 1 mm de espesor en la empresa carrocerías “IBIMCO S.A.”

1.2 Justificación

Durante la fabricación de una carrocería existe un sin número de procesos, dentro de los cuales está la manipulación de planchas de acero galvanizado, utilizadas para forrado de cajuelas, compuertas, puertas, etc. Y en donde se necesita realizar operaciones de corte longitudinales que permitan obtener laminas correctamente dimensionadas, por lo que se utilizan herramientas como tijeras y cizallas. Sin embargo, con este tipo de herramientas resulta elevado el tiempo durante el proceso de corte. De ahí nace la necesidad de implementar una máquina que permita realizar cortes sin defectos y a menor tiempo, con bordes continuos que disminuya los riesgos durante el montaje.

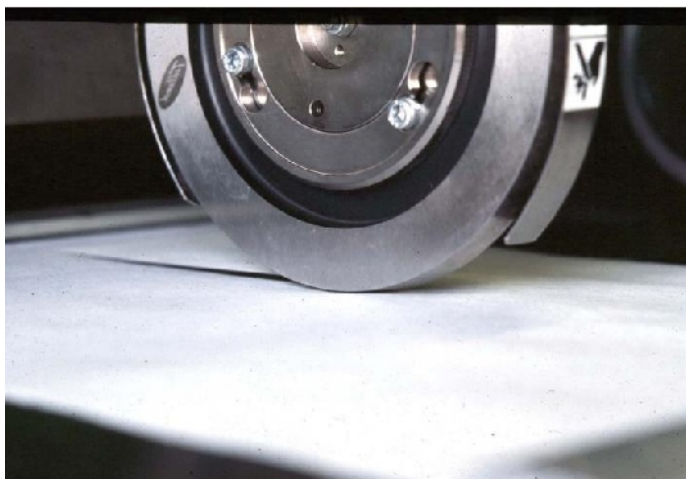


Figura1.1: Slitting [1]

Entonces se ha propuesto el diseño y construcción de la máquina rotativa para el trabajo de partes de carrocerías, específicamente aquellas que se fabrican con planchas de acero galvanizado, ya que facilitará el corte de este material y que además permitirá generar productos de mejor calidad, reduciendo sus costos y tiempos de producción e imponiendo una tendencia al ahorro de recursos.

Por lo antes expuesto esta investigación justifica la importancia de diseñar y construir este tipo de máquina. Es importante mencionar que la máquina tendrá aspectos tecnológicos actuales, puesto que se basará en criterios de diseño y fabricación de empresas especialistas como la compañía alemana DIENES CORPORATION y la australiana BLUESCOPE STEEL LIMITED. Además, que estará compuesta por un mando electrónico que controlará la velocidad del disco que al mismo tiempo permitirá controlar el avance de la lámina durante el corte.

En base a lo antes expuesto las dimensiones aproximadas que tendrá la máquina son: mesa en la que se colocará la lámina a cortar 1220 x 2440mm, con alto de trabajo que variará desde 1000mm hasta 1300mm acorde a la estatura promedio de los operarios. También señalar que la capacidad será de 10 cortes por minuto con láminas cortadas de ancho mínimo 100mm y máximo 1000mm y longitud máxima de 2440mm estos datos se han obtenido en base a las dimensiones de corte que más se realizan dentro de la empresa.

A nivel teórico se justifica la presente investigación ya que se sustenta en aspectos bibliográficos sobre el diseño de elementos de máquinas, ciencia de los materiales, mecanismos, etc.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar y construir la máquina rotativa de corte longitudinal de planchas de acero galvanizado de 1 mm de espesor en la empresa Carrocerías “IBIMCO S.A.”

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las operaciones de corte y formado realizadas sobre láminas metálicas.
- Determinar los parámetros de diseño para la construcción de la cortadora.
- Determinar los materiales para el diseño y construcción de la máquina.
- Determinar el mecanismo de funcionamiento de la máquina cortadora rotativa.
- Realizar un análisis del tiempo de recuperación del costo de la construcción de la cortadora rotativa.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN

2.1 Antecedentes Investigativos

El presente trabajo investigativo se basa en documentos relacionados con el tema, de los cuales se ha tomado puntos importantes que contribuyan a un mejor desarrollo del mismo.

H. H. Wisselink [2] en su trabajo de tesis de Ph.D titulado: Analysis of guillotining and slitting finite element simulations, en la Universidad de Twente - The Netherlands. Estudia el corte de láminas metálicas mediante aplicación de modelos matemáticos y análisis por elementos finitos de dos procesos que son el corte por guillotina y slitting (corte circular). Donde concluyen que los fenómenos que ocurren durante el corte son la deformación de la chapa (flexión, torsión), la deformación elasto-plástico, el tipo de fractura que ocurre en la lámina; las distribuciones de tensiones y de deformaciones en la lámina durante y después del corte (tensiones residuales).

Por otra parte Sebastián Palacios Arango [3], en su proyecto de grado bajo el tema: Diseño de cizalla por corte circular para obtener rollos de 10 mm de ancho a partir de rollos de 150mm en la Universidad EAFIT, Medellín - Colombia, se enfoca en ilustrar los procesos de cálculos generales en cuanto a cizallas se refieren a un nivel macro, sin cálculos al detalle y realizando selecciones generales para el dimensionamiento de la máquina. Concluyendo que debido a la potencia hallada para el motor es muy alta y que influye en el sistema de corte y en el tambor de almacenamiento, es necesario realizar ensayos con dispositivos para estar seguros de su selección; y para la selección del sproket, debido a las bajas revoluciones que se tiene que transmitir para poder realizar el corte deseado, es necesario hacer ensayos para verificar que ese es el sproket indicado.

Finalmente J. Ortiz, V.H. Alvarado A. Y Gámez. V.E. Manqueros, J.A. Salinas [4] en el artículo Proceso de Diseño Mecánico de Máquina Cortadora de Lámina con Posicionadores Automáticos. Presenta el análisis y diseño mecánico de una máquina para cortar bobinas de acero. En este se detallan: el proceso de análisis de patentes para el diseño, el diseño conceptual de algunas partes de la máquina y selección de elementos mecánicos.

Teniendo como conclusión que el desarrollo de esta máquina permite el conocimiento de diferentes herramientas de CAD y CAE (Nastran e Inventor) para el diseño mecánico. A demás que con el uso del software es posible acelerar el proceso selección de elementos de máquinas (Rodamientos, resortes, chavetas, tornillos de transmisión de potencia y tornillo) con el Inventor.

2.2 Fundamentación Legal

- Código de dibujo técnico mecánico INEN 003
- Reglamento 2393: Seguridad y salud de los trabajadores; Título III: Aparatos, máquinas y herramientas.

2.3 Fundamentación Teórica

2.3.1 Corte por cizallamiento

El cizallado es un proceso en el cual se realizan cortes limpios donde por efecto del apisonado de la plancha entre dos hojas afiladas, generan en principio un aplastamiento debido al esfuerzo, seguido de un corte parcial debido a la penetración de la cuchilla, sometiendo a las fibras del metal a un esfuerzo de tracción las mismas que se endurecen rápidamente por acritud y se rompen.

Este proceso es aplicado a láminas: metálicas, papeles de fibras, telas, cerámica, plásticos, caucho, etc. Pero está limitado al espesor que puede cortar la máquina por la dureza y densidad del material.

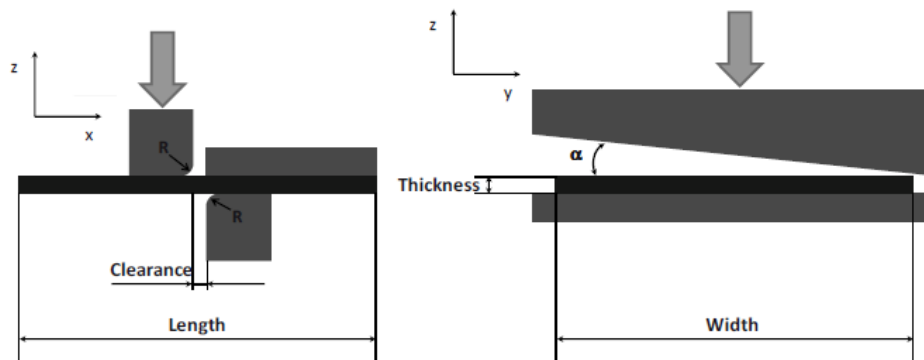


Figura 2.1: Corte por cizallamiento [5]

De acuerdo a la empresa especialista en corte de chapas metálicas Rautaruukki Corporation [6], la geometría, las etapas y los posibles fallos durante el corte pueden ocurrir como se indica en los siguientes puntos.

2.3.1.1 Geometría del corte

Los factores que afectan al corte de chapas se genera en el plano de corte principal y en el plano perpendicular al mismo; siendo estos el espacio entre las cuchillas (u), el ángulo de corte (α), el ángulo de oblicuidad (γ) y el ángulo de inclinación (β), ver fig. 2.2.

Si el ángulo de corte (α) es cero, el proceso de corte se denomina troquelado. Esto implica que las cuchillas superior e inferior son paralelas y se corta el ancho completo de la chapa al mismo tiempo. Cuando el ángulo de corte es distinto de cero, el proceso se denomina guillotinado. Éste es el proceso más habitual e importante con cortadores de cuchillas rectas. La cizalla giratoria es muy similar a la cizalla con guillotina en lo que se refiere a la geometría de corte, y a menudo se consideran como procesos similares.

Los espacios (u) y (h) que existen entre las cuchillas superior e inferior puede ajustarse normalmente dentro de ciertos límites en la maquinaria de corte. En la guillotina, sólo se ajusta el espacio horizontal. En las cizallas giratorias, se puede ajustar el espacio horizontal y vertical.

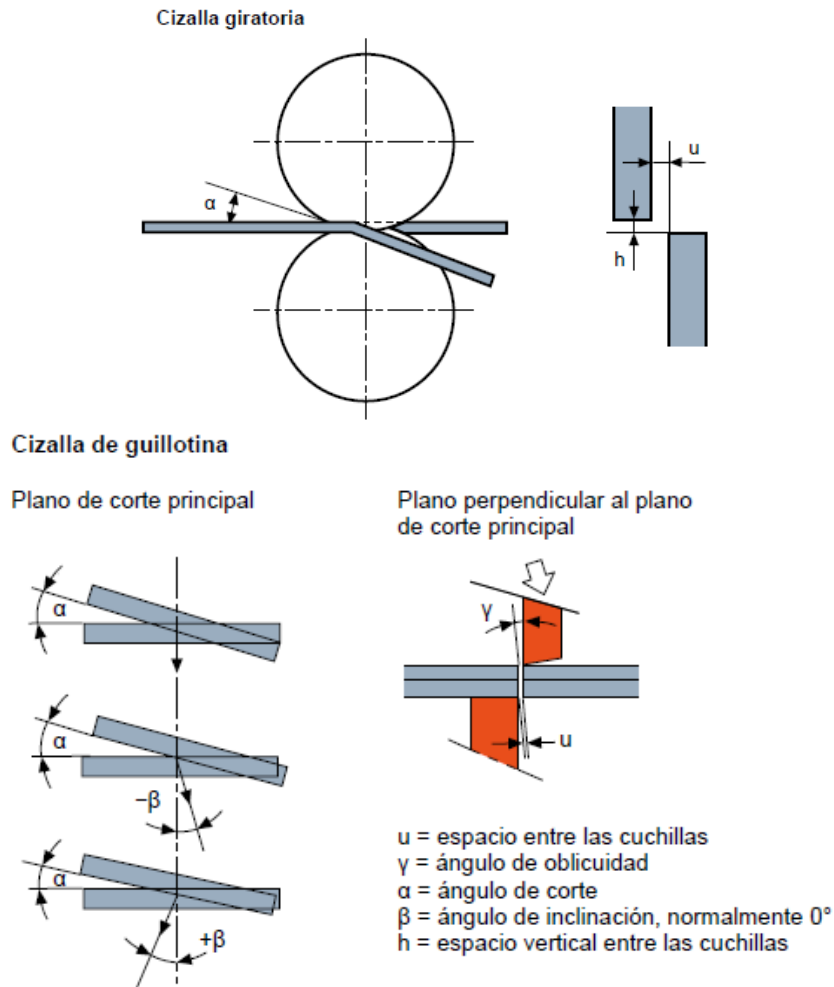


Figura 2.2: Proceso de corte mecánico [6]

Dentro de los factores que influyen en el resultado del corte están los valores del ángulo de inclinación (β) y de oblicuidad (γ). Cuando se cortan flejes estrechos, el ángulo de inclinación correcto reduce los fallos en el corte y, al mismo tiempo, reduce ligeramente el desgaste en las cuchillas.

Establecer el valor del ángulo de oblicuidad entre 1 y 2 grados da lugar a un corte en ángulo recto. Lo que permite que el espacio entre las cuchillas no permanece constante, sino que aumente a medida que se realiza el corte.

2.3.1.2 Etapas del corte

En la primera etapa del corte, el material se comporta elásticamente. Cuando supera su límite elástico, inicia la deformación plástica. A medida que continúa el

corte, se supera en cierto momento la capacidad de deformación del material, alcanzando el límite de rotura. En la etapa final del corte, se encuentran las fracturas iniciadas desde el punto en el que las cuchillas superior e inferior presionan el material, originándose una superficie de fractura basta y granulosa.

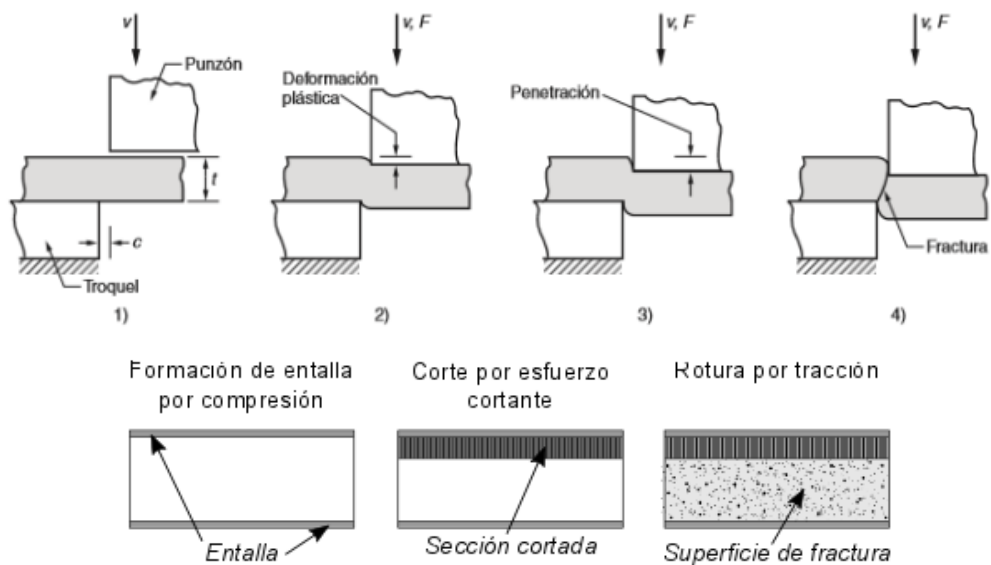


Figura 2.3: Proceso de cizallado [7]

En la fig. 2.4 se observa que las etapas de corte se generan en el borde; al comienzo se forma una esquina redondeada a lo largo del borde de la chapa, denominado borde rugoso. Este borde se forma por el contacto de la cuchilla superior sobre la superficie superior de la chapa, y la cuchilla inferior sobre la superficie inferior de la chapa.

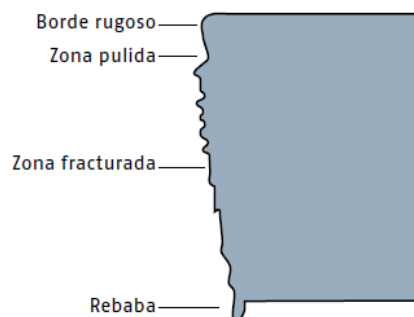


Figura 2.4: Partes de la cara de corte [6]

A medida que el corte continúa, la cuchilla superior penetra en la chapa hasta una cierta profundidad, lo que genera una zona pulida sobre la cara de corte. Luego está la zona de fractura ocasionada por el movimiento de la cuchilla superior hacia abajo.

En la etapa final, se forma la rebaba debido a que las tensiones de compresión más elevadas se dirigen desde la cuchilla superior hacia el borde de corte de la cuchilla inferior. Esto genera una tensión en el material que cede en la zona de corte, lo que mejora la capacidad de deformación del material.

En consecuencia, la chapa no se fractura exactamente en la línea de corte planificada, sino junto a la misma, donde el material está endurecido en un menor grado. La chapa sólo se fractura después de deslizarse más allá de la cuchilla de corte.

2.3.1.3 Evaluación del corte y posibles fallos

El resultado del corte se evalúa en función de la forma y precisión dimensional de la pieza, el aspecto del borde de corte y la altura de la rebaba. Además de otros factores como la máquina de corte y el tipo de acero que se esté cortando. El factor esencial en el acero es la fuerza de tracción, la tenacidad y en especial su capacidad de deformación.

Los factores principales que provocan el fallo del corte son:

- Ángulo de corte excesivamente grande,
- Cuchillas sin filo,
- Ajuste inadecuado del espacio entre las cuchillas y
- Plegado excesivo del bastidor y los ejes en la máquina de corte.

En un fleje de corte de acero se observan tres tipos de fallos diferentes. Estos fallos, junto con la rectangularidad y planicidad del borde, determinan el resultado del corte. Los tipos de fallos se indican en la fig. 2.5.

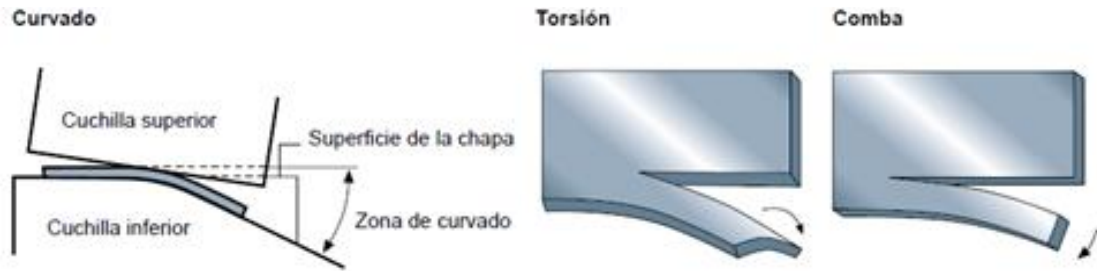


Figura 2.5: Tipos de fallo en un fleje de corte de acero [6]

Motivos de formación de curvado y torsión:

- Ángulo de inclinación grande
- Tensiones internas en la chapa
- Velocidad de corte lenta
- Chapa gruesa
- Material blando
- Fleje a cortar estrecho
- Pieza de trabajo larga

Motivos de formación de comba:

- Tensiones internas
- Ángulo de inclinación grande
- Espacio entre las cuchillas pequeño

2.3.2 Cizallas con cuchillas rotativas

En este tipo de cizallas ambas cuchillas tienen la forma de disco los mismos que giran en sentido contrario, produciendo el corte. Se emplean para recortar bordes de planchas, y cizallar longitudinalmente bandas estrechas y anchas.

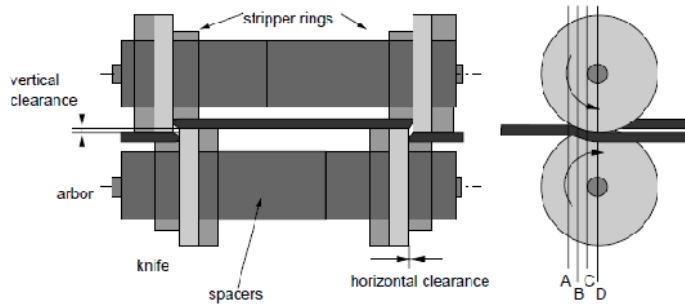


Figura 2.6: Etapas de corte cizalla circular [2]

Durante el proceso de corte como por ejemplo acero, al inicio del proceso solo se corta parte del material y el resto se separa mediante fracturación. El ángulo de fractura se mantiene invariable cuando se corta el mismo grado de acero. Por este motivo se establece el espacio entre las cuchillas según el espesor y la fuerza de tracción de la chapa.

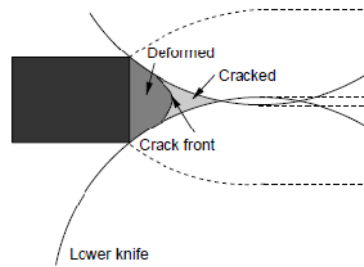


Figura 2.7: Esquema de la forma de la grieta frontal [2]

En la Fig. 2.8, detalle a, el espacio entre las cuchillas es demasiado grande. La fractura no coincide exactamente con los bordes de corte de las cuchillas, lo que genera una zona discontinua. Esto provoca rebabas en el borde de corte y un desgaste excesivo de la cuchilla. Además, la chapa se pliega antes de romperse. El resultado es un borde de corte con grandes salientes.

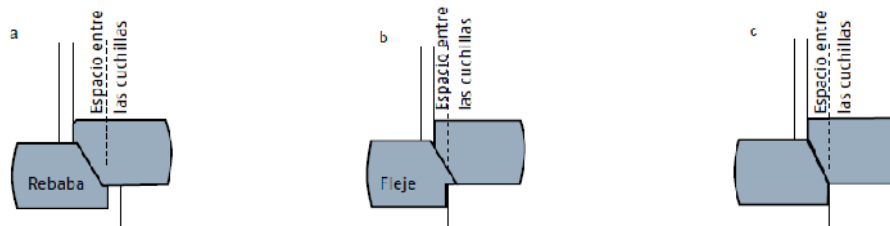


Figura 2.8: Efecto del espacio entre las cuchillas (c) sobre le corte [6]

En el detalle b, el espacio entre las cuchillas es demasiado pequeño. Los puntos finales de la fractura finalizan en la mitad de las cuchillas, y en la práctica, las cuchillas deben cortar la chapa dos veces. Esto provoca tensión adicional para la máquina y puede provocar el fallo de la cuchilla. A medida que el espacio entre las cuchillas aumenta, la zona pulida disminuye y la zona fracturada se amplía.

En el detalle c, el espacio entre las cuchillas está ajustado correctamente. La fractura coincide exactamente con los bordes de corte de las cuchillas. La chapa se corta recta, sin necesidad de energía adicional. El borde de corte está inclinado con el mismo ángulo que el ángulo de fractura.

Tabla 2-1: Claro vertical y horizontal para corte longitudinal [8]

Espesor de lamina Mm	Claro Horizontal mm	Traslape Vertical (overlap) mm
0.25	0.018-0.020	0.10
0.50	0.038-0.050	0.20
0.75	0.055-0.075	0.25
1.00	0.080-0.10	0.35
1.25	0.10-0.12	0.45
1.50	0.12-0.15	0.55
1.75	0.14-0.18	0.50
2.00	0.16-0.20	0.45

2.3.3 Fuerza de corte

La fuerza requerida para realizar el corte en una chapa depende de la longitud de corte, espesor de la chapa, y se desprecia la fricción [9].

La resistencia que opone un material a la separación por cizallamiento se llama resistencia a la cizalladura. Entonces la resistencia mecánica contra el cizallado es la resistencia específica a la cizalladura (τ), que se determina a partir de la resistencia a la rotura (σ) que posee dicho material [10].



Figura 2.9: Superficie de cizallado [10]

La fuerza necesaria para el corte (F) está relacionada directamente con la longitud de corte y el espesor del material. De donde se puede expresar que la fuerza necesaria es igual al producto de la sección cortada por el esfuerzo unitario de cortadura.

$$F = \tau * l * s \quad (2.1)$$

$$F = \tau * A \quad (2.2)$$

Donde

F: Fuerza de corte (N)

τ : Resistencia específica a la cizalladura (N/mm^2)

l : Longitud de corte (mm)

s : Espesor del material

A: Área de cizallamiento

Tabla 2-2: Resistencia a la cortadura de algunos materiales [10]

Material	Resistencia a la rotura (σ) (N/mm^2)	Resistencia a la cizalladura (τ) (N/mm^2)
Aluminio	110	70
Cobre	220...390	180...290
Acero St37	360...440	280...350
Acero At50	490...590	390...470

El corte de cizallamiento con cuchillas paralelas, el ángulo de la hendidura de las cuchillas es generalmente noventa grados o ángulos cercanos a noventa grados. Por otro lado, en las cizallas con cuchillas inclinadas, tienen aristas de corte con ángulos $\alpha > 0$, con la inclinación de la cuchilla se logra disminuir apreciablemente la fuerza de cizalladura.

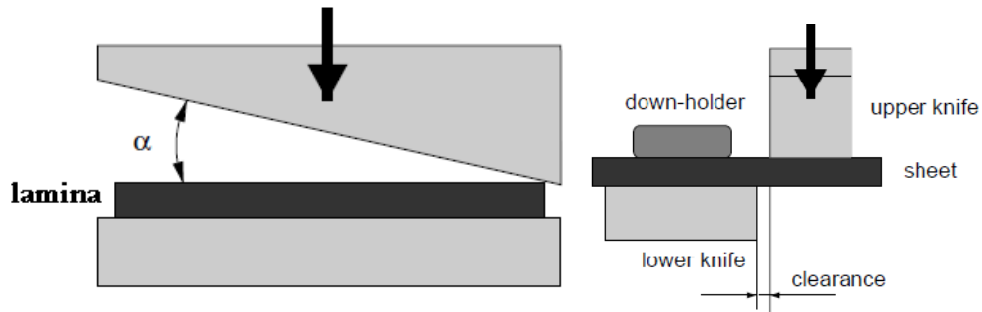


Figura 2.10: Cizalla de cuchilla inclinada [2]

La magnitud de la fuerza de corte está relacionada con la disposición del ángulo de las cuchillas, puesto que si tenemos $\alpha = 0$, se considera que, durante la penetración, la presión específica es constante y la fuerza aumentara parabólicamente hasta alcanzar el comienzo del cizallamiento.

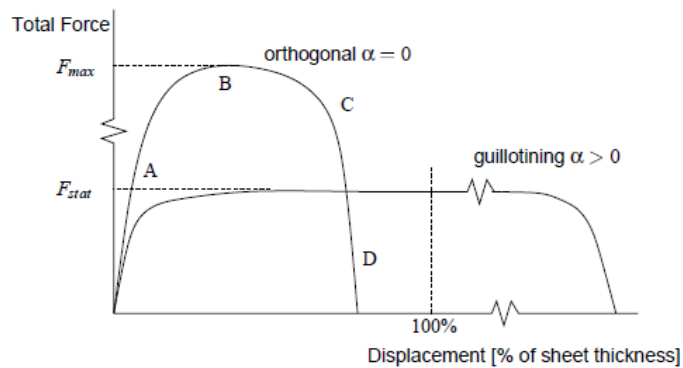


Figura 2.11: Curva de fuerza de corte con cuchillas inclinadas y paralelas [2]

En cambio, si $\alpha > 0$ se observa que cuando la cuchilla empieza a cortar la lámina, la fuerza empieza a aumentar linealmente, entonces al llegar al máximo de corte, la cuchilla ha cortado una sección triangular de la sección rectangular, a partir de ahí la cuchilla sigue cortando con fuerza constante y finalmente corta una sección

triangular igual a la cortada al principio, a partir de ese momento la fuerza empieza a disminuir linealmente de nuevo hasta desgarrar completamente la lámina.

La ecuación 2.2 se puede expresar en función del ángulo de corte, como se indica en la fig. 2.12.

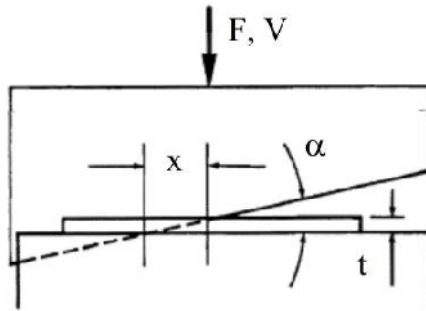


Figura 2.12: Esquema del área de cizallamiento [11]

$$A = \frac{h^2}{2 * \tan \alpha} \quad (2.3)$$

$$F = \frac{h^2}{2 * \tan \alpha} * \tau \quad (2.4)$$

Para calcular la fuerza de corte de materiales que no se posean la resistencia al cizallamiento, se puede aplicar (2.2) con un factor de corrección y en función de la resistencia última a la tracción.

$$F = 0.7 * A * S_{ut} \quad (2.5)$$

2.3.4 Criterio de diseño de la herramienta de corte

En base a los criterios presentados por Javier Flores [12], los aspectos que hay que tomar en cuenta en el diseño de una cuchilla son la funcionalidad y los requerimientos necesarios para un buen desempeño durante el trabajo de corte. Además, también están factores como la geometría de forma, el tamaño, la composición química, las propiedades mecánicas del material, el proceso de fabricación, el tratamiento térmico, condiciones de trabajo y pruebas de funcionalidad.

➤ **Requerimiento**

Los requerimientos principales se refieren a necesidades como maquinabilidad y geometría. La maquinabilidad en un acero de herramienta es muy importante ya que debe tomarse en cuenta que puede utilizarse un maquinado con arranque de viruta. Y la geometría que dependerá del material de trabajo y de la disposición de la herramienta.

➤ **Funcionalidad**

La funcionalidad comprende a la resistencia que puede soportar dentro del ambiente de trabajo, hablando específicamente a su resistencia al desgaste y tenacidad.

➤ **Resistencia al desgaste.**

La resistencia al desgaste depende de la dureza del acero y de su contenido de carburos. El efecto combinado de estos dos factores da al acero de herramienta su resistencia al desgaste.

Además, hay que tener en cuenta factores que afectan directamente al desgaste de la herramienta, los cuales son: la composición química, el espesor, la superficie y las propiedades mecánicas del material de trabajo.

➤ **Tenacidad**

Los requerimientos de tenacidad aumentan a medida que aumenta el espesor del material cortado. Al cortar una placa o barra gruesa, los cantos cortados están sujetos a una presión superficial muy alta. La herramienta debe poseer una alta tenacidad para que no se astille. Para este propósito deben ser utilizados los aceros resistentes al impacto.

2.3.4.1 Aceros de herramientas

Dentro de los aceros para herramientas, existe los aceros de alto carbono, alto cromo, los cuales bajo la norma AISI se representan bajo la letra W, O, A, D, H, T, M, S, L. Los aceros en este grupo muestran alta resistencia al desgaste, buena profundidad de endurecimiento y bajos cambios dimensionales en el temple. Los aceros para herramientas y matrices se clasifican en los siguientes grupos:

W: de temple en agua

S: resistentes al impacto

O, A, D: para trabajo en frío

H: para trabajo en caliente

T, M: rápidos

L: para propósitos especiales

2.3.4.2 Aceros de herramientas para trabajo en frío [13]

Los aceros de herramientas para trabajo en frío pueden utilizarse en diversos tipos; los de temple en aceite son los más comunes, junto con los aceros al carbono y los aceros rápidos. Entre sus propiedades se incluye:

- baja deformación en el temple,
- alta dureza de temple,
- alta templabilidad desde bajas temperaturas de austenización,
- libres de fisuras en zonas intrincadas después del temple,
- mantienen el filo de corte por tiempo prolongado.

Sin embargo, no poseen propiedades de dureza al rojo como los aceros rápidos, ni pueden usarse para trabajos en caliente.

O: Sólo son aptos para trabajo en frío pues al aumentar la temperatura disminuye la dureza.

A: Templados al aire. No soportan temple en aceite pues se fisurarían; se usan para formas intrincadas (matrices) pues el alto contenido de cromo otorga temple homogéneo.

D: De alta aleación. Contienen alto % de carbono para formar carburos de Cr (1,10-1,80 %C). Gran resistencia al desgaste. Estos aceros fueron originariamente desarrollados para sustituir a los aceros rápidos para herramientas de corte, pero mostraron insuficiente dureza en caliente y probaron ser muy frágiles para estos propósitos. Cuando solidifican, sus granos son fuertemente segregados, con menor contenido de Cr y C en el centro que en las porciones periféricas, y rodeando cada grano se encuentra un eutéctico de austenita y carburo.

Tabla 2-3: Aceros para trabajo en frío de alto carbono y alto cromo (D) [13]

Tipo AISI	%C	%Mn	%Si	%Cr	%Ni	%V	%Mo	%Co
D2	1,50	0,30	0,25	12,0		0,60	0,80	
D4	2,20	0,30	0,25	12,0		0,50	0,80	
D3	2,20	0,30	0,25	12,0	0,50	0,60		
D5	1,50	0,30	0,50	12,5	0,35	0,50	1,00	2,00
D1	1,00	0,30	0,25	12,0		0,60	0,80	

En general, los aceros de alto C y alto Cr se clasifican en los que son esencialmente templados en aceite y los prioritariamente templados al aire. Los cuales pueden dividirse en tres subgrupos de acuerdo al contenido de C.

Aquellos que contienen el menor % de C como el D1, tienen la menor resistencia al desgaste y mayor tenacidad. Los que tienen mayor % de C, como D4 y D3 tienen la mayor resistencia al desgaste, pero la menor tenacidad y los tipos D2 y D5 son intermedios en estas propiedades. El tipo D3 es el acero más popular y disponible; es ampliamente utilizado en matrices de conformado en frío y punzonado. Herramientas adecuadamente diseñadas de aceros de alto C y alto Cr pueden punzonar chapas de acero de 64 mm de espesor.

Aplicaciones

Las aplicaciones típicas son:

- Matrices de corte en caliente para forjado.
- Matrices de embutido profundo

- Calibres
- Matrices para laminar roscas
- Punzones
- Matrices de extrusión en frío
- Mandriles
- Matrices de laminación
- Cuchillas de corte

Tabla 2-4 Propiedades de tres clases de aceros para herramientas [13]

Propiedad	Nivel		
	Mejor (mayor)	Intermedio	Menor
Templabilidad	D	A	O
Resistencia a la deformación	D	A	O
Tenacidad	A	D	O
Maquinabilidad	O	A	D
Resistencia al desgaste	D	A	O
Costo	D	A	O

2.3.4.3 Herramientas sin virutaje

De acuerdo a lo expuesto anteriormente el tipo de acero que debe aplicarse en la fabricación de cuchillas es el acero AISI-D2 o AISI-D3.

BÖHLER [14] es una empresa internacional que a través de sus sucursales en Ecuador comercializa estos aceros especiales, esta empresa posee su propia nomenclatura para designar a cada tipo de acero, como se observa en la tabla 2-5.

Tabla 2-5: Designación de aceros especiales según BOHLER [14]

Designación	Descripción
K353	Acero aleado al 8% de cromo, caracterizado por su alta dureza, alta resistencia al desgaste y excelente tenacidad.
K100	Acero ledeburítico con excelente relación costo beneficio. EN/DIN 1.2080, similar AISI D3
K107	Acero ledeburítico con excelente resistencia al desgaste abrasivo. EN/DIN 1.2436, similar AISI D6.
K110	Acero ledeburítico con excelente tenacidad y apto para nitruración. EN/DIN 1.2379, equivalente AISI D2
K 390	Acero pulvimetalúrgico con desempeño excepcional en resistencia al desgaste y resistencia al impacto para herramientas altamente exigidas. Patente BÖHLER.
K340 ECOSTAR	Acero aleado al 8% de cromo con adiciones de aluminio. Muy buena tenacidad y resistencia al desgaste abrasivo similar al AISI D2.

➤ **BÖHLER K - 110 (AISI D2)**

Se trata de un acero para trabajar en frío, acero ledeburítico al 12% de cromo, de mínima variación dimensional; especialmente apto para el temple al aire y buena tenacidad. Este acero presenta excelente tenacidad y apto para nitruración en baño de sal, el cual presenta excelente rendimiento en la fabricación de herramientas de corte (matrices y punzones), herramientas para la técnica de estampado, fresas para madera altamente exigidas, cuchillas de guillotinas para corte en frío de chapas y flejes hasta 6 mm de espesor, cuchillas y mandíbulas para la fabricación de clavos, herramientas para laminar roscas, herramientas para estirar, para embutición profunda, para extrusión en frío, de prensar en la industria farmacéutica y cerámicas, para medición, para moldes de material plástico y cilindros de trabajos en la industria de cubiertos.

Aleación: C% 1.55 - Si% 0.30 - Mn% 0.30 - Cr.% 11 - Mo% 0.75 - V%0.75

Estado de entrega: Recocido Blando

Dureza: 250 Brinell máx.

Dureza obtenible: 63 – 65 Rockwell C.

Medidas disponibles: Redondos: 5/8" – 10" Platinas: 40 x 15 – 350 x 60 mm

Cuadrados: ¾" – 4"

Tabla 2-6: Propiedades físicas [14]

Propiedad	Temperatura	Magnitud
Densidad	20°C	7,70 kg/dm ³
Conductividad térmica	20°C	20,0 W/(m.K)
Resistencia eléctrica específica	20°C	0,65 Ohm.mm ² /m
Módulo de elasticidad	20°C	210 x 10 ³ N/mm ²

➤ **BÖHLER K – 100 (AISI D3)**

Este acero presenta excelente tenacidad y apto para nitruración en baño de sal, posee excelente rendimiento para la fabricación de herramientas de corte, estampado, matrices de gran rendimiento con cortes complicados y consecutivos, moldes para estampación y moldeo de grandes exigencias, dientes de sierras, cuchillas para cortar hasta 4 mm de espesor.

También es adecuado para fabricación de herramientas con virutamiento como brocas, cuchillas para la fabricación de viruta de acero, para trabajos en madera. Y herramientas sin virutamiento como rodillos, peines de roscar, trefilas, hileras y moldes de embutición o prensas de aleaciones livianas, aceros o plásticos.

Herramientas de medición como galgas, calibres y reglas, herramientas y componentes expuestos al desgaste para manejo de piedras, mármol, cerámicas fabricación de ladrillos y bujes. Herramientas para trabajar a mediana temperatura.

Aleación: C% 2.00 - Si% 0.25 - Mn% 0.35 – Cr% 11.5

Estado de entrega: Recocido Blando

Dureza: 250 Brinell máx.

Dureza obtenible: 63 – 65 Rockwell C.

Medias disponibles: Redondos: 1/2" – 12" Platinas: 25 x 15 – 400 x 80 mm

Cuadrados: 5/8" – 5.7/8"

Tabla 2-7: Propiedades físicas [14]

Propiedad	Temperatura	Magnitud
Densidad	20°C	7,70 kg/dm ³
Conductividad térmica	20°C	20,0 W/(m.K)
Calor específico	20°C	460 J/(kg.K)
Resistencia eléctrica específica	20°C	0,65 Ohm.mm ² /m
Módulo de elasticidad	20°C	210 x 10 ³ N/mm ²

2.3.4.4 Geometría de la cuchilla de corte

Peter Wood [1] establece ciertos parámetros en cuanto al ángulo que debe tener la cuchilla, los mismos que están en dependencia del tipo de material a ser cortado. Los cuales se detallan en la fig. 2.13.

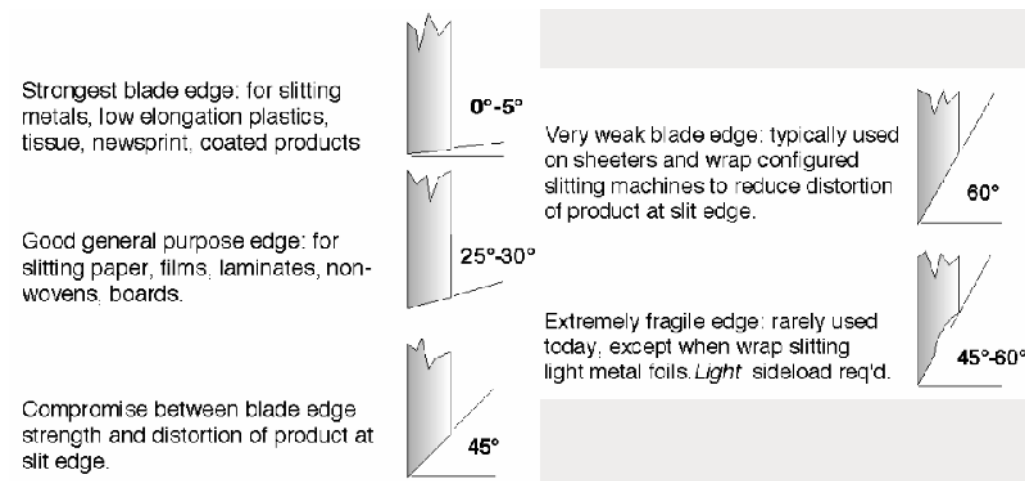


Figura 2.13: Ángulos de filos de cuchillas [1]

2.3.5 Láminas de acero galvanizado

Según el manual técnico del acero galvanizado elaborado por ASCESCO [15], galvanizar es recubrir con zinc fundido la superficie del acero para protegerlo de la corrosión. El zinc es el recubrimiento metálico más utilizado por su capacidad de proteger el acero base.

Existen dos métodos básicos para obtener el acero galvanizado: galvanización por inmersión en caliente (hot dip) y electrodeposición o galvanizado electrolítico. De allí se derivan toda una gama de productos que hacen del acero galvanizado un producto de múltiples posibilidades.

Cada tipo de acero galvanizado tiene aplicaciones muy específicas, que dependiendo del uso final le permiten una mayor protección a la corrosión. Los principales usos de los diferentes tipos de acero galvanizado se describen en la Tabla 2-8:

Tabla 2-8: Usos de los diferentes tipos de acero galvanizado [15]

Proceso	Aplicaciones
Galvanizado tradicional (99% zinc)	Lámina para techos, industria de refrigeración y aire acondicionado, carrocerías, vallas, etc.
Galvano-recocido con recubrimiento Fe-Zn	Industria automotriz. También se utiliza en la fabricación de elementos eléctricos y materiales para construcción.
Con recubrimiento Zn al 45% y Al 55% (Galvalum) ó Zn 95% y Al 5% (Galfan).	Productos para techos y cerramientos exteriores
Con otros recubrimientos (Zn-Ni), (Zn-Ni-Co), (Zn-Co-Cr), (Zn-Co-Mo)	Para uso automotriz.
Electro galvanización	Divisiones interiores, paneles decorativos, partes de automóviles, electrodomésticos.

Las dimensiones estándar de fabricación nacional están en planchas de 1220 x 2440 mm, en espesores de 0.35 a 2 mm. Con especificaciones técnicas de acuerdo a la norma ASTM 653 CS.

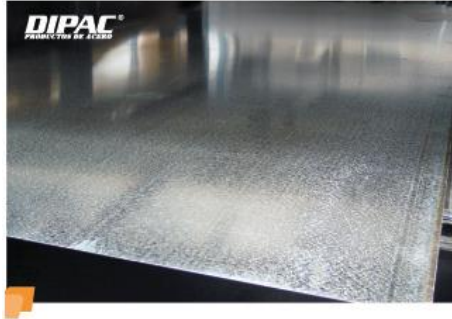


Figura 2.14: Láminas de acero galvanizado [16]

CAPÍTULO III

DISEÑO DEL PROYECTO

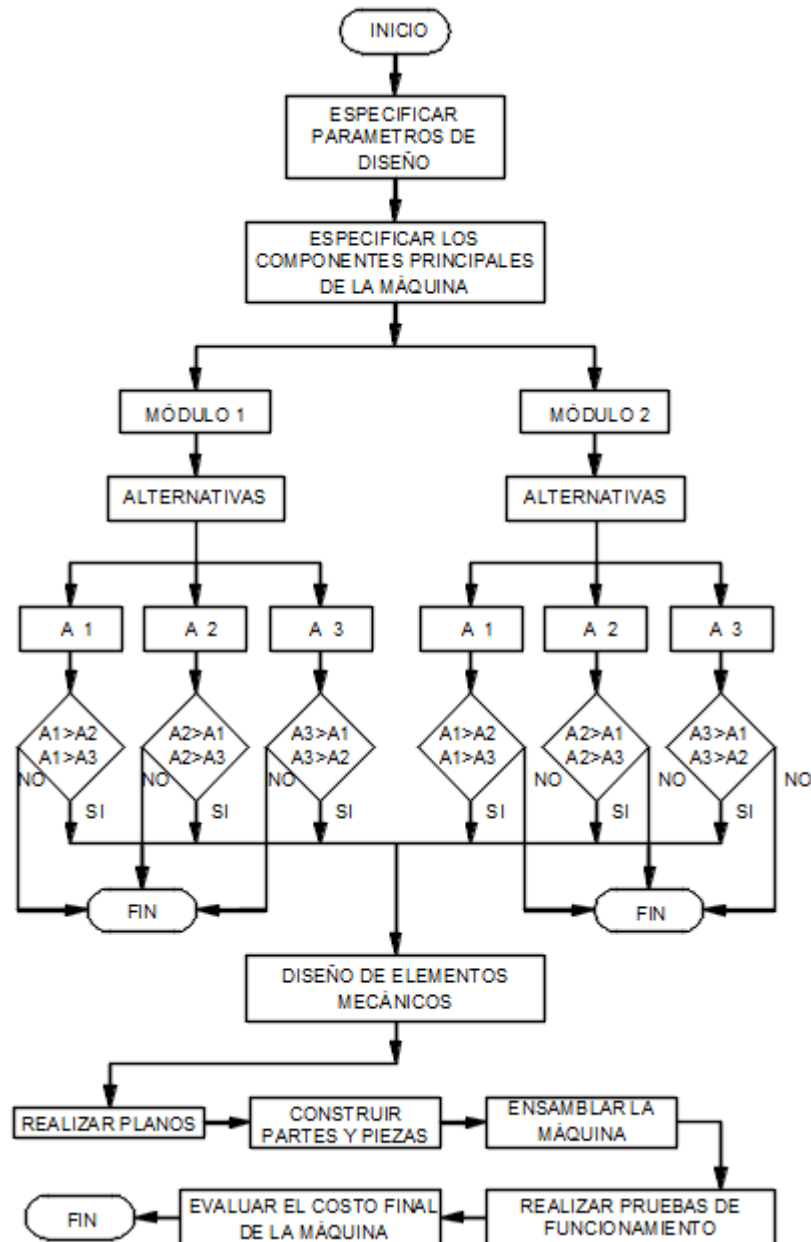


Figura 3.1: Flujograma del diseño del proyecto

3.1 Presentación y Selección de alternativas

Las alternativas propuestas para cada componente o módulo principal de la máquina a diseñar se establecen en base a los requerimientos técnicos que carrocerías IBIMCO proponga ya que de esto dependerá que se dé solución a la problemática que existe dentro del proceso de corte de planchas galvanizadas.

Tabla 3-1: Lista de especificaciones

Parámetros	Determinantes
Función	Dividir planchas galvanizadas por corte longitudinal.
Dimensiones	Largo máx. 1500 mm, Ancho máx. 800 mm, alto máx. 1000 mm
Capacidad de trabajo	Espesor de planchas galvanizadas: 1 mm
	Longitud de corte: Mínimo 100 mm / máximo 2440 mm
Movimientos	Avance de la plancha en sentido transversal.
	Velocidad de avance máximo: 80 ft/min
Fuerzas	Corte longitudinal a 90°.
	Fuerza de corte y arrastre
Energías	Alimentación manual con accionamientos mecánicos.
Montaje	Planta de producción de carrocerías IBIMCO S.A.
Ergonomía	Consideración de altura promedio del operador: 1,65 m.
Aspectos legales	Cumplimiento de reglamento 23-93: Seguridad y salud de los trabajadores; Título III: Aparatos, máquinas y herramientas.

En la Tabla 3.1 se enlistan los requerimientos principales que la empresa propone, la cual permite evaluar de forma metódica distintos conceptos relacionados con las funciones, características, prestaciones y condiciones del entorno de la máquina.

3.1.1 Componentes de la máquina

A partir del análisis funcional, se ha determinado que la máquina está compuesta por dos módulos principales:

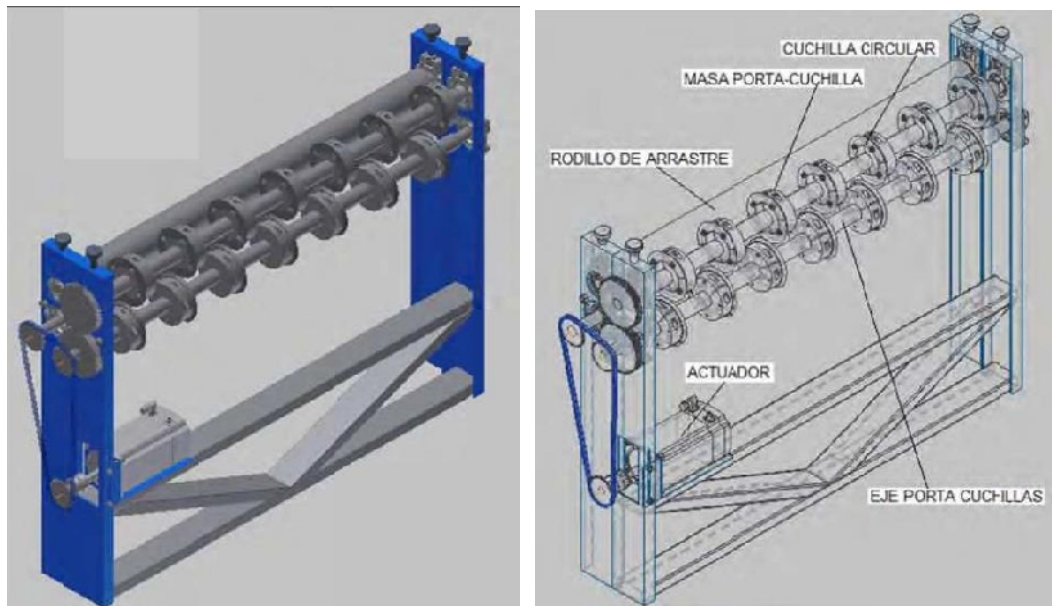
- Módulo 1: Sistema de corte.
- Módulo 2: Transmisión de potencia.

3.1.2 Alternativas para el módulo 1

En el trabajo de investigación realizado por Gabriel Fernando Bravo Palacios [17] se indican varios métodos con los cuales se puede realizar cortes longitudinales en planchas; de donde se ha tomado dos alternativas que podrían ser aplicadas en el presente diseño.

3.1.2.1 Alternativa 1

La alternativa presentada en la Fig. 3.1 propone un sistema que consta de un par de ejes sobre los cuales se fijan las cuchillas circulares, separados uno de otro de acuerdo a las dimensiones de corte de las planchas.



Ventajas

- De acuerdo al número de cuchillas se puede realizar varios cortes con distintas dimensiones al mismo tiempo.
- Alta durabilidad de las cuchillas circulares.
- Es posible alcanzar niveles altos de velocidad de corte.
- Mínimos defectos de corte.
- Estabilidad durante el corte

Desventajas

- Costo elevado de mantenimiento
- Si la calibración y ajuste de las cuchillas no se realizan adecuadamente, puede provocar daños considerables a los componentes y piezas.
- No existe disponibilidad de las cuchillas en el mercado nacional.
- Mayor tiempo de calibración por la cantidad de cuchillas que posee.

3.1.2.2 Alternativa 2

En esta se representa un sistema de corte longitudinal por troquelado rotativo, el cual está constituido por cuchillas circulares sumamente finas incrustadas en madera.

El troquel rotativo se fija por medio de anillos porta cuchillas semicirculares, los cuales son posicionados de acuerdo a las dimensiones de corte, a lo largo de un rodillo perforado. Para producir el efecto de corte por troquelado rotativo, a medida que el rodillo perforado gira en un sentido, otro rodillo liso presiona la plancha metálica desde la parte superior girando en sentido contrario.

A la salida del módulo se dispone de dos rodillos de arrastre que transportan el material galvanizada hacia el módulo de corte transversal.

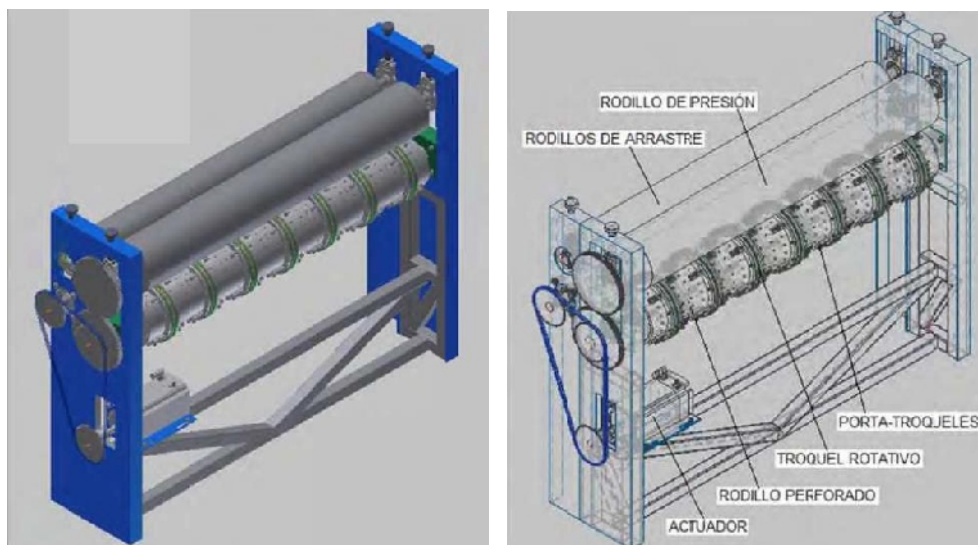


Figura 3.3: Identificación de componentes de la alternativa 2 [17]

Ventajas:

- Facilidad de montaje y desmontaje del troquel rotativo, el cual viene dividido en secciones semicirculares.
- Alta precisión de corte, dada por la calibración de distancia y cruce de las cuchillas.
- El mínimo grosor de las cuchillas asegura la calidad de corte.

Desventajas:

- Por ser demasiado delgadas, las cuchillas del troquel se desgastan rápidamente y tienden a pandearse.
- Por el desgaste rápido deben ser reajustados para cada medida de corte.
- El nivel de complejidad de construcción del rodillo perforado es considerable.
- En el mercado nacional el servicio de preparación de troqueles rotativos representa un alto costo adicional.
- Las dimensiones de corte se ven restringidas por el espacio que ocupa cada masa porta troqueles.
- Alto tiempo de calibración y puesta en marcha.

3.1.2.3 Alternativa 3

En la tercera alternativa se presenta un sistema de corte mediante cuchillas circulares el cual está compuesta solo por dos cuchillas ubicadas a un extremo de la máquina, las mismas que está montadas una sobre el eje superior, y la otra en el eje inferior. Tanto la cuchilla del eje superior como la cuchilla del eje inferior, se instalan directo sin masas porta-cuchillas.

El movimiento debe ser transmitido tanto al eje superior como al eje inferior, teniendo en cuenta que el sentido de giro relativo a cada eje debe ser contrario uno del otro.



Figura 3.4: Identificación de componentes de la alternativa 3 [18]

Ventajas

- Facilidad de montaje y desmontaje de las cuchillas circulares, las cuales están divididas en dos secciones simétricas.
- Corte limpio y sin desgarre, propiciado por el soporte que recibe la plancha por la guía colocada a nivel de la cuchilla inferior.
- Se logra el efecto de corte tipo tijera para diferentes espesores de planchas.
- Alta precisión de corte.
- Es posible alcanzar altas velocidades de corte.

- La oferta de cuchillas es variada.
- Es de fácil manipulación.
- Menor tiempo de calibración y puesta en marcha.
- Bajo costo de mantenimiento.

Desventajas:

- Es necesario que el eje porta cuchillas sea robusto, lo cual incrementa su peso y la potencia necesaria para la transmisión de movimiento.
- Al producirse el corte de las planchas, las cuchillas del eje superior tienden a elevarse, lo cual propicia el doblar del material.

3.1.3 Alternativas para el módulo 2

3.1.3.1 Alternativa 1: Sistema combinado

En esta alternativa se propone la transmisión de potencia mediante la combinación de bandas – poleas y cadena – catarina. La misma que consistiría en que la potencia del motor se transmite al reductor por medio de banda y poleas, por otro lado, la potencia a la salida del reductor se transmitiría a la máquina a través de cadenas y catarinas.

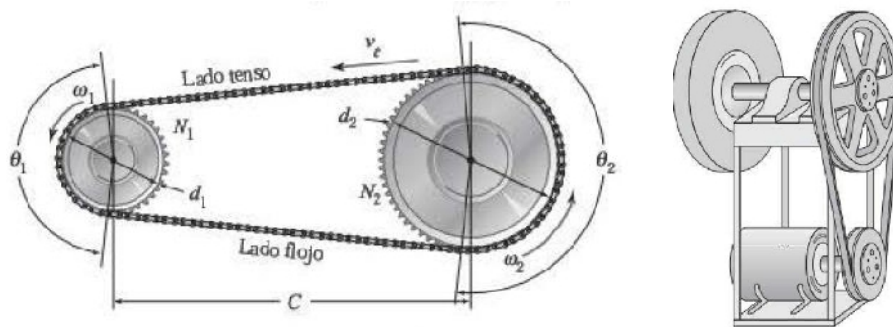


Figura 3.5: Transmisión de potencia por cadena-atarina y polea-banda [19]

Ventajas

- Funcionamiento suave, sin choques y silencioso.
- Considerable distancia entre ejes.

- Alta eficiencia.
- Menor carga sobre los ejes y rodamientos
- Posibilidad de transmitir movimiento a varios ejes con una sola cadena
- Facilidad de instalación
- Larga duración
- Costo bajo de los elementos mecánicos

Desventajas

- Irregularidad durante el funcionamiento de la transición.
- Necesitan un buen mantenimiento, con limpiezas periódicas y lubricación adecuada.
- Grandes dimensiones exteriores.

3.1.3.2 Alternativa 2: Sistema de Engranés

Esta alternativa consiste en construir un sistema de engranes con la reducción requerida; el cual estará conectado a la entrada directamente al motor y a la salida al engrane del eje motriz.

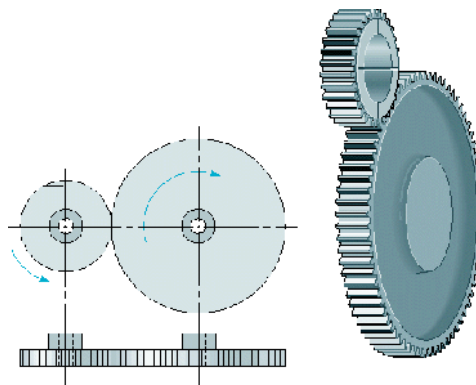


Figura 3.6: Esquema de transmisión de potencia por engranes [20]

Ventajas

- Proporcionan mayor eficiencia en la transmisión de potencia.
- Menor espacio requerido para el mecanismo
- Realiza un trabajo sin pérdidas de energía.

Desventaja

- No pueden transmitir potencia entre distancias grandes entre centros.
- Costo de construcción elevado
- Generan mucho ruido

3.1.3.3 Alternativa 3: Motorreductor

La tercera alternativa propone acoplar un motorreductor con la velocidad requerida para el corte, el mismo que estará conectado directamente al eje motriz.

Ventajas

- Mínima utilización de espacios para el mecanismo.
- Estabilidad en la velocidad giro.
- Diseño sencillo.
- Mantenimiento sencillo.
- Alta eficiencia de la transmisión de potencia.



Figura 3.7: Esquema de transmisión de potencia por motorreductor [21]

Desventajas

- Genera altos niveles de ruido.
- Grandes cargas sobre los árboles.
- Costo elevado de adquisición.

3.1.4 Evaluación de soluciones, método ordinal corregido de criterios ponderados

En base a la metodología propuesta por Riba C [22], la evaluación de soluciones se ha realizado con el método ordinal corregido de criterios ponderados que, sin la necesidad de evaluar los parámetros de cada propiedad y sin tener que estimar numéricamente el peso de cada criterio, permite obtener resultados globales suficientemente significativos. El método se basa en tablas donde cada criterio se confronta con los restantes criterios y se asignan los valores siguientes:

1 => Si el criterio de las filas es superior o mayor que el de las columnas

0,5 => Si el criterio de las filas es equivalente o igual al de las columnas

0 => Si el criterio de las filas es inferior o deficiente que el de las columnas

Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) añadiendo una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución).

Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio.

Los criterios de valoración que se consideraron como determinantes para el módulo 1 son:

- V: Volumen, ya que el tamaño la máquina debe ajustarse al espacio de trabajo.
- F: Fiabilidad, así lograr la precisión y perpendicularidad del corte longitudinal.
- R: Facilidad de regulación de las dimensiones de corte.
- E: Eficiencia durante el corte
- C: Costo moderado, porque la máquina es prescindible y se busca que represente una opción de inversión para la empresa.

Los criterios de valoración para el módulo 2 son:

- M: Facilidad de Montaje.

- V₂: Volumen, el tamaño del sistema debe ajustarse al espacio la máquina.
- E₂: Eficiencia al transmitir la potencia.
- C₂: Costo moderado, que no eleve el precio final de la máquina.

3.1.4.1 Evaluación del módulo 1

Tabla 3-2: Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	V	F	R	E	C	$\Sigma+1$	Ponderación
V		1	0	1	0.5	3.5	0.26
F	1		1	1	0	3	0.22
R	0	0		0.5	0.5	2	0.15
E	0.5	1	0.5		0.5	2.5	0.19
C	0.5	0.5	0.5	0.5		2.5	0.19
					Suma	13.5	1

A continuación, se realiza la evaluación de los pesos específicos de las distintas alternativas de solución para cada criterio:

Tabla 3-3: Evaluación del peso específico del criterio de Volumen

Volumen	A1	A2	A3	$\Sigma+1$	Ponderación
A1		0.5	0	1.5	0.25
A2	0.5		0	1.5	0.25
A3	1	1		3	0.50
			Suma	6	1

Tabla 3-4: Evaluación del peso específico del criterio de Fiabilidad

Fiabilidad	A1	A2	A3	$\Sigma+1$	Ponderación
A1		0	0.5	1.5	0.30
A2	0.5		0	1.5	0.30
A3	0.5	0.5		2	0.4
			Suma		1

Tabla 3-5: Evaluación del peso específico del criterio de Regulación

Regulación	A1	A2	A3	$\Sigma+1$	Ponderación
A1		0.5	0.5	2	0.33
A2	0.5		0	1.5	0.25
A3	0.5	1		2.5	0.42
			Suma	6	1

Tabla 3-6: Evaluación del peso específico del criterio de Eficiencia

Eficiencia	A1	A2	A3	$\Sigma+1$	Ponderación
A1		0.5	0.5	2	0.31
A2	0.5		0.5	2	0.31
A3	0.5	1		2.5	0.38
			Suma	6.5	1

Tabla 3-7: Evaluación del peso específico del criterio de Costo

Costo	A1	A2	A3	$\Sigma+1$	Ponderación
A1		0.5	0	1.5	0.23
A2	0.5		0.5	2	0.31
A3	1	1		3	0.46
			Suma	6.5	1

Resultados de la evaluación total para las alternativas de solución del módulo 1:

Tabla 3-8: Evaluación del peso específico Alternativa-Criterio (Módulo 1)

Alternativa / Criterio	V	F	R	E	C	Σ	Prioridad
A1	0.065	0.067	0.049	0.057	0.043	0.216	3
A2	0.065	0.067	0.037	0.057	0.057	0.218	2
A3	0.130	0.089	0.062	0.071	0.085	0.307	1

3.1.4.2 Evaluación del módulo 2

Tabla 3-9: Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	M	V ₂	E ₂	C ₂	Σ+1	Ponderación
M		0.5	1	0.5	3	0.33
V ₂	1		1	0.5	2.5	0.28
E ₂	1	0,5		0.5	1.5	0.17
C ₂	0	0.5	0.5		2	0.22
				Suma	9	1.00

Tabla 3-10: Evaluación del peso específico del criterio de montaje

Montaje	A1	A2	A3	Σ+1	Ponderación
A1		1	0.5	2.5	0.38
A2	1		0	2	0.31
A3	1	0		2	0.31
			Suma	6.5	1.00

Tabla 3-11: Evaluación del peso específico del criterio de volumen

Volumen	A1	A2	A3	Σ+1	Ponderación
A1		1	0.5	2.5	0.50
A2	0		0	1	0.20
A3	0.5	0		1.5	0.30
			Suma	5	1.00

Tabla 3-12: Evaluación del peso específico del criterio de eficiencia

Eficiencia	A1	A2	A3	Σ+1	Ponderación
A1		1	0.5	2.5	0.45
A2	0.5		0	1.5	0.27
A3	0.5	0		1.5	0.27
			Suma	5.5	1.00

Tabla 3-13: Evaluación del peso específico del criterio de costo

Costo	A1	A2	A3	$\Sigma+1$	Ponderación
A1		1	1	3	0.40
A2	0.5		0.5	2	0.27
A3	1	0.5		2.5	0.33
			Suma	7.5	1

Tabla 3-14: Evaluación del peso específico Alternativa-Criterio (Módulo 2)

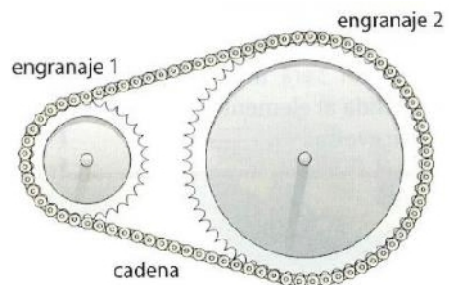
Alternativa / Criterio	M	V_2	E_2	C_2	$\Sigma+1$	Prioridad
A1	0.128	0.139	0.076	0.089	0.432	1
A2	0.103	0.056	0.045	0.059	0.263	3
A3	0.103	0.083	0.045	0.074	0.305	2

3.1.5 Alternativas seleccionadas

A partir de la evaluación del peso específico total de los dos módulos presentados en las tablas 3-8 y 3-14, se ha determinado que las alternativas de solución con mayor prioridad y que garantizarán un diseño óptimo de la máquina son:



a) La alternativa 3, para el módulo 1



b) La alternativa 1, para el módulo 2

Figura 3.8: Alternativas seleccionadas para el diseño

3.2 Cálculos

3.2.1 Diseño del sistema de corte

La máquina cizalladora rotativa está compuesta básicamente por: dos ejes sobre los cuales se acoplarán las cuchillas y engranes; una transmisión de potencia que consta de tres reducciones: la primera se encuentra entre el motor y el reductor los cuales se encuentran conectados mediante dos poleas y una banda, la segunda es la que genera el reductor; y la tercera está formada entre la salida del reductor y el eje motriz de la máquina. A demás cuenta con la bancada sobre la cual se montan todos los elementos.

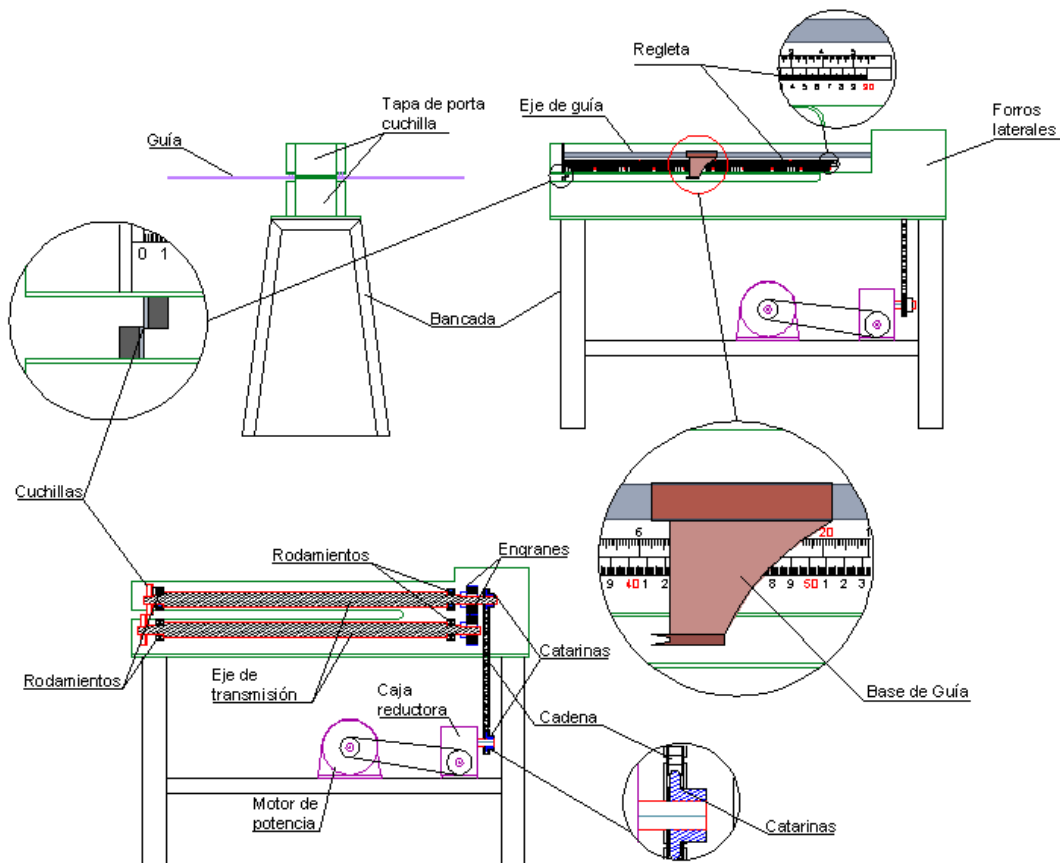


Figura 3.9: Componentes de la máquina

3.2.1.1 Diseño del disco de corte

De acuerdo a la fundamentación teórica los factores principales a considerar para un correcto funcionamiento son: los claros horizontal y vertical entre las cuchillas, el material de la herramienta, la velocidad máxima, el material de trabajo y el ángulo de corte.

Dimensionamiento de las cuchillas

Para determinar el diámetro del disco, se ha realizado el análisis geométrico, donde está representada esquemáticamente la forma que se genera el corte por este método.

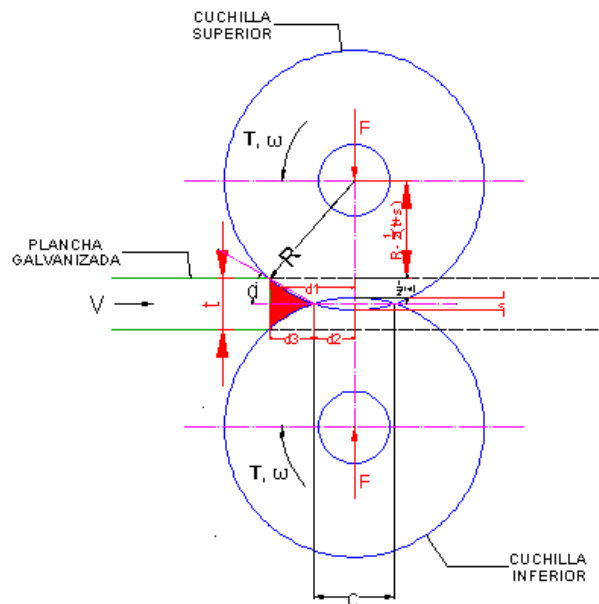


Figura 3.10: Esquema de corte del metal con cuchillas circulares

Nomenclatura

s_v = claro vertical (traslape)

c = cuerda

t = espesor de lamina

α = ángulo de corte formado por las cuchillas y la tangente común.

R = radio de la cuchilla

D = diámetro de la cuchilla

Datos:

$$s_v = 0.35 \text{ mm (ver tabla 2.1)}$$

$$c = 8 \text{ mm}$$

$$t = 1 \text{ mm}$$

De la Fig. 3.10 se deduce las siguientes ecuaciones que facilitará el cálculo del diámetro de la cuchilla.

$$c = 2d_2 \quad (3.1)$$

$$R = \frac{D}{2} \quad (3.2)$$

$$d_1 = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{1}{2}(t + s)\right)^2} \quad (3.3)$$

$$d_2 = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{1}{2}s\right)^2} \quad (3.4)$$

$$d_3 = d_1 - d_2 \quad (3.5)$$

$$\tan \alpha = \frac{t/2}{d_3} \quad (3.6)$$

Combinando (3.2) y (3.4), y despejando D resulta:

$$d_2 = \frac{c}{2} = 4 \text{ mm}$$

$$D = \frac{4d_2^2 + (s)^2}{2s} \quad (3.7)$$

$$D = 91.6035 \text{ mm}$$

El diámetro calculado se utiliza como punto de partida para realizar las iteraciones que permita determinar el diámetro final de las cuchillas, el mismo que debe estar en concordancia con el diámetro de paso (dp), el módulo (m) y el número de dientes de los engranes (N).

Se ha realizado 7 iteraciones variando el número de dientes del engrane con un valor estándar de módulo 3, determinándose así diámetros mayores o iguales al calculado por (3.7).

Para seleccionar los valores del diámetro de las cuchillas y engranes se ha considerado aspectos como:

- Distancia mínima entre ejes
- Diámetros y materiales comerciales de ejes
- Costo de adquisición de materiales y maquinado

Tabla 3-15: Cálculo de diámetros cuchilla-engrane con $m = 3$

N dientes	dp engrane	D cuchilla
	mm	mm
30	90	90,3500
32	96	96,3500
34	102	102,3500
35	105	105,3500
36	108	108,3500
37	111	111,3500
38	114	114.3500

Puesto que el valor de traslape es menor a 1 mm y por la configuración misma de la máquina, durante el proceso de corte pueden generarse deformaciones mayores a este valor, lo cual ocasionaría que las cuchillas tiendan a separarse y no lograr el corte de las láminas. Entonces para evitar este efecto se ha establecido que el diámetro seleccionado para la cuchilla de la tabla 3.15 sea de 110 mm. En base a estos requerimientos, se presenta en la Tabla 3-16 los valores seleccionados.

Tabla 3-16: Diámetros cuchilla-engranes

Módulo mm	Número de dientes	dp (engrane)	Diámetro de la cuchilla
		mm	mm
3	36	108	110

Determinado el diámetro de las cuchillas se procede a calcular el ángulo aproximado que se formará entre la cuchilla superior e inferior, el mismo que permitirá realizar el corte de la plancha galvanizada.

$$D = 110 \text{ mm}$$

$$R = \frac{110}{2}$$

Aplicando (3.1), (3.3), (3.4), (3.5) y (3.6) se obtiene los valores corregidos de las dimensiones geométricas que determinan el ángulo de corte.

$$d_1 = 8.59 \text{ mm}$$

$$d_2 = 4.384 \text{ mm}$$

$$c = 8.768 \text{ mm}$$

$$d_3 = 4.206 \text{ mm}$$

$$\alpha = 6.78^\circ$$

Selección del material de la cuchilla

Con el diámetro calculado y en base a las propiedades del metal a cortar y a las recomendaciones propuestas en el literal 2.3.4 se ha seleccionado una cuchilla circular de 110 mm de diámetro en acero K100 (AISI D3), cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el anexo A-1

Tabla 3-17: especificaciones técnicas del acero K100 [14]

Propiedades físicas a 20 °C		Magnitud	
Módulo de elasticidad		210 GPa	
Resistencia eléctrica		0,65 Ohm-mm ² /m	
Calor específico		460 J/(Kg-K)	
Conductividad térmica		20 W/(m-K)	
Densidad		7,7 kg/dm ³	
Composición química (valores aproximados)			
C	Si	Mn	Cr
2	0,25	0,35	11,5

3.2.1.2 Cálculo de la fuerza de corte

En la Fig. 3.11 se ha representado las fuerzas requeridas para realizar el avance y el trabajo de corte de la lámina.

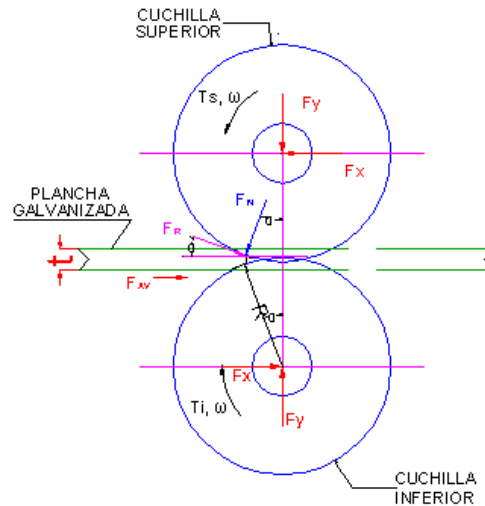


Figura 3.11: Diagrama de fuerzas del sistema de corte

Nomenclatura:

F_R = Fuerza de rozamiento.

F_N = Fuerza radial o normal

F_{AV} = Fuerza de avance

F_x = Fuerza horizontal de que ejerce el eje sobre la cuchilla

F_y = Fuerza vertical de que ejerce el eje sobre la cuchilla

μ = Coeficiente de fricción por rodadura entre la superficie de la plancha y la superficie de las cuchillas.

Los cálculos se realizan en base al conocimiento de los siguientes datos:

- Coeficiente de fricción por rodadura -Acero-Acero ($\mu = 0.02$) [18]
- Resistencia del acero galvanizado comercial es de 380 MPa. (Ver Anexo A-2)
- La fuerza de rozamiento

$$\mu F_N = F_R \quad (3.8)$$

En la Fig. 3.12 se observa que las fuerzas que realizarán el corte son las componentes verticales de las fuerzas que se generan durante el contacto entre la lámina y las cuchillas. Entonces la fuerza de corte a aplicarse es la equivalente a la sumatoria de las fuerzas perpendiculares que ejerce cada cuchilla sobre la superficie de la lámina galvanizada. Por tanto, a partir del diagrama de cuerpo libre presentado, se tiene:

$$F_C = F_N \cos \alpha + F_R \sin \alpha \quad (3.9)$$

El área de cizallamiento es la sección sombreada de la Fig. 3.9. Como se está realizando el análisis entorno a la cuchilla superior el área de cizallamiento será la mitad del total de área sombreada:

$$A = \frac{d_3 * t/2}{2}$$

$$A = \frac{t^2}{8 * \tan(\alpha)} \quad (3.10)$$

De donde reemplazando (3.10) en (2.5) la fuerza de cizallamiento resulta:

$$F_C = 0.7 * \frac{t^2}{8 * \tan \alpha} * S_{ut} \quad (3.11)$$

$$F_C = 279.724 \text{ N}$$

Para garantizar el corte de la lámina galvanizada se asume un factor de seguridad de 3.

$$n = 3$$

$$F_C' = F_C * n$$

$$F_C' = 278.436 * 3 \text{ N}$$

$$F_C' = 839.172 \text{ N}$$

Determinada la fuerza de corte, se puede encontrar las magnitudes de la fuerza de avance de la plancha y la fuerza de rozamiento. Estas fuerzas se calculan en base al diagrama de cuerpo libre de la lámina galvanizada indicado en la Fig. 3.12.

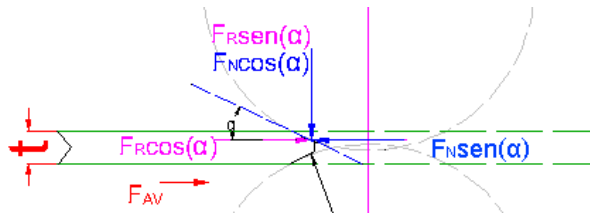


Figura 3.12: Diagrama de fuerzas del sistema de corte

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ F_{AV} + F_R \cos \alpha - F_N \sin \alpha &= 0 \\ F_{AV} &= -F_N(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)\end{aligned}\quad (3.12)$$

Combinando (3.9) y (3.12) se obtiene:

$$\begin{aligned}F_{AV} &= -F_C' \frac{(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \\ F_{AV} &= 82.77 \text{ N}\end{aligned}$$

Despejando F_N de (3.9) resulta:

$$\begin{aligned}F_N &= \frac{F_C'}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \\ F_N &= 843.075 \text{ N}\end{aligned}$$

De (3.8) se obtiene la fuerza de fricción:

$$\begin{aligned}F_R &= \mu F_N \\ F_R &= 16.862 \text{ N}\end{aligned}$$

En base al diagrama de cuerpo libre de la Fig. 3.13, donde se indica las fuerzas que actúan sobre la cuchilla, se determinan las fuerzas que transmite el disco de corte al eje.

$$\begin{aligned}R &= \frac{D}{2} \\ d_x &= \frac{D}{2} \sin \alpha = \frac{110}{2} \sin(6.78) = 6.49 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$d_y = \frac{D}{2} \cos \alpha = \frac{110}{2} \cos(6.78) = 54.62 \text{ mm}$$

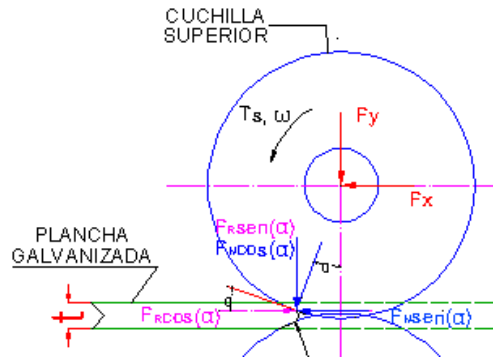


Figura 3.13: Diagrama de fuerzas del sistema de corte

$$\sum F_x = 0$$

$$F_R \cos \alpha - F_N \sin \alpha - F_x = 0$$

$$F_x = F_N(\mu \cos \alpha - \sin \alpha)$$

$$F_x = -82.77 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_N \cos \alpha - F_R \sin \alpha - F_y = 0$$

$$F_y = -F_N(\cos \alpha + \mu \sin \alpha)$$

$$F_y = -839.172 \text{ N}$$

3.2.1.3 Cálculo del Trabajo de corte

El torque necesario para realizar el corte de la plancha galvanizada corresponde a la suma de los torques que se generan por acción de la fuerza de corte siendo estas: las componentes horizontales de la fuerza normal y de rozamiento, y la fuerza de avance de la lámina. Las mismas que se indican en la Fig. 3.14.

Realizando la sumatoria de torques con respecto al eje **a**, se obtiene el momento de torsión máximo que se debe ejercer durante el proceso de corte.

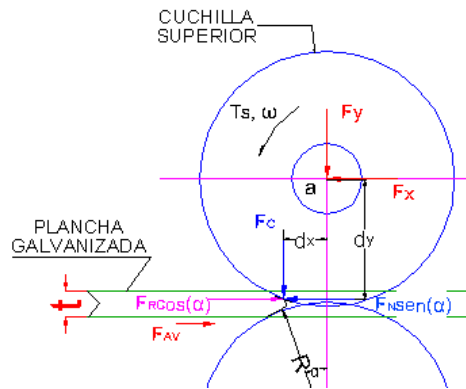


Figura 3.14: Diagrama de fuerzas que generan torque

$$\sum M_a = T_{max}$$

$$F_C * d_x + (F_{AV} + F_R \cos \alpha) * d_y - F_N \sin \alpha * d_y = T_C$$

$$T_C = 5447.897 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

3.2.1.4 Cálculo de la potencia

Datos:

$V = 21 - 24 \text{ m/min}$ (Recomendado por ASM Metals Handbook [19])

$D = 110 \text{ mm}$

$$F_C' = 839.172 \text{ N} = 0.839 \text{ kN}$$

Cálculos

$$n = \frac{12 * V}{D * \pi} \text{ [RPM]}$$

Donde V esta en pies/min y D en pulgadas,

$$0.77 \leq n_C \leq 69.45 \text{ [RPM]}$$

$$n_C = 63 \text{ RPM (Velocidad seleccionada para el sistema)}$$

La potencia necesaria para realizar el corte es:

$$H_C = \frac{F_C D n \pi}{60000}$$

$$H_C = 0.304 \text{ kW}$$

La potencia calculada es la necesaria para realizar el trabajo de una sola cuchilla, por lo tanto, la potencia total requerida para el sistema de corte será:

$$H_T = 2H_C$$
$$H_T = 0.608 \text{ kW}$$

3.2.1.5 Selección del motor

Con la potencia calculada se ha seleccionado un motor de marca WEG de 0.746 kW, con voltaje de 110 a 220 y 1750 RPM, Ver Anexo A-3.



Figura 3.15: Motor trifásico WEG [24]

3.2.2 Diseño del sistema de transmisión de potencia

El sistema está compuesto por un motor eléctrico el mismo que se conecta mediante un sistema de banda y poleas con un reductor de velocidad el cual transmite la potencia a través de una cadena conectada a un par de catarinas, las cuales se encuentran colocadas en el eje del reductor y en el eje del sistema de corte.

Para generar el efecto tijera que deben realizar las cuchillas se implementará un par de engranes montados uno en cada eje. La configuración geométrica de los ejes estará determinada por el diseño de cada elemento que se acoplará sobre ellos.

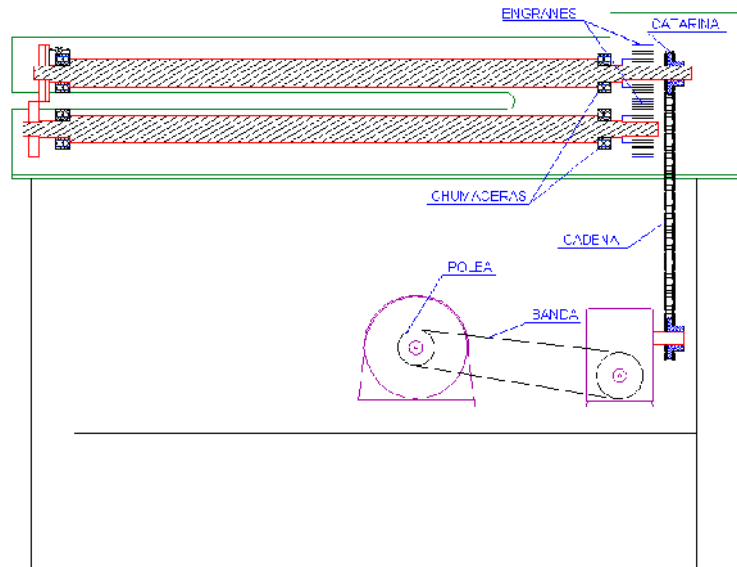


Figura 3.16: Esquema del sistema de transmisión y corte

3.2.2.1 Selección del reductor de velocidad

Análisis de relaciones de velocidades

En la fig. 3.17 se indica el análisis cinemático del sistema de transmisión el cual está definido por tres relaciones de velocidades, la primera es obtenida entre el motor y el reductor, la segunda es la que entrega el reductor y la tercera es la requerida para obtener la velocidad de corte. De estas relaciones dependerán las dimensiones del reductor, poleas y catarinas.

Nomenclatura:

n_m = Velocidad de giro del motor

n_c = Velocidad de giro requerido para el corte

n_s = Velocidad de giro a la salida del reductor

i_s = Relación de transmisión entre las catarinas

i_R = Relación de transmisión del reductor

i_B = Relación de transmisión entre las poleas

H_{nom} = Potencia nominal

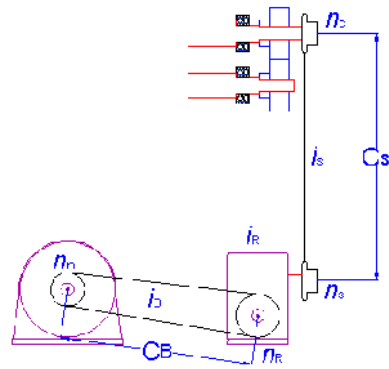


Figura 3.17: Diagrama cinemático del sistema de transmisión.

Datos:

$$H_{nom} = 0.746 \text{ kW} = 1 \text{ hp}$$

$$n_m = 1750 \text{ RPM}$$

$$n_c = 63 \text{ RPM}$$

$$i_s < 7 \text{ para catarinas (Robert Mott, pp. 290)}$$

Cálculos

$$i_s = \frac{n_s}{n_c} \quad (3.13)$$

$$i_R = \frac{n_R}{n_s} \quad (3.14)$$

$$i_B = \frac{n_m}{n_R} \quad (3.15)$$

Los criterios para determinar las relaciones de transmisiones del sistema son:

- El diámetro de la catarina mayor este en concordancia con el diámetro del engrane.
- Las relaciones de transmisión estén en concordancia con los tamaños de las poleas y catarinas.
- La relación de transmisión del reductor de velocidad sea comercial.

Tabla 3-18: Análisis de velocidades

$n_m=1750$ RPM					
i_B	i_R	i_s	n_R	n_s	n_c
1,5	10	1,2	1166,7	116,7	97,2
2	8	1,3	875,0	109,4	84,1
3	7	1,4	583,3	83,3	59,5
4	6	1,5	437,5	72,9	48,6
2	5	1,6	875,0	175,0	109,4
3	4	2	583,3	145,8	72,9
4	5	1,2	437,5	87,5	72,9

Las relaciones de transmisión que se ajustan a los requerimientos y con las que más se aproxima la velocidad requerida son:

$$\begin{aligned} i_B &= 3 \\ i_R &= 7 \\ i_s &= 1,4 \end{aligned}$$

Analizado la relación de transmisión del reductor, se procede a determinar el factor de servicio que garantice su correcto funcionamiento.

$$F_s = 1.25 \text{ (Ver Anexo A-4)}$$

$$H_R = H_{nom} * F_s$$

$$H_R = 1.25 Hp$$

Del anexo A-5 de ha seleccionado un reductor UGS – 51 con relación de 7.5:1.

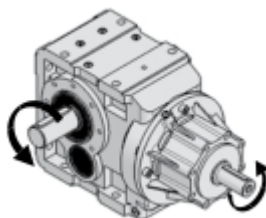


Figura 3.18: Reductor de velocidad [24]

3.2.2.2 Selección de Cadena y catarinas

La transmisión de potencia del reductor hacia los ejes se lo realizó por medio de cadenas y catarinas, puesto que una de las características de este tipo de transmisiones es que su relación de velocidad es constante debido a que no presentan deslizamientos.

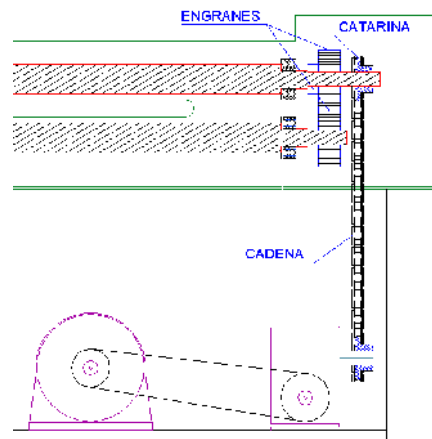


Figura 3.19: Transmisión de potencia por cadena

Nomenclatura:

N_s = Número de dientes de la Catarina conductora

N_c = Número de dientes de la Catarina conducida.

p = Paso de la cadena.

C_s = Distancia entre centros de catarinas

L = Longitud de la cadena

f_s = Factor de servicio para transmisión por cadena

Datos

$30p \leq C \leq 50p$ (Robert Mott, pp. 290)

$C_s = 30p$

$f_s = 1.3$ (Anexo B - 7)

$i_s = 1.4$

$N_s = 18$ *dientes* ([25], pp. 290)

$K_r = 17$ (para cadenas 40-240)

Cálculos:

La potencia nominal limitada por placa del eslabón, es:

$$H_1 = 0.004N_1^{1.08}n_s^{0.9}p^{3-0.07p} \quad (3.16)$$

$$H_1 = 2.19 \text{ hp}$$

$$H_2 = \frac{1000K_r N_s^{1.5} p^{0.8}}{n_s^{1.5}} \quad (3.17)$$

$$H_2 = 1245.099 \text{ hp}$$

La potencia permisible H_a se determina mediante

$$H_a = k_1 * k_2 * H_{Tab} \quad (3.18)$$

k_1 = Factor de correccion del diente

k_2 = Factor de torrones multiples

$$k_1 = 1$$

$$k_2 = 2$$

Reemplazando en (3.18) resulta:

$$H_a = 2.057 \text{ hp}$$

Potencia de diseño

$$H_{diseño} = H_{nom} * k_s * f_s \quad (3.19)$$

$$H_{diseño} = 1.69 \text{ hp}$$

En base a la potencia de diseño, al número de dientes y a la velocidad de giro a la entrada, del Anexo B-8 se ha seleccionado el paso y el tipo de cadena.

Tabla 3-19: Selección del tipo de cadena [25]

Paso Pulg.	Cadena N°	Velocidad RPM	Potencia Tab. hp	Catarina Dient.
0.75	60	88.2	2.3	18

$$i_s = \frac{n_s}{n_c} = \frac{N_c}{N_s} \quad (3.20)$$

$$N_c = i_s * N_s$$

$$N_c = 25.2 \text{ dientes}$$

$$N_c = 25 \text{ dientes}$$

Los diámetros primitivos de las catarinas son:

D_s = Diámetro de la catarina motriz

D_c = Diámetro de la catarina conducida

$$D_c = \frac{p}{\sin\left(\frac{180}{N_c}\right)} \quad (3.21)$$

$$D_s = \frac{p}{\sin\left(\frac{180}{N_s}\right)}$$

$$D_c = 5.98 = 6 \text{ pulg.}$$

$$D_s = 4.32 = 4 \text{ pulg.}$$

La longitud de la cadena y distancia entre centros son:

$$L' = 2C + \frac{N_a + N_c}{2} + \frac{(N_a - N_c)^2}{4\pi^2 C} \quad (3.22)$$

$$L' = 81.54 = 82 \text{ pasos}$$

$$A = \frac{N_a + N_c}{2} - L'$$

$$A = -60.5$$

$$C' = \frac{1}{4} \left[-A + \sqrt{A^2 - 8 \left(\frac{N_a + N_c}{2\pi} \right)^2} \right] \quad (3.23)$$

$$C' = 30.011 = 30 \text{ pasos}$$

La longitud total de la cadena y la distancia entre centros son:

$$L = 82 * 0.75 = 61.5 \text{ pulg.}$$

$$C = 30 * 0.75 = 22.5 \text{ pulg.}$$

Los ángulos de contacto en cada catarina son:

$$\theta \geq 120 \text{ grados}$$

$$\theta_a = 180^\circ + 2 * \sin^{-1}[(D_a - D_c)/2C] \quad (3.24)$$

$$\theta_a = 183.82^\circ$$

$$\theta_c = 180^\circ - 2 * \sin^{-1}[(D_a - D_c)/2C]$$

$$\theta_c = 176.18^\circ$$

Tabla 3-20: Datos de catarinas y cadena seleccionada

Ítem	Simb.	Descripción	Unidades	Magnitud
1	H	Potencia nominal	hp	1
2	n_c	Velocidad de corte	Rpm	63
3	N_c	Dientes de la Catarina conducida	Unidades	18
4	N_s	Dientes de la Catarina conductora	Unidades	25
5	D_s	Diámetro de la catarina motriz	Pulg.	4
6	D_c	Diámetro de la catarina conducida	Pulg.	6
7	p	El paso de la cadena.	Pulg.	3/4
8	C_s	Distancia entre centros	Pulg.	30
9	L	Número de pasos de la cadena	Pasos	101
10	γ	Ángulo de paso		15°

La cadena seleccionada es ANSI 60 de torón simple, de lubricación manual. Estos datos se determinaron en base a los criterios de selección de cadenas, planteados en el libro de Robert Mott [25].

3.2.2.3 Selección de Banda y Poleas

De acuerdo al análisis de velocidades realizado en el literal 3.2.2.1 la relación de transmisión que debe existir entre la polea del motor y la polea a la entrada del

reductor es de 2.83, la misma que servirá para determinar las dimensiones de poleas.

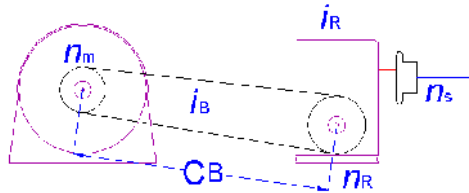


Figura 3.20: Diagrama cinemático de poleas

Nomenclatura

D_m = Diámetro de la polea a la salida del motor

D_R = Diámetro de la polea a la entrada del reductor

Datos:

$i_B = 3$ (Determinado en el literal 3.2.2.1)

$n_m = 1750 \text{ RPM}$

$n_R = 583.3 \text{ RPM}$ (Determinado en el literal 3.2.2.1)

$H_{nom} = 0.746 \text{ kw} = 1 \text{ hp}$

$k_s = 1.2$ (Ver anexo C - 1)

Cálculos

Potencia de diseño

$$H_a = H * k_s \quad (3.25)$$

$$H_a = 1.2 \text{ hp}$$

En base a la potencia de diseño y a la velocidad a la entrada del sistema se ha seleccionado de la fig. 7-9 del Anexo C-2 una banda tipo 3V.

Determinado el tipo de banda, se ha procedido a seleccionar los diámetros de las poleas, para lo cual se ha tomado en cuenta las recomendaciones descritas en el libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott [25], donde se calcula el diámetro de la polea motriz como primera iteración con velocidad de banda de 4000 pies/min.

$$D_m = \frac{12 * V_b}{\pi * n_s}$$

$$D_m = 8.73 \text{ pulg.}$$

Tabla 3-21: Tamaños tentativos de poleas para el sistema de transmisión

D_m (Estándar)	D_R (Calculado)	D_R (Estándar)	n_R
7.95	23.85	18.95	734
6.45	19.35	18.95	596
5.95	17.85	18.95	549
4.7	14.1	13.95	590
2.75	8.25	7.95	605
2.6	7.8	7.95	572

Una vez realizado las iteraciones necesarias en base a la fig. 7-11 del Anexo C-2 se ha determinado que el tipo de banda y las poleas requeridas para este sistema de transmisión son:

$$D_m = 2.6 \text{ pulg.}$$

$$D_R = 7.95 \text{ pulg.}$$

$$n_R = 572 \text{ RPM (Real)}$$

Tipo de banda: 3V

Potencia nominal de la banda: 1.5 hp

3.2.2.4 Diseño del engrane

El tipo de engranes a diseñar son rectos, de profundidad completa; con diámetro de paso determinado por la separación de los ejes que están montados las cuchillas. Las dimensiones de los dos piñones son iguales, por tal motivo se diseñó solo un piñón.

Nomenclatura

P_d = Paso diametral

N= Número de dientes

p= Paso circular

m= Módulo

dp= Diámetro de paso

ϕ = Ángulo de presión

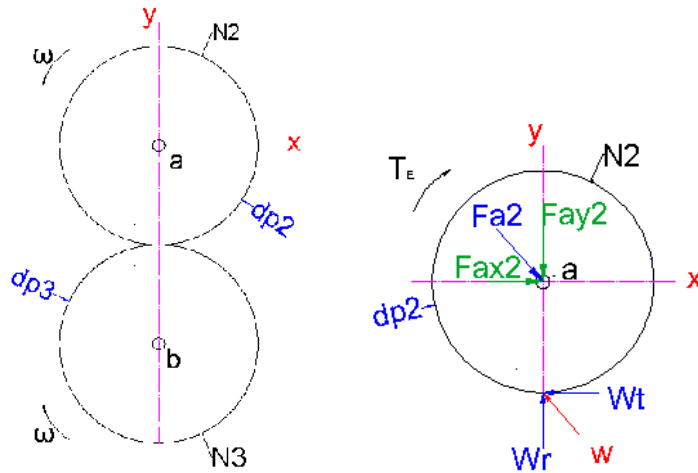


Figura 3.21: Diagrama de cuerpo libre del engrane N2

Datos

$$m = 3$$

$$dp = 108 \text{ mm} \text{ (Ver Tabla 3.16)}$$

$$n = 63 \text{ RPM (determinado en el literal 3.2.2.1)}$$

$$N = 36 \text{ dientes (ver Tabla 3.1)}$$

$$V = 24 \text{ m/min}$$

$$H = 0.746 \text{ Kw}$$

Cálculos

$$W^t = \frac{60000 * H}{dp * n * \pi}$$

$$W^t = 2094 \text{ N}$$

$$W^r = W^t_{23} * \tan \phi$$

$$W^r = 2094 * \tan 20$$

$$W^r = 762.15 \text{ N}$$

El torque transmitido por el engrane es:

$$T_E = W^t * \frac{dp}{2}$$
$$T_E = 113.076 \text{ KN} \cdot \text{mm}$$

Diseño por contacto superficial

El diseño de los engranes se realiza en base al método AGMA.

Ecuación fundamental de la resistencia por contacto superficial. Shigley [26]

$$\sigma_c = Z_E \sqrt{W_P^t K_o K_v K_s \frac{K_H}{d_p b} \frac{Z_R}{Z_I}} \quad (3.26)$$

Z_E = Coeficiente elástico

$$Z_E = 191 \sqrt{\text{MPa}} \quad (\text{Shigley pp. 737})$$

Z_I = Factor geométrico de resistencia a la picadura

$$Z_I = \frac{\cos \phi \sin \phi}{2m_N} \frac{m_G}{m_G + 1} \quad (3.27)$$

$m_N = 1$ Para engranes de dientes rectos

$m_G = 1$ Por tratarse de engranes de las mismas características dimensionales y mecánicas

Reemplazando m_N y m_G en (3.27) resulta:

$$Z_I = 0.08035$$

K_V = Factor dinámico

$$K_V = \left(\frac{A + \sqrt{200V}}{A} \right)^B$$
$$A = 50 + 56(1 - B)$$

$$B = 0.25(12 - Q_v)^{2/3} \quad (3.28)$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones de (3.28) el factor dinámico resulta:

$$Q_v = 6 \text{ (Ver anexo B - 1)}$$

$$B = 0.8255$$

$$A = 59.773$$

$$K_v = 1.8877$$

K_o = Factor de sobrecarga

Tabla 3-22: Factores de sobrecarga, K_o [26]

Máquina impulsada			
Fuente de potencia	Uniforme	Impacto moderado	Impacto pesado
Uniforme	1.00	1.00	1.75
Impacto ligero	1.25	1.25	2.00
Impacto medio	1.50	1.50	2.25

$$K_o = 1.25$$

Z_R = Factores de la condición superficial

$$Z_R = 1$$

K_s = Factor de tamaño

$$K_s = \frac{1}{k_b} = 1.192 \left(\frac{F\sqrt{Y}}{P_d} \right)^{0.0535} \quad (3.29)$$

Se ha seleccionado el ancho de cara de 35 mm, ya que está dentro de los parámetros límite de diseño.

$$8m < F < 16m \text{ (Robert Moot [21])}$$

$$24 < 35 < 48 \text{ (mm)}$$

$$F = 35 \text{ mm}$$

$$P_d = \frac{1}{m}$$

El valor del factor de forma de Lewis Y para engranes de 36 dientes con ángulo de presión de 20° es:

$$Y = 0.3775 \text{ (Anexo B-2)}$$

Reemplazando Y, F, P_d en (3.29) resulta:

$$K_s = 1.45$$

K_H = Factor de distribución de la carga

$$K_H = 1 + C_{mc}(C_{pf}C_{pm} + C_{ma}C_e) \quad (3.30)$$

$$C_{mc} = 1 \text{ (Para dientes sin coronar)}$$

$$C_{pf} = \frac{F}{10dp} - 0.0375 + 0.0125F \quad 1 < F \leq 17 \text{ pulg.}$$

$$C_{pf} = 0.0121$$

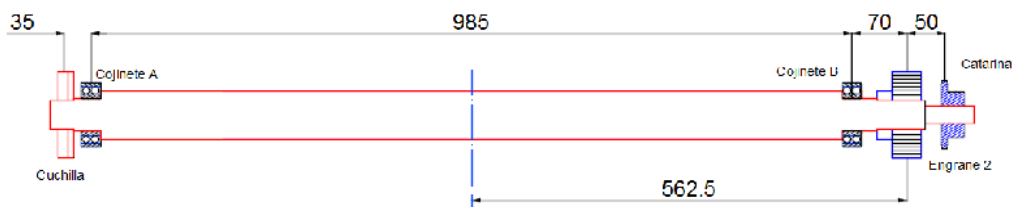


Figura 3.22: Disposición de elementos mecánicos

$$S_1 = 562.5 \text{ mm}$$

$$S = 985 \text{ mm}$$

$$\frac{S_1}{S} = 0.571 \geq 0.175$$

Los valores de A, B, C están en el anexo B-3

$$C_{ma} = A + BF + CF^2$$

$$C_{ma} = 0.27$$

$$C_{pm} = 1.1 \text{ ([26], pp 740)}$$

$C_e = 1$ Para engranajes con diferentes tipos ensamble

Resolviendo (3.30) se tiene:

$$K_H = 1.283$$

Reemplazando los valores correspondientes en la Ec. 3.26, la resistencia por contacto superficial resulta:

$$\sigma_c = 1050.756 \text{ MPa}$$

En base a la resistencia por contacto superficial, del Anexo B-6 se ha preseleccionado un acero AISI 4340, tratado térmicamente con temple y revenido a 315 °c.

$$s_y = 1590 \text{ MPa}$$

$$s_{ut} = 1720 \text{ MPa}$$

$$HB = 486$$

Comprobación a través del factor de seguridad AGMA

σ_{per} = Esfuerzo de contacto permisible

$$\sigma_{per} = \frac{S_c Z_N Z_W}{S_H Y_\theta Y_Z} \quad (3.31)$$

S_c = Resistencia a la fatiga superficial

$$S_c = 2.22HB + 200 \text{ MPa}$$

$$S_c = 1238.96 \text{ MPa}$$

Z_N = Factor de vida de ciclos de esfuerzo (Ver Anexo B – 5)

$$L_p = 12000 \text{ h (Ver Anexo B – 4)}$$

$$L_p = 12000h * \frac{60min}{h} * \frac{63 rev}{min}$$

$$L_p = 4.536 \times 10^7 \text{ rev}$$

$$Z_N = 0.98$$

Z_W = Factores de la relación de durezas de resistencia a la picadura

$$\frac{H_{BP}}{H_{BG}} < 1.2 \quad A' = 0$$

$$\frac{H_{BP}}{H_{BG}} > 1.7 \quad A' = 0.00698$$

$$Z_W = 1.0 + A'(m_G - 1)$$

$$Z_W = 1.0$$

Y_Z = Factores de confiabilidad

$$Y_Z = 1 \quad \text{Para confiabilidad del 99 \% ([26], pp 744)}$$

Y_θ = Factor de temperatura

$$Y_\theta = 1 \quad (\text{[24], pp 744})$$

Despejando el factor de seguridad AGMA S_H de (3.31) se obtiene:

$$S_H = \frac{S_c * Z_N * Z_W}{\sigma_c * Y_\theta * Y_Z}$$

$$S_H = 1.16$$

$$1 \leq S_H \leq 1.5 \quad (\text{[25], pp. 404})$$

El factor de seguridad se encuentra dentro de los parámetros recomendados; el material preseleccionado cumple con los requerimientos de diseño a desgaste para el engrane.

Diseño a flexión

El acero ANSI 4340 cumplió con los requerimientos de diseño a desgaste. Ahora se verificará su resistencia mediante el esfuerzo a flexión.

$$s_y = 1590 \text{ MPa}$$

$$s_{ut} = 1720 \text{ MPa}$$

$$\text{HB} = 486$$

$$\sigma = W^t K_o K_v K_s \frac{1}{F m_t} \frac{K_H K_B}{Y_j} \quad (3.32)$$

Los factores K_o, K_v, K_s, K_H son los mismos que de determinaron para el diseño por contacto superficial.

$$K_o = 1.25$$

$$K_v = 1.8877$$

$$K_s = 1.45$$

$$K_H = 1.283$$

K_B = Factor del espesor del aro, ([26], pp 744)

$$K_B = 1$$

Y_j = Factor geométrico de resistencia a la flexión, ([26], pp. 733)

$$Y_j = 0.4$$

Módulo métrico transversal: $m_t = m = 3 \text{ mm}$

Y_N = Factor de ciclos de esfuerzo de resistencia a la flexión

$$Y_N = Z_N = 0.98$$

$Y_Z = 1$ Para confiabilidad del 99 % ([26], pp 744)

$Y_\theta = 1$ Para temperatura ambiente

Reemplazando los valores en (3.32) el esfuerzo de flexión resulta:

$$\sigma = 218.859 \text{ MPa}$$

S_t = Esfuerzo de flexión permisible

$$S_t = 0.568HB + 83.8 \text{ MPa}$$

$$S_t = 359.848 \text{ MPa}$$

S_F = Factor de seguridad

$$S_F = \frac{S_t Y_N}{\sigma_F Y_\theta Y_Z} \quad (3.33)$$

$$S_F = 1.62$$

El factor de seguridad se encuentra dentro de los parámetros recomendados; entonces se comprueba que el acero ANSI 4340 cuyas propiedades mecánicas se encuentran en el Anexo B-6 cumple con los requerimientos de resistencia a desgaste superficial y a flexión.

Luego del análisis de esfuerzos por flexión y desgaste superficial se establece que los engranes diseñados poseen las siguientes características dimensionales:

Tabla 3-23: Características dimensionales

N	Simb.	Descripción	Unidades	Dimensión
1	P_d	Paso diametral	(dient/pulg)	8.467
2	N	Número de dientes	unidades	36
3	p	Paso circular	pulgada	9.424
4	m	Módulo	mm	3
5	dp	Diámetro de paso	mm	108
6	de	Diámetro exterior	mm	114
7	di	Diámetro Interior (raíz)	mm	100.5
8	n	Velocidad angular	RPM	63
9	\emptyset	Ángulo de presión	°	20
10	F	Ancho de cara	mm	35

Cálculo de la fuerza que actúan sobre la Catarina conducida

El sistema de transmisión por cadena genera un lado tensionado el cual produce el par torsional en el eje a través de la catarina. Y otro lado llamado lado flojo, el

mismo que no ejerce ninguna fuerza. Entonces las fuerzas que actúan sobre la catarina conducida son las indicadas en la Fig. 3.23.

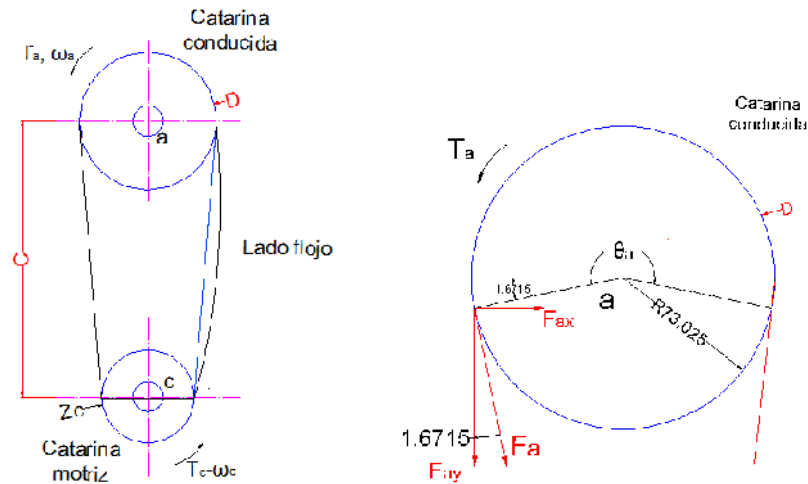


Figura 3.23: Diagrama de cuerpo libre de la catarina

Datos:

$$D = D_c = 6 \text{ pulg} = 152.4 \text{ mm}$$

$$n_a = 63 \text{ RPM}$$

F_a = Fuerza de tensión

$$T_E = 113.076 \text{ kN} \cdot \text{mm} \quad \curvearrowright$$

$$T_C = 5.447 \text{ kN} \cdot \text{mm} \quad \curvearrowright$$

Cálculos

$$T_a = T_E - T_C$$

$$T_a = 107.629 \text{ kN} \cdot \text{mm}$$

$$T_a = F_a * \frac{D_c}{2}$$

$$F_a = \frac{2 * T_a}{D_c}$$

$$F_a = 1.474 \text{ kN}$$

$$F_{ay} = 1.473 \text{ kN}$$

$$F_{ax} = 0.043 \text{ kN}$$

3.2.3 Diseño del eje

3.2.3.1 Cálculo de las reacciones y momentos de torsión y flexión en el eje.

En la Fig. 3.24 se detallan las fuerzas que actúan sobre el eje a través de cada elemento mecánico.

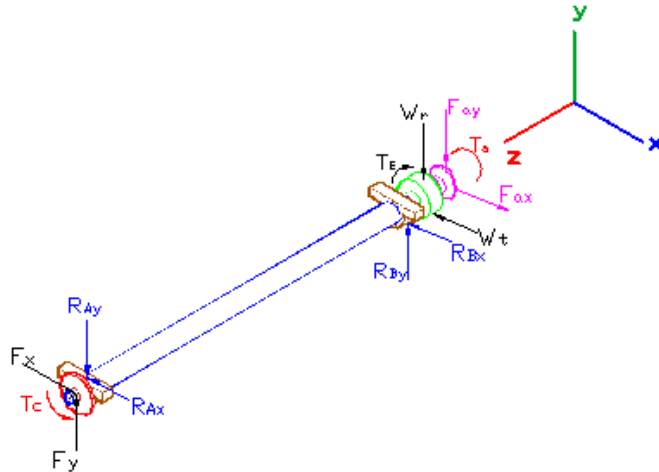


Figura 3.24: Disposición de los elementos mecánicos sobre el eje

➤ Cálculo de las reacciones en los puntos A y B, con respecto al plano z-x.

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ F_x * 35 + R_{Bx} * 985 + W_t * 1055 - F_{ax} * 1105 &= 0 \\ R_{Bx} &= \frac{-F_x * 35 - W_t * 1055 + F_{ax} * 1105}{985} \\ R_{Bx} &= \frac{-82.77 * 35 - 2094 * 1055 + 43 * 1105}{985} \\ R_{Bx} &= -2197.51 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sum F_x &= 0 \\ -F_x + R_{Ax} + R_{Bx} + W_t - F_{ax} &= 0 \\ R_{Ax} &= F_x - R_{Bx} - W_t + F_{ax} \\ R_{Ax} &= 82.77 - (-2197.51) - 2094 + 43 \\ R_{Ax} &= 229.28 \text{ N}\end{aligned}$$

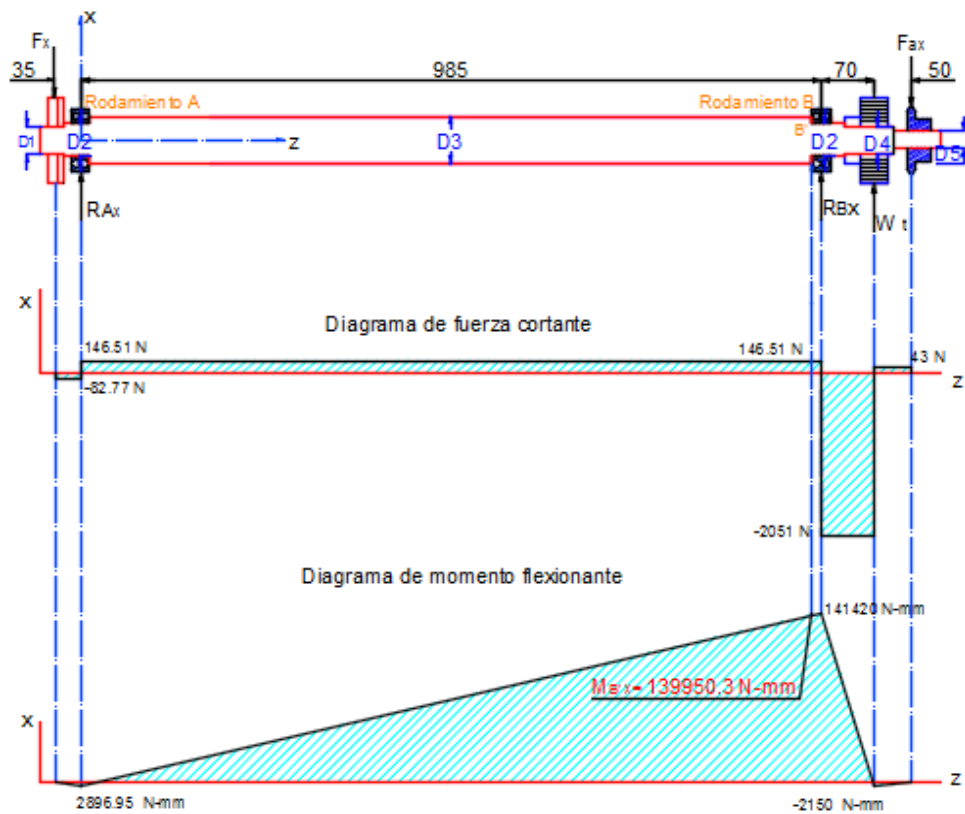


Figura 3.25: Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante plano x-z

- Cálculo de las reacciones sobre los puntos A y B con respecto al plano z-y.

$$\sum M_A = 0$$

$$-F_y * 35 + R_{By} * 985 - W_r * 1055 - F_{ay} * 1105 = 0$$

$$R_{By} = \frac{F_y * 35 + W_r * 1055 + F_{ay} * 1105}{985}$$

$$R_{By} = \frac{839.172 * 35 + 762 * 1055 + 1473 * 1105}{985}$$

$$R_{By} = 2498.422 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_y - R_{Ay} + R_{By} - W_r - F_{ay} = 0$$

$$R_{Ay} = F_y + R_{By} - W_r - F_{ay}$$

$$R_{Ay} = 839.172 + 2498.422 - 762 - 1473$$

$$R_{Ay} = 1102.59 \text{ N}$$

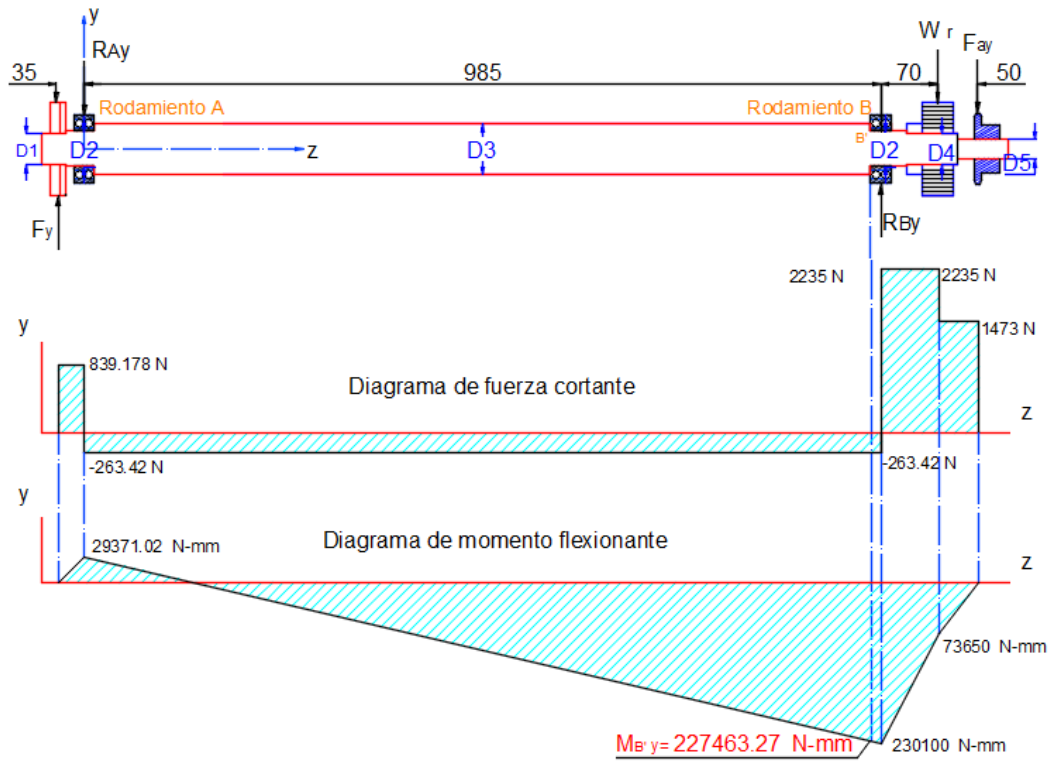


Figura 3.26: Diagrama de fuerza cortante y momento flexionante

➤ Cálculo del momento flector en la zona crítica del eje.

En la Fig. 3.27 se indica la sección donde se generan los momentos máximos del eje, sin embargo, la parte más crítica resulta en el punto B', donde se montará el rodamiento.

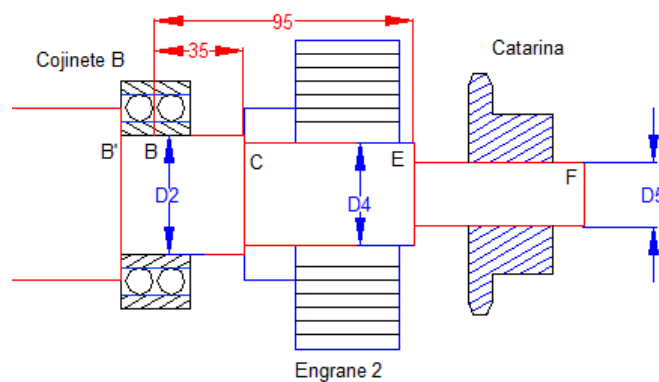


Figura 3.27: Sección crítica del eje

El momento flexionante en el punto B' se encuentra a 975 mm de la reacción en A y calculando por el método de las áreas se tiene:

$$M_{B'x} = 139950.3 \text{ N.mm}$$

$$M_{B'y} = 227463.27 \text{ N.mm}$$

$$M_{B'} = \sqrt{(M_{B'x})^2 + (M_{B'y})^2}$$

$$M_{B'} = \sqrt{(139950.3)^2 + (227463.27)^2}$$

$$M_{B'} = 267068.579 \text{ N.mm}$$

➤ Par torsional

$$T_a = 113076 \text{ N.mm} \text{ (Ver sección 3.2.1)}$$

3.2.3.2 Determinación del diámetro del eje

Nomenclatura

k_a = Factor de modificación de la condición superficial

k_b = Factor de modificación del tamaño

k_c = Factor de modificación de la carga

k_d = Factor de modificación de la temperatura

k_e = Factor de confiabilidad

k_f = Factor de modificación de efectos varios

$K_f = K_t$ = Factores de concentración del esfuerzo por fatiga

q = Sensibilidad a la muesca

n = Factor de seguridad

d = Diámetro del nominal del eje

Cálculo de la resistencia a la fatiga

Se ha preseleccionado para el eje un acero comercial AISI 4340 cuyas propiedades mecánicas se encuentran en el Anexo B-6.

$$s_y = 1590 \text{ MPa}$$

$$s_{ut} = 1720 \text{ MPa}$$

Límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (3.34)$$

Factores que modifican el límite de resistencia a fatiga:

$$k_a = a S_{ut}^b$$

$$a = 4.51, b = -0.265. \text{ (Anexo D - 1)}$$

$$k_a = 0.626$$

$$k_b = 0.9 \text{ (Se asume para la primera iteración)}$$

Debido a que el eje estará sometido solamente a cargas flexionantes, en temperaturas no mayores a la del ambiente y considerando una confiabilidad mayor al 50% se ha establecido del Anexo D-2 los siguientes factores:

$$k_c = k_e = k_f = 1 \text{ (Anexo D-2)}$$

$$k_d = 1 \text{ (Shigley [24], pp 284)}$$

$$S'_e = 0.5 S_{ut}$$

$$S'_e = 860 \text{ MPa}$$

Resolviendo (3.34) resulta:

$$S_e = 484.524 \text{ MPa}$$

Cálculo del diámetro del eje primera iteración

Se asume para la primera iteración:

$$n = 2 \text{ ([25], pp. 185)}$$

$$K_f = K_t = 1.7 \text{ ([26], pp 361)}$$

$$K_{fs} = K_{ts} = 1.5 \text{ ([26], pp 361)}$$

Se ha utilizado el criterio de Gerber por ser una teoría conservadora ya que indica que los esfuerzos se combinan mediante la teoría de distorsión (ED), y es la teoría más empleada para los materiales dúctiles.

$$d = \left\{ \frac{8nA}{\pi S_e} \left[1 + \left(1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}} \right)^2 \right)^{1/2} \right] \right\}^{1/3} \quad (3.35)$$

$$A = \sqrt{4(K_f M_a)^2}$$

$$B = \sqrt{3(K_{fs} T_m)^2}$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones se determina que el diámetro del eje es:

$$d = \left\{ \frac{16 * n * K_f * M_a}{\pi S_e} \left[1 + \left(1 + \left(\frac{(\sqrt{3})K_{fs} T_m S_e}{K_f M_a S_{ut}} \right)^2 \right)^{1/2} \right] \right\}^{1/3} \quad (3.36)$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

Comprobación del diámetro del eje a través del factor de seguridad

$$1.2 \leq \frac{D}{d} \leq 1.5 \quad ([26], \text{pp } 360)$$

$$\frac{D}{d} = 1.2$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 38 \text{ mm}$$

$$\frac{D}{d} = \frac{38}{30} = 1.267$$

Recalculando el límite de resistencia a fatiga:

$$k_a = 0.626$$

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62} \right)^{-0.107} = 0.863$$

$$k_c = k_d = k_e = k_f = 1$$

Aplicando (3.35) se determina que el límite de resistencia a la fatiga corregida es:

$$S_e = 465.133 \text{ MPa}$$

Relación para la concentración del esfuerzo en el hombro

$$0.02 \leq \frac{r}{d} \leq 0.06 \text{ ([26], pp 360)}$$

$$\frac{r}{d} = 0.04$$

$$r = 0.04 * 30 = 1.2 \text{ mm}$$

$$\frac{D}{d} = \frac{38}{30} = 1.267$$

Factores teóricos de concentración de esfuerzo de torsión y flexión

$$K_t = 2 \text{ (Ver Anexo D-3, Fig. A-15-9)}$$

$$q = 1 \text{ (Ver Anexo D-4, Fig. 6-20)}$$

$$K_{ts} = 1.62 \text{ (Ver Anexo D-3, Fig. A-15-8)}$$

$$q_s = 0.98 \text{ (Ver Anexo D-4, Fig. 6-21)}$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 1 * (2 - 1)$$

$$K_f = 2$$

$$K_{fs} = 1 + q_s(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.98(1.62 - 1)$$

$$K_{fs} = 1.61$$

Aplicando nuevamente el criterio de Gerber

$$\frac{1}{n_f} = \frac{16 * K_f * M_a}{d^3 * \pi * S_e} \left[1 + \left(1 + \left(\frac{(\sqrt{3})K_{fs}T_m S_e}{K_f M_a S_{ut}} \right)^2 \right)^{1/2} \right]$$

$$n_f = 2.3$$

El material seleccionado cumple con los parámetros de diseño, entonces los diámetros finales para el eje son:

Diámetros:

$$D_1 = D_4 = D_5 = 25mm$$

$$D_2 = 30 mm$$

$$D_3 = 38 mm$$

Material: Acero AISI 4340

Diseño a flexión

La deflexión máxima del eje se determinado en base al procedimiento planteado en el libro de resistencia de materiales de Stiopin [27].

Cálculo de la deflexión máxima en el plano z-x

La deflexión en el punto O

Datos

$$F_x = 82.77 N$$

$$W^t = 2094 N$$

$$F_{ax} = 43 N$$

$$R_{Bx} = -2197.51 N$$

$$R_{Ax} = 229.28 N$$

$$E = 200000 N/mm^2$$

Cálculo

$$I = \frac{\pi D_1^4}{64} \tag{3.37}$$
$$I = 39760.782 mm^4$$

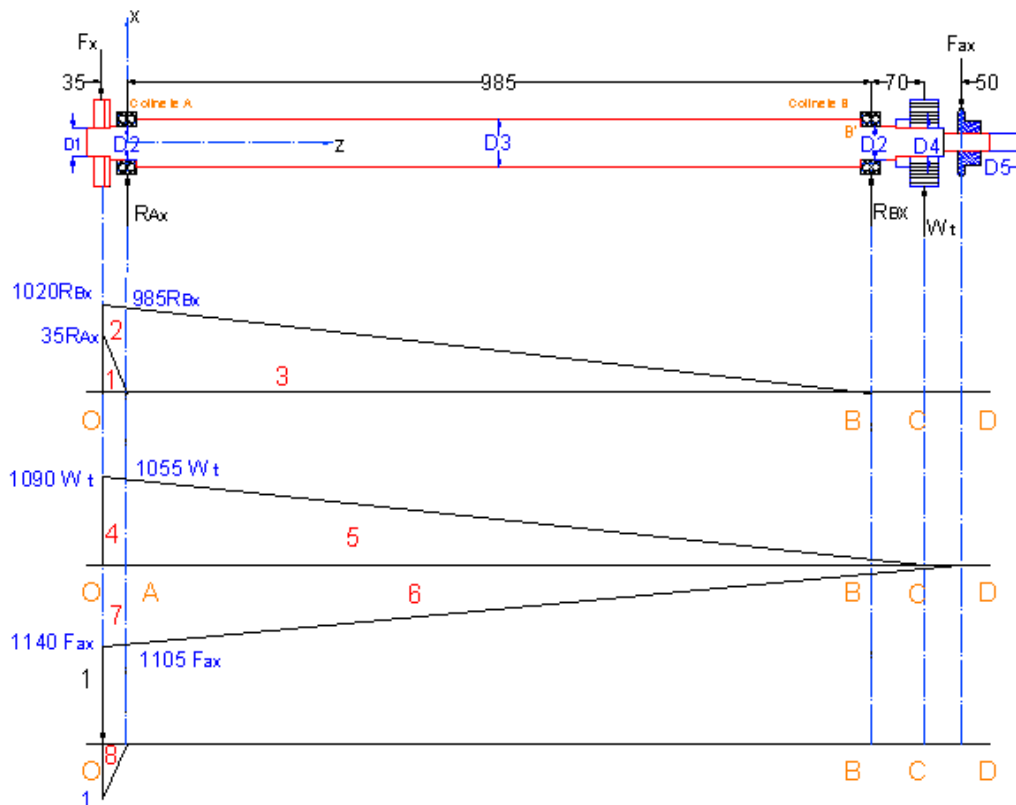


Figura 3.28: Diagrama de la flexión en el eje

Multiplicando gráfico 1 y 8

$$-\frac{h * h_3 l}{3} = \frac{(35 * R_{Ax}) * 1 * 35}{3} = -86905.583 \text{ N} \cdot \text{mm}^3$$

Multiplicando gráfico 2 y 8

$$-\frac{h * l}{6} (2h_4 + h_5) = -\frac{1 * 35}{6} (2 * 1020 * R_{Bx} + 985 * R_{Bx}) = -34623066.04$$

Multiplicando gráfico 4 y 8

$$-\frac{h * l}{6} (2h_4 + h_5) = -\frac{1 * 35}{6} (2 * 1090 * W^t + 1055 * W^t) = -35372244.83$$

Multiplicando gráfico 7 y 8

$$\frac{h * l}{6} (2h_4 + h_5) = \frac{1 * 35}{6} (2 * 1140 * F_{ax} + 1105 * F_{ax}) = 844529.292$$

Sumando los productos se obtiene:

$$\delta = -8.707 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

La deflexión en el punto D

$$I = \frac{\pi D_5^4}{64}$$

$$I = 39760.782 \text{ mm}^4$$

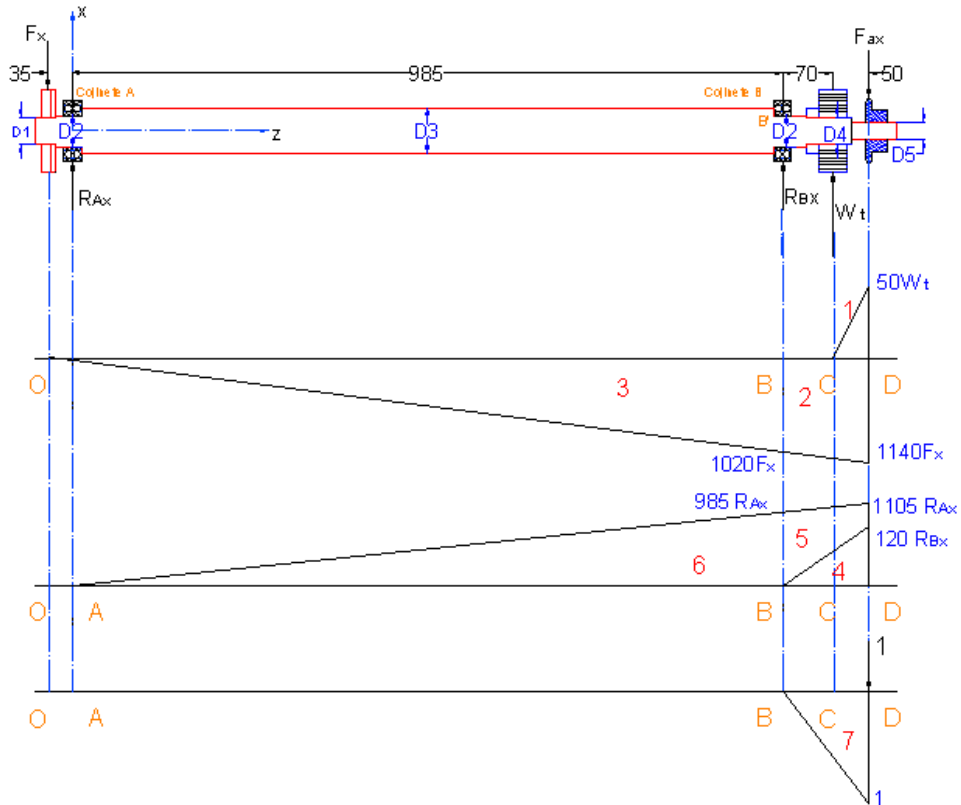


Figura 3.29: Diagrama de la flexión en el eje (plano x-z)

Multiplicando gráfico 1 y 7

$$-\frac{h \cdot h_3 l}{3} = \frac{(50 \cdot W^t) \cdot 1 \cdot 120}{3} = -3748880 \text{ N} \cdot \text{mm}^3$$

Multiplicando gráfico 2 y 7

$$-\frac{h \cdot l}{6} (2h_4 + h_5) = \frac{1 \cdot 120}{6} (2 \cdot 1140 \cdot F_x + 1020 \cdot F_x) = 5408700$$

Multiplicando gráfico 4 y 7

$$-\frac{h \cdot h_3 l}{3} = -\frac{(120 \cdot R_{Bx}) \cdot 1 \cdot 120}{3} = -9418128 \text{ N} \cdot \text{mm}^3$$

Multiplicando gráfico 5 y 7

$$-\frac{h \cdot l}{6} (2h_4 + h_5) = \frac{1 \cdot 120}{6} (2 \cdot 1105 \cdot R_{Ax} + 985 \cdot R_{Ax}) = -13599837 \text{ N} \cdot \text{mm}^3$$

Sumando los productos obtenemos:

$$\delta = -\frac{-21358145}{39760.782 \cdot 200000}$$
$$\delta = 2.686 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

3.2.4 Selección de rodamientos [28]

De acuerdo a los cálculos realizados se ha determinado que el eje solamente se encuentra sometido bajo cargas radiales, la misma que se encuentra ubicada en el punto B del eje motriz.

Nomenclatura

f_s = Factor de esfuerzos estáticos

C_o = Capacidad de carga estática [kN]

P_o = Carga estática equivalente [kN]

C = Capacidad de carga dinámica [kN]

P = Carga dinámica equivalente [kN]

p = Exponente de vida

X, Y = Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas

a_1 = Factor para la probabilidad de fallo

a_{23} = El factor para la determinación de la vida ampliada

T = Temperatura de servicio

s = Factor de limpieza

Datos

$$R_{Bx} = -2197.51 \text{ N}$$

$$R_{By} = 2498.422 \text{ N}$$

$$F_r = R_B, F_a = 0$$

$$L_p = 12000 \text{ h (Ver Anexo B - 4).}$$

$$n = 63 \text{ RPM}$$

$$d = D_2 = 35 \text{ mm}$$

$$T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Cálculos

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}$$

$$R_B = 3327.34 \text{ N}$$

$$F_r = R_B = P_o = 3.327 \text{ kN}$$

Carga estática

$$C_o = f_s * P_o$$

$f_s = 1,0 \dots 1,5$ para exigencias normales ([27], pp, 30)

$$C_o = 1.5 * 3.327$$

$$C_o = 4.991 \text{ kN}$$

Carga dinámica

$$C = P * \frac{f_L}{f_n} * \sqrt[p]{\frac{1}{a_1 * a_{23}}} \quad (3.38)$$

$$f_L = 2.88 \text{ (Ver Anexo E-2)}$$

$$f_n = 0.8088 \text{ (Ver Anexo E-3)}$$

$p = 3$ Para rodamientos de bolas ([28], pp, 30)

$$P = 3.327 \text{ kN}$$

Se asume una confiabilidad del 98 %

$$R = 98 \%$$

$$a_1 = 0.33 \text{ (Ver Anexo E -1)}$$

$$a_{23} = 1 \text{ (Asumido)}$$

Resolviendo la Ec. 3.38 se obtiene:

$$C = 17.144 \text{ kN}$$

En base a la carga dinámica determinada se ha seleccionado un rodamiento FAG 6206 (Ver Anexo E – 8)

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 62 \text{ mm}$$

$$C_{tab} = 19.3 \text{ kN}$$

Comprobación

$$d_m = \frac{d + D}{2}$$

$$d_m = 46 \text{ mm}$$

$$v_1 = 200 \text{ mm}^2/\text{s} \text{ (Ver figura 3.27)}$$

$$T = 30^\circ$$

$$v = 110 \text{ mm}^2/\text{s} \text{ (Ver figura 3.27)}$$

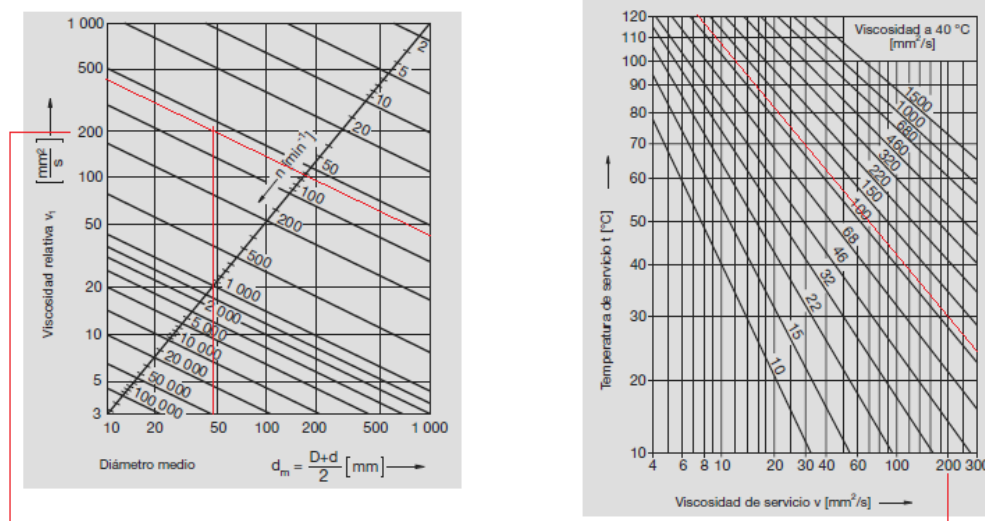


Figura 3.30: Diagrama de selección de viscosidades [28]

$$k = \frac{v}{v_1}$$

$$k = 0.575$$

$$K_1 = 0, K_2 = 0 \text{ (Ver Anexo E – 4)}$$

$$K = K_1 + K_2$$

$$K = 0$$

$$a_{23II} = 1.25 \quad (\text{Ver Anexo E - 5})$$

$$a_{23} = a_{23II} * s$$

El factor s cuantifica los efectos de la contaminación en la vida. Para una limpieza normal de acuerdo al catálogo de rodamientos FAG siempre s vale 1, es decir:

$$a_{23} = 1.25$$

Y aplicando nuevamente la Ec. 3.38 se determina que el rodamiento soportara la carga dinámica de:

$$C = 14.85 \text{ kN}$$

El rodamiento seleccionado es el correcto ya que se cumple la relación:

$$C_{tab} > C$$

$$19.3 > 14.85 \text{ kN}$$

Entonces se ha seleccionado del anexo E-6 un rodamiento FAG 6206 con las siguientes características:

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$D = 62 \text{ mm}$$

$$C = 19.3 \text{ kN}$$

$$C_o = 8.8 \text{ kN}$$

3.2.4.1 Selección de chumaceras

Las chumaceras seleccionadas son soportes tipo brida de dos agujeros pasantes, de forma ovalada. Estos soportes con rodamiento orientable están formados por un rodamiento de bolas de una hilera con una junta de retención a ambos lados. El anillo externo del rodamiento de bolas está rectificadado en forma esférica al igual que el alojamiento del soporte para conseguir así un óptimo montaje que permita

el auto-alineamiento. La serie del soporte seleccionado es UCFL206 con rodamiento UC 206. Ver dimensiones en la tabla del Anexo E-7 [28].



Figura 3.31: Soporte-brida FL206 [29]

3.2.5 Diseño del chavetero [25]

Nomenclatura

P_c = Fuerza transmitida a la chaveta y chavetero

w = Ancho de la chaveta

t_c = Alto de la chaveta

l_c = Longitud de la chaveta

Datos

$T_E = 113076 \text{ N}\cdot\text{mm}$ (Ver sección 3.2.2.4)

$D_4 = 30\text{mm}$

Material del engrane: Acero AISI 4340

Material del eje: Acero AISI 4340

$n = 3$ ([25], pp 500)

$F = 1.5 \text{ pulg}$

Cálculos

Material: Acero AISI 1020

$S_y = 210 \text{ MPa}$

Del anexo F-1 se ha seleccionado la cuña cuadrada con las siguientes dimensiones:

$$w = \frac{3}{8} \text{ pulg}, t = \frac{3}{8} \text{ pulg}.$$

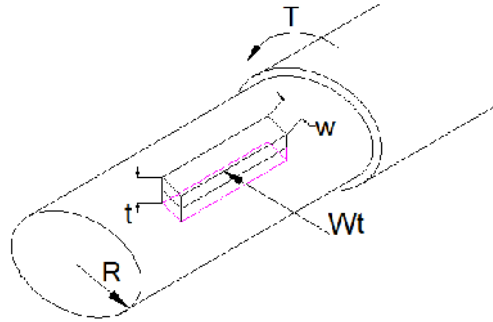


Figura 3.32: eje-chavetero

$$P_c = \frac{T}{R}$$

$$P_c = 7538.373 \text{ N}$$

Resistencia al cortante

$$S_{Sy} = 0.577S_y$$

$$S_{Sy} = 121.17 \text{ MPa}$$

$$\frac{S_{Sy}}{n} = \frac{F}{tl}$$

$$l = 19.595 \text{ mm}$$

Resistencia por aplastamiento

$$\frac{S_y}{n} = \frac{F}{(tl/2)}$$

$$l = 22.612 \text{ mm}$$

3.2.6 Diseño de pernos [26]

De acuerdo al diseño del eje de transmisión (ver sección 3.2.3) la zona donde se generará la mayor cantidad de esfuerzos se encuentra en el apoyo B, el mismo que

se indica en la fig. 3.33. Entonces se ha procedido a seleccionar los pernos que permita anclar de manera segura las chumaceras con la bancada de la máquina.

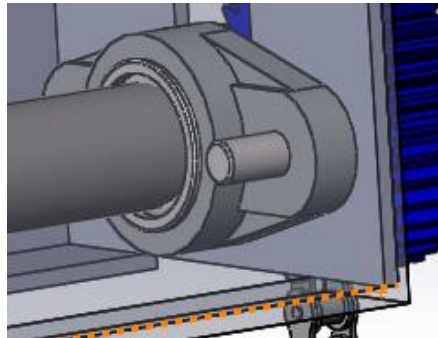


Figura 3.33: Apoyo B

La ubicación y distribución de los pernos, así como también las fuerzas generadas en las chumaceras se indican en la fig. 3.34.

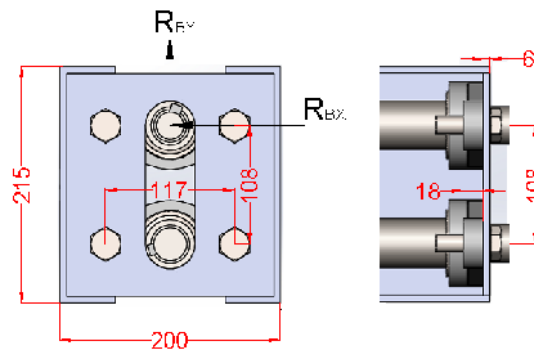


Figura 3.34: Distribución de pernos

Nomenclatura:

A_p = Área proyectada de un perno individual

t = Espesor de la placa más delgada

d = Diámetro del remache o perno.

F = Fuerza transmitida

S_p = Resistencia de prueba

n_d = Factor de diseño

S_y = Resistencia a la fluencia de material de las placas

τ = Resistencia al corte

A_r = Área del diámetro menor.

Datos:

$$R_{Bx} = -2197.51 \text{ N}$$

$$R_{By} = 2498.422 \text{ N}$$

$$n_d = 2$$

$$d = \frac{3}{8} \text{ pulg.}$$

$$t = \frac{1}{4} \text{ pulg.}$$

Cálculos

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}$$

$$R_B = 3327.337 \text{ N}$$

$$R_B = 746.953 \text{ lb}$$

Aplastamiento de los pernos, con todos los pernos cargados:

$$\sigma = \frac{R_B}{td} = \frac{S_P}{n_d}$$

$$S_P = \frac{n_d * R_B}{t * d} \quad (3.39)$$

$$S_P = 15934.99 \text{ psi}$$

En base al cálculo del esfuerzo de prueba se ha seleccionado del Anexo F-2 pernos de las siguientes características:

SAE grado 2

$$d = \frac{5}{16} \text{ pulg.}$$

$$S_P = 55 \text{ kpsi.}$$

Comprobación

Aplastamiento de los pernos, con todos los pernos cargados:

$$S_P = \frac{n_d * R_B}{t * d}$$
$$n_d = \frac{t * d * S_P}{R_B}$$
$$n_d = 5.75$$

Aplastamiento de los elementos, todos los pernos activos:

$$S_y = 36000 \text{ psi.}$$
$$S_y = \frac{n_d * R_B}{t * d}$$
$$n_d = \frac{t * d * S_y}{R_B}$$
$$n_d = 3.77$$

Cortante del perno, todos los pernos activos: si las roscas de los pernos no se extienden en los planos de cortante para dos cuerpos:

$$\tau = \frac{F}{2\pi(d^2/4)} = 0.577 \frac{S_P}{n_d}$$
$$n_d = 0.577 \frac{2\pi(d^2/4) * S_P}{F}$$
$$n_d = 0.577 \frac{2\pi((5/16)^2/4) * 55000}{746.953}$$
$$n_d = 6.52$$

En base al cortante del perno, el valor mínimo del factor de seguridad es de 6.52, entonces se puede afirmar que el perno seleccionado cumple con las exigencias de carga generados por la máquina.

3.2.7 Diseño de la bancada

Partiendo tanto de las características de funcionamiento de la bancada como de las necesidades de la misma, se ha llevado a cabo su modelado dibujando todas y cada una de las piezas que la componen. Posteriormente se han ensamblado las piezas y se ha creado un modelo de elementos finitos, para lo cual se ha considerado aspectos como el de soportar el peso de los componentes actuales, así como de posibles ampliaciones futuras y poseer una mínima deformación estática.

El material elegido para el modelado de la bancada y su posterior construcción es la plancha de acero ASTM A36, por sus buenas propiedades mecánicas.

3.2.7.1 Montaje y disposición de los componentes

La bancada propiamente dicha, sobre la que se ha realizado el análisis de tensiones por el método de los elementos finitos, está compuesta por dos vigas longitudinales formadas a partir del perfil C, soldados en sus extremos chapas rectangulares donde se empotrarán las chumaceras que servirán de apoyos para los ejes.

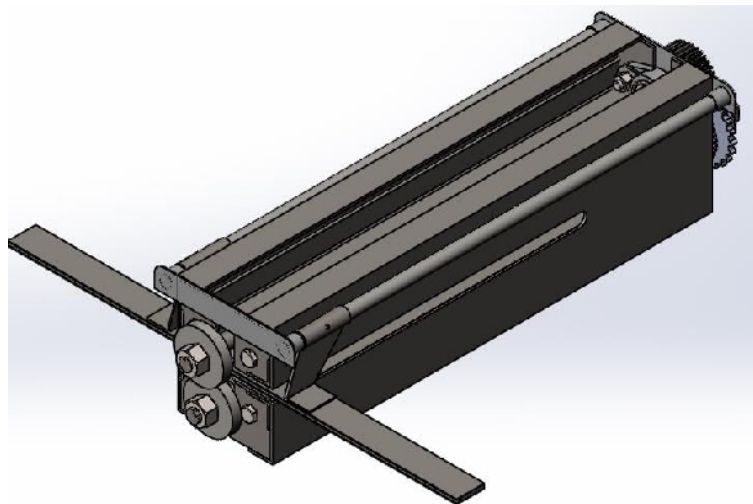


Figura 3.35: Conjunto armado en la Bancada

A lo largo de cada lateral se acoplará un eje, sobre el cual se desplazará una guía la misma que permitirá dimensionar la longitud del corte deseado. El aspecto de la bancada, unidos todos los elementos, se representa en la fig. 3.35.

Tabla 3-24: Componentes mecánicos acoplados a la bancada

N de piezas	Denominación	Material	Peso [kg]
2	Cuchillas	Acero K-100	1.72
2	Engranés	Acero AISI 4340	4.56
1	Eje Motriz	Acero AISI 4340	13.4
1	Eje Conducido	Acero AISI 4340	13.21
4	Chumaceras	Fundición Gris	3.6
1	Guía	ASTM A36	3.57
2	Soporte de guía	ASTM A36	0.88
2	Eje de guía	ASTM A36	1.76

3.2.7.2 Diseño por elementos finitos

Con la descripción de las cargas y condiciones de contorno, se efectúa la solución mediante el método de elementos finitos, cuyos resultados son las deformaciones y tensiones que aparecen en la bancada. Y, por último, se evalúa la posibilidad de fallo mecánico por rotura frente a cargas estáticas a partir del cálculo de los coeficientes de seguridad.

Modelo Geométrico

Se ha representado los detalles geométricos más importantes, para lograr la mayor concordancia posible con la realidad, a continuación, se presenta el modelo geométrico, sobre el cual se realizó el análisis.

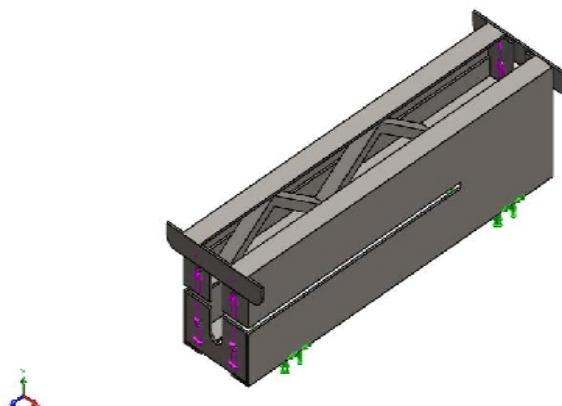
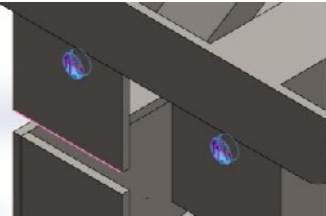
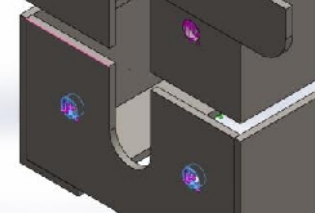
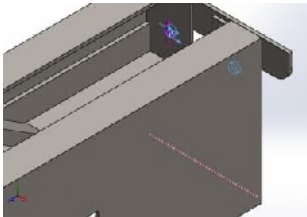
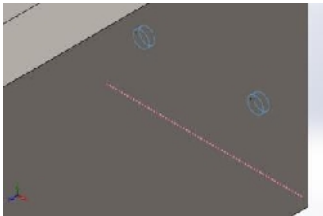


Figura 3.36: Bancada

Cargas de diseño

Para el análisis de la estructura se aplicarán las cargas especificadas a continuación:

Tabla 3-25: Cargas de diseño

Nombre	Imagen	Detalle	
R_{Ax}		Entidades	2 caras
		Referencia	Borde
		Tipo	Fuerza Aplicada
		Valor	229.28 N
R_{Bx}		Entidades	2 caras
		Referencia	Borde
		Tipo	Fuerza Aplicada
		Valor	2197.51 N
Nombre	Imagen	Detalle	
R_{By}		Entidades	2 caras
		Referencia	Borde
		Tipo	Fuerza Aplicada
		Valor	2498.422 N
R_{Ay}		Entidades	2 caras
		Referencia	Borde
		Tipo	Fuerza Aplicada
		Valor	2498.422 N

Mallado

Para simular la bancada, los elementos utilizados en el mallado de la estructura fueron tipo nodo.

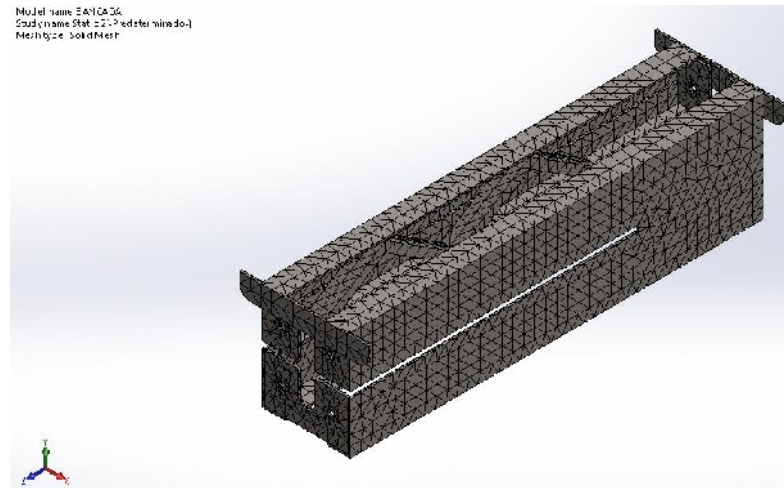


Figura 3.37: Mallado de la bancada

Análisis

Esfuerzo máximo

El esfuerzo máximo generado en la bancada de acuerdo al criterio de falla de Von Mises es 1.276×10^8 N/m² el mismo que se indica en la figura 3.38.

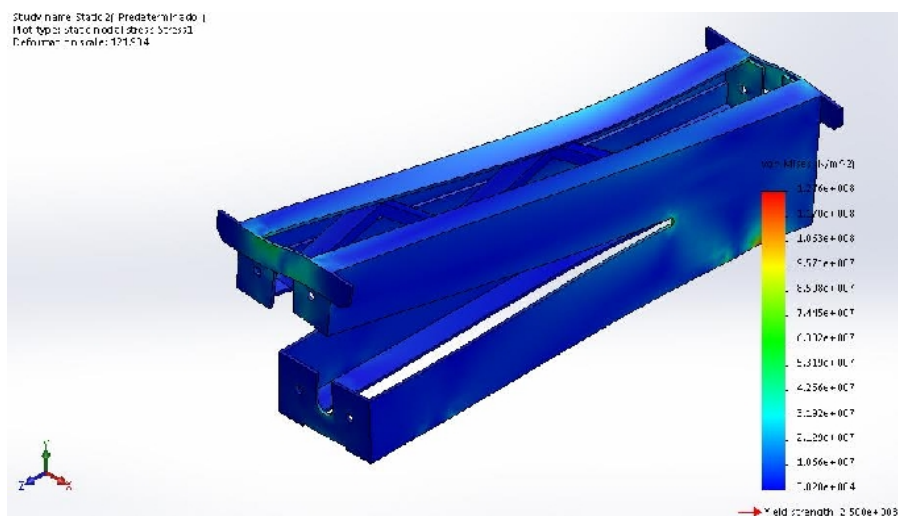


Figura 3.38: Esfuerzos Máximos

Desplazamientos

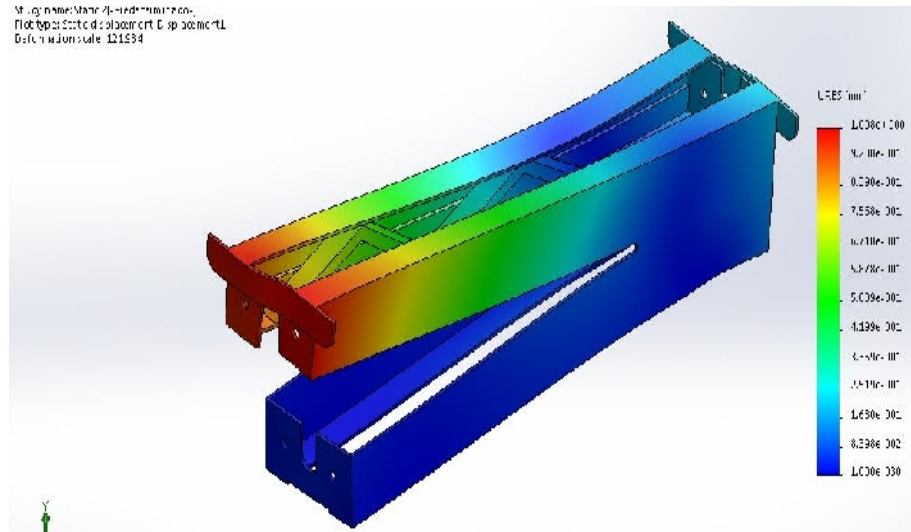


Figura 3.39: Desplazamiento máximo

Los desplazamientos máximos generados en la bancada están dentro de los límites de diseño planteados para miembros estructurales.

$$L \frac{1}{600} < \delta < L \frac{1}{300}$$

$$\frac{980}{600} < \delta < \frac{980}{300}$$

$$\delta = 1.007 \text{ mm}$$

Factor de seguridad

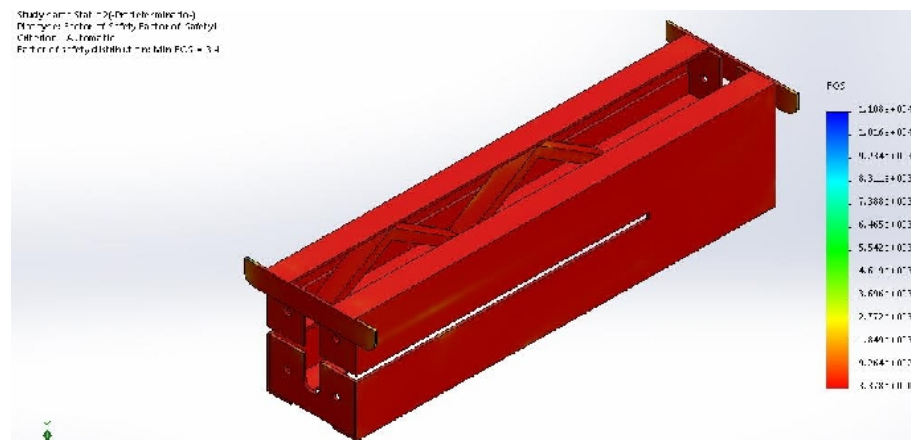


Figura 3.40: Factor de seguridad

Terminado el análisis estructural de la bancada se obtuvo como resultado un factor de seguridad de 3.38 lo que indica que la configuración estructural de la bancada es adecuada para soportar las cargas generadas durante el trabajo de la máquina.

Resultados

Tabla 3-26: Resultados del análisis estático de la bancada

Nombre	Mínimo	Máximo
Esfuerzo	30275.97 N/m ² Nodo: 7192	1.276 e08 N/m ² Nodo: 1529
Desplazamientos	0 mm Nodo: 1529	1.007 mm Nodo: 1416
Factor de seguridad	3.3782 Nodo: 5973	2411079.8 Nodo: 7479

Las principales conclusiones extraídas tras el análisis estático de la bancada son:

- Cualquier estado de cargas que aparezca en la misma, en condiciones normales de funcionamiento, producirá tensiones inferiores a las obtenidas en la simulación, con lo cual se garantiza la seguridad de la bancada.
- El análisis estático revela que la bancada es segura frente a rotura, obteniéndose a partir de las tensiones unos coeficientes de seguridad superiores a 3.
- Debido al buen diseño de la bancada, las deformaciones que sufre son mínimas, por lo que no existirá peligro de desalineación al momento de realizar el corte.

3.2.8 Construcción

Terminado el dimensionamiento de cada elemento mecánico y estructural se procederá a la construcción y montaje de la máquina, la misma que se realizará en

un taller mecánico en donde se dispone de máquinas y herramientas necesarias para fabricar las diferentes piezas.

Las piezas que conforman la máquina se construyen de acuerdo a los planos de taller; y los materiales y elementos mecánicos se han seleccionado considerando la disponibilidad en el mercado nacional.

La bancada en la cual se ensamblarán los demás componentes estará construida por perfiles tipo C no estándar, en plancha de acero de 6 [mm] y la estructura base sobre la cual se montará la bancada estará formada por perfiles cuadrados estándar como se indican en los planos de taller.

El alto del plano de trabajo de la máquina se ha diseñado en base a los requisitos mínimos establecidos por la norma técnica RM. 375-2008-TR de ergonomía.

El plano de la máquina esta compatible con la altura y características de la superficie de trabajo y con el tipo de actividad que se va a realizar, siendo estos trabajos de fuerza moderada. Además, que el área del puesto de trabajo posee las dimensiones adecuadas que permiten el posicionamiento y el libre movimiento de los segmentos corporales del operario.

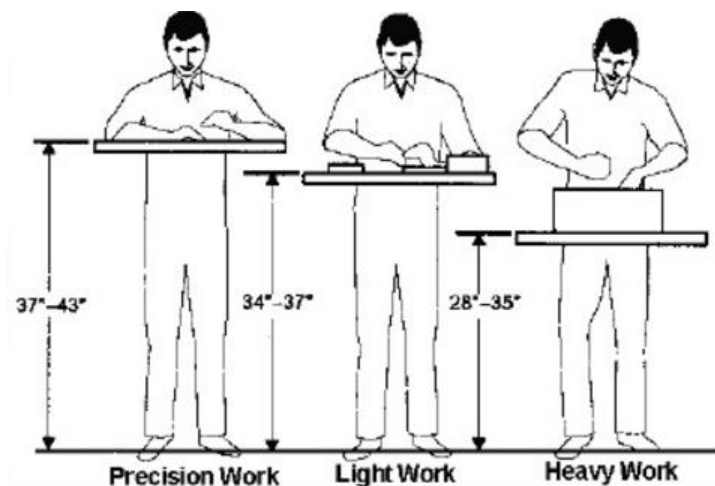


Figura 3.41: Alto de plano de trabajo

Los procesos de construcción se seleccionan de tal manera que no requiera de equipos especiales o mano de obra especializada evitando así un incremento en el

costo total. Las actividades principales de la construcción implican procesos de corte, soldadura, doblado y maquinado.

La construcción, montaje e instalación de la máquina se ha realizado conforme a lo establecido en el Decreto Ejecutivo 2393: Reglamento de Seguridad y Salud de los Trabajadores y Mejoramiento del Medio Ambiente de Trabajo, Título III referido a Aparatos, Máquinas y Herramientas.

3.2.8.1 Cronograma valorado de trabajos

La secuencia de las actividades principales para la construcción de la máquina se detalla en el siguiente cronograma:

Tabla 3-27: Cronograma de la construcción de la máquina

CRONOGRAMA													
N°	ACTIVIDAD	SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Adquisición de materiales	■											
2	Maquinado de engranes		■										
3	Maquinado de las cuchillas		■										
4	Maquinado de ejes			■									
5	Maquinado de chavetas				■								
6	Construcción de la bancada					■							
7	Construcción de base de la bancada					■							
8	Adquisición de elementos mecánicos						■						
9	Construcción de la guía						■						
10	Construcción de base de la guía							■					
11	Construcción de tapas de las cuchillas							■					
12	Construcción de tapa de protección de la transmisión								■				
13	Ensamble									■	■		

3.2.8.2 Requerimientos para la construcción

Durante la construcción de cada una de las partes constitutivas de la máquina se requerirá de equipos, herramientas, materiales, instrumentos, etc. los mismos que se detallan a continuación:

Máquinas y equipos

- Fresadora
- Torno
- Esmeril
- Soldadora
- Taladro de pedestal
- Equipo de pintura
- Amoladora
- Mototool
- Tronzadora

Herramientas

- Brocas
- Utensilios para tornear
- Limas
- Martillo
- Juego de llaves
- Rayador
- Sierra
- Machuelos

Instrumentos de medición y verificación

- Calibrador pie de rey
- Flexómetro
- Escuadra

Materia prima

- Plancha de acero negro ASTM A 36 en espesores de 6 y 2 [mm].
- Ejes AISI 4340 de 38 y 115 [mm] de diámetro.
- Eje de acero K-100 de 50 [mm] de espesor por 114 [mm] de diámetro.
- Tubo cuadrado de 50x2 [mm].
- Electrodo E-6011

Elementos normalizados

- Arandelas planas
- Arandelas de presión
- Pernos
- Tuercas
- Tornillos
- Catarinas
- Cadena
- Motor
- Reductor
- Chumaceras
- Anillos de retención
- Pulsadores eléctricos
- Contactores

3.2.8.3 Construcción de partes y piezas

La construcción de la máquina se ha dividido en tres subprocesos, los cuales se detallan a continuación:

Construcción de elementos mecánicos

- Preparación de materiales
- Transportar material al torno
- Tornear material para engranes
- Tornear cuchillas

- Llevar material de engranes a máquina fresadora
- Maquinar engranes
- Maquinar chavetas
- Enviar engranes y cuchillas a realizar tratamientos térmicos
- Cortar pletinas para guía
- Empernar platinas de guía
- Cortar ejes de guía
- Revisar que todos los elementos concuerden con los planos de taller
- Llevar a mesa de ensamble

Bancada

- Cortar plancha para perfiles
- Llevar a la dobladora
- Doblar perfiles
- Cortar ranura para deslizamiento de la guía
- Inspeccionar según plano
- Soldar ángulos de refuerzo internos
- Soldar placas para apoyos de los ejes
- Pulir superficies soldadas
- Llevar a mesa de ensamble

Estructura base

- Preparar material
- Llevar material a la tronadora
- Cortar material
- Llevar material cortado al área de soldadura
- Soldar estructura principal (cuadrante superior y parantes)
- Soldar base inferior
- Soldar base para el motor y reductor sobre la base inferior
- Pulir estructura
- Llevar al área de ensamble

DIAGRAMA DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA CIZALLADORA		
Material	<input checked="" type="checkbox"/>	Operario <input type="checkbox"/>
Máquina <input type="checkbox"/>		
Proceso: Construcción de la máquina cizalladora		
Comienza en: Preparación de Material	Metodo Actual	<input type="checkbox"/>
Termina en: Pruebas de funcionamiento	Método Propuesto	<input type="checkbox"/>
Realizado por: Edgar Iza		

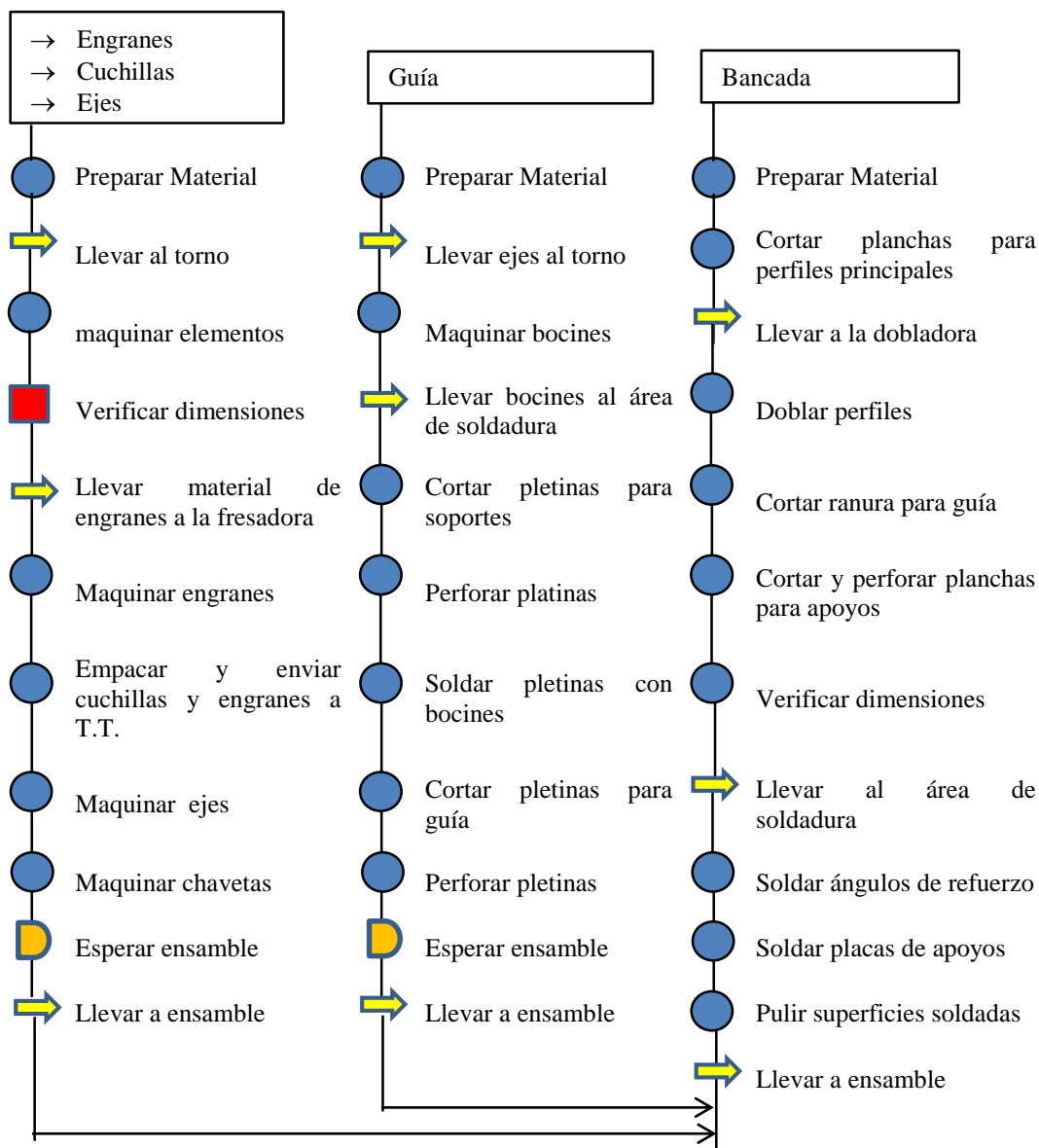
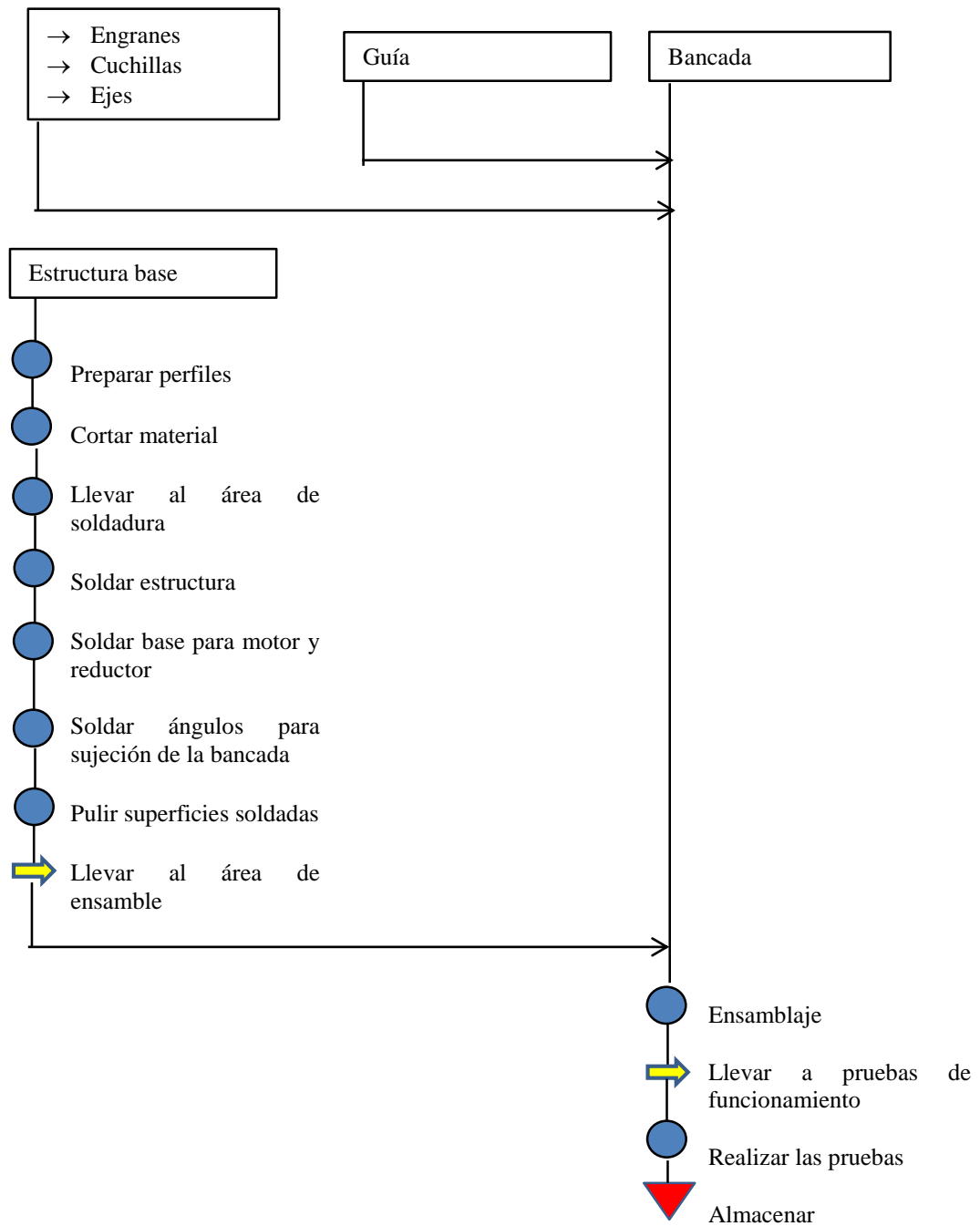


Figura 3.42: Proceso de construcción

Continuación de Figura 3.42

DIAGRAMA DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA CIZALLADORA		
Material <input checked="" type="checkbox"/>	Operario <input type="checkbox"/>	Máquina <input type="checkbox"/>
Proceso: Construcción de la máquina cizalladora		
Comienza en: Preparación de Material	Metodo Actual <input type="checkbox"/>	
Termina en: Pruebas de funcionamiento	Método Propuesto <input type="checkbox"/>	
Realizado por: Edgar Iza		



Cuchillas

La construcción de las cuchillas se realiza en base a los parámetros determinados en el numeral 3.2.1.1, donde se especificó un diámetro de 110 (mm) con espesor de 20 [mm] en acero K100. De acuerdo a la ficha técnica del material, las cuchillas requieren de tratamiento térmico como es temple y revenido, los mismos que se realizara en la empresa Bohler de la ciudad de Quito.



Figura 3.43: Cuchillas

Engranés

En base al diseño realizado en el numeral 3.2.2.1, los engranes maquinados son de 108 mm de diámetro de paso, 35 mm de ancho de cara y 36 dientes. Como se determinó en el diseño, el material con el cual se construyeron los engranes es el acero AISI 4340 el mismo que requiere del tratamiento térmico de temple y revenido para obtener la resistencia mecánica que garantice el mayor desempeño de estos elementos.



Figura 3.44: Engranés

Ejes

Los ejes diseñados en el numeral 3.2.3 indican el material a utilizar para su construcción es el acero AISI 4340 con diámetro de 35 (mm) sobre estos se acoplarán las cuchillas, engranes y sus elementos de apoyo como son las chumaceras.

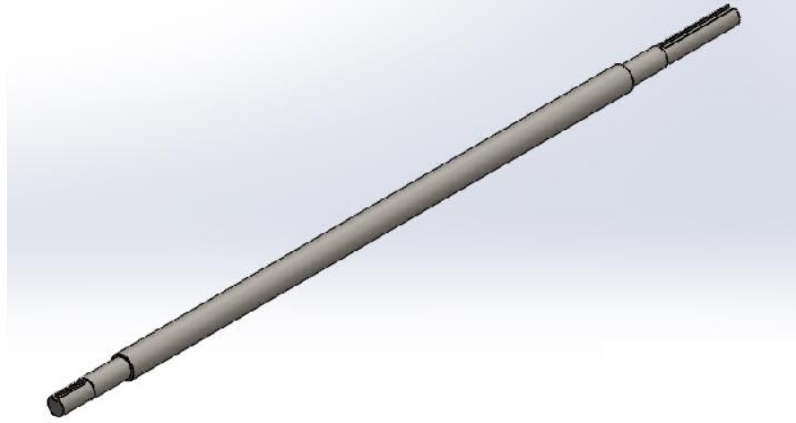


Figura 3.45: Eje

Bancada

La bancada está formada por dos perfiles C de 250x50x6 (mm), en el centro del alma de cada perfil se ha realizado una ranura de 700 (mm) de largo, y sobre cada borde de esta se ha soldado ángulos de 50x50x6 (mm) los mismos que servirán como refuerzos; en los extremos de la bancada se ha soldado placas de acero de $\frac{1}{4}$ (pulg) de espesor, sobre las cuales se montaran las chumaceras.



Figura 3.46: Bancada

Guía

La guía consta de dos ejes de 980 (mm) de largo y 25 (mm) de diámetro, sobre los cuales se desplazarán las bases que estarán conectadas mediante pernos a la placa que servirá como guía de las láminas a cortar.



Figura 3.47: Guía

Estructura base

La estructura base se ha construido con tubo cuadrado de 50x50x2 (mm), sobre esta estructura se montará la bancada, el motor y reductor.



Figura 3.48: Estructura base

3.2.8.4 Montaje de la máquina

La denominación empleada en el procedimiento de montaje de la máquina para cada uno de los elementos corresponde a los establecidos en el plano de conjunto.

DIAGRAMA DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA CIZALLADORA		
Material <input checked="" type="checkbox"/>	Operario <input type="checkbox"/>	Máquina <input type="checkbox"/>
Proceso: Construcción de la máquina cizalladora		
Comienza en: Preparación de Material	Metodo Actual	<input type="checkbox"/>
Termina en: Pruebas de funcionamiento	Método Propuesto	<input type="checkbox"/>
Realizado por: Edgar Iza		

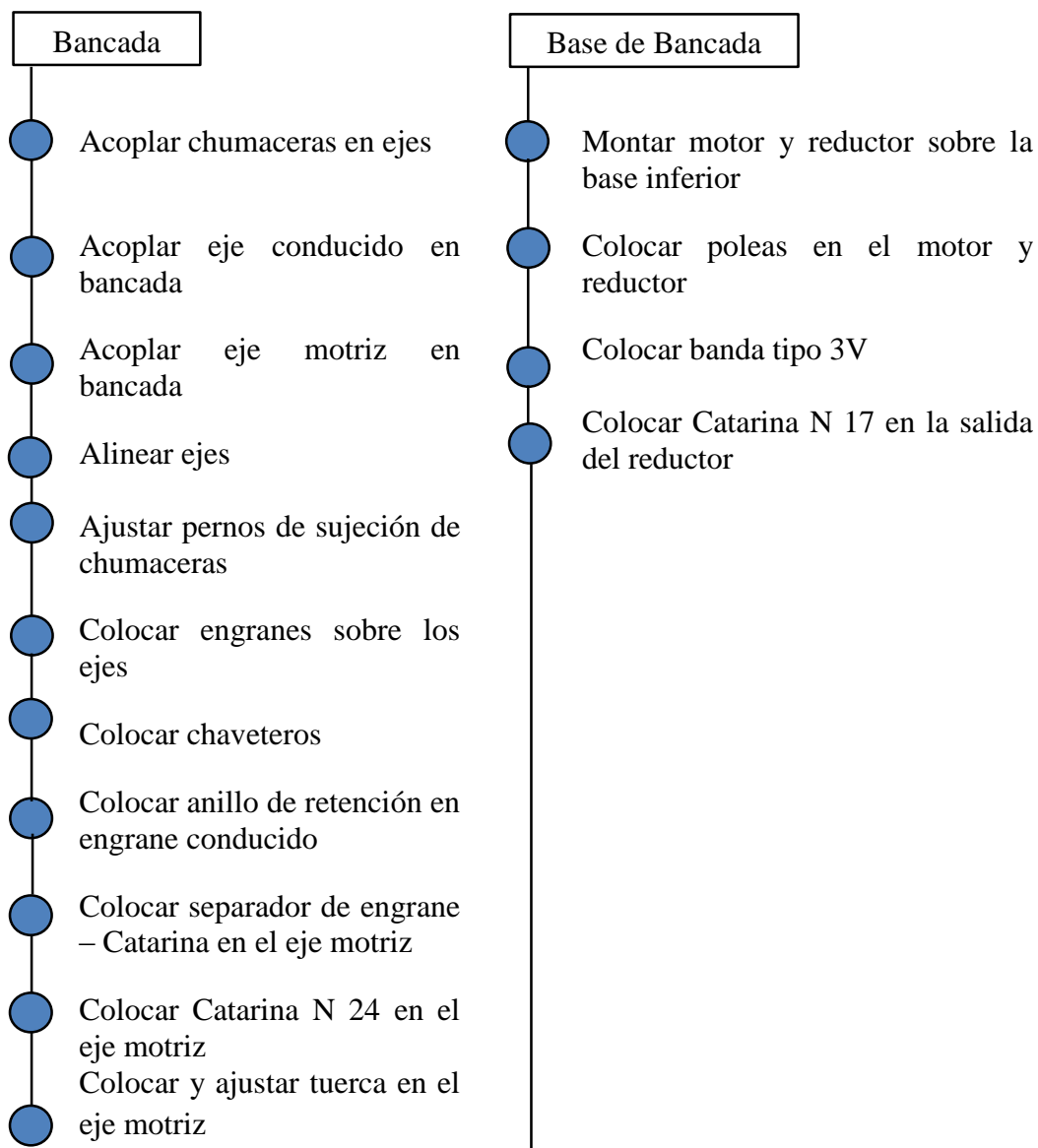
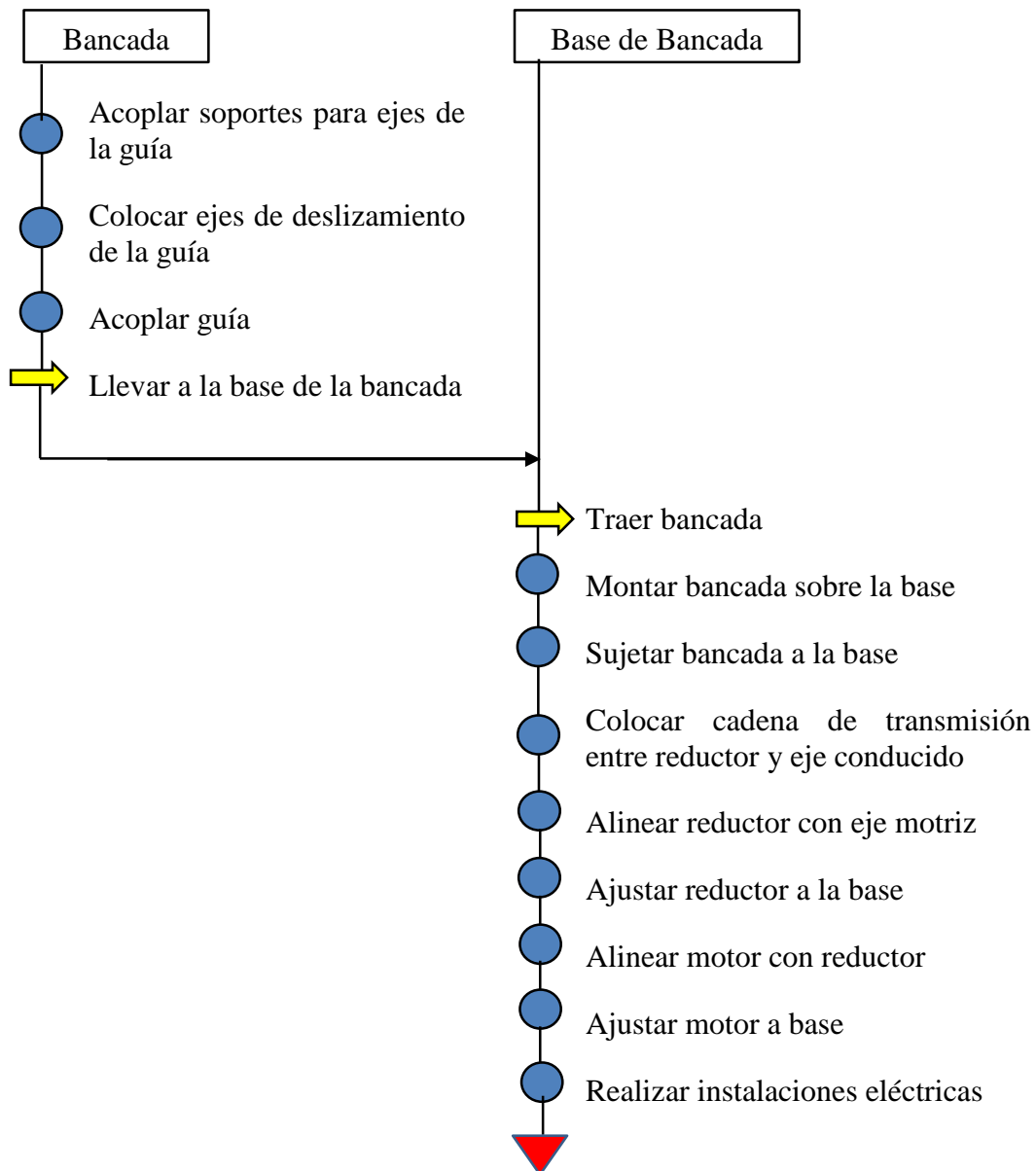


Figura 3.49: Proceso de ensamble de la máquina

DIAGRAMA DEL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN DE LA MÁQUINA CIZALLADORA		
Material	<input checked="" type="checkbox"/>	Operario <input type="checkbox"/>
		Máquina <input type="checkbox"/>
Proceso: Construcción de la máquina cizalladora		
Comienza en: Preparación de Material	Metodo Actual	<input type="checkbox"/>
Termina en: Pruebas de funcionamiento	Método Propuesto	<input type="checkbox"/>
Realizado por: Edgar Iza		



Continuación de figura 3.49

3.2.8.5 Pruebas de campo

Luego de la construcción y el montaje de la máquina, es conveniente realizar las pruebas de campo, éstas tienen como objetivo verificar las condiciones de diseño y el correcto funcionamiento de la máquina.

Análisis de las pruebas de campo

Las pruebas consistieron en realizar cortes a láminas de diferentes dimensiones y espesores. Para lo cual se tomaron como muestras planchas de acero galvanizado de 1 mm, de acero negro de 1/16" y acero inoxidable de 0.7 mm, las cuales son las más utilizadas dentro de la empresa.

Una vez realizadas las primeras pruebas de corte se obtuvieron las siguientes observaciones:

- La manipulación de las planchas durante el corte se tornó difícil ya que la máquina no poseía un elemento de apoyo por donde se deslicen las láminas.
- El alto desde el piso al punto de corte es el adecuado ya que se probó con operarios de estatura baja (1.5 m), mediana (1.65) y alta (1.85 m), y el proceso de corte se desarrolló sin problemas.
- Las dimensiones de las tiras cortadas tuvieron una tolerancia de 4 mm, lo cual es muy elevado ya que las tolerancias máximas que se manejan son de 2 mm.
- El mantenimiento resulta relativamente sencillo, ya que posee acceso a todos sus elementos mecánicos.
- La generación de ruido es mínima.
- Posee buena estabilidad durante el proceso de corte.
- La separación entre las tapas de las cuchillas no es la correcta ya que permite el ingreso de los dedos lo cual es muy peligroso.
- La diferencia que existió al cortar los tres tipos de láminas fue la fuerza que se debió aplicar al inicio del proceso. Ya que en la plancha de acero negro de 1/16" es donde más se observó este fenómeno.
- Se observa que los diferentes elementos y partes que conforman la máquina funcionan correctamente.

- La alineación de las cuchillas es la correcta para poder generar el cizallamiento.
- La disposición de la guía es la adecuada ya que permite realizar cortes paralelos entre sus bordes longitudinales.

Correcciones y pruebas finales

De las observaciones encontradas, las correcciones que se realizaron son:

- Se colocó una mesa que sirve de apoyo para las planchas durante el proceso de corte.
- Se recalibro la regleta, las tolerancias finales fueron de $\pm 1\text{mm}$.
- Se construyeron nuevas tapas para las cuchillas. La separación final es de 10mm.

Una vez realizadas estas correcciones las pruebas finales se realizaron sin más novedades, con lo cual se terminó con su construcción y quedando lista para su utilización.

3.3 Análisis económico

Los costos necesarios para la construcción de la máquina son los siguientes:

1. Materia Prima
2. Mano de obra
3. Ingeniería

3.3.1 Materia Prima

Tabla 3-28: Lista de Materiales

Descripción	Cantidad	V. Unitario (\$)	V. Total (\$)
Eje K100 - 20 X Ø120 (mm)	2	34	68
Eje AISI 4340 - 1220X Ø 38 (mm)	2	40,15	80,3
Eje AISI 4340 - 40 X Ø 160 (mm)	2	16,51	33,02
Eje AISI 1018 - 1000 X Ø 25 (mm)	2	7,5	15
Plancha de acero A36 - 350 X 1000 (mm)	2	30	60
Ángulo 1x1/8 (pulg.)	1	7,68	7,68
Ángulo 2x1/4 (pulg.)	1	30	30
Tubo cuadrado 50x50x2 (mm)	3	19	57
Plancha de acero galvanizado	2	25	50
Electrodo 6013 (lb)	5	3	15
Pernos 3/8 x1 1/2 pulg.	20	0,2	4
Rodelas de Presión (1/2 lb)	1	3,5	1,75
Disco de corte 14" Metal	1	5,3	5,3
Broca 3/8" (cobalto)	2	5,4	10,8
Broca 3/16" (cobalto)	2	0,94	1,88
Eje AISI 1018 - 240 X Ø 25 (mm)	2	7,15	14,3
Pintura Negra (lt)	1	9	9
Pintura Aluminio (1/2 lt)	1	4,5	4,5
Pintura Fondo (lt)	1	7,5	7,5
Tiñer (lt)	5	0,8	4
Guaípe, lijas, mascarilla	1	4	4
Contactador	1	5,92	5,92
Bobina LS 220 VAC	1	6,09	6,09
Breaker ls 3 polos 16 amp	1	15,35	15,35

Continuación de Tabla 3-28

Descripción	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Interrupor diferencial 3 polos	1	12,46	12,46
Pulsador plástico 22mm Verde	1	2,45	2,45
Pulsador plástico 22mm Rojo	1	1,53	1,53
Paro de emergencia	1	2,28	2,28
Bloque para selector y pulsador	1	1,05	1,05
Luz Piloto 22 mm Amarillo 220 V	1	1,45	1,45
Luz Piloto 22 mm Rojo 220 V	2	1,31	2,62
Luz Piloto 22 mm Verde 220 V	1	1,4	1,4
Barra de tierra de 12 orificios	4	2,06	8,24
Cable flexible # 12	15	0,42	6,3
Cable concéntrico 8JT	3	1,38	4,14
Enchufe pata de gallina 50 AMP	1	6,4	6,4
Relé térmico	1	23,08	23,08
Gabinete metálico	1	21,7	21,7
Terminal tipo U 3/16"	100	0,042	4,2
Canaleta ranurada	1	4,1	4,1
Motor eléctrico	1	170	170
Reductor de velocidad	1	250	250
Cadena	1	18	18
Chumaceras	4	35	140
Catarinas	2	25	50
Poleas	2	5	10
Bandas	1	10	10
		TOTAL	1113.49

3.3.2 Mano de obra

Tabla 3-29: Costo de mano de obra

Operación	Cantidad	V. Unitario (\$)	V. Total (\$)
Torneado de ejes	2	85	170
Maquinado de cuchillas	2	50	100
Maquinado de eje para engranes	2	50	100
Maquinado de engranes (36 dient./engra)	2	108	216
Armado de bancada	1	100	100
Construcción de guía	1	50	50
ensamble de la máquina	1	100	100
Soldado de estructura base	1	40	40
Templado y revenido de engranes	2	12,225	24,45
Templado y revenido de cuchillas	2	12,225	24,45
Pintura	1	30	30
Conexión del sistema eléctrico	2	100	200
		TOTAL	1154,9

3.3.3 Ingeniería

Tabla 3-30: Costos de ingeniería

Operación	Valor (\$)
Diseño y Selección de elementos mecánicos	100
Análisis estructural de la máquina	150
Elaboración de planos	100
TOTAL	350

3.3.4 Costos totales

Tabla 3-31: Costo total de la Máquina

Materia prima (\$)	465,49
Equipos y componentes (\$)	648
Mano de obra (\$)	1154,9
Ingeniería (\$)	350
SUB TOTAL	2618,39
I.V.A. (14%)	366,57
TOTAL	(\$ 2984,96)

3.4 Especificaciones técnicas

Terminado el diseño y la construcción de la máquina rotativa de corte longitudinal, se puede describir las características técnicas con las cuales trabajara la máquina.

Tabla 3-32: Especificaciones Técnicas

Característica	Magnitud
Máximo espesor de corte admisible	1 mm
Velocidad de avance	24 m/min
Tiempo total para puesta en marcha	1 min
Ancho máximo de corte	725 mm
Ancho mínimo de corte	80 mm
Precisión de corte	± 0.5 mm
Potencia instalada	1 hp
Relación en la caja reductora	1:7
Tiempo máximo de trabajo continuo	8 horas
Dimensiones (largo x ancho x alto)	1240 x 855 x 1020 mm
Peso aproximado	300 kg

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Al finalizar el diseño y construcción de la máquina rotativa de corte longitudinal de planchas de acero galvanizado, y una vez realizado sus pruebas de funcionamiento se presentan las conclusiones que se detallan a continuación:

- Una vez analizado las distintas alternativas en cuanto al proceso de corte, se ha determinado que el sistema de corte mediante cuchillas circulares, junto con la transmisión de potencia combinada de bandas – poleas y cadena – catarina cumplen con los requisitos técnicos para la construcción de la máquina.
- Los parámetros de diseño como velocidad (63 RPM), potencia (1 Hp) y traslapes entre cuchillas, resultaron adecuados para la construcción y funcionamiento de la máquina.
- Los materiales seleccionados para los principales elementos mecánicos como: cuchilla (AISI D2 o K100), ejes (AISI 4340), engranes (AISI 4340), bancada y demás elementos estructurales (ASTM A36), se determinaron con factores de seguridad mayores a 2, lo cual garantiza la operatividad de la máquina.
- La aplicación de las dos relaciones de transmisión resultó óptima ya que se logró entregar la velocidad requerida de 63 RPM.
- Por las condiciones de trabajo a las que va a estar expuesta la máquina se realizó tratamientos térmicos de engranes y chuchillas alcanzando así durezas de 486 HB y 65 Rockwell C respectivamente.
- Las dimensiones de las tiras cortadas tuvieron una tolerancia de 0.5 mm, lo cual es aceptable.
- El proceso de corte se lo puede realizar únicamente con un operario lo cual permite optimizar los procesos dentro de la empresa.

- Tanto el sistema eléctrico como los sistemas mecánicos no poseen componentes especiales lo que permite que el costo de implementación y mantenimiento resulte económico.

4.2 Recomendaciones

- Poner énfasis en la precisión de las dimensiones, en la construcción de los elementos mecánicos, de tal forma que no exista problemas al ensamblar la máquina.
- Antes de poner en funcionamiento la máquina, verificar que no exista elementos ajenos que puedan generar daños a las cuchillas u otros componentes.
- Se recomienda verificar que los bordes de las láminas a cortar se encuentren sin ondulaciones o filos escalonados. esto puede ocasionar que al momento de desplazarse por la guía se atasquen lo que daría como resultado cortes defectuosos.
- Instalar la máquina en un lugar en el cual la superficie se encuentre completamente nivelada.
- Evitar cortes de planchas de espesores mayores al de diseño, ya que esto podría ocasionar daños sobre ciertos elementos de la máquina.
- La limpieza de cualquier elemento siempre se lo debe hacer con la máquina apagada ya que los elementos en movimiento podrían causar accidentes graves.
- Se debe cumplir con un mantenimiento periódico de la máquina, así se asegura la vida útil de los sistemas que la componen.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Wood, "Optimizing The Shear Slitting Process," *Tidland Corporation*, pp. 3-10, Sep. 2007.
- [2] H. Wisselink, "Analysis of Guillotining and Slitting, Finite Element Simulations," Ph.D-Thesis, University of Twente, The Netherlands, Jan. 2000.
- [3] P. A. Sebastian, "Diseño de cizalla por corte circular para obtener rollos de 10mm de ancho a partir de rollos de 150mm," Tesis de Grado, Universidad EAFIT, Medellin, 2008.
- [4] V. A. A. G. V. M. J. S. J. Ortiz, "Proceso de Diseño Mecánico de Máquina Cortadora de Lámina con Posicionadores Automáticos," *Memorias del XIX Congreso Internacional Anual de la SOMIM*, pp. 376-382, Sep. 2013.
- [5] M. M. G. A. Berti, "Numerical modelling of sheet metal guillotine process," Vicenza, Italia, 1012.
- [6] R. Corporation, "Corte Mecánico," 2013. [Online]. Available: www.ruukki.es. [Accessed 17 Diciembre 2015].
- [7] M. I. d. P. S. A., "MIPSA," [Online]. Available: <https://mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Corte-cizalla>. [Accessed 11 Agosto 2016].
- [8] ASTM-HANDBOOK, Forming and Forging, Novena ed., vol. 14, 1993.
- [9] S. R. S. S. Kalpakjian, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, 5 ed., México: Pearson, 2008.
- [10] H. K. G. F. L. B. S. Dietmar Falk, *Metalotécnica Fundamental*, Barcelona: Reverte S.A., 1986.

- [11] FIUBA, "Conformado de Láminas Metálicas," *Industrias de Procesos de Conformación*, vol. 1, no. 1, p. 91, 2013.
- [12] M. F. G. B. Javier, "Diseño de una herramienta: Cuchilla para trabajo en frío," Tesis de grado, Universidad Autónoma de Nuevo León, Nuevo León, Jun, 1999.
- [13] F. R. R. UTN, "Metalografía y Tratamientos Térmicos," [Online]. Available:
[https://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_anio/metalografia/17-_Aceros_de_herramientas_\(frio\)_v2.pdf](https://www.firro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/mecanica/5_anio/metalografia/17-_Aceros_de_herramientas_(frio)_v2.pdf). [Accessed 15 Ene 2016].
- [14] BOHLER, "Aceros Especiales," [Online]. Available:
<http://www.bohlercolombia.com/>. [Accessed 15 Ene 2016].
- [15] ACESCO, "Manual técnico del Acero Galvanizado," [Online]. Available:
www.acesco.com/downloads/manual/M-Galvanizado.pdf. [Accessed 17 Dic 2015].
- [16] DIPAC, "Catalogo de Productos de Acero," [Online]. Available:
<https://www.dipacmanta.com>. [Accessed 15 Ene 2016].
- [17] G. F. B. Palacios, "Diseño y simulación de una Máquina automatizada con PLC para dividir planchas de cartón de hasta 1300 mm de ancho y 2200 mm de longitud, mediante cortes longitudinales y transversales," Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Mecánica, Quito, 2012.
- [18] W. Slitter, "Wilder_Slitter_Manual_All_Models," [Online]. Available:
http://www.empire-machinery.com/documents/Wilder_Slitter_Manual_All_Models.pdf. [Accessed 15 Nov. 2015].
- [19] D. H. Myszka, *Máquinas y Mecanismos*, 4ta ed., México: Pearson Educación, 2012.

- [20] A. J. Nieto, Elementos de Máquinas, Castilla - La Mancha, 2007.
- [21] V. Mark. [Online]. Available: <http://www.van-mark.com/documents/F696.pdf>. [Accessed 17 Dic 2015].
- [22] M. C. R. Arturo, Diseño Concurrente, Catalonia , 2002.
- [23] itohdenki. [Online]. Available: www.itohdenki.com. [Accessed 13 Ene 2016].
- [24] WEG, "weg," [Online]. Available: www.weg.net. [Accessed 13 Ago. 2016].
- [25] P. Mott Robert, Diseño de Elementos de Máquinas, México: Pearson-Educación, 2004.
- [26] J. K. N. G. Budynas, "Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley," McGRAW-HILL, México, 2008.
- [27] P. Stiooping, Resistencia de Materiales, Moscu : Mir, 1968.
- [28] R. FAG, "Catálogo WL 41 520/3 SB, PDF," [Online]. Available: <http://www.fag.com>. [Accessed 15 Dic 2015].
- [29] D. S.A., "Soporte con rodamiento," [Online]. Available: <http://www.dinamica.net/repositori/documents/productes/es/soportes.pdf>. [Accessed 24 Jun 2016].

ANEXOS

ANEXO A: Propiedades de Aceros para cuchillas y Selección de motores

ANEXO A – 1

BÖHLER K110

Recomendaciones para la mecanización

(Estado de tratamiento térmico: recocido blando, valores aproximados)

Tornear con metal duro				
Profundidad de corte, mm	0,5 hasta 1	1 hasta 4	4 hasta 8	> 8
Avance, mm/r.	0,1 hasta 0,3	0,2 hasta 0,4	0,3 hasta 0,6	0,5 hasta 1,5
Calidad de metal duro BÖHLERIT	SB10, SB20	SB10, SB20, EB10	SB30, EB20	SB30, SB40
Calidad ISO	P10, P20	P10, P20, M10	P30, M20	P30, P40
Velocidad de corte m/min				
Plaquitas de corte recambiables Duración 15 min	210 hasta 150	160 hasta 110	110 hasta 80	70 hasta 45
Herramientas de metal duro soldadas Duración 30 min	150 hasta 110	135 hasta 85	90 hasta 60	70 hasta 35
Plaquitas de corte recambiables con revestimiento Duración 15 min BÖHLERIT ROYAL 121 BÖHLERIT ROYAL 131	hasta 210 hasta 140	hasta 180 hasta 140	hasta 130 hasta 100	hasta 80 hasta 60
Ángulo de corte para herramientas de metal duro soldadas				
Ángulo de despulpo	6 hasta 12°	6 hasta 12°	6 hasta 12°	6 hasta 12°
Ángulo de desprendimiento	6 hasta 8°	6 hasta 8°	6 hasta 8°	6 hasta 8°
Ángulo de inclinación	0°	menos 4°	menos 4°	menos 4°

Tornear con acero rápido			
Profundidad de corte, mm	0,5	3	6
Avance, mm/r.	0,1	0,4	0,8
Calidad BÖHLER/DIN	S700 / DIN S10-4-3-10		
Velocidad de corte m/min			
Duración 60 min	30 hasta 20	20 hasta 15	18 hasta 10
Ángulo de desprendimiento	14°	14°	14°
Ángulo de despulpo	8°	8°	8°
Ángulo de inclinación	menos 4°	menos 4°	menos 4°

Fresar con cabezales de cuchillas		
Avance, mm/diente	hasta 0,2	0,2 hasta 0,4
Velocidad de corte m/min		
BÖHLERIT SBF/ ISO P25	150 hasta 100	110 hasta 60
BÖHLERIT SB40/ ISO P40	100 hasta 60	70 hasta 40
BÖHLERIT ROYAL 131 / ISO P35	130 hasta 85	130 hasta 85

Mandrinar con metal duro			
Díametro del taladro, mm	3 hasta 8	8 hasta 20	20 hasta 40
Avance, mm/r.	0,02 hasta 0,05	0,05 hasta 0,12	0,12 hasta 0,18
Calidad de metal duro BÖHLERIT / ISO	HB10/K10	HB10/K10	HB10/K10
Velocidad de corte m/min			
	50 hasta 35	50 hasta 35	50 hasta 35
Ángulo de punta	115 hasta 120°	115 hasta 120°	115 hasta 120°
Ángulo de despulpo	5°	5°	5°

Propriétés physiques

Propiedades físicas

Densité a /

Densidad a20°C7,70.....kg/dm³

Conductivité thermique a /

Conductibilidad térmica a20°C20,0.....W/(m.K)

Chaleur spécifique a /

Calor específico a20°C460.....J/(kg.K)

Resistivité a /

Resistencia eléctrica específica a20°C0,65.....Ohm.mm²/m

Module d' elasticité a /

Modulo de elasticidad a20°C210 x 10³N/mm²

Dilatation thermique, entre 20°C et ...°C, 10 ⁻⁶ m/(mK)					
Dilatación térmica, entre 20°C y ...°C, 10 ⁻⁶ m/(mK)					
100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C
10,5	11,0	11,0	11,5	12,0	12,0

ANEXO A – 2: Resistencia mecánica del acero galvanizado.

A 653/A 653M – 09

TABLE 5 Typical Ranges of Mechanical Properties^{A, B} (Nonmandatory)

Designation	Yield Strength		Elongation in 2 in. [50 mm], %	<i>r_m</i> Value ^C	<i>n</i> Value ^D
	ksi	[MPa]			
CS Type A	25/55	[170/380]	≥20	<i>E</i>	<i>E</i>
CS Type B	30/55	[205/380]	≥20	<i>E</i>	<i>E</i>
CS Type C	25/60	[170/410]	≥15	<i>E</i>	<i>E</i>
FS Types A and B	25/45	[170/310]	≥26	1.0/1.4	0.17/0.21
DDS Type A	20/35	[140/240]	≥32	1.4/1.8	0.19/0.24
DDS Type C	25/40	[170/280]	≥32	1.2/1.8	0.17/0.24
EDDS ^E	15/25	[105/170]	≥40	1.6/2.1	0.22/0.27

^AThe typical mechanical property values presented here are nonmandatory. They are intended solely to provide the purchaser with as much information as possible to make an informed decision on the steel to be specified. Values outside of these ranges are to be expected. The purchaser may negotiate with the supplier if a specific range or a more restrictive range is required for the application.

^BThese typical mechanical properties apply to the full range of steel sheet thicknesses. The yield strength tends to increase and some of the formability values tend to decrease as the sheet thickness decreases.

^C*r_m* Value—Average plastic strain ratio as determined by Test Method E 517.

^D*n* Value—Strain-hardening exponent as determined by Test Method E 646.

^ENo typical mechanical properties have been established.

^FEDDS Sheet will be free from changes in mechanical properties over time, that is, nonaging.

ANEXO A – 3

W22 - IE3 Premium Efficiency - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/I _n	Par con rotor trabado T _v /T _n	Par máximo T _b /T _n	Momento de inercia J (kgm ²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)		Peso (kg)	Nivel de ruido dB(A)	380 V						Corriente nominal I _n (A)	
								RPM				% de la potencia nominal							
												Rendimiento		Factor de potencia					
KW	HP	50	75	100	50	75	100	50	75	100	50	75	100						
II Poles																			
0,12	0,16	63	0,034	6,3	3,3	3,2	0,0001	30	66	5,7	56	3410	54,0	61,0	64,5	0,53	0,65	0,74	0,382
0,18	0,25	63	0,052	5,8	3	3	0,0001	25	55	6,2	56	3350	61,0	66,0	68,0	0,60	0,73	0,81	0,497
0,25	0,33	63	0,073	5,9	3,1	3	0,0002	20	44	6,7	56	3360	64,0	69,0	70,0	0,58	0,71	0,80	0,678
0,37	0,5	63	0,108	5,8	3	3	0,0002	17	37	7,7	56	3340	69,0	73,0	73,0	0,62	0,75	0,83	0,928
0,55	0,75	71	0,157	6,4	3,8	3,8	0,0004	18	46	7,5	60	3410	75,5	79,5	79,5	0,69	0,81	0,87	1,26
0,75	1	71	0,213	7,0	3,4	3,6	0,0005	17	37	9,0	60	3425	79,0	81,5	82,5	0,65	0,77	0,84	1,64
1,1	1,5	80	0,311	6,4	3,6	3,8	0,0009	19	42	14,0	62	3445	81,0	84,0	84,6	0,64	0,76	0,83	2,38
1,5	2	L90	0,427	7,8	3,6	3,6	0,0010	16	35	16,0	62	3425	84,0	85,0	85,7	0,68	0,79	0,85	3,13
2,2	3	L90S	0,618	7,8	3,4	3,1	0,0023	14	31	22,0	68	3470	86,0	86,5	86,5	0,69	0,80	0,85	4,55
3	4	L90L	0,841	7,8	3,7	3,7	0,0028	11	24	23,0	68	3475	87,0	88,0	88,0	0,62	0,75	0,82	6,28
3,7	5	100L	1,03	8,7	3,1	3,8	0,0064	15	33	32,0	71	3505	86,4	88,3	88,6	0,69	0,80	0,86	7,38
4,5	6	112M	1,26	7,5	2,5	3,1	0,0080	24	53	40,0	69	3490	87,7	89,0	89,5	0,74	0,84	0,88	8,68
5,5	7,5	112M	1,53	8,2	3	3,6	0,0090	18	40	43,0	69	3500	87,9	89,4	89,7	0,72	0,82	0,87	10,7
7,5	10	132S	2,07	8,1	2,5	3,4	0,0216	20	44	67,0	72	3530	88,2	89,9	90,6	0,74	0,83	0,87	14,5
9,2	12,5	132M	2,54	8,1	2,5	3,4	0,0269	17	37	74,0	72	3525	89,6	90,8	91,2	0,76	0,85	0,89	17,3
11	15	132M	3,04	8,5	2,7	3,5	0,0305	14	31	78,0	72	3525	90,3	91,3	91,5	0,76	0,85	0,89	20,5
15	20	160M	4,13	7,4	2,2	3	0,0553	14	31	115	72	3540	91,3	92,3	92,2	0,74	0,83	0,87	28,4
18,5	25	160M	5,09	7,8	2,4	3	0,0626	11	24	119	72	3540	92,0	92,8	92,8	0,74	0,83	0,87	34,9
22	30	160L	6,04	7,8	2,5	3,2	0,0700	9	20	131	72	3545	92,4	93,2	93,2	0,74	0,83	0,87	41,2
30	40	200M	8,21	7,4	2,4	2,7	0,1703	20	44	219	74	3560	92,5	93,4	93,4	0,74	0,83	0,86	56,7
37	50	200L	10,1	7,5	2,9	2,9	0,2128	18	40	265	74	3565	93,0	94,0	94,0	0,76	0,84	0,87	68,8
45	60	225S/M	12,3	8,2	2,5	3	0,2991	12	26	393	79	3565	92,3	93,6	94,3	0,79	0,87	0,89	81,5
55	75	225S/M	15,0	8,2	2,5	3	0,3251	10	22	406	79	3565	93,1	94,2	94,6	0,80	0,87	0,90	96,2
75	100	250S/M	20,5	8,4	2,6	3	0,4366	10	22	477	79	3560	94,0	94,8	95,0	0,81	0,86	0,88	137
90	125	280S/M	24,5	7,7	2	3	1,07	18	40	747	81	3575	93,3	94,9	95,3	0,78	0,86	0,88	163
110	150	280S/M	30,0	7,7	2,2	3	1,16	18	40	716	81	3575	94,1	95,2	95,5	0,80	0,87	0,89	197
132	180	315S/M	35,9	7,5	2	2,8	1,74	22	48	906	81	3580	93,6	95,2	95,6	0,80	0,86	0,89	236
150	200	315S/M	40,8	7,5	2	2,8	2,11	22	48	975	81	3580	94,2	95,4	95,8	0,81	0,87	0,90	264
185	250	315S/M	50,3	7,5	2,1	2,7	2,47	22	48	1053	81	3580	95,3	95,8	96,1	0,82	0,88	0,90	325
200	270	350M/L	54,3	7,5	2	2,7	3,54	24	53	1429	84	3585	95,0	95,8	96,2	0,82	0,88	0,90	351
220	300	350M/L	59,8	8,0	1,8	2,9	3,86	20	44	1475	84	3585	95,3	95,9	96,3	0,83	0,88	0,90	386
260	350	350M/L	70,6	7,8	2	2,7	4,50	26	57	1605	84	3585	95,6	96,0	96,4	0,86	0,90	0,91	450
300	400	350M/L	81,6	8,4	2	2,5	5,36	24	53	1743	84	3580	95,8	96,2	96,4	0,87	0,91	0,92	514
330	450	350M/L	89,7	8,4	2,2	2,8	6,01	18	40	1860	84	3585	95,9	96,3	96,5	0,87	0,91	0,92	565

ANEXO A – 4

Duración del servicio Tiempo total de operación por día	Clasificación de carga Máquina movida								
	Con Motor Eléctrico			Con Motor Combustión (un cilindro)			Con Motor de combustión (multicilindro)		
	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado	Uniforme	Choque moderado	Choque pesado
Ocasionales ½ hr.	0.80	0.90	1.00	1.00	1.25	1.50	.90	1.00	1.25
Intermitente 2 hrs.	0.90	1.00	1.25	1.25	1.50	1.75	1.00	1.25	1.50
Hasta 10 hrs.	1.00	1.25	1.50	1.50	1.75	2.00	1.25	1.50	1.75
Hasta 24 hrs.	1.25	1.50	1.75	1.75	2.00	2.25	1.50	1.75	2.00

ANEXO A – 5

UGS-51 UGSA-51 UGSV-51 y UGSC-51

UGS-63 UGSA-63 UGSV-63 y UGSC-63

Reduccion Nominal	Descripción de la capacidad	Velocidad de entrada			Reduccion Nominal	Descripción de la capacidad	Velocidad de entrada		
		1750	1150	870			1750	1150	870
5	Pot. Entrada HP	2.4	1.98	1.73	5	Pot. Entrada HP	4.14	3.37	2.81
	Pot. Salida HP	2.12	1.7	1.5		Pot. Salida HP	3.81	3.08	2.56
	Par Salida Kg-cm	460	564	646		Par Salida Kg-cm	820	1000	1110
	Vel. Salida RPM	350	230	174		Vel. Salida RPM	350	230	174
7.5	Pot. Entrada HP	2	1.65	1.44	7.5	Pot. Entrada HP	3.59	2.85	2.35
	Pot. Salida HP	1.72	1.4	0.12		Pot. Salida HP	3.27	2.6	2.13
	Par Salida Kg-cm	548	676	759		Par Salida Kg-cm	990	1190	1295
	Vel. Salida RPM	233	153	116		Vel. Salida RPM	233	153	116
10	Pot. Entrada HP	1.61	1.34	1.12	10	Pot. Entrada HP	2.88	2.27	1.87
	Pot. Salida HP	1.32	1.06	0.89		Pot. Salida HP	2.58	2.02	1.66
	Par Salida Kg-cm	600	759	836		Par Salida Kg-cm	1030	1230	1338
	Vel. Salida RPM	175	115	87		Vel. Salida RPM	175	115	87
15	Pot. Entrada HP	1.22	1	0.85	15	Pot. Entrada HP	2.08	1.62	1.33
	Pot. Salida HP	0.97	0.9	0.65		Pot. Salida HP	1.78	1.38	1.12
	Par Salida Kg-cm	647	792	862		Par Salida Kg-cm	1140	1350	1450
	Vel. Salida RPM	117	77	58		Vel. Salida RPM	117	77	58

ANEXO B: Tablas de diseño por flexión y contacto superficial de engranes

ANEXO B – 1

TABLA 9-2 Números de calidad **AGMA** recomendados

Aplicación	Número de calidad	Aplicación	Número de calidad
Accionamiento de tambor			
mezclador de cemento	3-5	Taladro pequeño	7-9
Horno de cemento	5-6	Lavadora de ropa	8-10
Impulsores de laminadoras de acero	5-6	Prensa de impresión	9-11
Cosechadora de granos	5-7	Mecanismo de cómputo	10-11
Grúas	5-7	Transmisión automotriz	10-11
Prensas de punzonado	5-7	Accionamiento de antena de radar	10-12
Transportador de mina	5-7	Accionamiento de propulsión marina	10-12
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8	Accionamiento de motor de avión	10-13
Mecanismo de medidores de gas	7-9	Giroscopio	12-14
Accionamientos de máquinas herramienta y de otros sistemas mecánicos de alta calidad			
Velocidad de la línea de paso (pies/min)	Número de calidad	Velocidad de la línea de paso	
0-800	6-8	0-4	
800-2000	8-10	4-11	
2000-4000	10-12	11-22	
Más de 4000	12-14	Más de 22	

ANEXO B – 2

Número de dientes	Y	Número de dientes	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	Cremallera	0.485

ANEXO B – 3

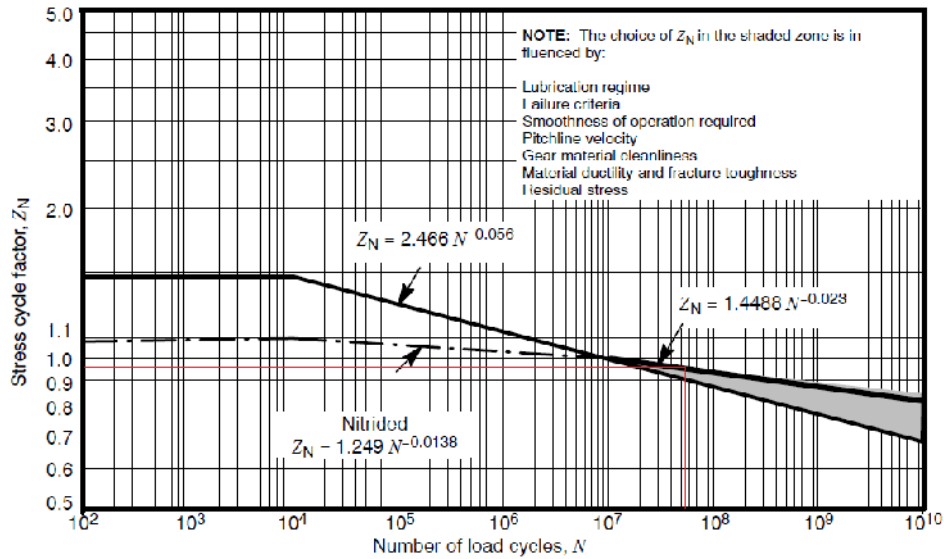
Condición	A	B	C
Engranajes abiertos	0.247	0.0167	$-0.765(10^{-4})$
Unidades comerciales, cerradas	0.127	0.0158	$-0.930(10^{-4})$
Unidades de precisión, cerradas	0.0675	0.0128	$-0.926(10^{-4})$
Unidades de precisión extrema, cerradas	0.00360	0.0102	$-0.822(10^{-4})$

ANEXO B – 4: Vida de diseño recomendada (Robert Mott, pp.396)

Aplicación	Vida de diseño (h)
Electrodomésticos	1000-2000
Motores de avión	1000-4000
Automotriz	1500-5000
Equipo agrícola	3000-6000
Elevadores, ventiladores industriales, transmisiones de usos múltiples	8000-15 000
Motores eléctricos, sopladores industriales, maquinaria industrial en general	20 000-30 000
Bombas y compresores	40 000-60 000
Equipo crítico en funcionamiento continuo durante 24 h	100 000-200 000

Fuente: Eugene A. Avallone y Theodore Baumeister III, editores. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, 9ª edición. Nueva York: McGraw-Hill, 1986

ANEXO B – 5: Factor de ciclos de esfuerzos de resistencia a la picadura Z_N (AGMA 2004, pp.36)



ANEXO B – 6

Tabla A-21 (continuación)

Propiedades mecánicas medias de algunos aceros tratados térmicamente

[Éstas son propiedades típicas de materiales normalizados y recocidos. Las propiedades de aceros templados y revenidos (TyR) son de una sola colada. Debido a las muchas variables, las propiedades listadas son promedios generales. En todos los casos, los datos se obtuvieron de piezas con diámetro de 0.505 pulg, maquinadas a partir de barras redondas de 1 pulg y la longitud de calibración es de 2 pulg. A menos que se especifique otra cosa, todas las piezas se templaron en aceite]

Fuente: ASM Metals Reference Book, 2a. ed., American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 1983.

1	2	3	4	5	6	7	8
AISI núm.	Tratamiento	Temperatura, °C (°F)	Resistencia a la tensión MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación, %	Reducción del área, %	Dureza Brinell
4130	TyR*	205 (400)	1 630 (236)	1 460 (212)	10	41	467
	TyR*	315 (600)	1 500 (217)	1 380 (200)	11	43	435
	TyR*	425 (800)	1 280 (186)	1 190 (173)	13	49	380
	TyR*	540 (1 000)	1 030 (150)	910 (132)	17	57	315
	TyR*	650 (1 200)	814 (118)	703 (102)	22	64	245
	Normalizado	870 (1 600)	670 (97)	436 (63)	25	59	197
	Recocido	865 (1 585)	560 (81)	361 (52)	28	56	156
4140	TyR	205 (400)	1 770 (257)	1 640 (238)	8	38	510
	TyR	315 (600)	1 550 (225)	1 430 (208)	9	43	445
	TyR	425 (800)	1 250 (181)	1 140 (165)	13	49	370
	TyR	540 (1 000)	951 (138)	834 (121)	18	58	285
	TyR	650 (1 200)	758 (110)	655 (95)	22	63	230
	Normalizado	870 (1 600)	1 020 (148)	655 (95)	18	47	302
	Recocido	815 (1 500)	655 (95)	417 (61)	26	57	197
4340	TyR	315 (600)	1 720 (250)	1 590 (230)	10	40	486
	TyR	425 (800)	1 470 (213)	1 360 (198)	10	44	430
	TyR	540 (1 000)	1 170 (170)	1 080 (156)	13	51	360
	TyR	650 (1 200)	965 (140)	855 (124)	19	60	280

*Templado en agua.

ANEXO B – 7

TABLA 7.8 Factores de servicio para transmisiones por cadenas

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna
Uniforme (agitadores, ventiladores, transporte con carga ligera y uniforme).	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladores de alimento y molinos).	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos).	1.4	1.5	1.7

ANEXO C: Tablas de selección de bandas en V

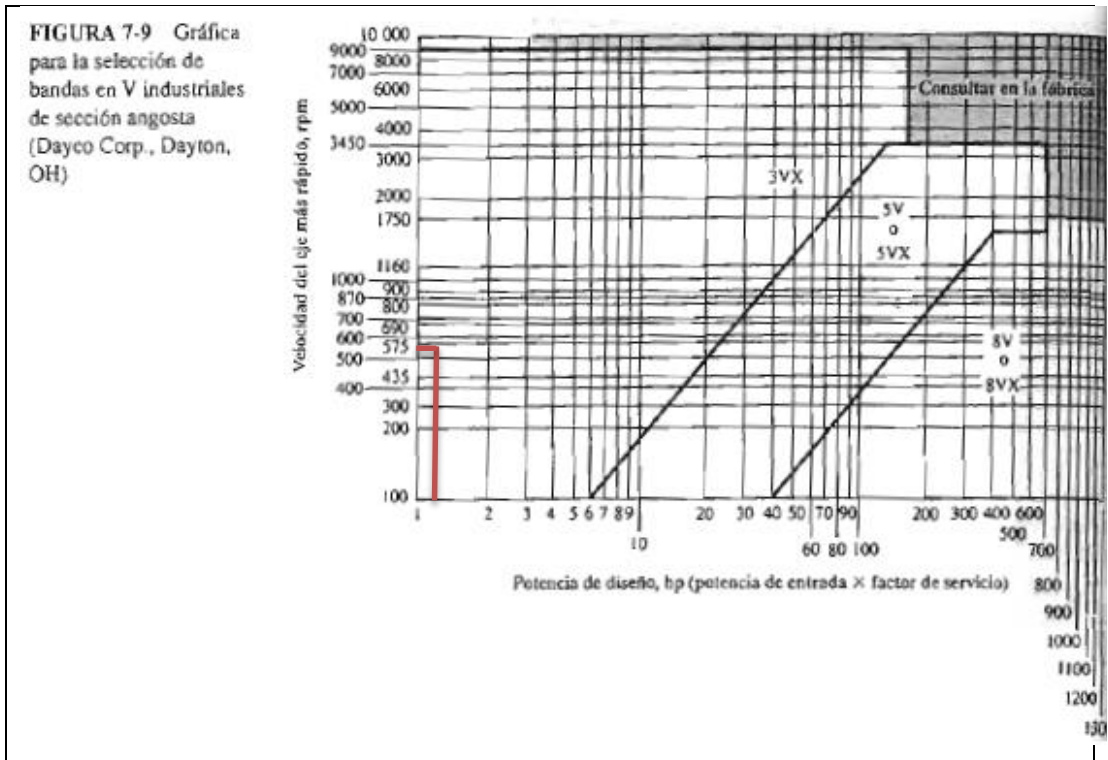
ANEXO C- 1 [24]

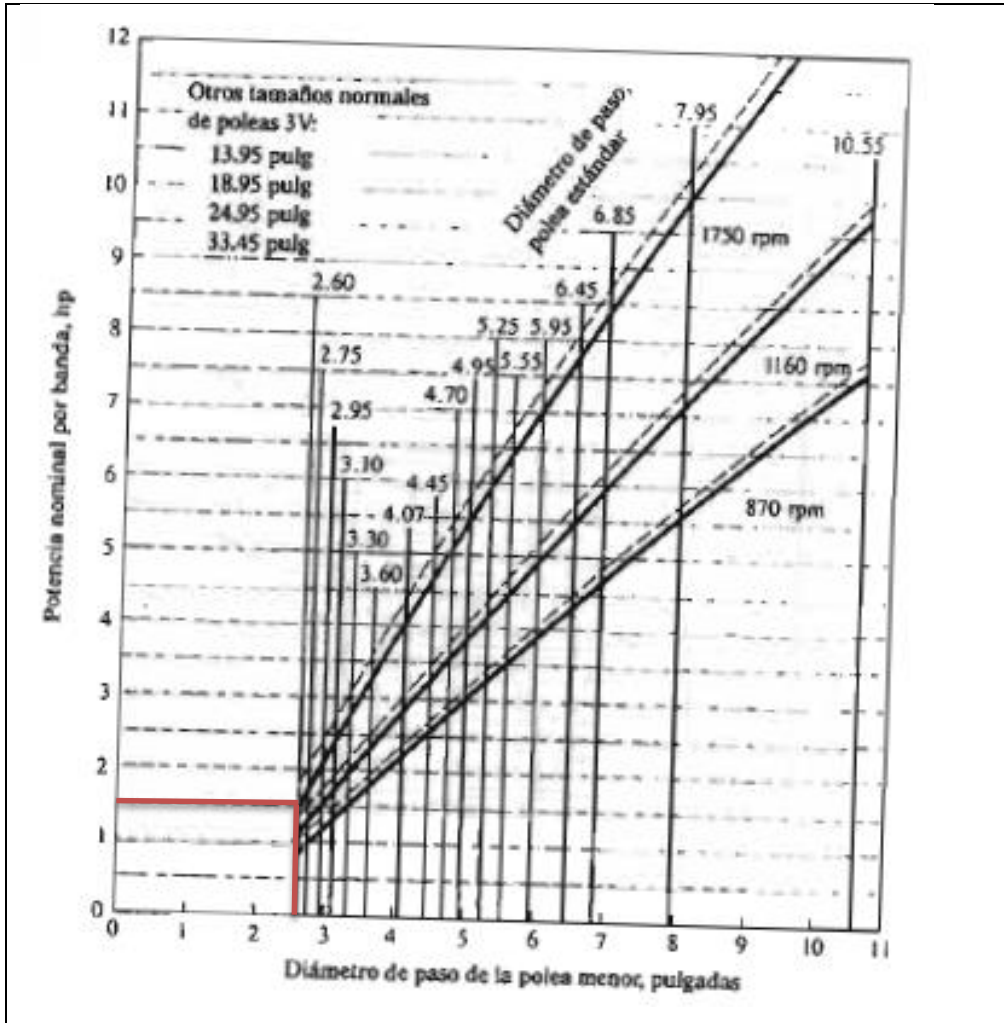
Tabla 17-15

Factores de servicio sugeridos K_s para transmisiones de banda en V

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

ANEXO C- 2: Capacidades de bandas 3V ([25], pp. 290)





ANEXO D: Tablas de selección de parámetros para diseño del eje de transmisión de potencia.

ANEXO D- 1

Tabla 6-2
 Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

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

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horger (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

ANEXO D- 2: Factores que modifican el límite de resistencia a fatiga

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases}$$

Tabla 6-5

	Confiabledad, %	Variación de transformación z_u	Factor de confiabledad k_u
Factores de confiabledad k_u correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga	50	0	1.000
	90	1.288	0.897
	95	1.645	0.868
	99	2.326	0.814
	99.9	3.091	0.753
	99.99	3.719	0.702
	99.999	4.265	0.659
	99.9999	4.753	0.620

ANEXO D- 3

Figura A-15-8

Eje redondo con filete en el hombro en torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

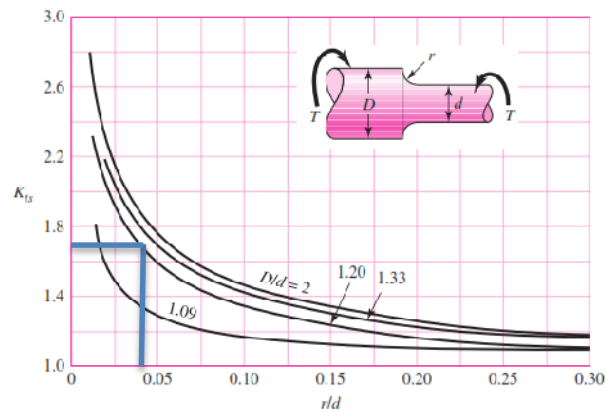
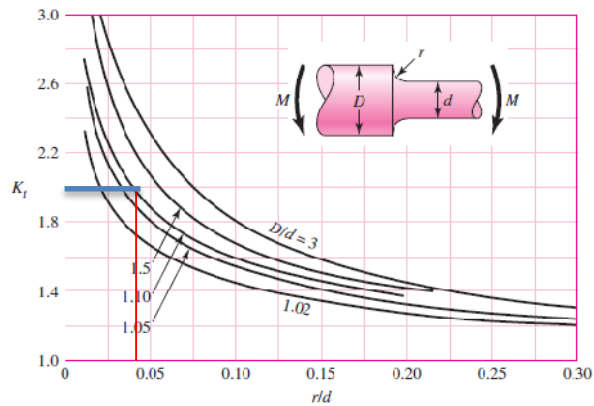


Figura A-15-9

Eje redondo con filete en el hombro en flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ y $I = \pi d^4/64$.



ANEXO D- 4

Figura 6-20

Sensibilidad a la muesca en el caso de aceros y aleaciones de aluminio forjado UNS A92024-T, sometidos a flexión inversa de cargas axiales inversas. Para radios de muesca más grandes, use los valores de q correspondientes a la ordenada $r = .16$ pulg (4 mm). [De George Sines y J. L. Waisman (eds.), Metal Fatigue, McGraw-Hill. Nueva York, Copyright © 1969 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.]

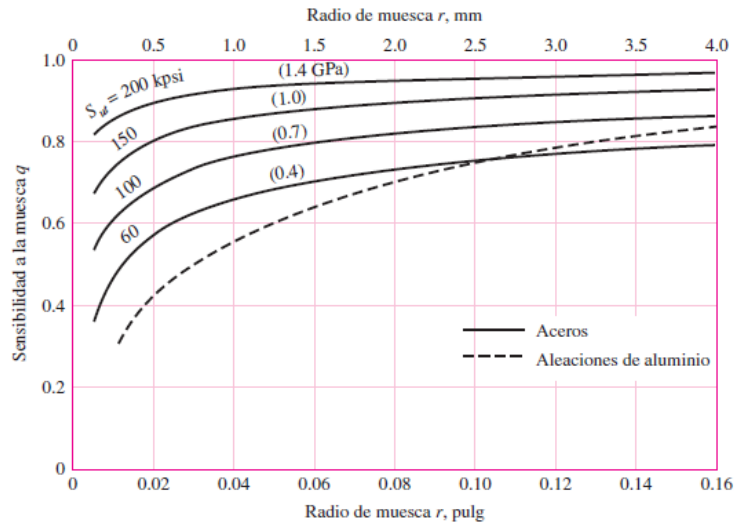
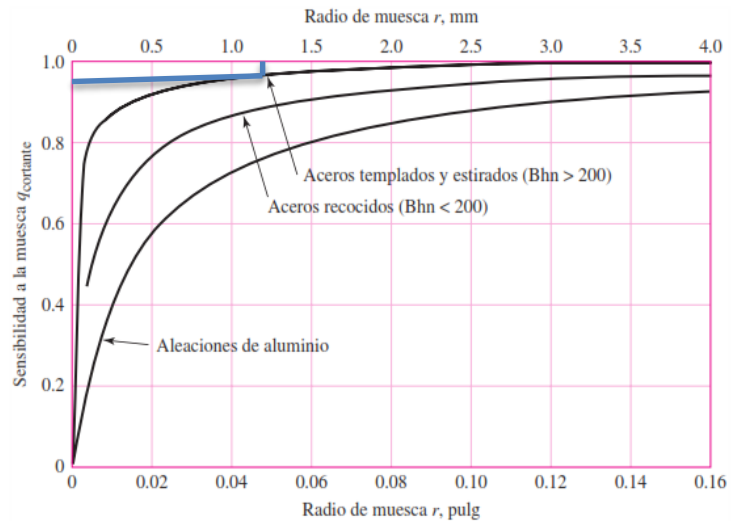


Figura 6-21

Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa. En el caso de radios de muesca más grandes, use los valores de q_{cortante} correspondientes a la ordenada $r = 0.16$ pulg (4 mm).



ANEXO E: Parámetros selección de rodamientos.

Todas las tablas, figuras, diagramas, presentados en este anexo son tomados del catálogo de rodamientos FAG.

ANEXO E- 1

▼ Factores radiales y axiales de los rodamientos rígidos de bolas

$\frac{f_0 \cdot F_a}{C_0}$	Juego normal de rodamiento				Juego de rodamiento C3				Juego de rodamiento C4						
	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$		e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y		X	Y	X	Y		X	Y		
0,3	0,22	1	0	0,56	2	0,32	1	0	0,46	1,7	0,4	1	0	0,44	1,4
0,5	0,24	1	0	0,56	1,8	0,35	1	0	0,46	1,56	0,43	1	0	0,44	1,31
0,9	0,28	1	0	0,56	1,58	0,39	1	0	0,46	1,41	0,45	1	0	0,44	1,23
1,6	0,32	1	0	0,56	1,4	0,43	1	0	0,46	1,27	0,48	1	0	0,44	1,16
3	0,36	1	0	0,56	1,2	0,48	1	0	0,46	1,14	0,52	1	0	0,44	1,08
6	0,43	1	0	0,56	1	0,54	1	0	0,46	1	0,56	1	0	0,44	1

▼ Factor a_1

Probabilidad de fallo %	10	5	4	3	2	1
Vida a fatiga	L_{10}	L_5	L_4	L_3	L_2	L_1
Factor a_1	1	0,62	0,53	0,44	0,33	0,21

ANEXO E- 2

▼ Valores f_L para rodamientos de bolas

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}}$$

L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L	L_h	f_L
h		h		h		h		h	
100	0,585	420	0,944	1700	1,5	6500	2,35	28000	3,83
110	0,604	440	0,958	1800	1,53	7000	2,41	30000	3,91
120	0,621	460	0,973	1900	1,56	7500	2,47	32000	4
130	0,638	480	0,986	2000	1,59	8000	2,52	34000	4,08
140	0,654	500	1	2200	1,64	8500	2,57	36000	4,16
150	0,669	550	1,03	2400	1,69	9000	2,62	38000	4,24
160	0,684	600	1,06	2600	1,73	9500	2,67	40000	4,31
170	0,698	650	1,09	2800	1,78	10000	2,71	42000	4,38
180	0,711	700	1,12	3000	1,82	11000	2,8	44000	4,45
190	0,724	750	1,14	3200	1,86	12000	2,88	46000	4,51
200	0,737	800	1,17	3400	1,89	13000	2,96	48000	4,58
220	0,761	850	1,19	3600	1,93	14000	3,04	50000	4,64
240	0,783	900	1,22	3800	1,97	15000	3,11	55000	4,79
260	0,804	950	1,24	4000	2	16000	3,17	60000	4,93
280	0,824	1000	1,26	4200	2,03	17000	3,24	65000	5,07
300	0,843	1100	1,3	4400	2,06	18000	3,3	70000	5,19
320	0,862	1200	1,34	4600	2,1	19000	3,36	75000	5,31
340	0,879	1300	1,38	4800	2,13	20000	3,42	80000	5,43
360	0,896	1400	1,41	5000	2,15	22000	3,53	85000	5,54
380	0,913	1500	1,44	5500	2,22	24000	3,63	90000	5,65
400	0,928	1600	1,47	6000	2,29	26000	3,73	100000	5,85

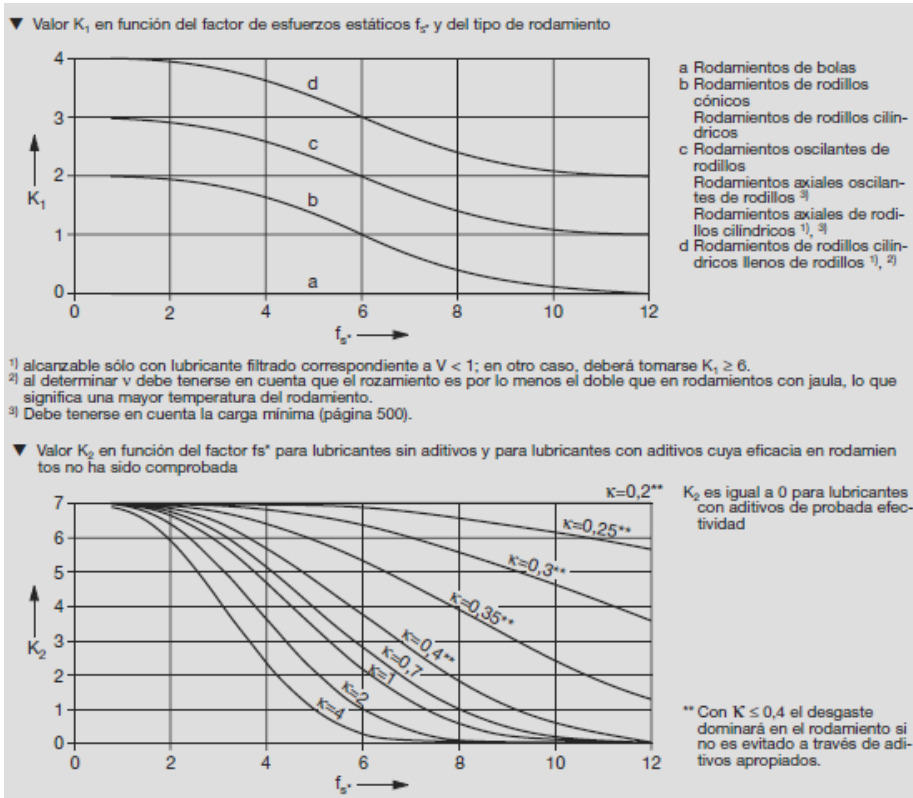
ANEXO E- 3

▼ Valores f_n para rodamientos de bolas

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 \times 10^6}{n}}$$

n	f_n	n	f_n	n	f_n	n	f_n	n	f_n
min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹		min ⁻¹	
10	1,49	55	0,848	340	0,461	1800	0,265	9500	0,152
11	1,45	60	0,822	360	0,452	1900	0,26	10000	0,149
12	1,41	65	0,8	380	0,444	2000	0,255	11000	0,145
13	1,37	70	0,781	400	0,437	2200	0,247	12000	0,141
14	1,34	75	0,763	420	0,43	2400	0,24	13000	0,137
15	1,3	80	0,747	440	0,423	2600	0,234	14000	0,134
16	1,28	85	0,732	460	0,417	2800	0,228	15000	0,131
17	1,25	90	0,718	480	0,411	3000	0,223	16000	0,128
18	1,23	95	0,705	500	0,405	3200	0,218	17000	0,125
19	1,21	100	0,693	550	0,393	3400	0,214	18000	0,123
20	1,19	110	0,672	600	0,382	3600	0,21	19000	0,121
22	1,15	120	0,652	650	0,372	3800	0,206	20000	0,119
24	1,12	130	0,635	700	0,362	4000	0,203	22000	0,115
26	1,09	140	0,62	750	0,354	4200	0,199	24000	0,112
28	1,06	150	0,606	800	0,347	4400	0,196	26000	0,109
30	1,04	160	0,593	850	0,34	4600	0,194	28000	0,106
32	1,01	170	0,581	900	0,333	4800	0,191	30000	0,104
34	0,993	180	0,57	950	0,327	5000	0,188	32000	0,101
36	0,975	190	0,56	1000	0,322	5500	0,182	34000	0,0993
38	0,957	200	0,55	1100	0,312	6000	0,177	36000	0,0975
40	0,941	220	0,533	1200	0,303	6500	0,172	38000	0,0957
42	0,926	240	0,518	1300	0,295	7000	0,168	40000	0,0941
44	0,912	260	0,504	1400	0,288	7500	0,164	42000	0,0926
46	0,898	280	0,492	1500	0,281	8000	0,161	44000	0,0912
48	0,886	300	0,481	1600	0,275	8500	0,158	46000	0,0898
50	0,874	320	0,471	1700	0,27	9000	0,155	50000	0,0874

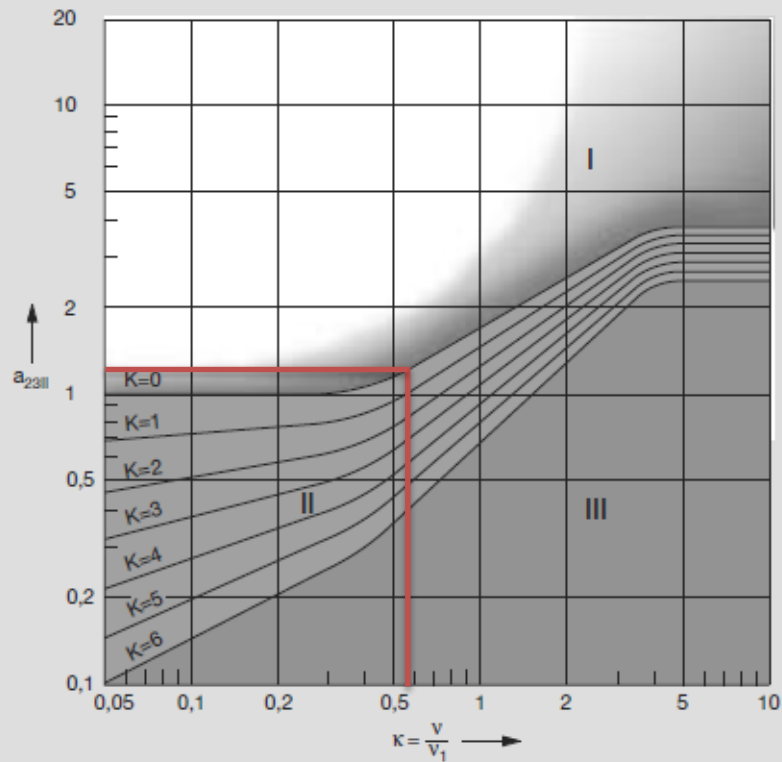
ANEXO E- 4



ANEXO E- 5

▼ factor básico a_{23II} para la determinación del factor a_{23}

- $k = v / v_1$ ratio de viscosidad
 v Viscosidad de servicio del lubricante, ver página 42
 v_1 Viscosidad relativa, ver página 42
 $K = K_1 + K_2$ valores para determinar el factor básico a_{23II} , ver página 44



Zonas

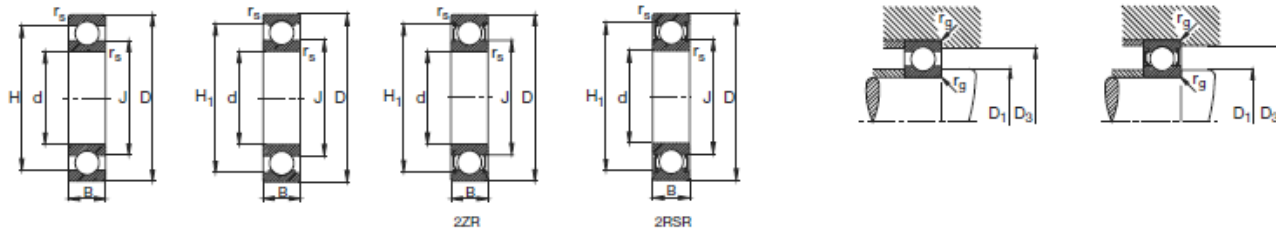
- I:** Transición al sector de resistencia a la fatiga.
 Condición previa: máxima limpieza en el intersticio de lubricación y cargas no muy elevadas, lubricante adecuado
- II:** Limpieza normal en el intersticio de lubricación.
 (con aditivos eficaces probados en rodamientos se permiten valores $a_{23} > 1$ incluso con $k < 0,4$)
- III:** Condiciones de lubricación desfavorables
 Lubricante severamente contaminado
 Lubricantes poco apropiados

Límites del cálculo de vida

Aunque se trate de un cálculo de vida ampliada, en éste únicamente se tiene en cuenta la fatiga del material como causa de fallo. La duración efectiva del rodamiento solamente puede corresponderse a la duración de vida calculada, si por lo menos alcanza la duración de servicio del lubricante o la duración de servicio limitada por el desgaste.

ANEXO E- 6

Rodamientos FAG rígidos de bolas de una hilera



Los rodamientos pueden alcanzar una duración de vida ilimitada, si $C_0/P_0 \geq 8$, ver Pág.41.

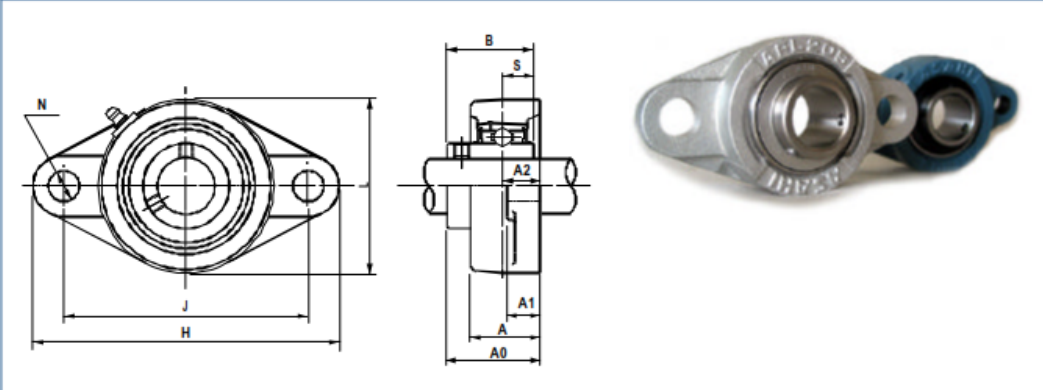
Eje	Dimensiones							Peso <i>m</i> kg	Capacidad de carga		Velocidad límite min ⁻¹	Velocidad de referencia	Denominación abreviada Rodamiento FAG	Medidas auxiliares		
	d mm	D	B	<i>r_s</i> min	H <i>m</i>	H ₁ <i>m</i>	J <i>m</i>		dyn. C	stat. C ₀				D ₁ mm	D ₃ max	<i>r_s</i> max
30	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,195	19,3	11,2	14000	14000	6206	35,6	56,4	1
	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,205	19,3	11,2	14000	14000	S6206.W203B	35,6	56,4	1
	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,201	19,3	11,2	11000	14000	6206.2ZR	35,6	56,4	1
	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,201	19,3	11,2	7500		6206.2RSR	35,6	56,4	1
	30	62	16	1	52,1	54,9	40	0,211	19,3	11,2	7500		S6206.2RSR.W203B	35,6	56,4	1
	30	62	20	1	52,1	54,9	40	0,245	19,3	11,2	7500		62206.2RSR	35,6	56,4	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,355	29	16,3	24000	13000	6306	37	65	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,355	29	16,3	24000	13000	S6306.W203B	37	65	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,363	29	16,3	9500	13000	6306.2ZR	37	65	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,365	29	16,3	6300		6306.2RSR	37	65	1
	30	72	19	1,1	59,6	61,6	44,6	0,365	29	16,3	6300		S6306.2RSR.W203B	37	65	1
	30	72	27	1,1	59,6	61,6	44,6	0,499	29	16,3	6300		62306.2RSR	37	65	1
30	90	23	1,5	70,1		50,1	0,76	42,5	23,2	19000	12000	6406	41	79	1,5	
35	35	62	9	0,3	53,5	54,8	43,7	0,105	12,2	8,8	14000	10000	16007	37	60	0,3
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,157	16	10,2	28000	13000	6007	39,6	57,4	1
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,157	16	10,2	28000	13000	S6007.W203B	39,6	57,4	1
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	11000	13000	6007.2ZR	39,6	57,4	1
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	7500		6007.2RSR	39,6	57,4	1
	35	62	14	1	53,3	55,4	43,2	0,163	16	10,2	7500		S6007.2RSR.W203B	39,6	57,4	1
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,291	25,5	15,3	24000	12000	6207	42	65	1
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,285	25,5	15,3	24000	12000	S6207.W203B	42	65	1
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,299	25,5	15,3	9500	12000	6207.2ZR	42	65	1
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,301	25,5	15,3	6300		6207.2RSR	42	65	1
	35	72	17	1,1	60,7	63,3	47,2	0,303	25,5	15,3	6300		S6207.2RSR.W203B	42	65	1

Soporte con rodamiento ASAHI

ASAHI

UCFL 200

CARACTERÍSTICAS Y DIMENSIONES



SERIE STANDARD UCFL

Soporte de fundición - Rodamiento de Acero

Referencia	Ø e p (mm)	H (mm)	J (mm)	A2 (mm)	A1 (mm)	A (mm)	N (mm)	L (mm)	A0 (mm)	φ (mm)	s (mm)	Tornillo	Roda- miento	Soporte	Peso (Kg)
UCFL201	12	113	90	15	12	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10	UC201	RL 204	0.47
UCFL202	15	113	90	15	12	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10	UC202	RL 204	0.45
UCFL203	17	113	90	15	12	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10	UC203	RL 204	0.44
UCFL204	20	113	90	15	12	25.5	12	60	33.3	31	12.7	M10	UC204	RL 204	0.42
UCFL205	25	130	99	16	14	27	16	68	35.7	34	14.3	M14	UC205	RL 205	0.59
UCFL206	30	148	117	18	14	31	16	80	40.2	38.1	15.9	M14	UC206	RL 206	0.9
UCFL207	35	161	130	19	16	34	16	90	44.4	42.9	17.5	M14	UC207	RL 207	1.2
UCFL208	40	175	144	21	16	36	16	100	51.2	49.2	19	M14	UC208	RL 208	1.5
UCFL209	45	188	148	22	18	38	19	108	52.2	49.2	19	M16	UC209	RL 209	1.9
UCFL210	50	197	157	22	18	40	19	115	54.6	51.6	19	M16	UC210	RL 210	2.2
UCFL211	55	224	184	25	20	43	19	130	58.4	55.6	22.2	M16	UC211	RL 211	3.2
UCFL212	60	250	202	29	20	48	23	140	68.7	65.1	25.4	M20	UC212	RL 212	4.1
UCFL213	65	258	210	30	24	50	23	155	69.7	65.1	25.4	M20	UC213	RL 213	5.1
UCFL214	70	265	216	31	24	54	23	160	75.4	74.6	30.2	M20	UC214	RL 214	6.0
UCFL215	75	275	225	34	24	56	23	165	78.5	77.8	33.3	M20	UC215	RL 215	6.5
UCFL216	80	290	233	34	24	58	25	180	83.3	82.6	33.3	M22	UC216	RL 216	8.0
UCFL217	85	305	248	36	26	63	25	190	87.6	85.7	34.1	M22	UC217	RL 217	9.5
UCFL218	90	320	265	40	26	68	25	205	96.3	96	39.7	M22	UC218	RL 218	11.9

ANEXO F: Resistencia de pernos









ANEXO F- 1

Diámetro del eje		Tamaño de la cuña		Profundidad del cuñero
Más de	Hasta (inclusive)	w	h	
$\frac{5}{16}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
$\frac{7}{16}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{32}$	$\frac{3}{64}$
		$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{16}$
		$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
$\frac{7}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{32}$
		$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{8}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{5}{32}$
$1\frac{3}{8}$	$1\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
		$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{16}$
		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
$2\frac{1}{4}$	$2\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{7}{16}$	$\frac{7}{32}$
		$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{16}$
$2\frac{3}{4}$	$3\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$
		$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{8}$

ANEXO F- 2

Tabla 8-9

Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado de SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo c medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	57 36	Acero de bajo c medio carbono	
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1 $1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

*Las resistencias mínimas son resistencias que excede 99% de los sujetadores.

ANEXO F- 3

Tabla 8-2

Diámetros y área de roscas unificadas de tornillo UNC y UNF*

Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal pulg	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²	Roscas por pulgada, N	Área de esfuerzo de tensión A_t , pulg ²	Área del diámetro menor A_r , pulg ²
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

*Esta tabla se compiló de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación $d_r = d - 1.299\ 038p$ y el diámetro de paso a partir de $d_p = d - 0.649\ 519p$. Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor.

ANEXO G: Proceso de construcción

Materiales y Componentes



Ejes y Pletinas



Perfil C de Bancada



Rodelas de acero K100



Reductor de velocidad



Cadena y catarinas



Poleas



Motor eléctrico

Construcción de elementos mecánicos



Engranés



Ejes y bases



Guía



Bancada

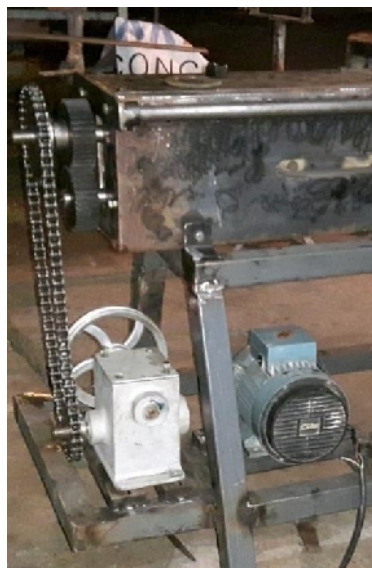
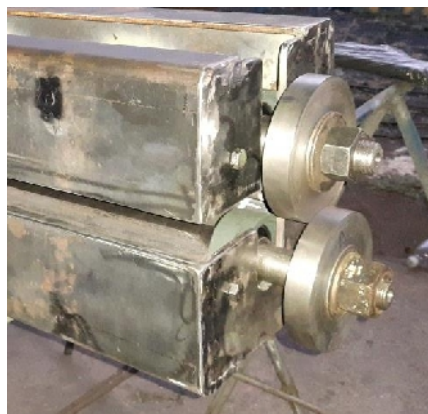
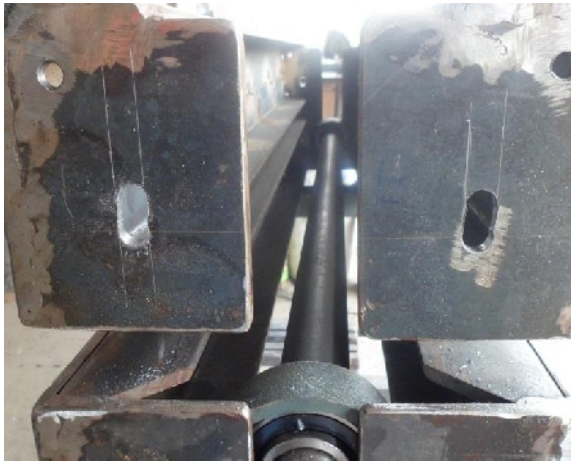


Carcasa



Tapas de cuchillas

ENSAMBLE





Sistema Eléctrico



Circuito eléctrico



Luces indicadoras de mando

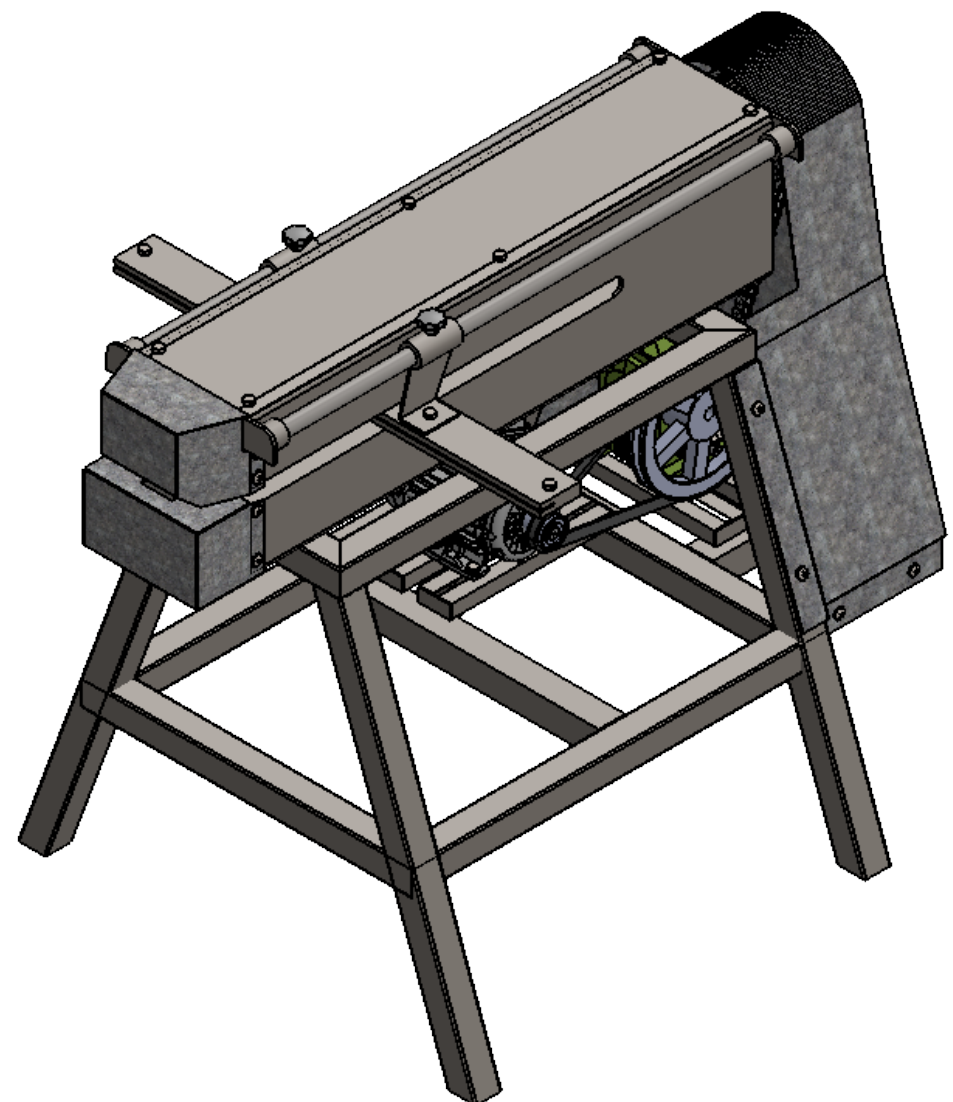
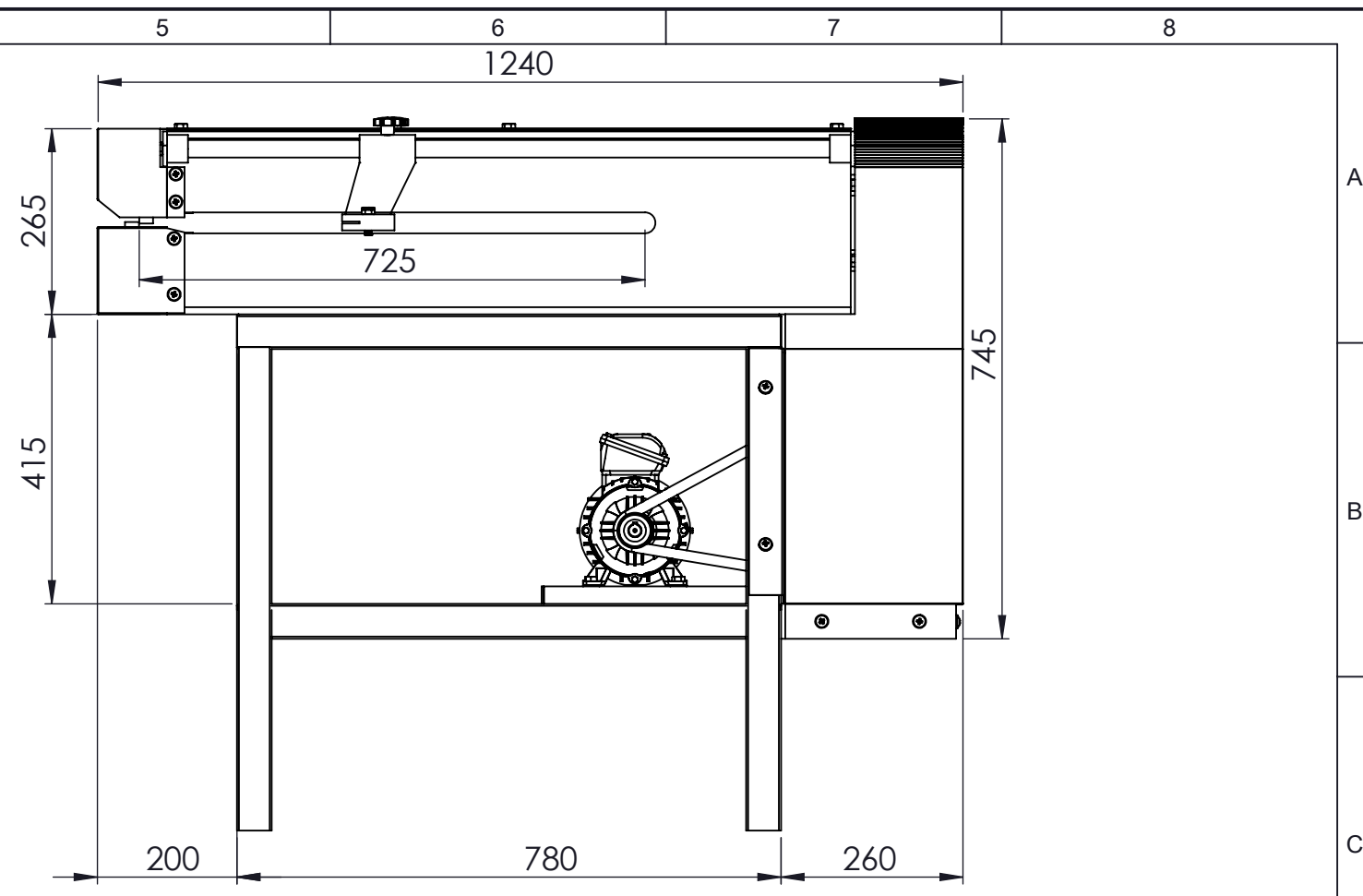
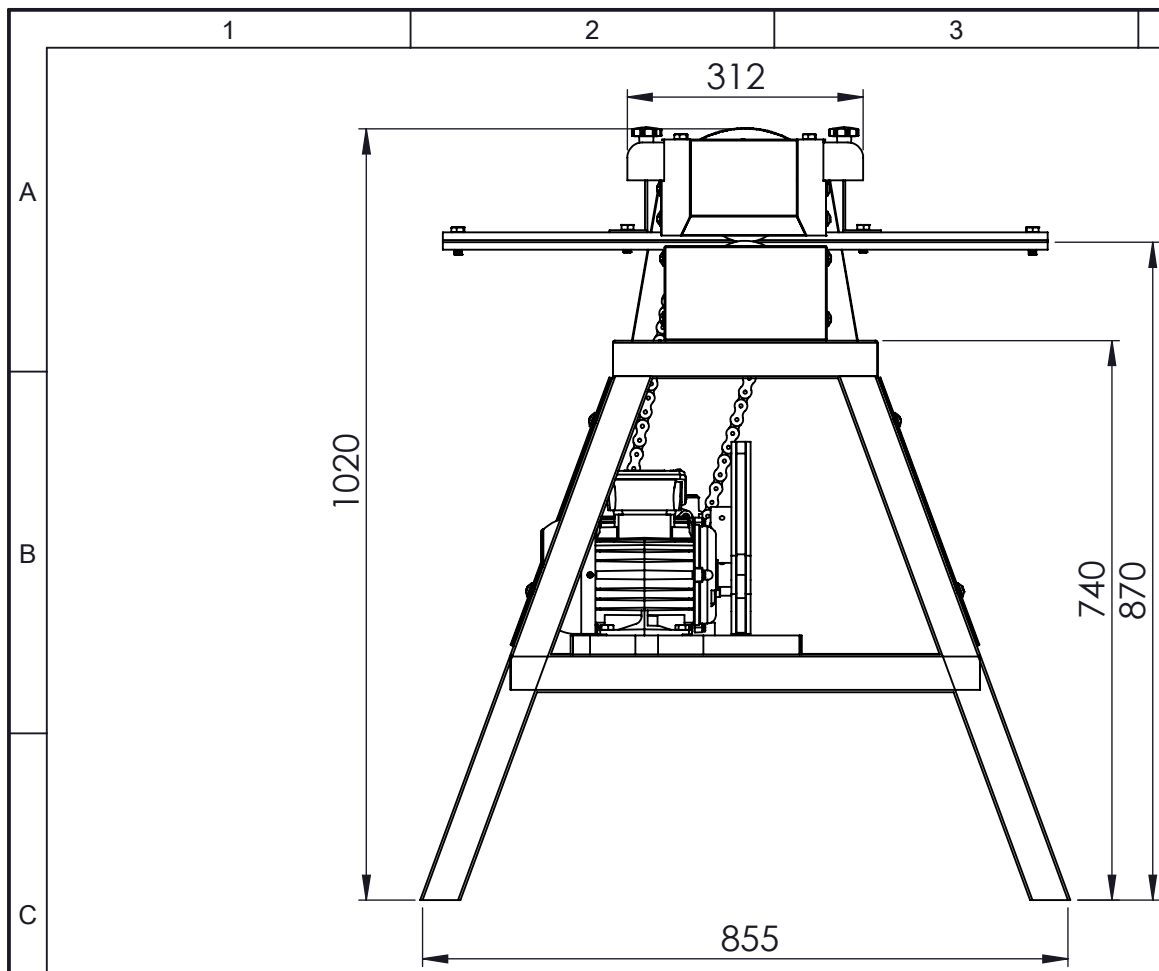


Pulsadores de mando

CIZALLA DE CORTE LONGITUDINAL

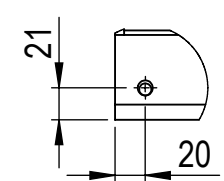
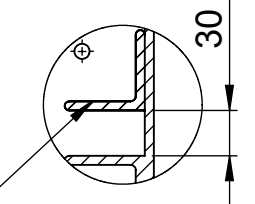
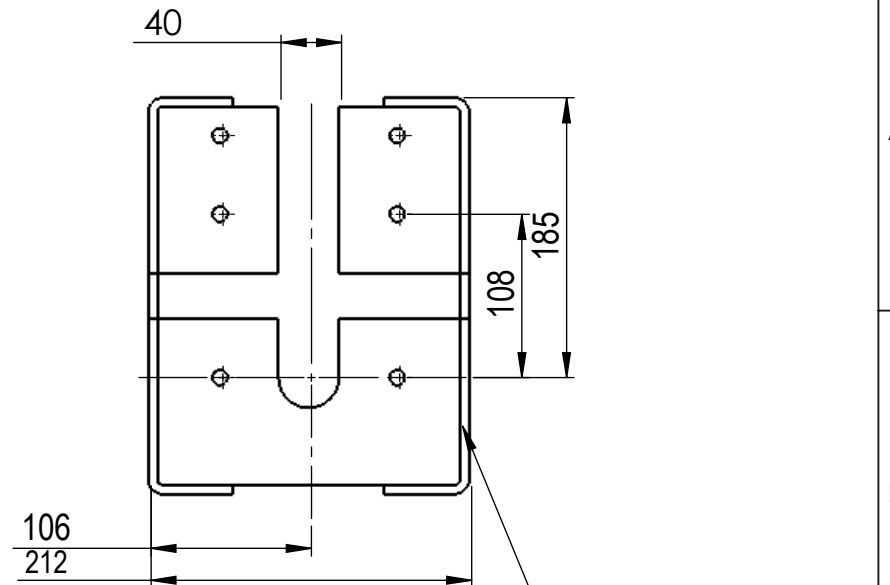
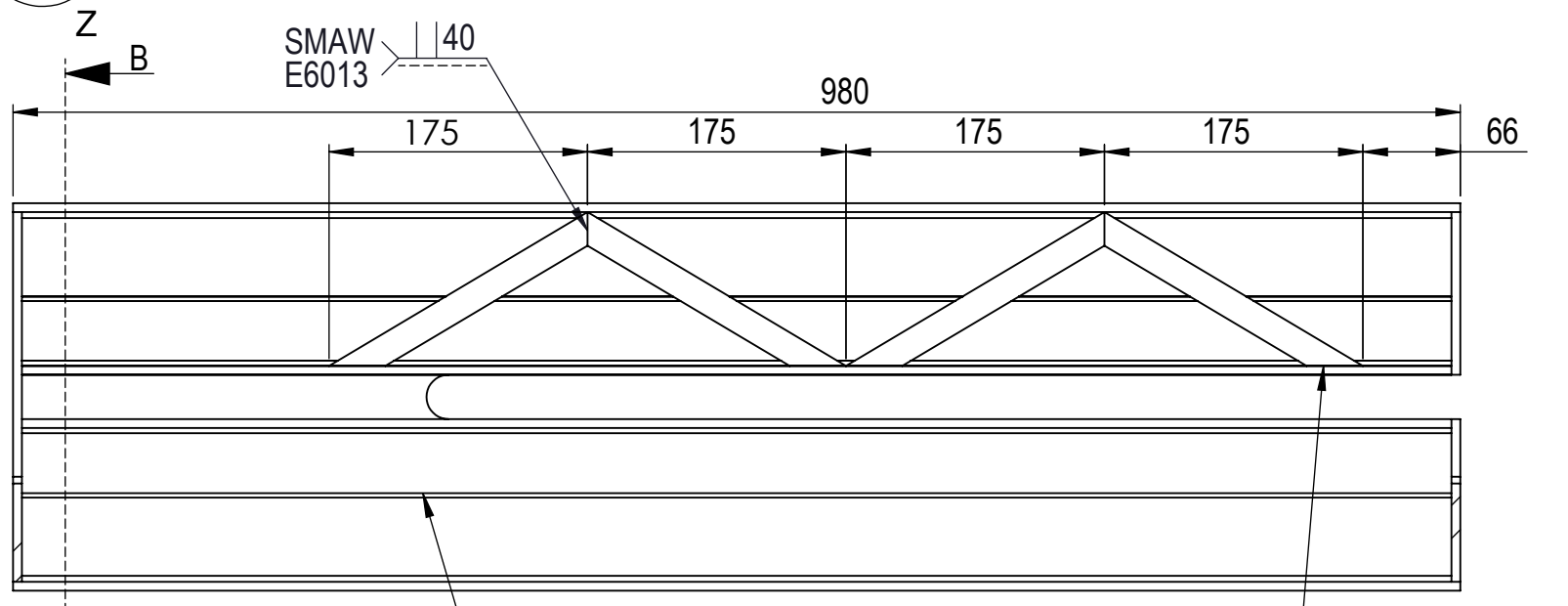
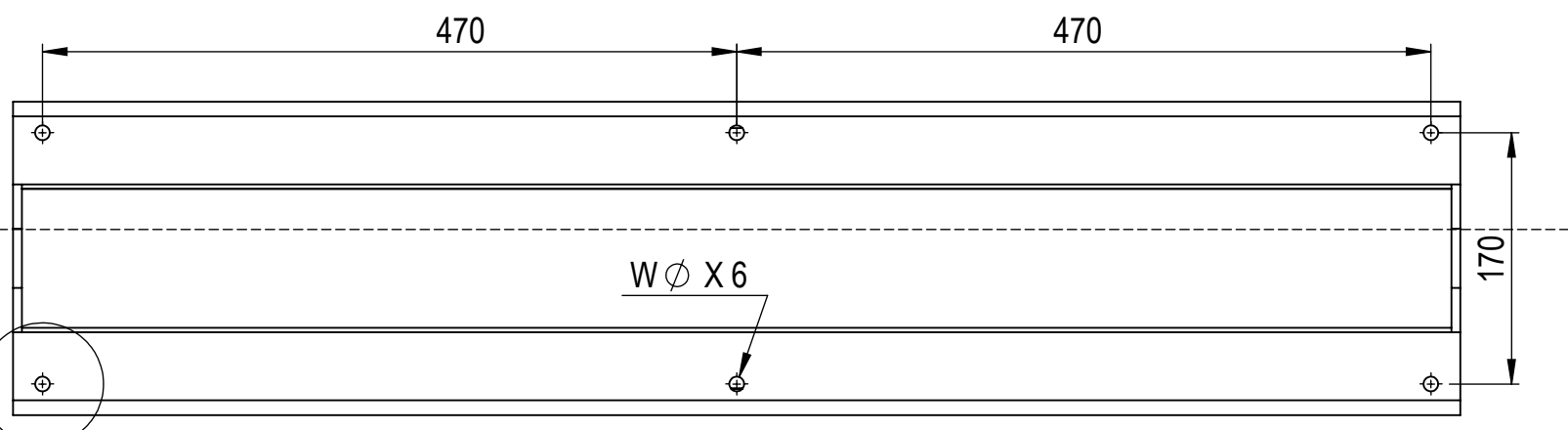
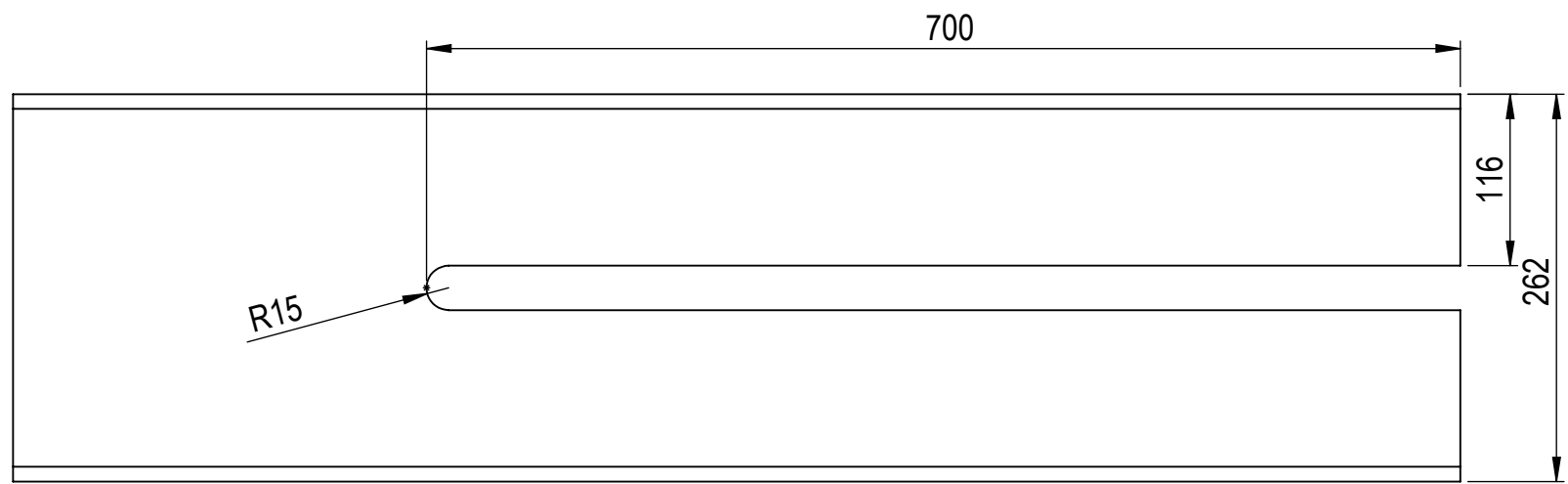
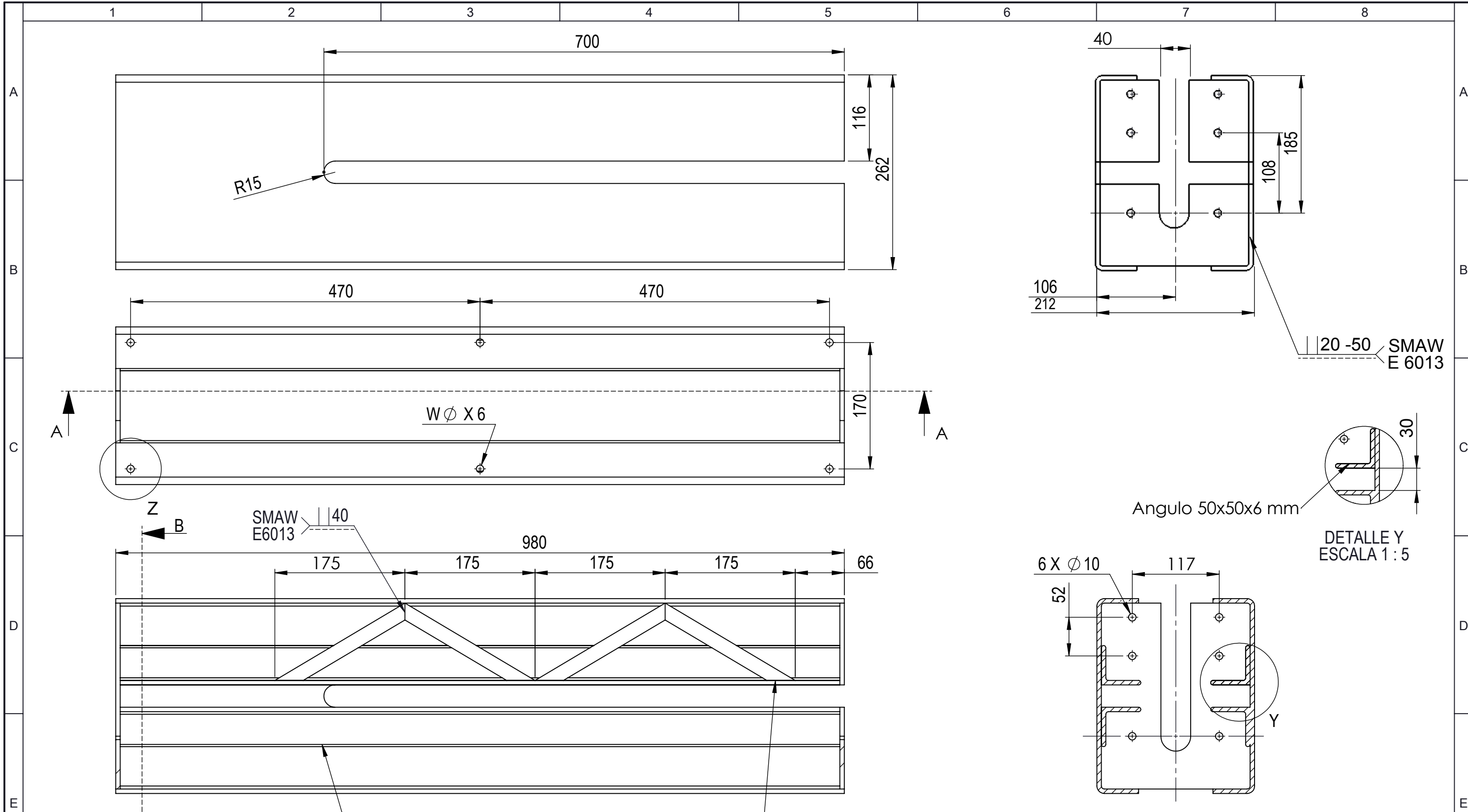


PLANOS



Peso aproximado	300 kg
Largo total	1240 mm
Ancho total	855 mm
Alro total	1020 mm
Ancho de guía	800 mm
Relación en la caja reductora	1:7
Voltaje	220 V
Motor electrico trifásico	1 hp
Precisión de corte	0.5 mm
Ancho mínimo de corte	80 mm
Ancho máximo de corte	725 mm
Velocidad de avance	24 m/min
Espesor máximo de corte	1 mm
Denominación	Magnitud

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: VARIOS	
				±0,1	300 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: PLANO ILUSTRATIVO COMERCIAL	Escala: 1:20
				Dib. 08/07/16	Edgar Iza		
				Rev. 08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro. 08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A		Número del dibujo: 02-19	
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	

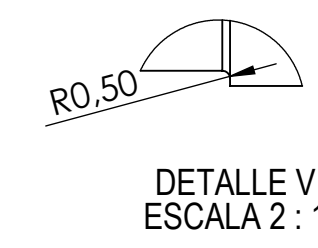
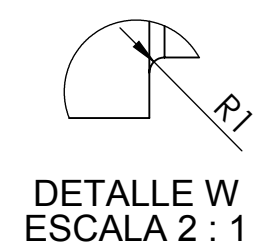
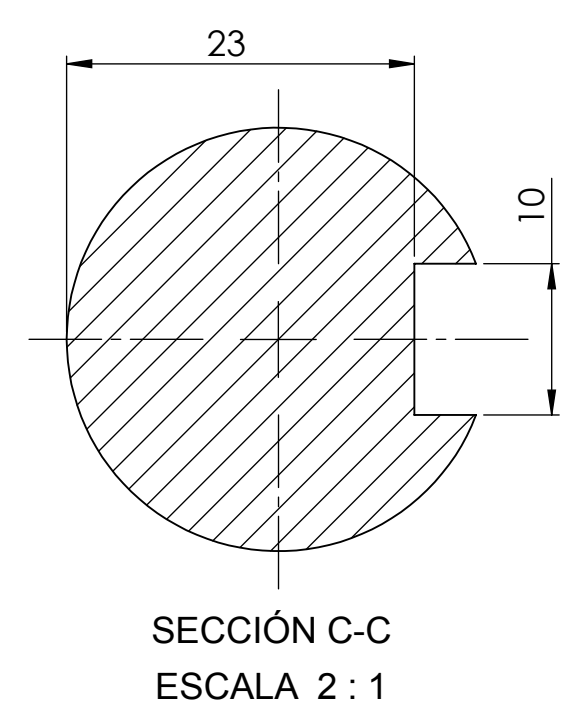
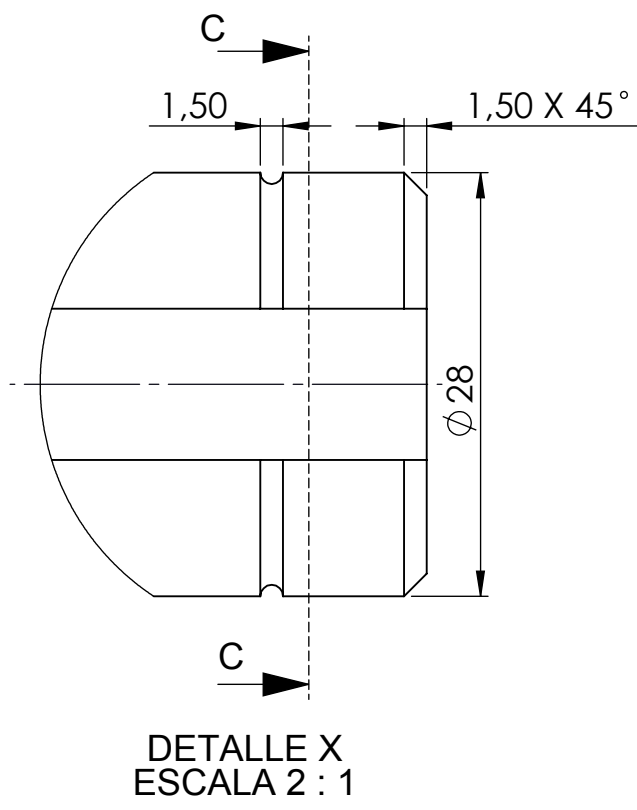
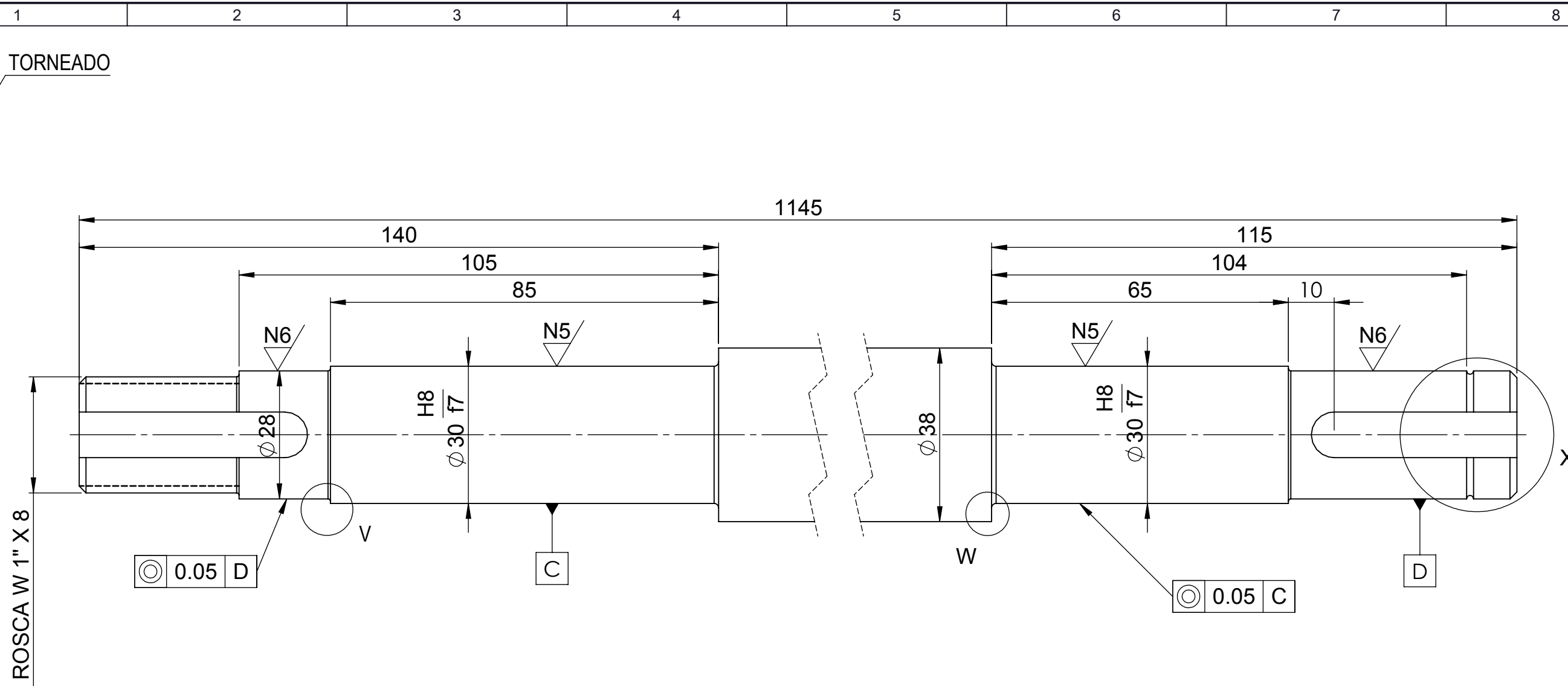
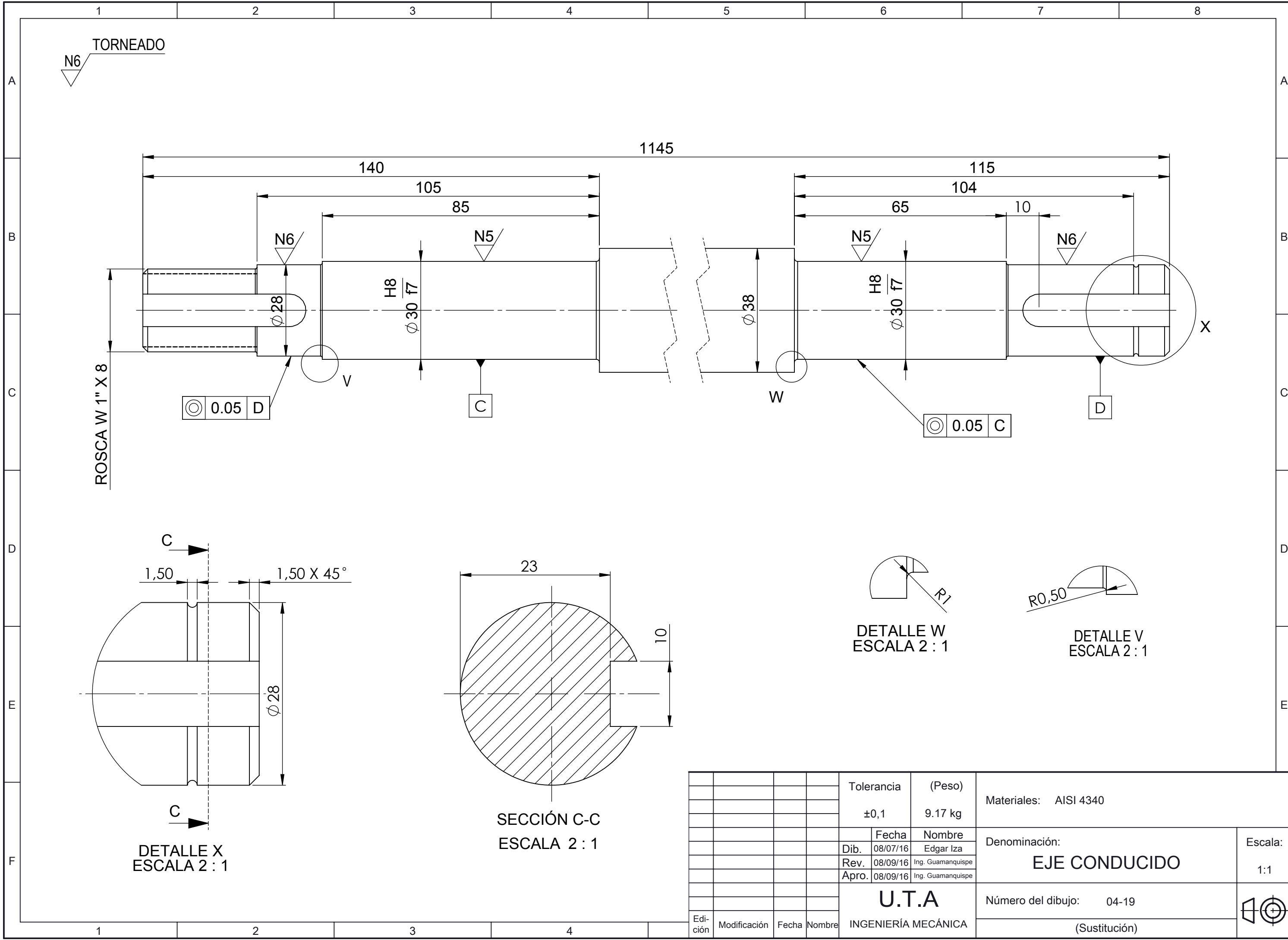


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

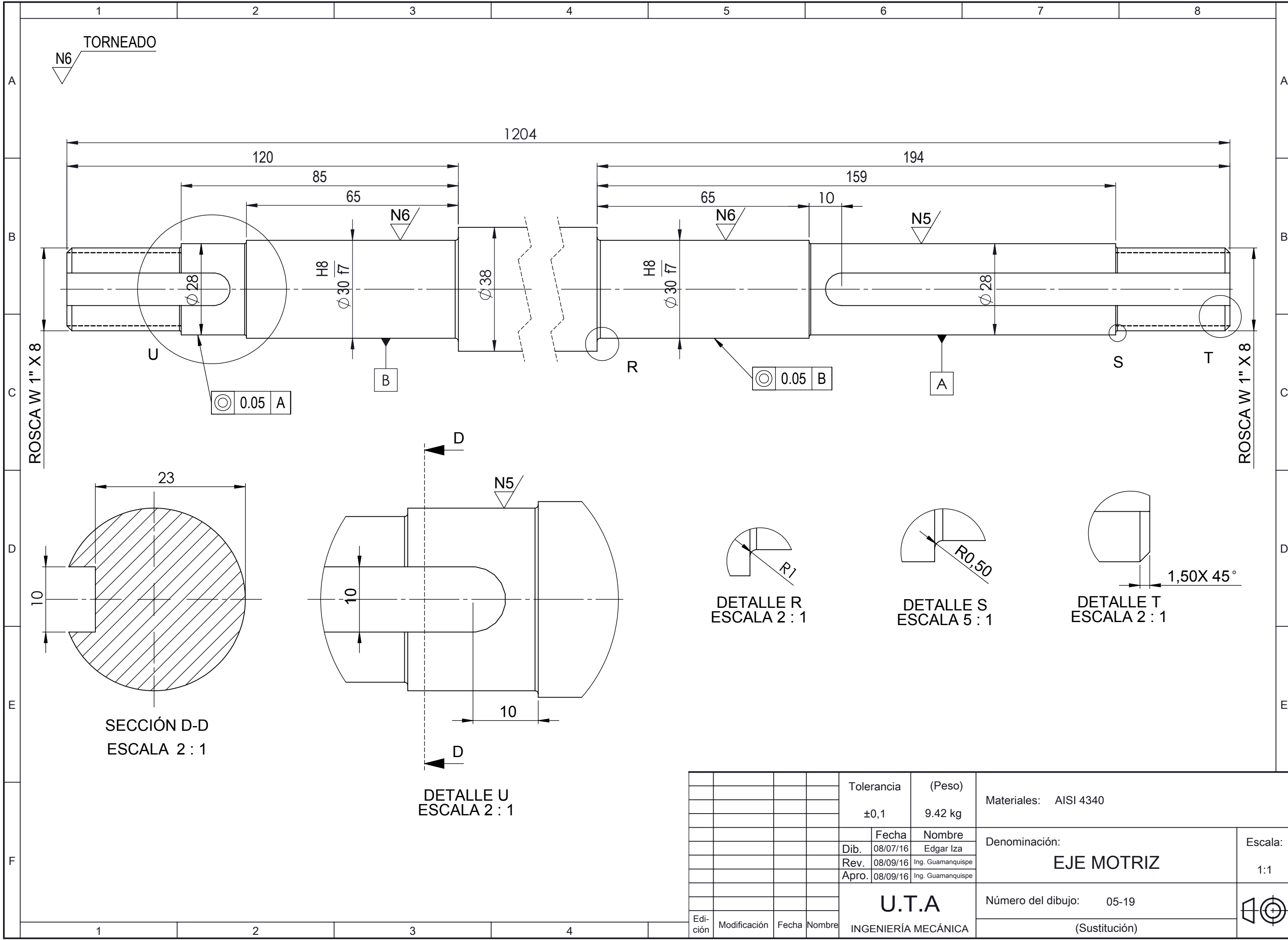
SECCIÓN B-B
ESCALA 1 : 5

DETALLE Z
ESCALA 1 : 5

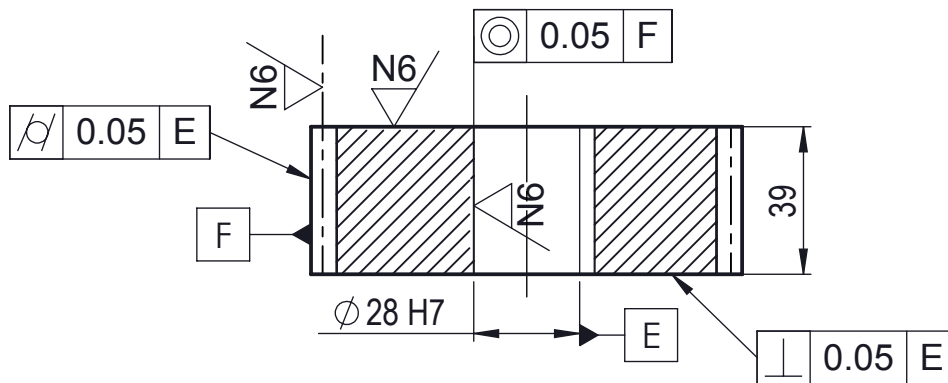
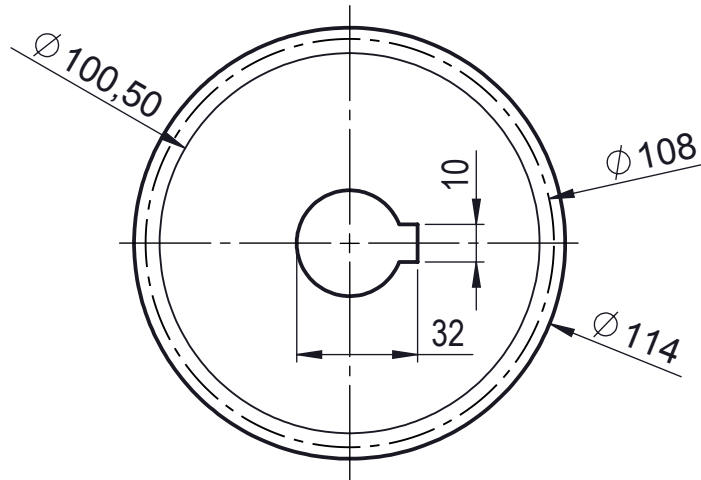
				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ASTM A36	
				±0,1	59.3 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: BANCADA	Escala: 1:10
			Dib.	08/09/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A		Número del dibujo: 03-19	
				INGENIERÍA MECÁNICA			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: AISI 4340	
				±0,1	9.17 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: EJE CONDUcido	Escala: 1:1
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A.		Número del dibujo: 04-19	
				INGENIERÍA MECÁNICA			
Edi- ción	Modificación	Fecha	Nombre				



FRESADO
N5



DATOS DE LA RUEDA

Designación	Simbolo	Valor
Módulo	m	5
Número de dientes	Z	36
Diámetro primitivo	dp	108
Diámetro exterior	de	114
Altura del diente	h	9.925
Angulo de presión	α	20
Rueda conjugada	Ruedas dentadas iguales	
Tratamiento térmico	Temple y revenido	

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: AISI 4340	
				±0,1	2.57 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: ENGRANE	Escala: 1:2
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
			Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A		Número del dibujo: 06-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	

1

2

3

4

RECTIFICADO
N5

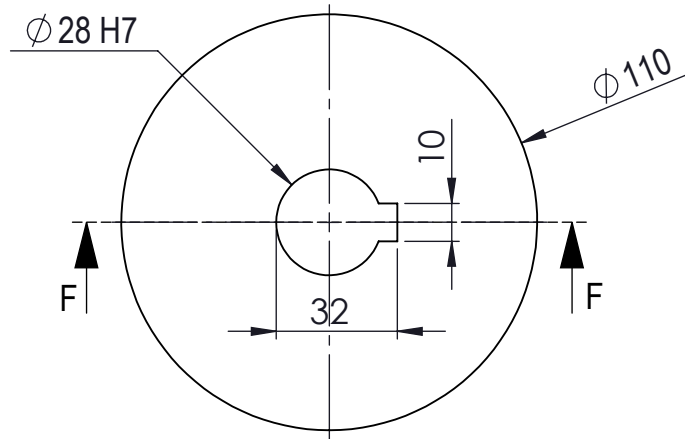
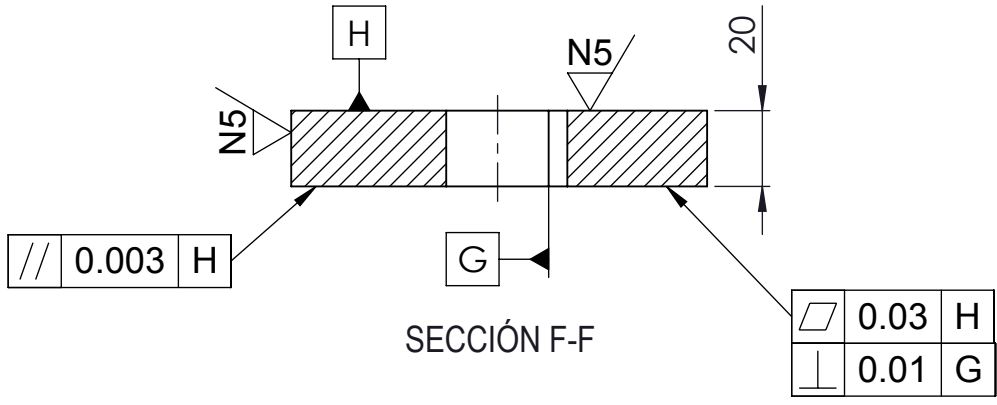
A

B

C

D

E



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: AISI D3 (BOHLER K100)	
				±0,1	1.37 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: CUCHILLA	Escala: 1:2
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
			Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 07-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

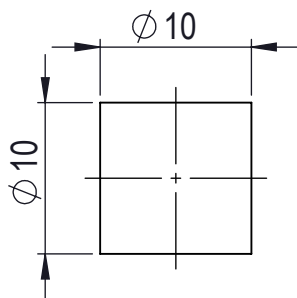
3

4

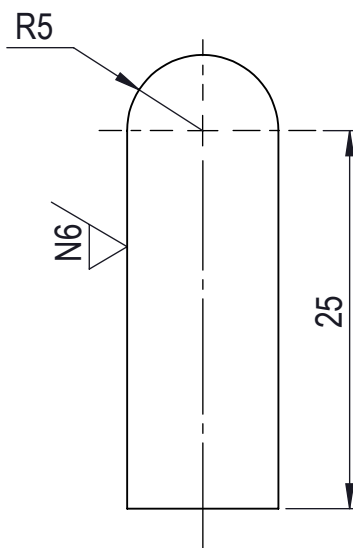
A

N6 PULIDO

B



C



D

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ASTM A 36	
				±0,1	22 gr		
				Fecha	Nombre	Denominación: CHAVETA DE ENGRANE	Escala: 2:1
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 08-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

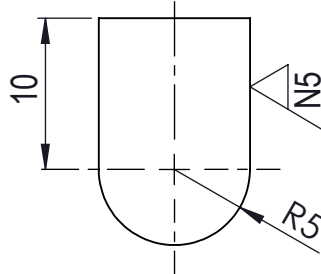
3

4

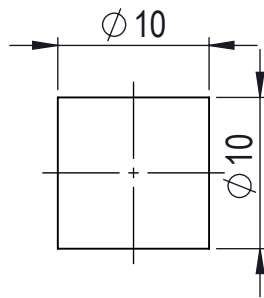
A

N6 PULIDO

B



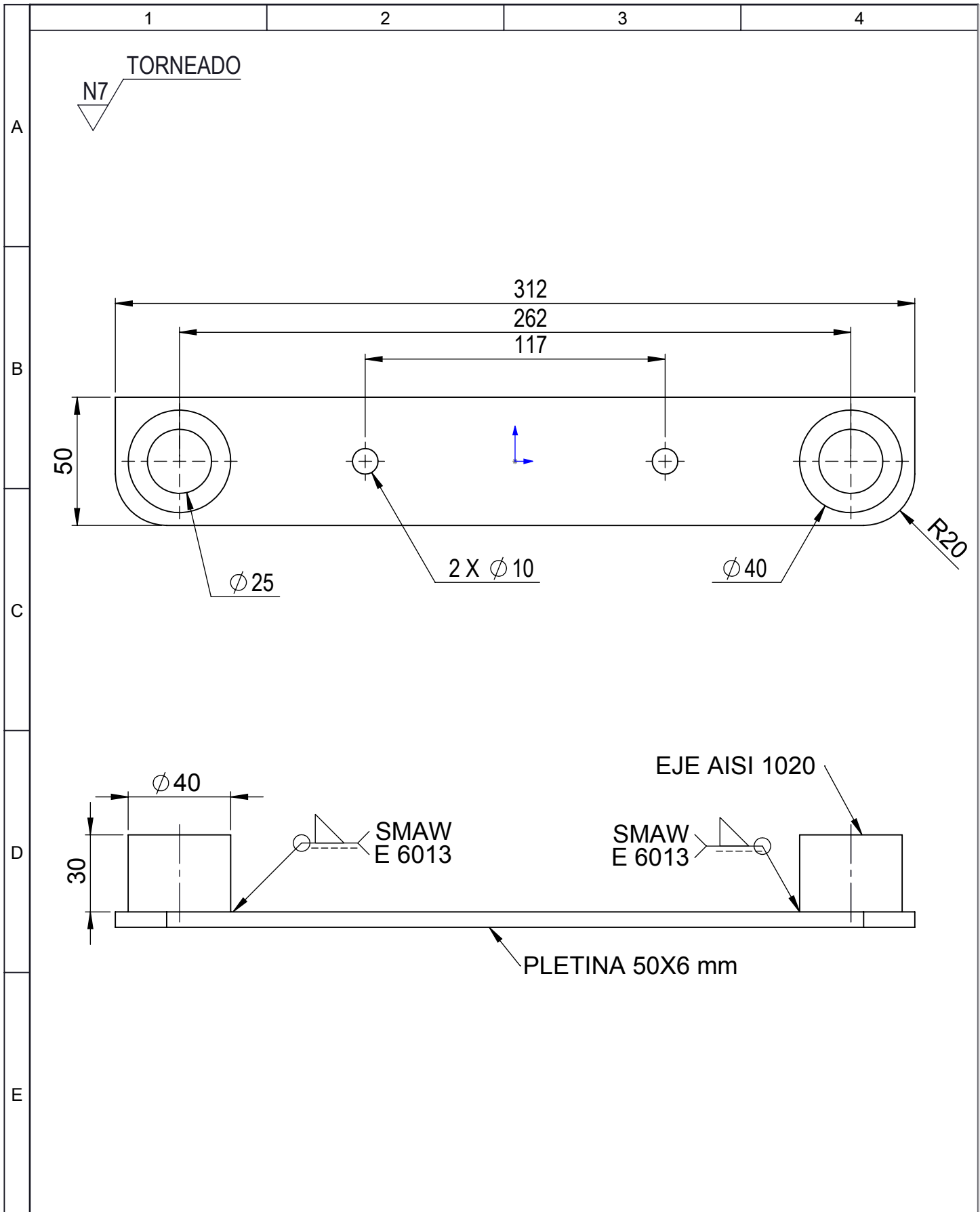
C



D

E

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ASTM A 36	
				$\pm 0,1$	22 gr		
				Fecha	Nombre	Denominación: CHAVETA DE CUCHILLA	Escala: 2:1
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 09-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ASTM A 36 - AISI 1020	
				$\pm 0,1$	1.08 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: BASE DE GUÍA	Escala: 1:2
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 10-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

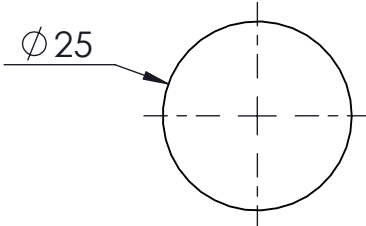
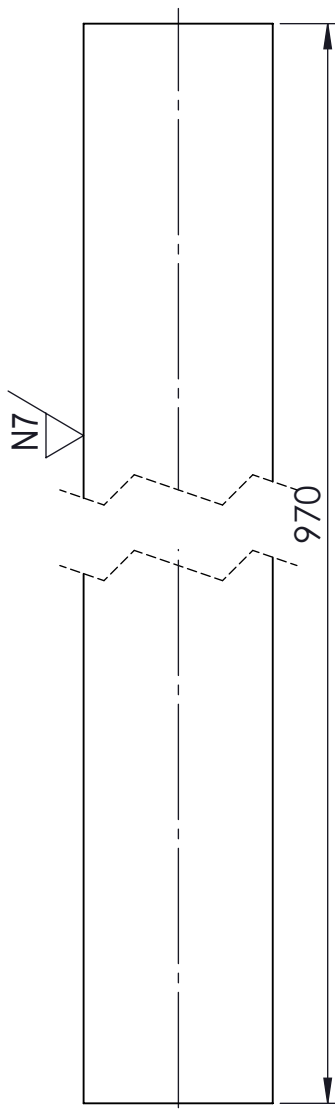
B

C

D

E

TORNEADO
N7



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: AISI 1020	
				$\pm 0,1$	3.76 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: EJE DE GUÍA	Escala: 1:1
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 11-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

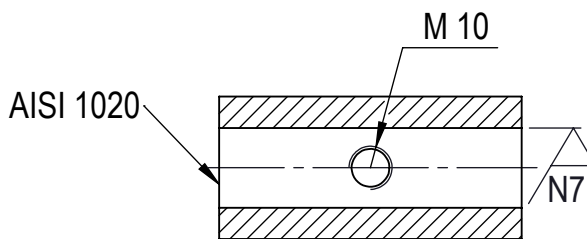
2

3

4

TORNEADO
N7

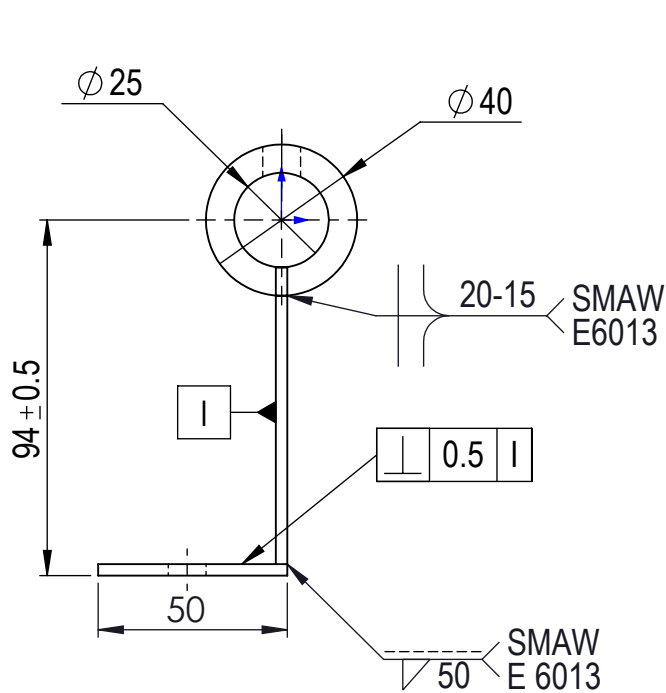
A



SECCIÓN G-G

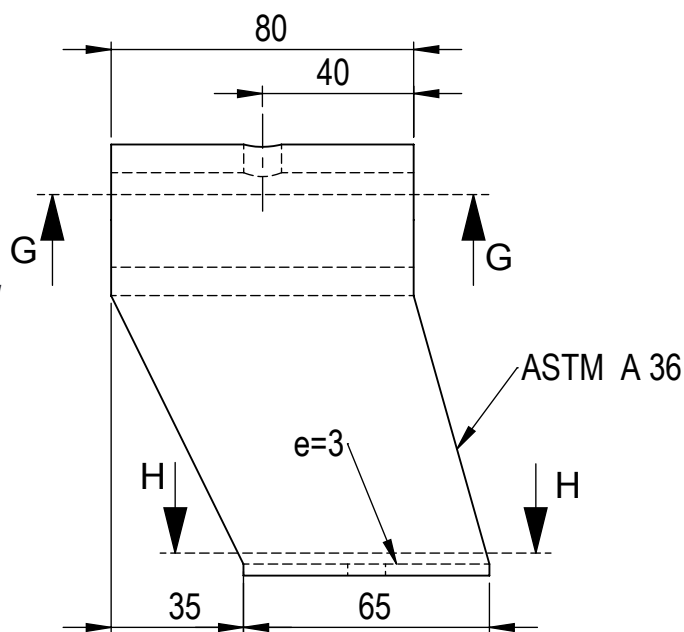
B

C

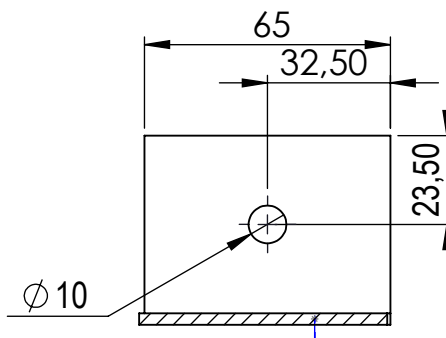


D

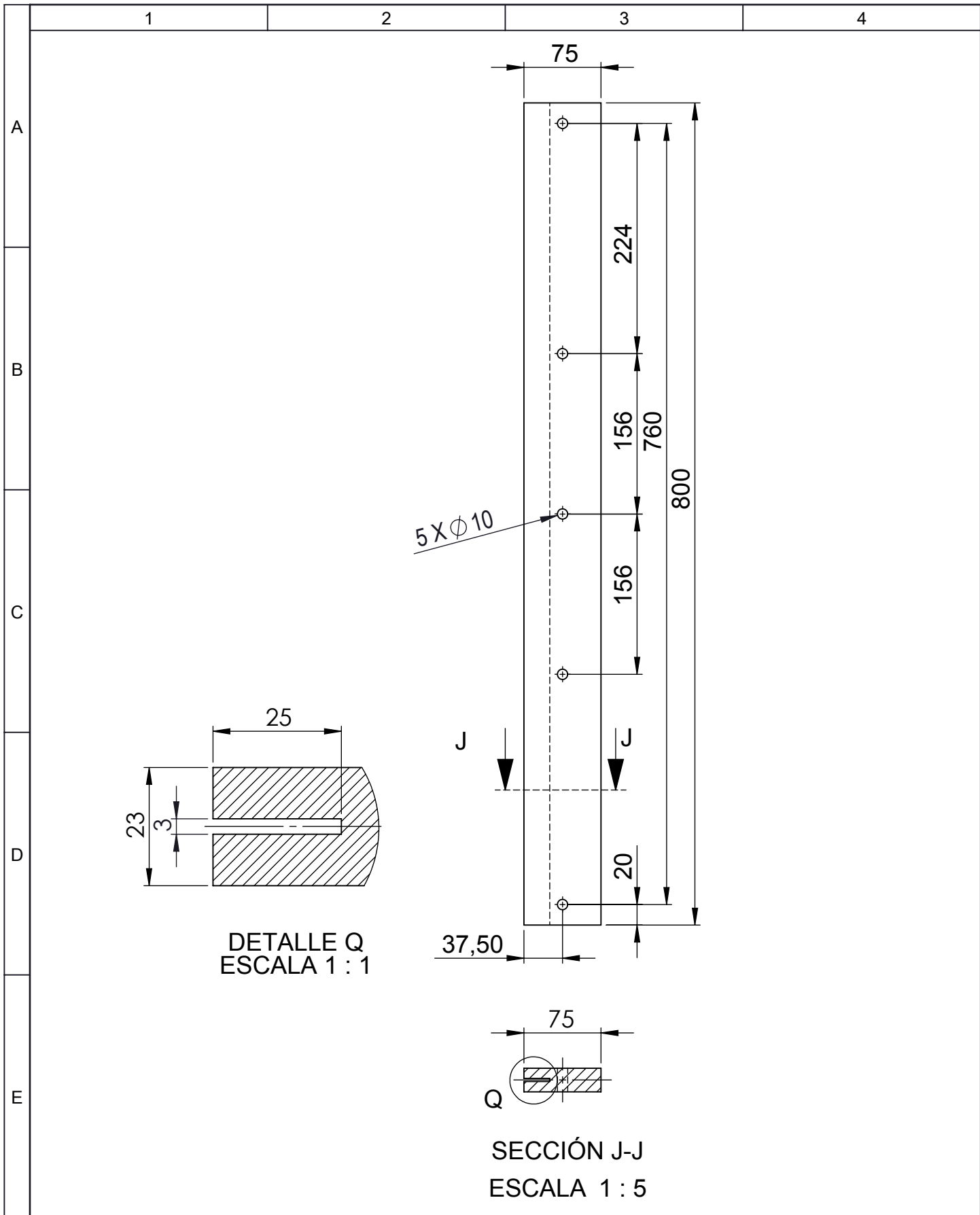
E



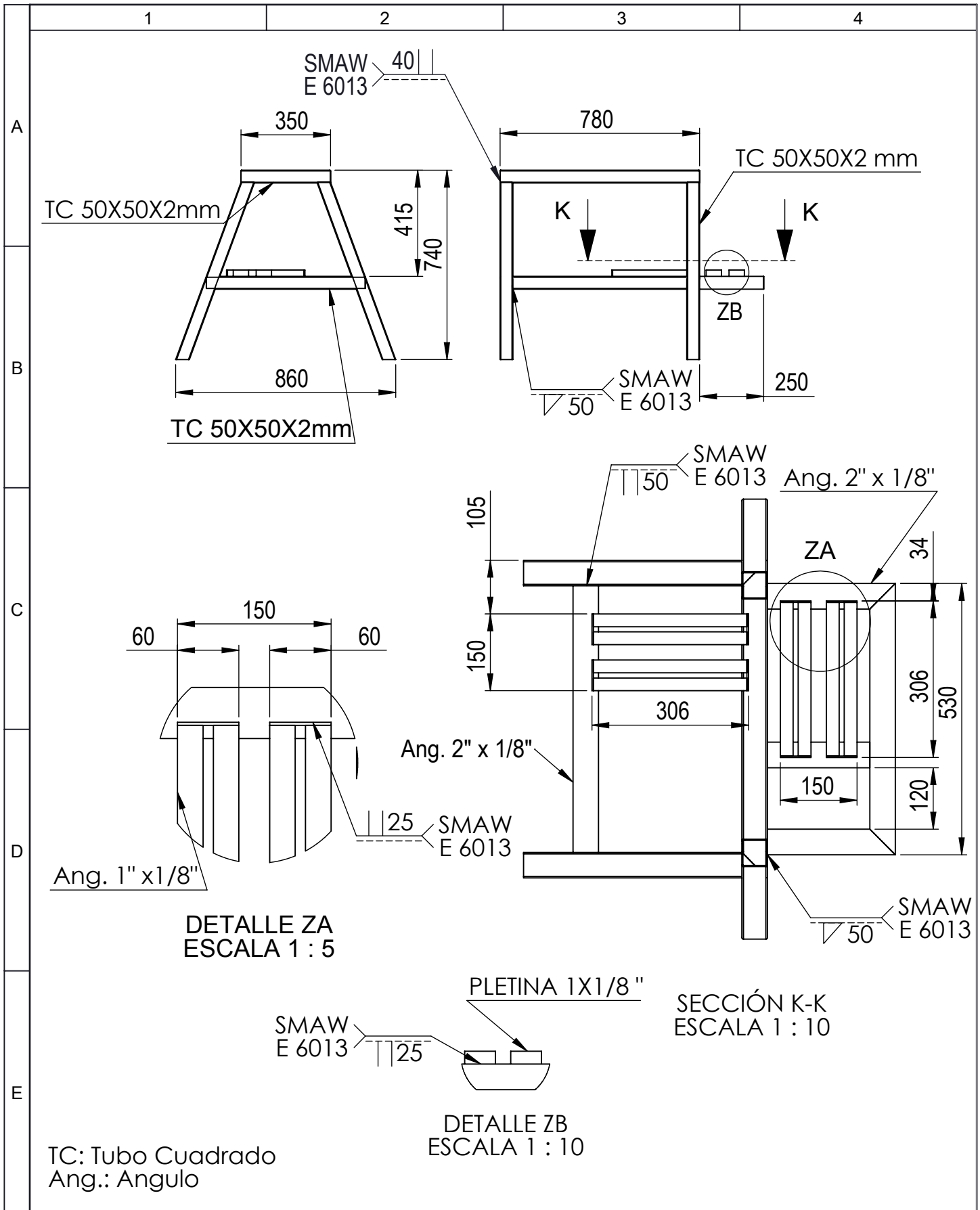
SECCIÓN H-H



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: AISI 1020 - ASTM A36	
				±0,5	4.28 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: SOPORTE DE GUÍA	Escala: 1:2
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
			Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 12-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ASTM A 36	
				$\pm 0,1$	10.36 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: GUÍA	Escala: 1:5
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
			Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 13-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ASTM A36	
				±0,1	29.37 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: ESTRUCTURA BASE	Escala: 1:20
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 14-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

1

2

3

4

A

B

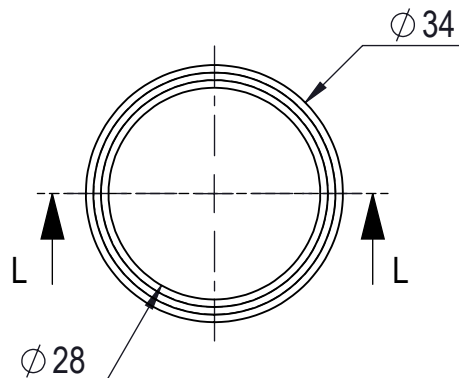
C

D

E

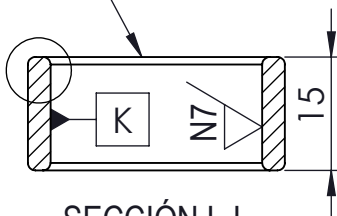
TORNEADO

N7



0.2 K

ZC



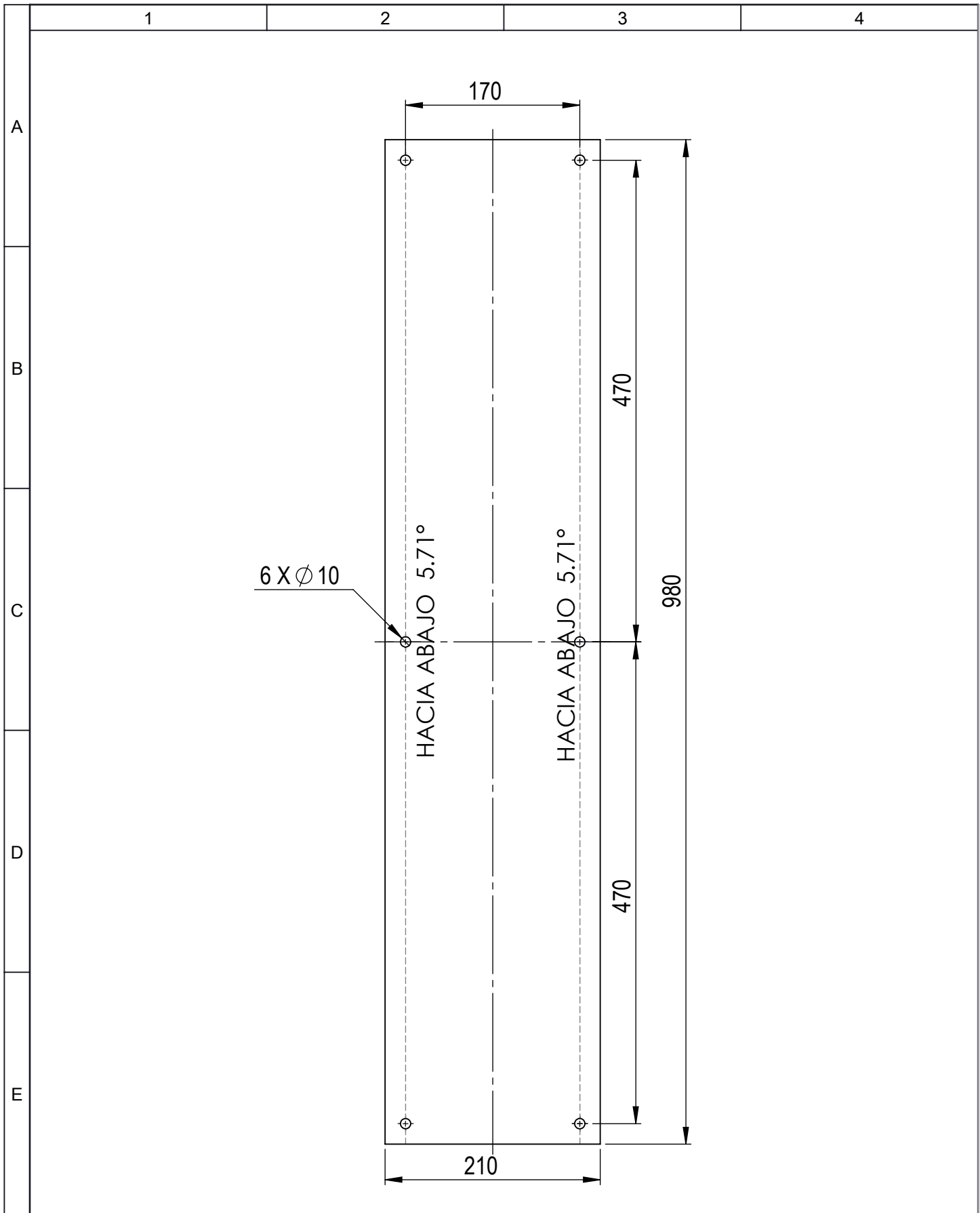
SECCIÓN L-L

R1

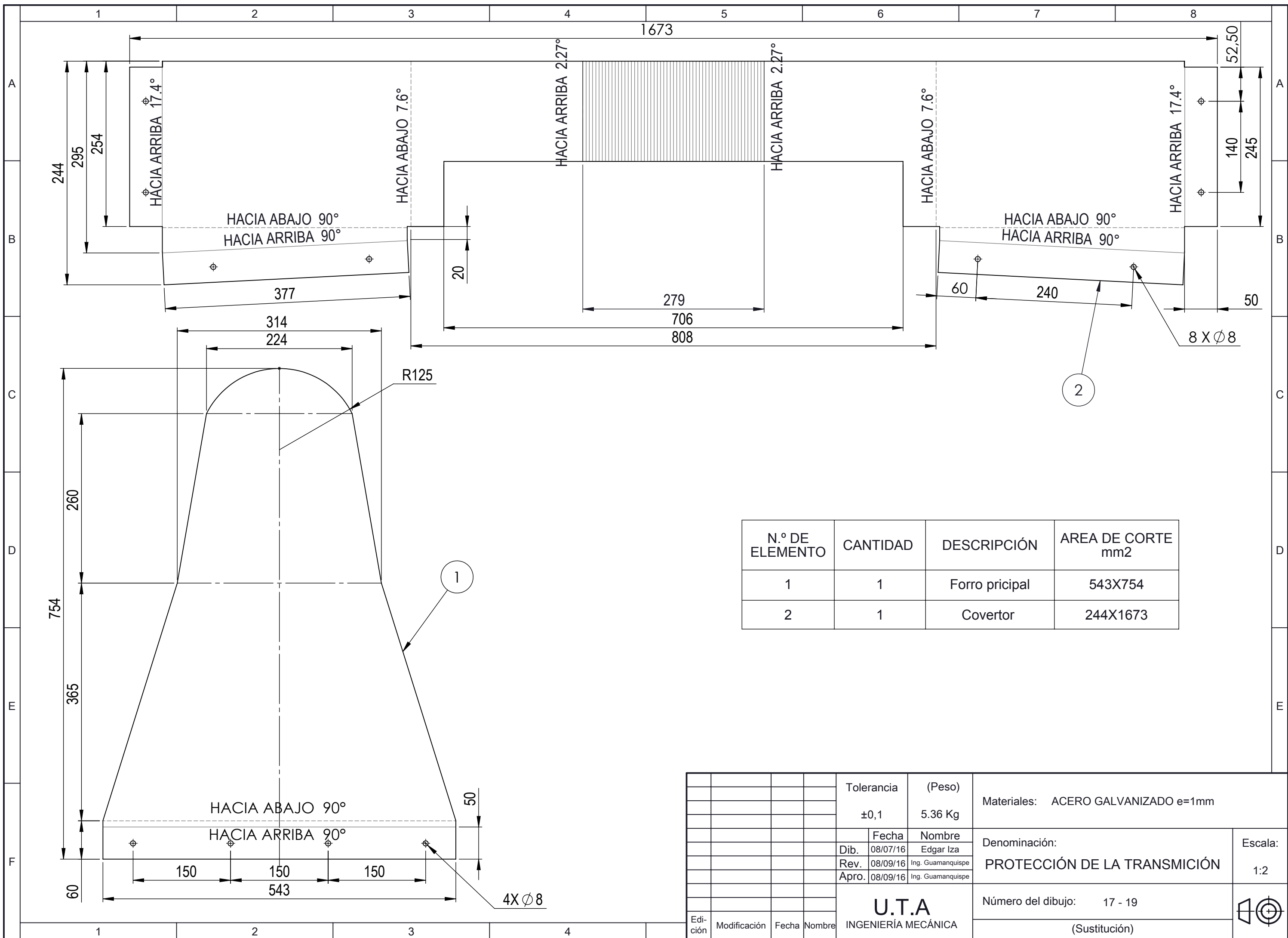


DETALLE ZC
ESCALA 2 : 1

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: AISI 1020	
				±0,1	20 g		
				Fecha	Nombre	Denominación: BOCÍN	Escala: 1:1
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A		Número del dibujo: 15-19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	

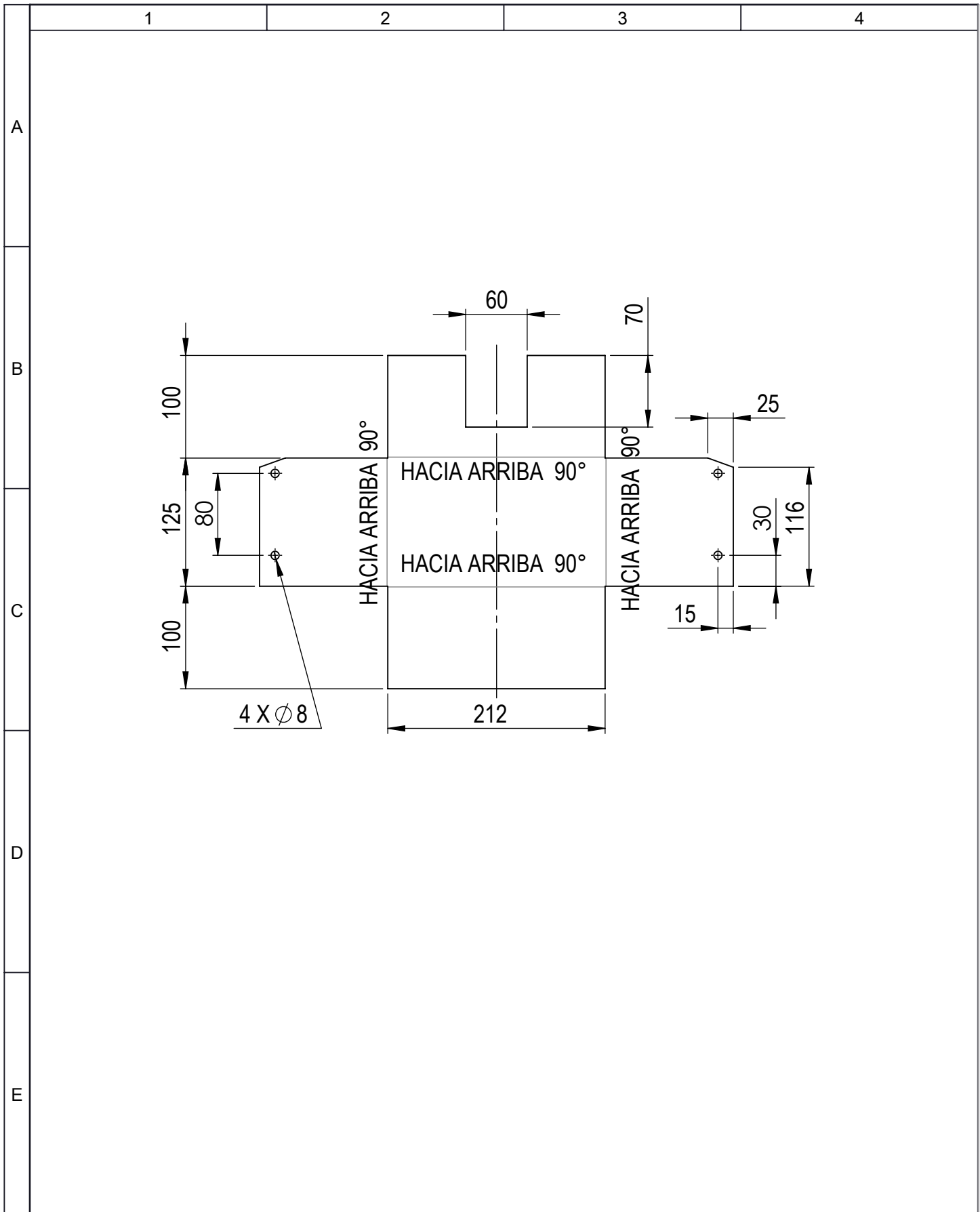


				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ASTM A36	
				±1	3.26 kg		
				Fecha	Nombre	Denominación: Tapa Superior	Escala: 1:5
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
			Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 16 - 19	Registro
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

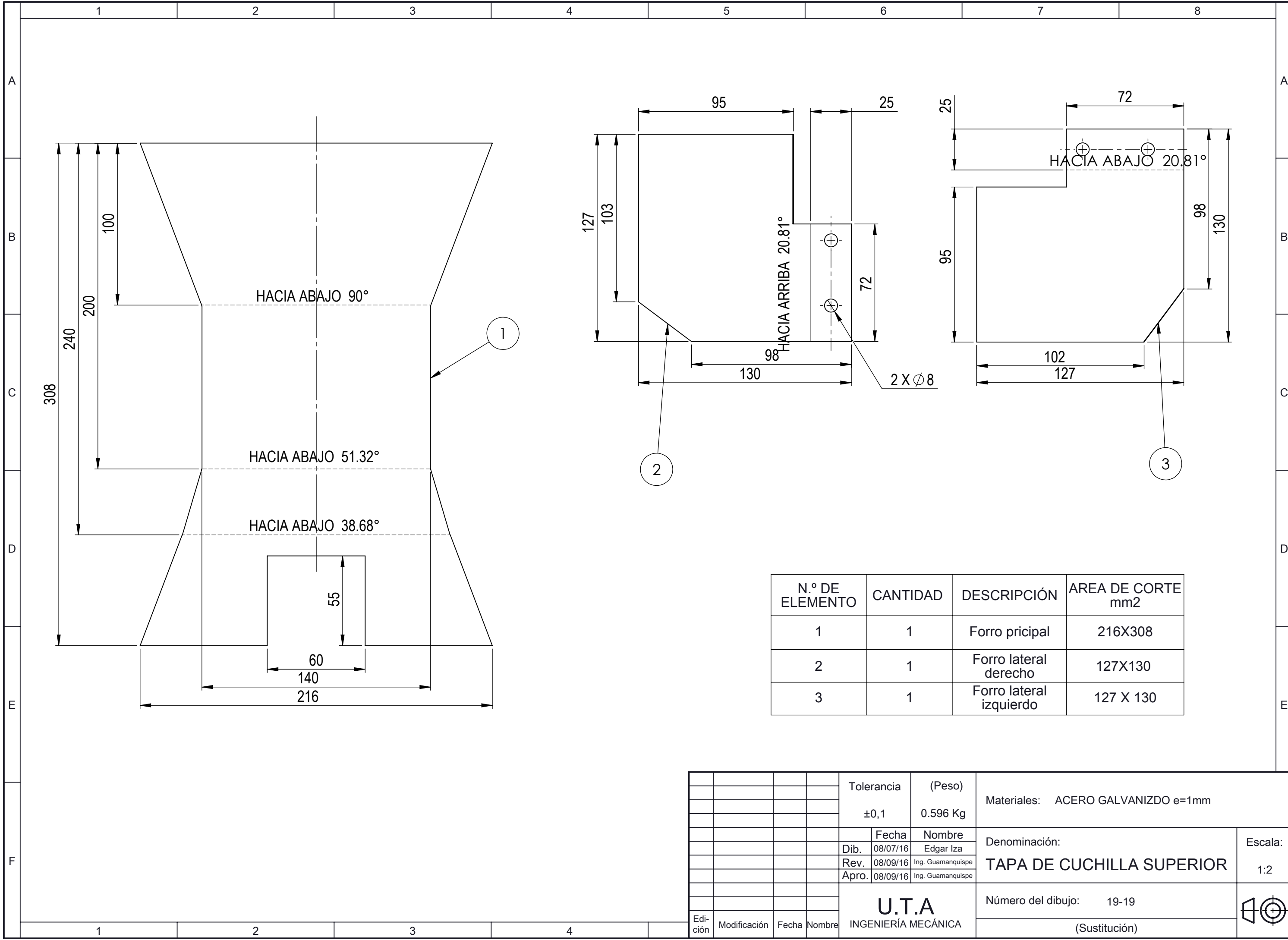


N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	AREA DE CORTE mm2
1	1	Forro principal	543X754
2	1	Covertor	244X1673

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO GALVANIZADO e=1mm	
				±0,1	5.36 Kg		
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dib. 08/07/16	Edgar Iza	PROTECCIÓN DE LA TRANSMICIÓN	
				Rev. 08/09/16	Ing. Guamanquispe	Escala:	
				Apro. 08/09/16	Ing. Guamanquispe	1:2	
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 17 - 19	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO GALVANIZADO e=1	
				±1	742 gr		
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
			Dib.	08/07/16	Edgar Iza		
			Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe		
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	1:5
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		Número del dibujo: 18 - 19	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	AREA DE CORTE mm2
1	1	Forro principal	216X308
2	1	Forro lateral derecho	127X130
3	1	Forro lateral izquierdo	127 X 130

				Tolerancia	(Peso)	Materiales: ACERO GALVANIZADO e=1mm	
				±0,1	0.596 Kg		
					Fecha	Nombre	Denominación: TAPA DE CUCHILLA SUPERIOR
				Dib.	08/07/16	Edgar Iza	
				Rev.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				Apro.	08/09/16	Ing. Guamanquispe	
				U.T.A		Número del dibujo: 19-19	Escala: 1:2
				INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				

DIAGRAMA ELÉCTRICO

