

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Diseño de un mecanismo de trituración para neumáticos fuera de uso"

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Juan Fernando Andino Bolaños

Abel Alejandro Oviedo Yagual

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

DEDICATORIA

A Dios.

A mi padre, Johnny Fernando Andino Rodríguez, por ser un ejemplo de dedicación y sacrificio.

A mi madre, Inés María Bolaños Escandón, por su cariño y por nunca dejar de creer en mí.

A mi hermana, María Gabriela Andino Bolaños, por su apoyo incondicional.

Juan Fernando Andino Bolaños

A mis padres, Abel Oviedo Andrade y Blanca Yagual Ramírez, por ser pilares fundamentales en mi vida y un ejemplo de trabajo, responsabilidad y dedicación.

A mi hermana, Tamara Oviedo Yagual, por siempre creer en mí.

A mis abuelos Abel Oviedo Díaz y Hugo Yagual Espinoza por ser la fuente de inspiración para estudiar esta carrera universitaria y ser ejemplos de superación.

A mi tía Juana Alicia Oviedo Andrade por su apoyo durante todos estos años de vida universitaria.

Abel Alejandro Oviedo Yagual

AGRADECIMIENTOS

A los profesores, que de algún modo proporcionaron su ayuda para la correcta elaboración de este proyecto.

A mis compañeros y amigos, que mediante sus consejos y apoyo a lo largo de la carrera han sido fundamentales para alcanzar esta tan anhelada meta.

Juan Fernando Andino Bolaños

A los profesores, que mediante sus conocimientos brindaron su ayuda para la culminación de este proyecto.

A mis compañeros y amigos de FIMCP, por su apoyo durante esta etapa universitaria.

Abel Alejandro Oviedo Yagual

A la Ph.D. Emérita Delgado, tutora de este proyecto, por su tiempo y contribución para la realización de este trabajo.

DECLARACIÓN EXPRESA

"Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Juan Fernando Andino Bolaños y Abel Alejandro Oviedo Yagual y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Juan Andino Bolaños



Abel Oviedo Yagual

EVALUADORES


Emerita Delgado, Ph.D.

PROFESOR DE LA MATERIA


Emerita Delgado, Ph.D.

PROFESOR TUTOR

RESUMEN

El ritmo acelerado de consumo en la sociedad y la falta de interés que existe en la planificación del ciclo de vida de los productos, se reflejan en la acumulación descontrolada de desechos sólidos; cuyo mal manejo finalmente, provocan la contaminación de los recursos naturales. Esta problemática se manifiesta en el uso de neumáticos, cuya vida útil varía alrededor de 5 años, mientras que su tiempo de degradación es alrededor de 500 a 600 años. Teniendo en cuenta este inconveniente, la industria del reciclaje ha empleado alternativas como el triturado para convertir este desecho en materia prima para nuevos productos. Sin embargo, en muchas ocasiones, estas empresas no poseen el control del consumo energético de su operación, por lo que no se buscan soluciones alternas para optimización de recursos.

El objetivo de este proyecto es diseñar un prototipo experimental para la trituración de neumáticos, el cual posterior a su construcción será utilizado como banco de pruebas para analizar el consumo energético y la optimización del proceso. Para cumplir este objetivo se diseñaron los elementos del mecanismo, los cuales se modelaron mediante software de diseño asistido por computadora. El diseño se realizó siguiendo los criterios de fatiga y vida infinita, y posteriormente validado utilizando métodos de elementos finitos.

Los materiales para la construcción de la trituradora fueron cotizados en base a las dimensiones calculadas, aproximándose a un costo de fabricación de \$16.000. Se infiere que este diseño puede llegar a triturar neumáticos para aplicaciones que involucren el uso de granulometría alta, es decir, a un rango entre 8 y 10mm.

Palabras Clave: Trituración, neumáticos, granulometría, diseño.

ABSTRACT

The accelerated rate of consumption in today's society and the lack of interest that exists in the planning of the life cycle of the products, are reflected in the uncontrolled accumulation of solid waste; whose mishandling finally, cause the contamination of natural resources. This problem is manifested in the use of tires, whose lifetime varies around 5 years, while its degradation time is around 500 to 600 years. Giving this drawback, the recycling industry has used alternatives, such as shredding, to convert this waste into raw material for new products. However, in many cases, these companies do not have control over the energy consumption of their operation, so alternative solutions for resource optimization are not sought.

The objective of this project is to design an experimental prototype for shredding tires, in order to analyze the energy consumption and how to optimize using the different materials available in the Ecuadorian market. To achieve this goal, the elements of the mechanism for an innovative shredding machine were designed, which were drawn by a computer-aided design software (CAD). For this, the Fatigue Failure analysis was considered throughout analytical calculations and its subsequent validation using finite element methods.

The construction materials for the shredder were quoted based on the calculated dimensions, approaching a manufacturing cost of \$25,000. It can be concluded that this design can shred tires for applications that involve the use of high granulometry.

Keywords: *Shredding, tires, granulometry, design.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ABREVIATURAS.....	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE PLANOS.....	XIII
CAPÍTULO 1.....	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico.....	3
1.4.1 Descripción	3
1.4.2 Composición de los neumáticos	5
1.4.3 Tecnologías para el tratamiento de Neumáticos Usados (NFU).....	6
1.4.4 Aplicaciones del Caucho Reciclado	10
CAPITULO 2.....	11
2. Metodología de diseño	11
2.1 Definición de Requerimientos de Diseño.....	12
2.2 Tipos de Trituradoras Mecánicas	13
2.2.1 Trituradora molinos de martillo.....	13
2.2.2 Trituradora Molinos Batientes	14
2.2.3 Trituradora Cortante.....	15

2.3	Selección de la mejor alternativa.....	16
2.3.1	Selección de Número de Ejes de Trituración.....	18
2.4	Diseño de Forma.....	19
2.5	Calculo y análisis para trituradora.....	20
2.5.1	Diseño de cuchillas.....	20
2.5.2	Diseño de Eje de Transmisión.....	26
2.5.3	Diseño de Acople Rígido.....	35
2.5.4	Diseño de cámara de trituración.....	37
2.5.5	Diseño de Estructura de Soporte.....	38
2.5.6	Análisis de Vibración.....	43
2.6	Simulación Computacional.....	44
CAPÍTULO 3.....		45
3.	Resultados y Análisis.....	45
3.1	Resultados de diseño.....	45
3.1.1	Resultados del diseño de cuchillas.....	45
3.1.2	Selección de engranes.....	48
3.1.3	Selección del sistema de transmisión de potencia.....	48
3.1.4	Selección del motorreductor.....	50
3.1.5	Resultados del diseño del eje.....	50
3.1.6	Selección de rodamientos.....	54
3.1.7	Resultados del diseño de cámara de trituración.....	55
3.1.8	Resultados del diseño de estructura de soporte.....	59
3.1.9	Análisis de vibración.....	63
3.1.10	Procedimiento para el desmontaje de cuchillas.....	63
3.2	Análisis de Costos.....	65
CAPÍTULO 4.....		66
4.	Conclusiones y Recomendaciones.....	66

4.1	Conclusiones.....	66
4.2	Recomendaciones.....	67

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ABREVIATURAS

ACA	Asociación Americana de Cadenas (<i>The American Chain Association</i>)
AEADE	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador
AISI	Instituto Americano de Hierro y Acero (<i>American Iron and Steel Institute</i>)
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (<i>The American Society of Mechanical Engineers</i>)
ASTM	Estándares Americanos para Ensayo de Materiales (<i>American Standards for Testing Materials</i>)
DIN	Instituto Alemán para Estandarización (<i>Deutsches Institut für Normung</i>)
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
ISO	Organización Internacional de Normalización (<i>International Organization for Standardization</i>)
MIPRO	Ministerio de Industrias y Productividad
NFU	Neumáticos Fuera de Uso
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices (<i>Society of Automotive Engineers</i>)

SIMBOLOGÍA

h	Altura de la chaveta
b	Ancho de la chaveta
θ_p	Ángulo de Presión
A_t	Área Transversal
A	Área transversal de la columna
C	Capacidad básica de carga dinámica
CT	Capacidad de transmisión de potencia de cadena
P_{cr}	Carga crítica por pandeo
P	Carga dinámica equivalente
P_p	Carga permisible
C	Constante de rigidez
g	Constante gravitacional
δ	Deformación del elemento
D_p	Diámetro de paso
d	Diámetro del eje
d_i	Diámetro del perno
d_r	Diámetro menor del perno
d_{min}	Diámetro mínimo del eje
a	Distancia del agujero del perno al borde de la placa
c	Distancia del eje neutro
S	Distancia entre centros de sprockets
σ_a'	Esfuerzo amplitud debido a la flexión
S_y	Esfuerzo de Fluencia
S_p	Esfuerzo de prueba de perno grado 5.8
σ_m'	Esfuerzo medio debido a la flexión
S_{ut}	Esfuerzo Último de Tensión
e	Espesor de placa donde se aloja el perno
K_f	Factor de concentración de esfuerzos dinámico para flexión
K_{fs}	Factor de concentración de esfuerzos dinámico para torsión
F_s	Factor de corrección de capacidad de potencia por carga de cadena
F_h	Factor de corrección de capacidad de potencia por número de hilera

C_c	Factor de reducción por efectos de la Carga
C_{con}	Factor de reducción por efectos de la confiabilidad deseada en el diseño
C_{temp}	Factor de reducción por efectos de la temperatura de trabajo
C_{sup}	Factor de reducción por efectos del acabado superficial
C_{tam}	Factor de reducción por efectos del tamaño de la sección analizada
η	Factor de Seguridad
N_f	Factor de seguridad asumido en el diseño
SF	Factor de seguridad para falla por pandeo
w_i	Factor recomendado para análisis de cortante en cuerdas del perno
n_a	Factor recomendado por AISC para el tipo de columna
W_n	Frecuencia natural
F	Fuerza aplicada sobre la chaveta
F_a	Fuerza axial
F_a	Fuerza Axial del Engrane
F_c	Fuerza cortante
F_{ca}	Fuerza de Corte Acero
F_{cc}	Fuerza de Corte Caucho
F_{max}	Fuerza Máxima Aplicada
F_{cad}	Fuerza producida por cadena de transmisión
F_r	Fuerza Radial del Engrane
I	Inercia del elemento
L	Longitud de columna
L	Longitud de la Chaveta
m	Masa del elemento
w	Módulo de sección de viga
M_a	Momento flector aplicado en la sección de análisis
M_{max}	Momento máximo aplicado
Z	Número de diente del sprocket
N	Número de pernos
p	Paso del elemento
Pot_{motor}	Potencia del motor
Pot_{req}	Potencia requerida por el sistema

k	Radio de giro
Sr	Razón de esbeltez
Rf	Relación entre la frecuencia natural y frecuencia de operación
S _e	Resistencia a la fatiga del material
K	Rigidez del elemento
T _m	Torque Medio
T _c	Torque producido por las fuerzas de corte
T _t	Torque transmitido por el engrane
W	Velocidad Angular
n	Velocidad angular del sprocket
V	Velocidad Lineal de cadena
L10	Vida Nominal básica del rodamiento, 10 ⁶ revoluciones
s	Segundos
mm	Milímetro
m	Metro
N	Newton
KN	Kilo-Newton
MPa	Mega Pascal
GPa	Giga Pascal
rpm	Revoluciones por minuto
Rad/s	Radianes por segundo
HP	Horse Power
KW	Kilo-watt
mm ²	Milímetro al cuadrado
mm ⁴	Milímetro a la cuarta
Kwh	Kilowatt hora

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sección de un neumático radial.	4
Figura 2.1 Procedimiento esquemático del proceso de diseño.	11
Figura 2.2 Dimensiones de neumáticos R13-R14.	13
Figura 2.3 Diagrama Esquemático de Trituradora molinos martillo.	14
Figura 2.4 Diagrama Esquemático de Trituradora Molinos Batientes.....	14
Figura 2.5 Diagrama Esquemático de Trituradora cortante	16
Figura 2.6 Diseño de forma, vista isométrica.....	19
Figura 2.7 Diseño de forma, vista superior.	20
Figura 2.8 Distribución de componentes en el espesor de un neumático.	20
Figura 2.9 Modelo utilizado para el análisis de la aplicación de la fuerza cortante....	21
Figura 2.10 Modelo utilizado para el análisis de la aplicación de la fuerza cortante..	22
Figura 2.11 Diente de la cuchilla modelado como viga en voladizo.	23
Figura 2.12 Disposición de las cuchillas.	24
Figura 2.13 Área aproximada de desgarre por corte de cuchilla.	25
Figura 2.14 Diagrama de Cuerpo Libre del eje de transmisión, plano x-y.	26
Figura 2.15 Diagrama de Cuerpo Libre del eje de transmisión, plano x-z.	26
Figura 2.16 Diagrama de momento de flexión en el eje, plano x-y.....	30
Figura 2.17 Diagrama de momento de flexión en el eje, plano x-z.....	30
Figura 2.18 Diagrama de cuerpo libre del elemento sometido a flexión, plano y-z....	39
Figura 2.19 Diagrama de cuerpo libre del elemento sometido a flexión, plano x-z....	39
Figura 2.20 Diagrama de momento del elemento sometido a flexión, plano y-z.	40
Figura 2.21 Diagrama de momento del elemento sometido a flexión, plano x-z.	41
Figura 3.1 Cargas aplicadas a la simulación de las cuchillas.	46
Figura 3.2. Factor de seguridad de las cuchillas.	46
Figura 3.3 Deformación total de las cuchillas.	47
Figura 3.4 Cargas aplicadas a la simulación del eje motriz.	51
Figura 3.5 Factor de Seguridad a fatiga del eje motriz.	52
Figura 3.6 Deformación total del eje.	53
Figura 3.7 Esfuerzo de Von Misses en el eje.	54
Figura 3.8 Cargas aplicadas a la simulación de la cámara de trituración.....	56
Figura 3.9 Factor de seguridad a fatiga de la cámara de trituración.....	57
Figura 3.10 Deformación total de la cámara de trituración.	58

Figura 3.11 Cargas aplicadas a la simulación de la estructura de soporte.....	60
Figura 3.12 Factor de seguridad de la estructura de soporte.	61
Figura 3.13 Esfuerzo de Von Mises en la estructura de soporte.	62
Figura 3.14 Deformación total de la estructura de soporte.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Composición de los neumáticos	5
Tabla 1.2 Propiedades Mecánicas del Caucho.	5
Tabla 1.3 Ventajas y Desventajas de Tecnologías de Reducción.	7
Tabla 1.4 Ventajas y Desventajas de tecnologías existentes.	8
Tabla 2.1 Ventajas y desventajas del número de ejes.	15
Tabla 2.2 Matriz de decisión para el sistema de trituración.	17
Tabla 2.3 Matriz de decisión para el número de ejes del sistema de trituración.....	19
Tabla 2.4 Número de revoluciones para granulometría final.	25
Tabla 2.5 Capacidad Nominal Aproximada.	25
Tabla 2.6 Fuerzas consideradas en el análisis del eje de trituración.....	27
Tabla 2.7 Reacciones en los soportes del eje motriz.	29
Tabla 3.1 Características de engrane seleccionado.....	48
Tabla 3.2 Características de sprocket seleccionado.	49
Tabla 3.3 Características de cadena seleccionada.	49
Tabla 3.4 Rodamientos Seleccionados.	54
Tabla 3.5 Chumacera Seleccionada.....	55
Tabla 3.6 Elementos para cámara de trituración.	58
Tabla 3.7 Características del perfil seleccionado.	59
Tabla 3.8 Resumen de estimación de costos para mecanismo de trituración.....	65

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1	VISTA ISOMÉTRICA
PLANO 2	MEDIDAS DE ENSAMBLE
PLANO 3	DESPIECE DE COMPONENTES
PLANO 4	ENSAMBLE EJE CENTRAL
PLANO 5	EJE CENTRAL
PLANO 6	ENSAMBLE DE CUCHILLAS
PLANO 7	DIENTE DE CUCHILLA
PLANO 8	CUERPO DE CUCHILLA 4 DIENTES
PLANO 9	CUERPO DE CUCHILLA 3 DIENTES
PLANO 10	CUERPO DE CUCHILLA 2 DIENTES
PLANO 11	SEPARADOR 41 MM
PLANO 12	SEPARADOR 42 MM
PLANO 13	CUCHILLA DE PARED
PLANO 14	ACOPLE HEMBRA
PLANO 15	ACOPLE MACHO
PLANO 16	ENSAMBLE EJE MOTRIZ
PLANO 17	EJE MOTRIZ 1
PLANO 18	EJE MOTRIZ 2
PLANO 19	ENSAMBLE EJE CONDUcido
PLANO 20	EJE CONDUcido 1
PLANO 21	EJE CONDUcido 2
PLANO 22	PLACA RODAMIENTO 1
PLANO 23	PLACA RODAMIENTO 2
PLANO 24	PLANCHA LATERAL
PLANO 25	PLANCHA LATERAL PLEGADA
PLANO 26	PLANCHA SEPARADORA
PLANO 27	ELEMENTOS DE ESTRUCTURA
PLANO 28	ESTRUCTURA DE SOPORTE
PLANO 29	UNION ESTRUCTURA PLACA DE SOPORTE
PLANO 30	PLACA BASE DE CHUMACERAS
PLANO 31	TOLVA SUPERIOR
PLANO 32	TOLVA INFERIOR

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

El crecimiento del parque automotor a nivel mundial ha ocasionado que la generación de Neumáticos Fuera de Uso –NFU- se presente como una grave problemática ambiental debido a que incrementa la tasa de acumulación de residuos sólidos y provoca la contaminación de recursos naturales. A nivel nacional, según el INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censo), en el año 2015 se matricularon 1'925.368 de vehículos, correspondiente a un 57% más que lo registrado durante el 2010, lo que representa un grave impacto ambiental debido a que a nivel local no todos los neumáticos logran recuperarse a través del proceso de reencauchado propuesto por el MIPRO a través del programa REUSA LLANTA.

El tratamiento, reutilización y reciclaje de los neumáticos fuera de Uso, son opciones que localmente no se cumplen ahondando la problemática existente. Estas alternativas brindan la oportunidad de que los materiales vuelvan a ingresar a los procesos productivos, alargando su vida útil, y disminuyendo el uso de materia prima virgen. Además, estas permiten el decrecimiento de volúmenes de residuos sólidos que se destinan a los rellenos sanitarios, reduciendo la huella ecológica provocada por la fabricación, uso y disposición final de neumáticos.

1.2 Justificación del proyecto

En la actualidad, la sociedad es dependiente del uso del automóvil por lo cual los NFU resultan uno de los principales residuos de la industria automotriz. La producción mundial de neumáticos se estima en 1.5 mil millones por año y posteriormente esta misma cantidad caerá en la categoría de NFU. (Landi, Vitali, & Germani, 2016). En cuanto a cifras nacionales a partir del año 2012 hasta el año 2015 ha habido una tendencia decreciente en la importación de neumáticos, esta tendencia cambió en el año 2016 y 2017, siendo este último el de mayor cantidad de neumáticos importados según datos registrados desde el 2004, se tiene que en Ecuador se importaron 3'797.000 unidades, 2'345.000 neumáticos para autos livianos en el año 2017. (AEADE, 2017)

El tiempo de duración de los neumáticos hasta convertirse en NFU es variable, depende de varios factores como el tiempo de uso, el clima, las condiciones de carretera, adecuada presión de aire, etc. Por lo cual los fabricantes no ofrecen datos exactos de cuantos kilómetros duran los neumáticos originales, el indicador principal para realizar el cambio de neumáticos es la profundidad de la banda de rodadura la cual no debe ser menor de 1,6 mm. (The Goodyear Tire & Rubber Company, 2018)

En un principio los NFU no representan peligro alguno pero su acumulación o eliminación mediante procesos inadecuados pueden generar una grave contaminación del medio ambiente, recordemos que los neumáticos son diseñados para resistir diferentes condiciones ambientales y mecánicas, no se degradaran con facilidad durante el paso del tiempo, el tiempo de degradación total se encuentra aproximadamente en un rango de 500 a 600 años. Una forma de solventar la problemática de acumulación de desechos producidos por los neumáticos fuera de uso es la implementación de procesos de trituración para recuperar el caucho, alargando la vida útil del mismo, concediéndole nuevas aplicaciones en el mercado, ya que su acumulación en botaderos de basura no permite la recuperación de materia o energía.

Actualmente los mecanismos de trituración poseen un tamaño de granulometría final predeterminado, por lo tanto, el equipo diseñado debe tener la capacidad de producir un tamaño de granulometría final definida, evaluando el consumo energético necesario para su obtención.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un prototipo experimental para la trituración de Neumáticos Fuera de Uso por medio del cual se pueda estimar el consumo energético para la optimización del proceso.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar alternativas tecnológicas existentes para las fases de Trituración requeridos en los diferentes usos del producto.
- Diseñar un sistema mecánico de trituración para reducir los desechos originados a partir de los neumáticos fuera de uso.
- Diseñar el mecanismo en base a la facilidad de desmontaje de sus componentes, facilitando el intercambio de los diferentes tipos de cuchillas.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Descripción

El neumático es el único punto de contacto entre el vehículo y el suelo, por lo tanto, debe constituir un producto de alta tecnología brindando características como estabilidad, resistencia al desgaste, etc. Principalmente la capacidad para transmitir fuerzas elevadas tanto longitudinales como transversales de tracción, frenada, dirección, etc., a las que se encuentra sujeto en las diferentes condiciones ambientales.

A continuación, listaremos las partes de un neumático tipo radial el cual es el utilizado para vehículos estándar.

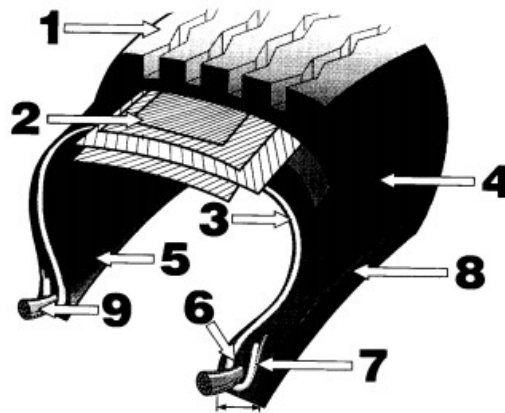


Figura 1.1 Sección de un neumático radial.

[Fuente: The Maintenance Council. U.S.A, Guía de Análisis de condiciones para llanta radial]

- 1.- Banda de Rodamiento: compuesta generalmente de hule, interface entre la estructura del neumático y el asfalto, cuyo principal objetivo es brindar tracción y frenado.
- 2.- Cinturón estabilizador: capas de acero que proporcionan resistencia y estabilidad a la banda de rodamiento, protegiendo de pinchaduras.
- 3.- Capa radial: se encarga de contener la presión de aire además de transmitir todas las fuerzas producidas por la carga y cambios de dirección.
- 4.- Costado (Pared): fabricado para resistir la flexión
- 5.- Sellante. - capas de hule que se encargan de resistir la difusión de aire.
- 6.- Relleno. - Proporciona transición suave entre el área rígida del talón al área flexible de la pared.
- 7.- Refuerzo del talón. - capa exterior a la radial que estabiliza y refuerza el relleno en la zona de transición.
- 8.- Ribete: elemento de referencia para el emplazamiento del área del talón sobre el rin.
- 9.- Talón: cuerpo conformado por alambres de acero de alta resistencia utilizado para lograr un cuerpo compacto de los componentes del neumático, esta estructura es la que mantiene el diámetro requerido en el rin.

1.4.2 Composición de los neumáticos

Especialmente los neumáticos en general están compuestos de caucho natural o sintético, acero, óxido de zinc, material textil y aditivos varios.

En la tabla 1.1 se listan los componentes utilizados en los neumáticos para su elaboración.

Tabla 1.1 Composición de los neumáticos

[Fuente: Cano Serrano, Cerezo García, & Urbina Fraile, 2007]

Material	Auto liviano [%]	Camión/autobús [%]
Caucho/Elastómero	48	43
Negro de Carbono	22	21
Metal	15	27
Textil	5	-
Óxido de Zinc	1	2
Azufre	1	1
Aditivos	8	6

Como se puede observar en la tabla 1.1 el material que constituye en mayor cantidad a los neumáticos es el caucho, por lo tanto, es necesario saber sus propiedades mecánicas. Las cuales se listan a continuación en la tabla 1.2.

Tabla 1.2 Propiedades Mecánicas del Caucho.

[Fuente: UB, Universitat de Barcelona]

Densidad	0,92 - 0,93 g/cm ³
Módulo elástico	0,0015 - 0,0025 GPa
Coefficiente de Poisson	0,499 - 0,5
Resistencia a la compresión	22 - 33 MPa
Resistencia a la tracción	22 - 33 MPa
Tenacidad a la fractura (K _{Ic})	0,15 - 0,25 MPa m ^{0.5}

La consideración de estas propiedades será una base para las restricciones de diseño para cualquier proceso que se requiera implementar, como es en este caso la trituración de los NFU.

1.4.3 Tecnologías para el tratamiento de Neumáticos Usados (NFU)

Existen diversas formas de reingresar al ciclo productivo el caucho proveniente de los neumáticos fuera de uso, logrando así, que se disminuya el volumen de este material en su disposición final, extendiendo su ciclo de vida útil.

1.4.3.1 Tecnología de Regeneración

Es el proceso conocido como Desvulcanización, en el cual los enlaces de azufre existentes entre las cadenas de hidrocarburos del polímero son eliminados, para obtener el caucho con características químicas semejantes a su estado original. Este procedimiento posee costos de realización muy elevados y baja capacidad de producción.

1.4.3.2 Pirolisis

Este proceso se trata de la descomposición térmica de las macromoléculas en ausencia de oxígeno para obtener productos de menor peso molecular. Se obtiene combustibles y materias primas para diversos procesos. (Miranda, Segovia, & Sosa, 2006)

1.4.3.3 Termólisis

La termólisis consiste en calentar los materiales de residuos neumáticos dentro de un medio en ausencia de oxígeno, con la finalidad de destruir los enlaces químicos. Con este procedimiento se puede conseguir las cadenas de hidrocarburos originales del caucho.

1.4.3.4 Incineración

Es el procedimiento que consiste en la combustión de los neumáticos a altas temperaturas utilizando hornos refractarios. Este procedimiento ocasiona altos niveles de contaminación, por lo que aumenta en su costo de realización el control y disminución de la emisión de gases contaminantes a la atmósfera. El calor generado por el proceso de incineración puede ser utilizado en generación de energía eléctrica.

1.4.3.5 Tecnología de Reducción

Esta tecnología consiste en reducir el tamaño del material, brindándole una granulometría específica, de forma de que se pueda volver a emplear el material en otras aplicaciones. Existen dos métodos que se pueden realizar: la trituración mecánica a temperatura ambiente y la trituración criogénica. (Castro, 2007)

La trituración mecánica consiste en emplear cuchillas para reducir las llantas, siendo un proceso dividido en etapas donde se tritura paulatinamente hasta conseguir el tamaño de granulometría requerido, para después con la ayuda de clasificadores magnéticos separar el caucho con el acero presente. Por otra parte, la trituración criogénica consta en congelar las llantas utilizando nitrógeno líquido, las cuales posteriormente serán golpeadas para obtener polvo de caucho, este proceso libera nitrógeno gaseoso. (López & Torres, 2015)

Tabla 1.3 Ventajas y Desventajas de Tecnologías de Reducción.

[Fuente: López & Torres, 2015]

Trituración	Ventajas	Desventajas
Mecánica	Reducido número de etapas del proceso. No se requiere purificación del producto final. Bajo costo de fabricación del mecanismo.	Se puede presentar atascos en el procedimiento de trituración. Granulometría mínima limitada.
Criogénica	Reducido tamaño de partículas obtenidas.	Se necesita purificación para separar partículas de caucho y acero. Se requiere instalaciones con elevados costos de inversión y mantenimiento. Se utiliza maquinaria altamente especializada.

Tabla 1.4 Ventajas y Desventajas de tecnologías existentes.

[Fuente: Basilea, 2011. Sánchez, 2012. Encarnación Cano, 2008. TULSMA, 2015]

Tecnologías	Ventajas	Desventajas	Producción final	Sector industrial
Incineración	<p>Completa eliminación de residuo.</p> <p>Recuperación de energía.</p>	<p>Se necesitan equipos de medición para las emisiones gaseosas, y material particulado que se generan durante el proceso de combustión del neumático.</p> <p>Se requiere una alimentación continua del residuo (neumático).</p> <p>El mantenimiento del sistema implica costos elevados.</p> <p>Polvo acumulado en los filtros del sistema con alta carga de zinc.</p>	<p>Combustible alternativo para la generación de energía eléctrica.</p>	<p>Centrales Termoeléctricas</p>
Trituración	<p>Generación mínima de subproductos y contaminantes.</p> <p>Posee menor costo en comparación con la grava, buena capacidad de carga, baja densidad y mayor durabilidad por lo cual es utilizado en obras civiles.</p>	<p>Se requiere de una gran área para su almacenamiento.</p> <p>Requiere un control de la generación del polvo de neumático.</p>	<p>Producto final utilizado como materia prima para diferentes procesos de elaboración de productos como suelas de zapatos, pisos, alfombras, durmientes para ferrocarriles, etc.</p> <p>Reconstrucción de carreteras, aditivos para asfaltos, revestimientos</p> <p>Barreras de protección acústica.</p>	<p>Industria de Calzado.</p> <p>Elaboración de suelos de seguridad.</p> <p>Elaboración de césped artificial.</p> <p>Obra civil en carreteras.</p> <p>Productos industriales y de consumo.</p> <p>Ingeniería de vertederos, relleno liviano o drenaje.</p>

Termólisis	Se recupera la mayoría de los componentes de los neumáticos.	El proceso genera hidrocarburos gaseosos.	Materiales bituminosos , carbón negro, gases utilizados para la generación de energía eléctrica.	Industria energética
Pirolisis controlada	Se pueden reutilizar subproductos del proceso de pirolisis como el aceite y gas.	Se presentan problemas en la separación de los compuestos de carbono. Actualmente muy limitados.	Gas, acero y coque.	Industria energética. Industria metálica.
Gasificación	Reducción de contaminantes por ser una combustión controlada	Alto costo tecnológico por encontrarse en procesos mejoras y análisis.	Valorización energética en motores de gas adaptados. Gas de síntesis o Synga.	Aplicación industrial específica
Des vulcanización	Obtención de caucho con propiedades semejantes al caucho virgen.	Alto costo de realización.	Caucho Des vulcanizado	Aplicación en industria de caucho, con la finalidad de reducir uso de caucho virgen.

1.4.4 Aplicaciones del Caucho Reciclado

Existen diferentes formas de aprovechar el caucho producto de la trituración de neumáticos fuera de uso, dentro de las cuales podemos mencionar: la fabricación de suelas de zapato, tapetes de mouse de computadoras, elaboración de macetas, mangueras, muros de contención en proyectos de construcción, pisos decorativos, césped sintético, además de poder ser utilizado como aditivo en pavimentación. La granulometría del caucho producto de la molienda es distinta para cada aplicación en específico.

Para aplicaciones en construcción de vías donde se involucra asfalto, se agrega el caucho proveniente de trituración con la finalidad de que la mezcla consiga menor susceptibilidad a la temperatura, mayor intervalo de plasticidad, mayor cohesión, mejor respuesta elástica, mayor resistencia al agua y al envejecimiento. Además, se utiliza para riegos de sello asfáltico dedicados a absorber las grietas ocasionadas a contracciones y dilataciones, este riego se lo denomina membranas de absorción de tensiones. (Camargo & Suárez, 2010) La granulometría del caucho para ser agregado a la mezcla asfáltica en caliente (proceso de vía seca) está en el rango entre 595 micras a 2 mm. (Ocampo, 2015)

El caucho reciclado, adicionalmente, tiene las propiedades necesarias para ser utilizado en instalaciones deportivas. Su capacidad de absorber el impacto, lo convierte en un buen material para la fabricación de pistas atléticas y de instalaciones de césped artificial. (Cardona & Sánchez, 2011) La granulometría para la fabricación de la capa amortiguante inferior de las pistas atléticas se encuentra en el rango entre 3 a 6 mm, mientras que para la capa superior tiene un rango de 6 a 8 mm. (Bogotá, 2018) Por su parte, para aplicaciones en césped sintético la granulometría del caucho molido se halla en el rango de 8 a 10 mm. (Reciclados de Caucho, 2018)

CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA DE DISEÑO

A continuación, se muestra la selección de la mejor alternativa y proceso de diseño para trituración de neumáticos. Se decide utilizar la tecnología de reducción, eligiendo la trituración mecánica para el procesamiento de neumáticos fuera de uso, puesto que se requiere que el producto del sistema seleccionado tenga aplicaciones específicas que únicamente brinda este procedimiento. Para una visualización resumida de la metodología de diseño se propone una representación esquemática que muestra los pasos a seguir durante el diseño del mecanismo.

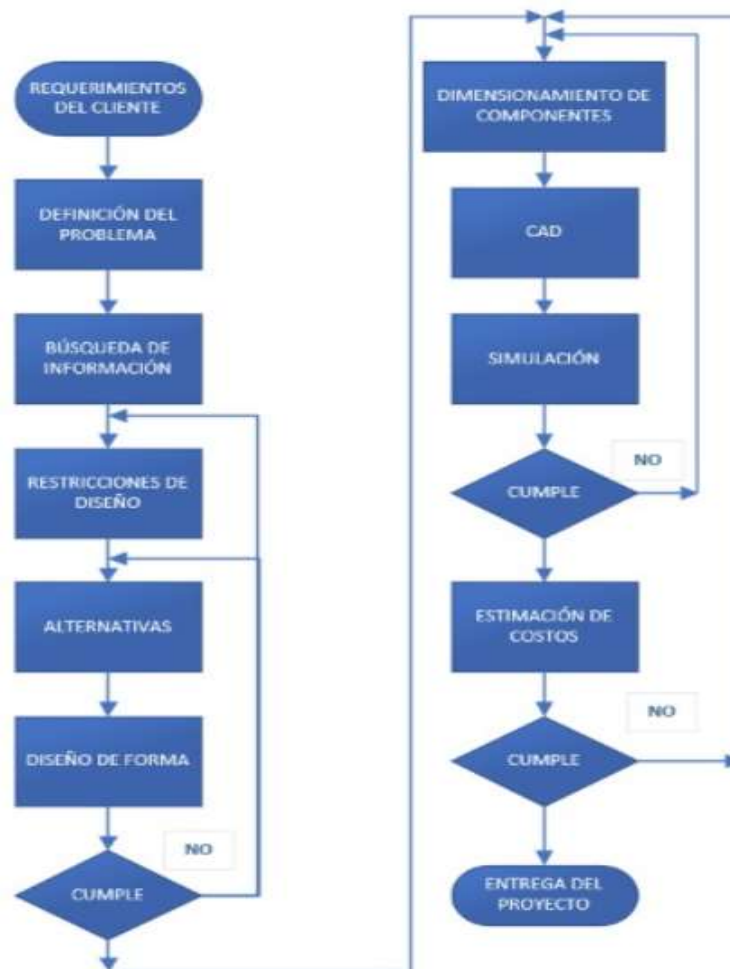


Figura 2.1 Procedimiento esquemático del proceso de diseño.

[Fuente: Autores]

2.1 Definición de Requerimientos de Diseño

Para iniciar el diseño del sistema de trituración mecánica es necesario definir los requerimientos que se debe tener en cuenta para moldear el mecanismo y así cumplir las funciones necesarias para suplir la problemática presentada. Estos requerimientos son definidos en base a la finalidad del estudio a realizar por el cliente el cual debe relacionar el consumo energético con la huella de carbono del proceso. Los factores mostrados a continuación intervendrán directamente en las decisiones dentro del proceso de diseño.

- **Restricciones del mercado:** Los materiales, componentes y piezas deben tener stock en el mercado nacional.
- **Mantenimiento:** El diseño del equipo, el montaje de componentes y piezas en el sistema mecánico debe permitir un fácil mantenimiento.
- **Patentes:** El diseño no se debe encontrar patentado, si se utiliza una patente, revisar que este libre.
- **Operarios:** El sistema debe ser diseñado para que necesite un operario para su funcionamiento.
- **Costo de Fabricación:** el diseño se realizará para un presupuesto definido previamente por el cliente.
- **Tamaño:** El equipo debe tener las dimensiones necesarias para poder procesar la mitad de un neumático aro 13 - 14. Ver figura 2.2.
- **Procesos y requerimientos:** El sistema mecánico debe ser capaz de convertir los neumáticos fuera de uso en caucho reciclado, supliendo todas las etapas de triturado mecánico hasta alcanzar la granulometría requerida.
- **Facilidad de Manufactura y Ensamblaje:** El sistema diseñado debe brindar facilidades al momento de manufacturar, así como al ensamblar los componentes mecánicos.
- **Alimentación y Descarga:** El sistema debe ser alimentado con neumáticos fuera de uso de forma vertical, y el producto del proceso debe ser descargado de manera similar.



Figura 2.2 Dimensiones de neumáticos R13-R14.

[Fuente: Autores]

2.2 Tipos de Trituradoras Mecánicas

Es necesario conocer los diferentes métodos de trituración mecánica para desechos sólidos existentes en la actualidad, con la finalidad de poder realizar una correcta elección del tipo de mecanismo para satisfacer los requerimientos de diseño presentados.

2.2.1 Trituradora molinos de martillo

El molino de martillos es un dispositivo de impacto donde se acoplan martillos de forma flexible a un eje o disco central que opera a altas velocidades (700 a 1200 rev/min). Los residuos al entrar en el molino de martillos, son impactados con la fuerza suficiente como para ser rasgados sin adherirse a los martillos por la alta velocidad con la que trabajan. El tamaño de las partículas del material triturado se reduce más al impactar contra las placas rompedoras fijadas en la cámara interior. La trituración sigue hasta que el material tiene el tamaño requerido y cae por los agujeros de la parrilla en el fondo del molino. El diagrama del equipo se muestra en la figura 2.3. (Tchobanoglous, 1994)

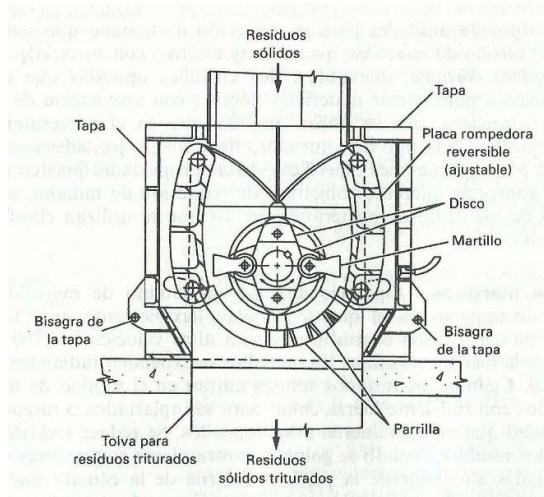


Figura 2.3 Diagrama Esquemático de Trituradora molinos martillo.
 [Fuente: George Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1994]

2.2.2 Trituradora Molinos Batientes

La trituración por molinos batientes, es semejante con la trituración por molinos martillo, con la diferencia que este proceso solamente puede proporcionar trituración gruesa debido a la disposición del molino. En cuanto a su funcionamiento, este sistema de trituración mecánica es de un paso, es decir, que no proporciona granulometría definida como en el molino martillos, donde el material permanecía en el sistema hasta que pueda atravesar la apertura de la parrilla de fondo. A continuación, se muestra el diagrama del equipo en la figura 2.4. (Lalama & Navarrete, 2016)

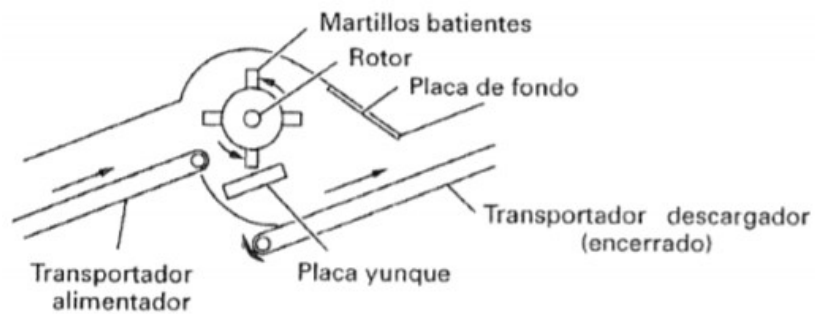


Figura 2.4 Diagrama Esquemático de Trituradora Molinos Batientes
 [Fuente: George Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1994]

2.2.3 Trituradora Cortante

Las trituradoras cortantes operan semejante a unas tijeras, en la que dos cuchillas giran en sentido opuesto de forma simultánea cortando los residuos. Este tipo de trituración mecánica opera a velocidades bajas (60-120 rev/min), y es impulsado utilizando motores que pueden ser puestos marcha atrás en caso de bloqueo. Este mecanismo puede estar conformado por uno, dos o cuatro ejes giratorios, cuando se trata de dos ejes, estos son paralelos y rotan en sentido opuesto. Las ventajas y desventajas del número de ejes involucrados en la trituradora cortante se muestran en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Ventajas y desventajas del número de ejes.

[Fuente: Espinosa & Tatamués, 2016]

Trituradora Cortante	Ventajas	Desventajas
Un Eje	Facilidad en el montaje y mantenimiento del sistema. Mayor velocidad de giro de las cuchillas. Menor costo de fabricación y espacio utilizado por el equipo.	Mantenimiento frecuente, significando mayor tiempo de para. Facilidad de atrancamiento. Menor capacidad de trituración.
Dos Ejes	Mayor capacidad de trituración. Mejor captación del material. Mayor fuerza de corte. Menor frecuencia de mantenimiento.	Complejidad en el diseño en comparación con las trituradoras de un eje. Mayor costo de fabricación.
Cuatro Ejes	Capacidad de triturar mayores volúmenes como elementos de mayor tamaño, sin necesidad de aumentar las dimensiones de los componentes.	Costo de Fabricación. Incremento de peso, dificultando movilización y mantenimiento. Incremento de dimensiones y espacio necesario.

En la figura 2.5 se muestra un ejemplo de trituradora cortante que dispone de dos ejes. Las encargadas del corte y la respectiva trituración son las cuchillas que se encuentran montadas en discos de forma ortogonal con respecto a la dirección de la longitud del eje. El material a triturar pasa por medio de los ejes cortantes llevando a cabo la trituración, el tamaño de la

cuchilla se relaciona con las dimensiones del material que ingresa en el sistema. (Tchobanoglous, 1994)

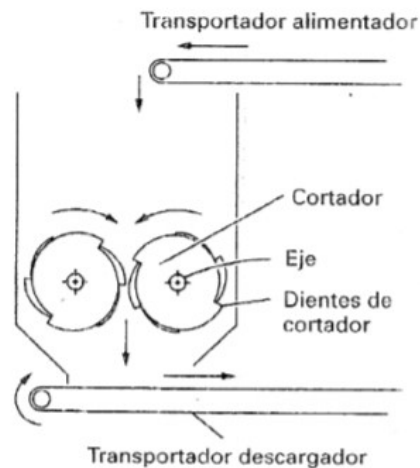


Figura 2.5 Diagrama Esquemático de Trituradora cortante

[Fuente: George Tchobanoglous, Gestión Integral de Residuos Sólidos, 1994]

2.3 Selección de la mejor alternativa

Con la finalidad de satisfacer las necesidades de la problemática presentada por el cliente y cumplir con los requerimientos de diseño, se debe seleccionar el proceso de trituración mecánica que cumpla con estos parámetros, considerando las alternativas presentadas en la sección 2.2. Con el propósito de tomar la decisión correcta, se utiliza el método de matriz de decisión, donde se pondera los requerimientos más relevantes al momento de diseñar el sistema de trituración.

Los puntos a analizar para realizar el método de comparación entre los sistemas de trituración se muestran a continuación con su respectivo peso de valoración porcentual:

- **Granulometría Homogénea [25%]:** El mecanismo de trituración debe proporcionar granulometría homogénea en el producto final del proceso.
- **Facilidad de modificar granulometría final [25%]:** El mecanismo debe proporcionar la facilidad de modificar la granulometría final del producto sin excesivas modificaciones en el sistema.

- **Trituración de Neumáticos (Aro 13-14) [15%]:** El mecanismo debe ser capaz de procesar neumáticos aro 13-14 sin realizar procesos previos.
- **Facilidad de Mantenimiento [10%]:** El mecanismo no debe presentar alto grado de complejidad en la distribución espacial de los componentes para facilitar el mantenimiento.
- **Costo de Construcción [15%]:** El mecanismo debe tener costos moderados de construcción y mantenimiento.
- **Utilización en el Mercado Nacional [10%]:** El mecanismo debe ser similar a los sistemas utilizados por las industrias ecuatorianas, esto con la finalidad de comparar el diseño y determinar su eficiencia de operación con respecto a los demás equipos existentes.

A continuación, se realiza por medio de la matriz de decisión la evaluación de cada una de las variables mencionadas, otorgando valor de 10 puntos al mecanismo que cumple con el factor en cuestión y proporcionando valor de 1 punto, a la trituradora que no cumpla en lo absoluto la variable de análisis. Con esta metodología podemos seleccionar la mejor solución de diseño. Ver tabla 2.2.

Tabla 2.2 Matriz de decisión para el sistema de trituración.

[Fuente: Autores]

Criterios	Peso	TIPOS DE TRITURADORAS		
		Molino martillo	Molino Batiente	Cortante
Granulometría homogénea	25%	10	1	5
Facilidad de modificar granulometría final	25%	7	4	10
Trituración de neumáticos (Aro 13-14)	15%	8	1	10
Facilidad de mantenimiento	10%	6	10	8
Costos de construcción y mantenimiento	15%	6	10	8
Utilización a nivel nacional	10%	6	6	10
TOTAL	100%	7,55	4,5	8,25

La trituradora cortante es la alternativa ganadora del proceso de decisión realizado, siendo el mecanismo que se ajusta de mejor forma a los requerimientos de diseño planteados. Una vez elegida la mejor alternativa, se debe seleccionar el número de ejes con los que contará la trituradora cortante, procedimiento explicado en la sección 2.3.1.

2.3.1 Selección de Número de Ejes de Trituración

Es necesario seleccionar el número de ejes que contará el sistema de trituración cortante, por lo cual, se utilizará nuevamente el método de matriz de decisión para elegir la configuración que satisfaga de mejor manera los requerimientos de diseño.

Los puntos a analizar para realizar el método de comparación de las diferentes configuraciones del sistema, se muestran a continuación con su respectivo peso de valoración porcentual:

- **Capacidad de trituración [20%]:** La configuración de ejes debe ser capaz de realizar trituración de volúmenes considerables sin presentar atrancamiento.
- **Costo de Fabricación [35%]:** La configuración de ejes debe presentar el menor costo de fabricación, cumpliendo con los requerimientos de diseño.
- **Facilidad de mantenimiento y montaje [45%]:** La configuración de ejes debe facilitar el mantenimiento y montaje del sistema, así mismo, brindar la facilidad de modificar la granulometría final.

A continuación, se realiza la matriz de decisión para la configuración de ejes del sistema de trituración cortante. Se otorga valor de 10 puntos a la configuración que cumpla con el factor analizado y valor de 1 punto a la configuración que no cumpla en lo absoluto la variable en cuestión. Ver tabla 2.3.

Tabla 2.3 Matriz de decisión para el número de ejes del sistema de trituración.

[Fuente: Autores]

Criterios	Peso	CONFIGURACIÓN DE EJES CORTANTES		
		Un Eje	Dos Ejes	Cuatro Ejes
Capacidad de Trituración	30%	2	9	10
Costo de Fabricación	30%	10	7	5
Facilidad de Mantenimiento y Montaje	40%	10	8	5
TOTAL	100%	7,6	8	6,5

La configuración de dos ejes para el triturador cortante es la alternativa ganadora del proceso de decisión realizado, siendo la configuración que mejor se ajusta a los requerimientos de diseño. Se muestra dicha alternativa en el diseño de forma presentado en las figuras 2.6 y 2.7.

2.4 Diseño de Forma

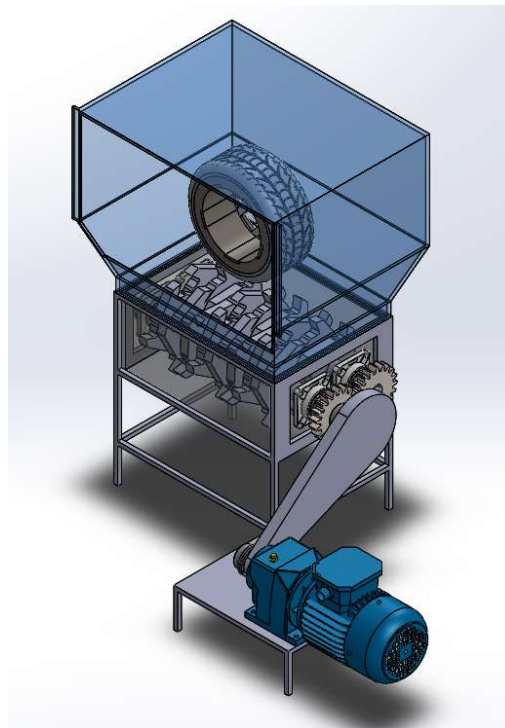


Figura 2.6 Diseño de forma, vista isométrica.

[Fuentes: Autores]

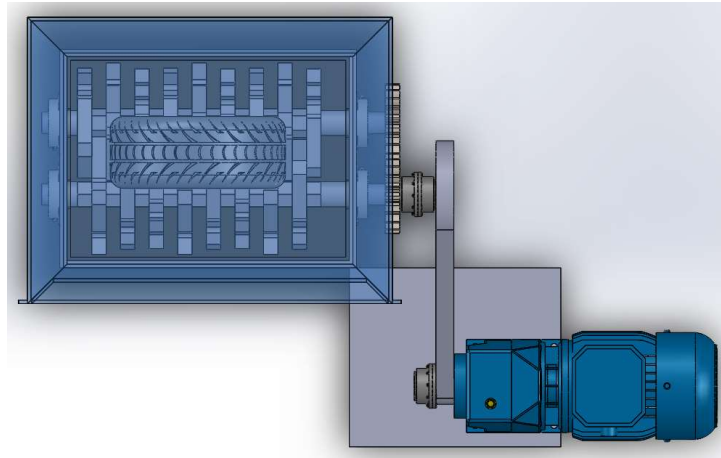


Figura 2.7 Diseño de forma, vista superior.

[Fuente: Autores]

2.5 Calculo y análisis para trituradora

2.5.1 Diseño de cuchillas

2.5.1.1 Fuerzas que actúan sobre la cuchilla

Para lograr el proceso de trituración de los NFU es preciso que la fuerza producida por las cuchillas sea la necesaria para lograr el corte de todos los componentes. Se hace obligatorio indicar nuevamente que los neumáticos están conformados en su sección más crítica por caucho, fibras textiles y alambres de acero de alta resistencia como se muestra en la figura 2.8.

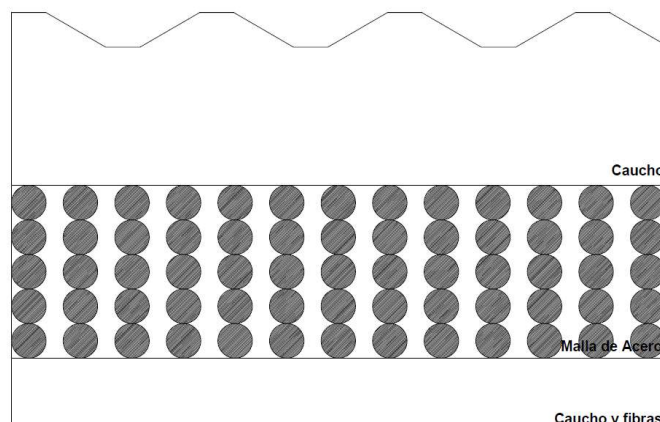


Figura 2.8 Distribución de componentes en el espesor de un neumático.

[Fuente: Autores]

Las caras laterales de los neumáticos únicamente están conformadas por caucho de espesor estimado de 15 mm. Para garantizar que se realice el corte por medio de las cuchillas se deben calcular las fuerzas necesarias para cada sección de la llanta.

Se considera como sección crítica la que se encuentra formada por la malla de acero, estos alambres están fabricados con acero al carbono de alta resistencia, teniendo esfuerzo último de rotura de 608 MPa; y están colocados formando una malla de 5 mm de espesor, cada alambre tiene 1 mm de diámetro, formando una sección similar a la mostrada en la figura 2.9.

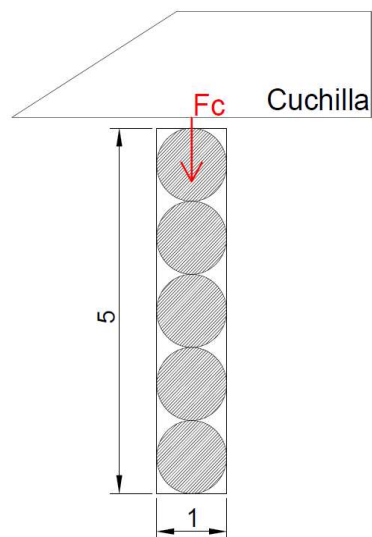


Figura 2.9 Modelo utilizado para el análisis de la aplicación de la fuerza cortante.

[Fuente: Autores]

La fuerza cortante de la malla de acero (F_{ca}) se la calcula con la siguiente fórmula:

$$F_{ca} = 0.7(\sigma_{sut})A_t \quad (2.1)$$

Dónde:

σ_{sut} : Esfuerzo último de tensión del material.

A_t : Área transversal, la cual consiste en el producto del espesor de la malla de acero por el diámetro del alambre.

Reemplazando valores obtenemos:

$$F_{ca} = 2128 \text{ N}$$

Así mismo, se debe calcular la fuerza de corte para la sección que está compuesta por caucho vulcanizado, con esfuerzo último de tensión de 33 MPa, y espesor de material de 15 mm. En la figura 2.10 se muestra el área paralela a la dirección de la fuerza de corte sobre el caucho vulcanizado.

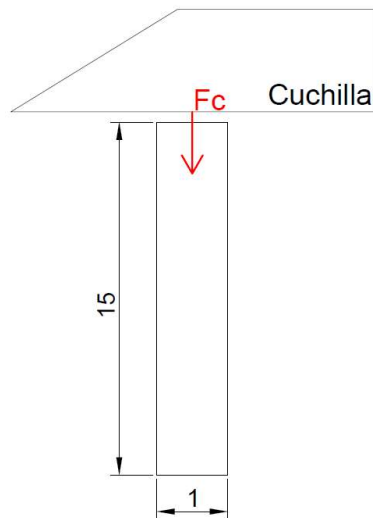


Figura 2.10 Modelo utilizado para el análisis de la aplicación de la fuerza cortante.

[Fuente: Autores]

La fuerza cortante aplicada sobre el caucho vulcanizado (F_{cc}) se la calcula con la ecuación 2.1, obteniendo:

$$F_{cc} = 346.5 \text{ N}$$

2.5.1.2 Diseño diente de cuchilla

El cuerpo de la cuchilla estará conformado por acero ASTM A36, mientras que los dientes serán insertos fabricados de acero AISI D2, material especializado para este tipo de herramientas de corte.

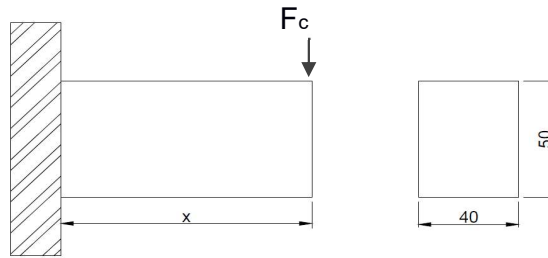


Figura 2.11 Diente de la cuchilla modelado como viga en voladizo.

[Fuente: Autores]

Se modelará la base del diente como una viga empotrada (Ver figura 2.11). La sección transversal de dicha viga se asemeja a un rectángulo de dimensiones: 40 mm de ancho (espesor de cuchilla) y 50 mm de alto (ancho del diente). Definiendo altura del diente (50 mm), se procede a calcular el factor de seguridad por flexión y la respectiva deformación permisible.

Flexión

$$\eta = \frac{\sigma_{sy}}{\frac{Mc}{I}} = \frac{\sigma_{sy}}{\frac{F_{max} * x * c}{I}} \quad (2.2)$$

Dónde:

η : Factor de Seguridad, debe ser mayor a 1 para evitar la falla por flexión.

M: Momento ejercido sobre la viga, causando flexión.

F_{max} : Fuerza máxima ejercida sobre la cuchilla.

c: Distancia desde el eje neutro al punto de análisis.

x: Altura del diente de cuchilla (50 mm).

I: Inercia de la viga.

σ_{sy} : Esfuerzo máximo de fluencia del material.

Deflexión permisible

$$\frac{F_{max} * x^3}{3EI} \leq \frac{1}{760} x \quad (2.3)$$

Dónde:

F_{max} : Fuerza máxima ejercida sobre la cuchilla.

x: Claro de la viga empotrada.

E: Módulo de Young.

I: Inercia de la viga.

2.5.1.3 Disposición de Cuchillas

El equipo estará conformado de 8 cuchillas de 40 mm de espesor y 300 mm de diámetro en cada eje, colocadas con un espaciamiento angular de 11.25° con respecto a la anterior para lograr que la propagación de la fractura facilite el proceso de trituración disminuyendo la fuerza aplicada, como se muestra en la figura 2.12. El mecanismo podrá funcionar con discos de cuchillas de 2, 3, y 4 dientes. Las cuchillas estarán distanciadas por medio de separadores de 40 mm de espesor y 140 mm de diámetro. Se procede a llamar “eje motriz” al árbol acoplado al sistema de transmisión de potencia, mientras que se denomina “eje conducido” al árbol paralelo.

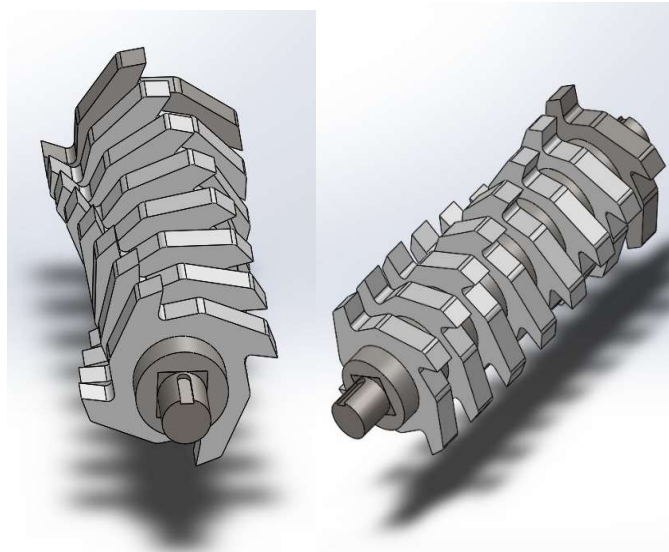


Figura 2.12 Disposición de las cuchillas.

[Fuente: Autores]

2.5.1.4 Capacidad Nominal Estimada

La capacidad nominal del sistema se la estima por medio del cálculo de la razón de corte del neumático. En la figura 2.13 se puede observar el diagrama utilizado para el cálculo de la cantidad de área superficial de la cara externa de la llanta que es desgarrada cada vez que la cuchilla realiza el corte. El área transversal del neumático es de 0.14 m^2 , mientras que el área que se desprende por la acción de un diente de la cuchilla es de 0.006 m^2 .

La porción de neumático que se tritura en cada revolución dependerá del número de dientes de la cuchilla. La velocidad de operación del equipo se podrá variar de 20 hasta 40 revoluciones por minuto. En la tabla 2.4 se muestra el número de revoluciones necesarias para realizar la trituración del neumático hasta alcanzar la granulometría deseada (8 mm). Además, en la tabla 2.5 se muestran la variación de la capacidad nominal estimada dependiendo de la velocidad de operación y el número de dientes de la cuchilla.

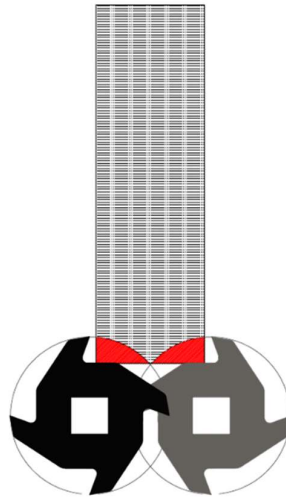


Figura 2.13 Área aproximada de desgarre por corte de cuchilla.

[Fuente: Autores]

Tabla 2.4 Número de revoluciones para granulometría final.

[Fuente: Autores]

No. Cuchillas	4	3	2
Área triturada por Revolución	0,024	0,018	0,012
Revoluciones para triturar neumático	5,8	7,8	11,7
Número de Pasadas	10	10	10
Revoluciones para alcanzar granulometría final	58,3	77,8	116,7

Tabla 2.5 Capacidad Nominal Aproximada.

[Fuente: Autores]

Capacidad Nominal Aproximada (kg/h)	Número de Dientes de Cuchilla		
	4	3	2
Velocidad de Operación (rpm)			
40	296	222	148
30	222	167	111
20	148	111	74

2.5.2 Diseño de Eje de Transmisión

Para el diseño del eje de transmisión dónde se encuentran acopladas las cuchillas de trituración, se determinan las fuerzas que actúan sobre el mismo. En las figuras 2.14 y 2.15 se muestra la disposición de las fuerzas y momentos que actúan sobre el eje según el diseño de forma presentado en la sección 2.4.

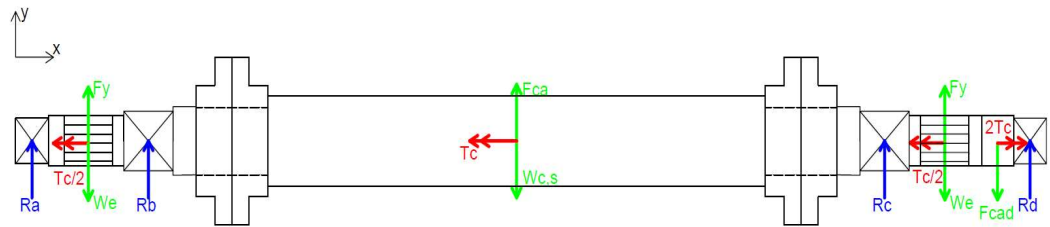


Figura 2.14 Diagrama de Cuerpo Libre del eje de transmisión, plano x-y.

[Fuente: Autores]

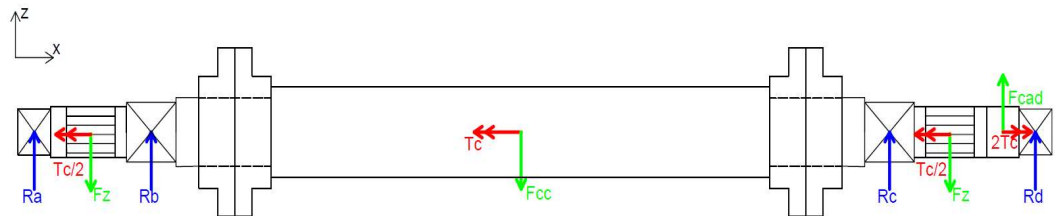


Figura 2.15 Diagrama de Cuerpo Libre del eje de transmisión, plano x-z.

[Fuente: Autores]

Dónde:

R_a , R_b , R_c , R_d : Reacciones sobre los soportes, dónde se encuentran los rodamientos, tanto en el plano x-y como en el plano x-z.

F_y : Fuerza ejercida por los engranes, en dirección y.

F_z : Fuerza ejercida por los engranes, en dirección z.

F_{ca} : Fuerza de corte producida por las cuchillas sobre la malla de acero.

F_{cc} : Fuerza de corte producida por las cuchillas sobre el caucho vulcanizado de los neumáticos.

F_{cad} : Fuerza radial producida por el sistema de transmisión de potencia.

W_c : Peso de las cuchillas acopladas en el eje.

W_s : Peso de los separadores acopladas en el eje.

W_e : Peso del engrane de transmisión.

Tc: Torque producido por las fuerzas de corte.

Observación: El torque “Tc/2” ejercido por los engranes sobre el eje es el momento necesario para que el eje paralelo produzca fuerzas de corte de la misma magnitud que en el eje motriz.

En el anexo A, se detalla el cálculo de las fuerzas involucradas en el análisis. En la tabla 2.6 se presentan las magnitudes de las fuerzas ejercidas sobre el eje.

Tabla 2.6 Fuerzas consideradas en el análisis del eje de trituración.

[Fuente: Autores]

Fuerzas consideradas en el Análisis	
Fuerza de corte, Acero (F_{ca})	8512 N
Fuerza de corte, Caucho (F_{cc})	1733 N
Fuerza Engrane en “y” (F_y)	6711 N
Fuerza Engrane en “z” (F_z)	2443 N
Fuerza de la Cadena (F_{cad})	6650 N
Peso de chuchillas (W_c)	1298 N
Peso de separadores (W_s)	280 N
Peso de engranes (W_e)	178 N

2.5.2.1 Torque producido por las fuerzas de corte

El torque que se produce por la acción de las fuerzas de corte en el proceso de trituración sobre un eje se calcula con la ecuación 2.4.

$$T_c = F_t r \quad (2.4)$$

Dónde:

F_t : Fuerza total de corte, producida por la suma de F_{ca} y F_{cc} (Ver anexos).

r : Radio de cuchilla

Reemplazando valores obtenemos:

$$T_c = 1536.75 \text{ Nm}$$

2.5.2.2 Potencia requerida

Para seleccionar el motorreductor primero se debe calcular la potencia necesaria para realizar el proceso de trituración, con el torque producido por ambos ejes a la velocidad de rotación designada. Mediante la ecuación 2.5 se calcula la potencia requerida.

$$Pot_{req} = 2T_c w \quad (2.5)$$

Dónde:

T_c : Torque producido por las fuerzas de corte en ambos ejes.

w : Velocidad angular de trabajo (40 rpm)

Reemplazando valores obtenemos:

$$Pot_{req} = 12.88 \text{ kW}$$

Para elegir el motorreductor, se debe tomar en cuenta la eficiencia de la transmisión por cadena, caja reductora y del motor, debido a esto se calcula que en conjunto se tiene una eficiencia del 87%. Por lo tanto, la potencia necesaria para el motor se muestra a continuación.

$$Pot_{motor} = 14.86 \text{ kW} = 19.9 \text{ HP}$$

2.5.2.3 Determinación de reacciones

Es necesario encontrar las reacciones en los soportes según las fuerzas aplicadas sobre el eje tanto en el plano x-y como el plano x-z. En la tabla 2.7 se muestra las reacciones en los soportes existentes en el eje motriz, donde se aplica la mayor cantidad de cargas.

Tabla 2.7 Reacciones en los soportes del eje motriz.

[Fuente: Autores]

Soporte	Ry (N)	Rz (N)	Resultante (N)
A	2215	-382	2248
B	-12359	3796	12929
C	8629	920	8678
D	5423	4367	6962

2.5.2.4 Diagrama de momentos

Se realiza el diagrama de momento flector para determinar el momento máximo que se ejerce sobre el eje de trituración crítico. A continuación, en las figuras 2.16 y 2.17, se muestra el diagrama de momento realizado para cada plano de acción.

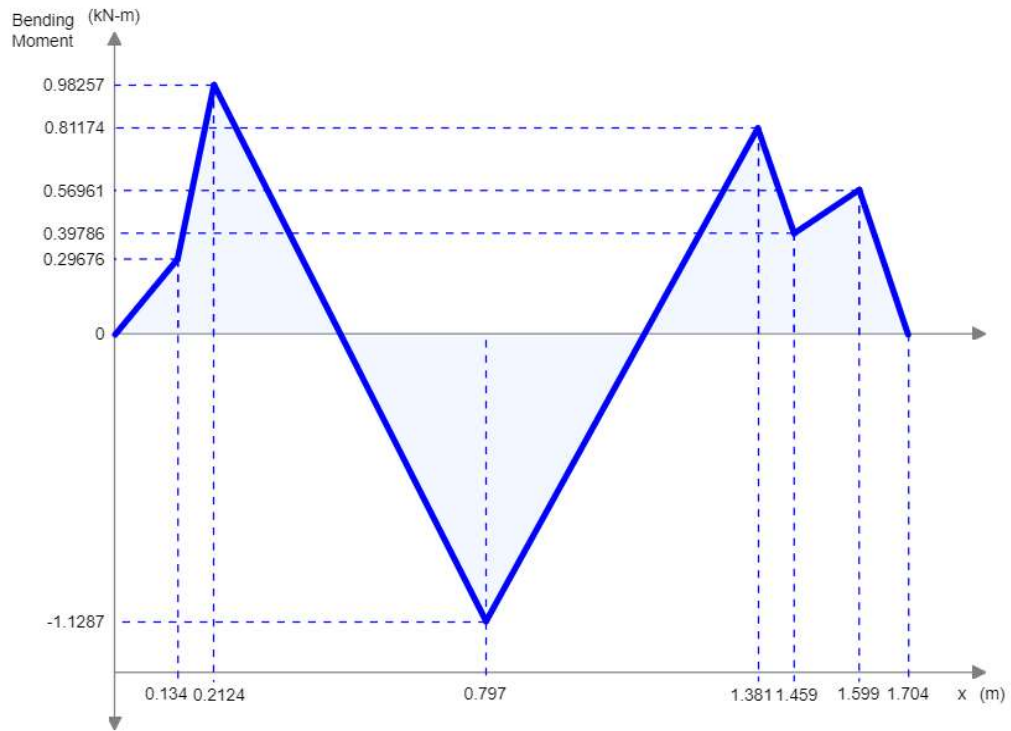


Figura 2.16 Diagrama de momento de flexión en el eje, plano x-y.
 [Fuente: Autores]

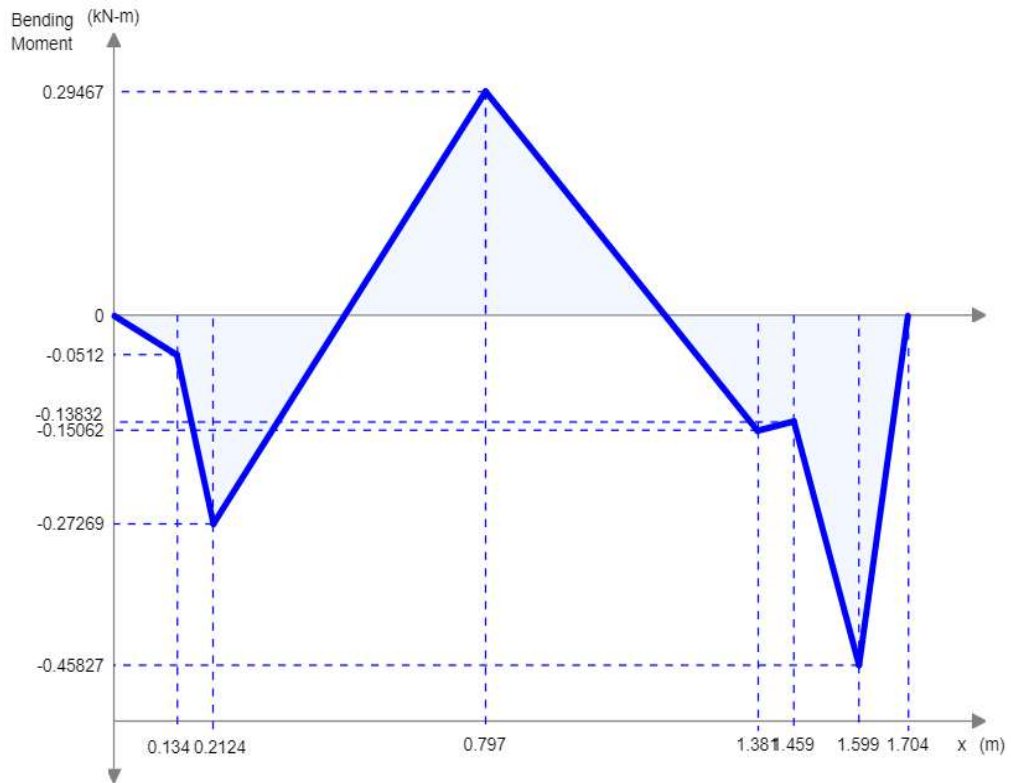


Figura 2.17 Diagrama de momento de flexión en el eje, plano x-z.
 [Fuente: Autores]

Se realiza la suma vectorial de momentos en ambos planos con la finalidad de encontrar el momento máximo aplicado sobre el eje, valor que se muestra a continuación.

$$M_{\max} = 1167 \text{ Nm}$$

2.5.2.5 Diseño Mecánico del Eje

En el caso de diseño, se tiene esfuerzos de flexión invertidos y torque constante ejercido sobre el eje, cuya magnitud se muestra a continuación.

$$T_m = 3074 \text{ Nm}$$

El material seleccionado para la fabricación del eje es acero AISI 1045, con las características necesarias para cumplir con las condiciones de trabajo. A continuación, se expone el esfuerzo de fluencia y último en tensión del material seleccionado.

$$S_y = 313.81 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 637.43 \text{ MPa}$$

Se estima el diámetro mínimo del eje en la sección crítica asumiendo condiciones conservadoras. Por lo tanto, es necesario calcular la resistencia a la fatiga del material (S_e) por medio de la ecuación 2.6. (Norton, 2011)

$$S_e = (C_C)(C_{temp})(C_{sup})(C_{con})(C_{tam})(0.5S_{ut}) \quad (2.6)$$

Dónde:

C_c : Factor de reducción por efectos de la Carga.

C_{temp} : Factor de reducción por efectos de la temperatura de trabajo.

C_{sup} : Factor de reducción por efectos del acabado superficial del mecanizado realizado.

C_{con} : Factor de reducción por efectos de la confiabilidad deseada en el diseño.

C_{tam} : Factor de reducción por efectos del tamaño del diámetro en la sección analizada.

S_{ut} : Esfuerzo último de tensión del material.

Según las condiciones presentadas en el eje, se aplica la fórmula de “ASME” para la estimación del diámetro mínimo, que se presenta a continuación en la ecuación 2.7.

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fs} \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (2.7)$$

Dónde:

N_f : Factor de seguridad asumido en el diseño.

K_f : Factor de concentración de esfuerzos dinámico para flexión.

K_{fs} : Factor de concentración de esfuerzos dinámico para torsión.

M_a : Momento flector aplicado en la sección de análisis.

T_m : Torque aplicado sobre el eje.

S_e : Resistencia a la fatiga del material en las condiciones de trabajo.

S_{ut} : Resistencia última de tensión del material.

Luego, se procede a analizar los puntos críticos del eje, como cambios de sección, ranuras y orificios, por medio de la utilización del criterio de Goodman. Este criterio se compone por las ecuaciones presentadas a continuación. (Budynas, 2008)

$$\sigma'_a = \frac{32k_f M_a}{\pi d^3} \quad (2.8)$$

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16k_{fs} T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.9)$$

$$\frac{1}{N_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}} \quad (2.10)$$

Dónde:

σ'_a : Esfuerzo amplitud debido a la flexión.

σ'_m : Esfuerzo medio debido a la flexión.

N_f : Factor de seguridad del diseño.

K_f : Factor de concentración de esfuerzos dinámico para flexión.

K_{fs} : Factor de concentración de esfuerzos dinámico para torsión.

M_a : Momento flector aplicado en la sección de análisis.

T_m : Torque aplicado sobre el eje.

Se: Resistencia a la fatiga del material en las condiciones de trabajo.
Sut: Resistencia última de tensión del material.

Los puntos críticos considerados en el análisis son los siguientes:

1. Cambio de sección, de sección transversal cuadrada de 75 mm a sección circular de 74 mm.
2. Chavetero para el acople rígido ubicado en la sección circular de 74 mm de diámetro, se utiliza dimensiones por catálogo y factores de esfuerzos dinámicos recomendados.
3. Cambio de sección, desde 74 mm hasta 65 mm de diámetro, con un redondeo de 2.1 mm.
4. Cambio de sección, desde 65 mm hasta 62 mm de diámetro.
5. Chaveteros para sprocket y piñón, en la sección circular de 62 mm, se utiliza dimensiones recomendadas en catalogo y factores de esfuerzos dinámicos recomendados.
6. Cambio de sección, desde 62 mm hasta 55 mm de diámetro, con un redondeo de 2 mm.

2.5.2.6 Diseño de chavetas

Se diseña las chavetas que ayudan a transmitir la potencia del eje a los acoples, engranes y a la rueda dentada. Para esto, se utiliza el catálogo de Cuñas y Cuñeros de "Intermec". El material designado para la cuña es AISI 1045, las propiedades mecánicas de este acero se muestran en la sección 2.5.2.5.

La fuerza que se ejerce sobre la cuña se puede estimar mediante la ecuación 2.11.

$$F = \frac{2T}{d} \quad (2.11)$$

Dónde:

F: Fuerza que se ejerce sobre la cuña.

T: Torque aplicado sobre la cuña.

d: Diámetro de la sección del eje dónde se coloca la cuña.

A continuación, se analiza falla por cortante en la chaveta, la cual tendrá las dimensiones recomendadas por catálogo, utilizando la ecuación 2.12.

$$\eta = \frac{bL S_{sy}}{F} \quad (2.12)$$

Dónde:

η : Factor de seguridad por cortante.

L: Longitud de la chaveta.

F: Fuerza aplicada sobre la chaveta.

b: Ancho de la chaveta. (Catálogo Intermec)

Ssy: Esfuerzo cortante del material. (0.577Sy)

Además, se analiza falla por aplastamiento por medio de la ecuación 2.13, dónde se estima el valor del factor de seguridad.

$$\eta = \frac{S_y}{\frac{2F}{hL}} \quad (2.13)$$

Dónde:

η : Factor de seguridad por aplastamiento.

Sy: Esfuerzo de fluencia del material de la cuña.

F: Fuerza aplicada sobre la cuña.

L: Longitud de la chaveta.

h: Altura de la cuña. (Catálogo Intermec).

2.5.2.7 Selección de Rodamiento

El factor principal por considerar para la selección de un rodamiento es la capacidad básica de carga dinámica, los fabricantes de rodamientos ofrecen catálogos con información de cómo calcular dicho factor. Se utilizó el catálogo del fabricante "NTN CAT". NO. 2202-VII/S. A continuación, se muestran las ecuaciones para el cálculo de la capacidad básica de carga en rodamientos de bolas y rodamientos de rodillos.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \quad (2.14)$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^{10/3} \quad (2.15)$$

Donde:

L₁₀: vida nominal básica 10⁶ revoluciones.

C: capacidad básica de carga dinámica.

P: carga dinámica equivalente.

La carga dinámica equivalente a considerar para el cálculo de la capacidad básica de carga será la reacción resultante de mayor magnitud entre los soportes, que tiene un valor de 12929 N.

Debido a que el sistema de trituración debe soportar cargas radiales muy elevadas el tipo de rodamiento recomendado es el de rodillos cilíndricos. (NTN corporation, 2004)

La vida nominal básica depende del tipo de aplicación de la maquinaria y el tiempo de utilización del equipo. Para nuestro caso de estudio se considera el siguiente valor.

$$L_{10} = 15 \times 10^3 \text{ h}$$

2.5.3 Diseño de Acople Rígido

Con la finalidad de que las cuchillas de trituración puedan ser desmontadas fácilmente se decide utilizar acople rígido para unir las partes que componen el eje de trituración. El material designado para la mecanización de este acople es AISI 4340, el cual posee las siguientes propiedades mecánicas.

$$S_y = 686.5 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 980.7 \text{ MPa}$$

El acople constará con una distribución de 8 pernos de grado 8.8 que ayudarán a la transmisión de potencia. Las propiedades mecánicas de este tipo de perno se muestran a continuación.

$$S_p = 600 \text{ Mpa}$$

$$S_y = 660 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 830 \text{ Mpa}$$

En las juntas empernadas del acople rígido se debe estudiar las fallas por tensión, cortante y aplastamiento, aparte de considerar falla por desgarre en el plato del acople.

Las ecuaciones a emplear se las presenta a continuación.

- **Falla por tensión o compresión en pernos**

$$\eta = \frac{0.25S_p A_t}{CF} \quad (2.16)$$

Donde:

η : Factor de seguridad en los pernos por esfuerzos axiales.

S_p : Esfuerzo de prueba del perno.

A_t : Área transversal del perno.

C : Constante de rigidez (0.14).

F_a : Fuerza axial aplicada.

- **Falla por cortante en cuerdas del perno**

$$\eta = \frac{0.577S_y \pi d_r w_i p}{F} \quad (2.17)$$

Donde:

η : Factor de seguridad en cuerdas del perno a cortante.

S_y : Esfuerzo de fluencia del perno.

d_r : Diámetro menor del perno.

w_i : Factor recomendado por normas "ISO"

p : Paso del perno.

F_a : Fuerza axial aplicada.

- **Falla por cortante en pernos**

$$\eta = \frac{0.577S_y}{\frac{4F}{\pi N d^2}} \quad (2.18)$$

Donde:

η : Factor de seguridad en los pernos por cortante.

S_y : Esfuerzo de fluencia del perno.

F_c : Fuerza aplicada sobre el perno.

N : Número de pernos en la junta.

d : Diámetro del perno.

- **Falla por aplastamiento en pernos**

$$\eta = \frac{S_y}{\frac{F}{edN}} \quad (2.19)$$

Donde:

η : Factor de seguridad en los pernos por aplastamiento.

S_y : Esfuerzo de fluencia del perno.

F_c : Fuerza cortante aplicada sobre el perno.

N : Número de pernos en la junta.

e : Espesor de la placa.

d : Diámetro del perno.

- **Falla por desgarre**

$$\eta = \frac{S_y}{\frac{F}{2Nea}} \quad (2.20)$$

Donde:

η : Factor de seguridad en la placa por desgarre.

S_y : Esfuerzo de fluencia del material de la junta.

F_c : Fuerza aplicada sobre la junta.

N : Número de pernos en la junta.

e : Espesor de la placa.

a : Separación del agujero del perno hasta el borde de la placa.

2.5.4 Diseño de cámara de trituración

Para el diseño de la cámara de trituración se procede a seleccionar placas de acero estructural, las cuales brindarán soporte a los rodamientos de los ejes. Para esto, se utiliza el catálogo de placas comerciales de acero ASTM A36 proporcionado por "DIPAC", con los siguientes esfuerzos de fluencia y último de tensión.

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$$

Además, se debe diseñar las juntas empernadas existentes en la cámara de trituración. Donde, se utilizarán pernos para unir las placas donde se alojan los rodamientos y para evitar que las planchas laterales tiendan a

separarse. Por lo tanto, se debe estudiar las fallas por tensión, cortante y aplastamiento en dichos elementos, aparte de considerar falla por desgarre en la placa de acero, las ecuaciones a utilizar se muestran en la sección 2.5.5.

Se utilizará pernos grado 8.8 para unir las placas que sostienen los rodamientos, cuyas propiedades mecánicas se muestran en la sección anterior, y se empleará pernos grado 5.8 para realizar las uniones de las planchas laterales de la cámara de trituración. Esta clase de pernos posee las siguientes características mecánicas.

$$S_p = 380 \text{ Mpa}$$

$$S_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$S_{ut} = 520 \text{ Mpa}$$

2.5.5 Diseño de Estructura de Soporte

El diseño de la estructura de soporte se basa en la selección de un perfil adecuado y su correcta disposición, con la finalidad de que brinde al sistema de trituración una base rígida que soporte las cargas y vibraciones producidas por el proceso. La estructura estará conformada por tubos cuadrados y tubos rectangulares, proporcionados por "IPAC", los cuales están fabricados con acero estructural ASTM A500, estos elementos se procederán a unir mediante soldadura, usando electrodos E7018. Las características mecánicas del material mencionado se presentan a continuación.

$$S_y = 317.15 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 400 \text{ MPa}$$

Se procede a analizar los miembros en flexión y compresión de la estructura.

2.5.5.1 Análisis Elementos en flexión.

Se analiza la sección crítica sometida a flexión, y se la representa como una viga simplemente apoyada con las fuerzas mostradas en las figuras 2.18 y 2.19. Los planos asumidos poseen el sistema de referencia utilizado en el diseño del eje de trituración.

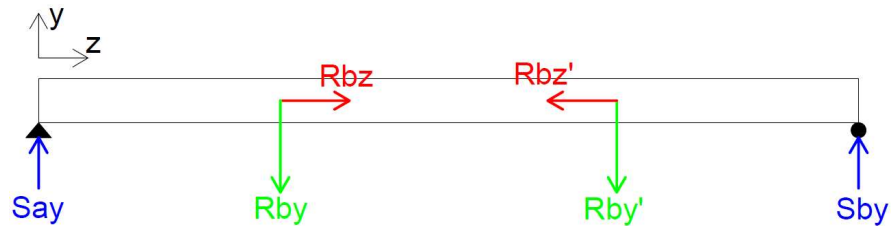


Figura 2.18 Diagrama de cuerpo libre del elemento sometido a flexión, plano y-z.

[Fuente: Autores]

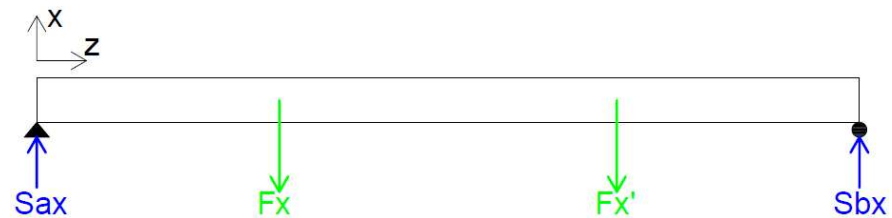


Figura 2.19 Diagrama de cuerpo libre del elemento sometido a flexión, plano x-z.

[Fuente: Autores]

Observación: se utiliza apóstrofe en la nomenclatura que represente fuerza producida por el eje conducido.

Dónde:

S_{ay}, S_{ax} : Son las reacciones presentes en la viga a causa de las fuerzas aplicadas, en el soporte A de la misma.

S_{by}, S_{bx} : Son las reacciones presentes en la viga a causa de las fuerzas aplicadas, en el soporte B de la misma.

R_{bz}, R_{bz}' : Son las fuerzas provocadas por los soportes de los ejes de trituración en dirección z.

R_{by}, R_{by}' : Son las fuerzas provocadas por los soportes de los ejes de trituración en dirección y.

F_x , F_x' : Son las fuerzas producidas por los momentos existentes (en el plano xy) en los soportes de los ejes de trituración.

Se realiza el diagrama de momento flector para cada plano analizado, con la finalidad de encontrar el momento de flexión máximo sometido en la viga. Ver figuras 2.20 y 2.21.

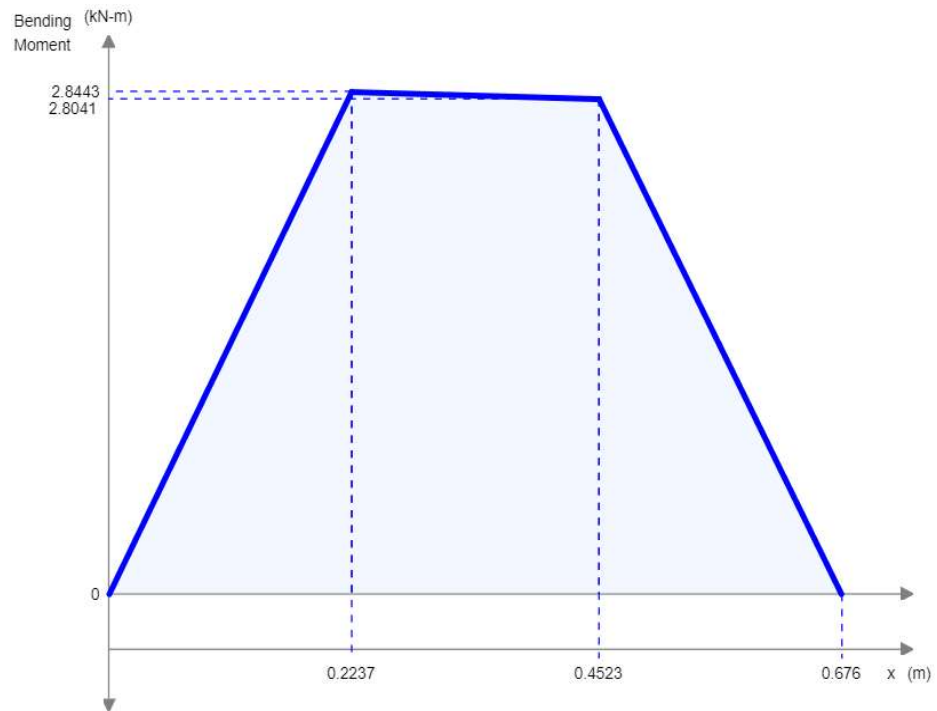


Figura 2.20 Diagrama de momento del elemento sometido a flexión, plano y-z.

[Fuente: Autores]

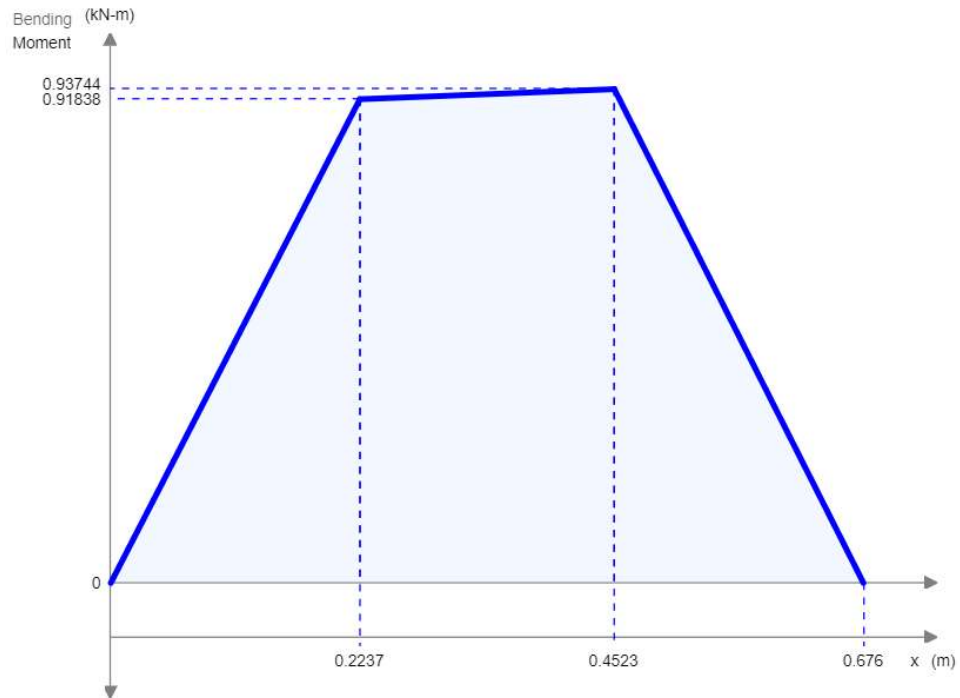


Figura 2.21 Diagrama de momento del elemento sometido a flexión, plano X-Z.

[Fuente: Autores]

Por lo tanto, el momento de flexión máximo sometido en la viga es:

$$M_{\max} = 2989 \text{ Nm}$$

Se utiliza los datos proporcionados por el catálogo de “Ipac” para tubos estructurales rectangulares, y se procede a verificar que el módulo de sección del perfil seleccionado es el adecuado, por medio del cálculo del factor de seguridad, utilizando la ecuación 2.21.

$$\eta = \frac{S_y w}{M_{\max}} \tag{2.21}$$

Dónde:

η : Factor de seguridad deseado.

w: Módulo de sección del viga.

S_y : Esfuerzo de fluencia del material.

M_{\max} : Momento flector máximo aplicado en la viga.

2.5.5.2 Análisis de elementos en compresión

Previamente a realizar el análisis en compresión, se debe estimar la esbeltez de los elementos estructurales utilizando las ecuaciones 2.22 y 2.23.

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (2.22)$$

$$S_r = \frac{n_a L}{k} \quad (2.23)$$

Dónde:

S_r : Razón de esbeltez.

L: Longitud de la columna.

n_a : Factor recomendado por AISC para el tipo de columna.

k: Radio de giro.

I: Inercia de la columna.

A: Área transversal de la columna.

Si la razón de esbeltez es menor a 10, el elemento solo falla por compresión, pero si este valor es mayor a 10, además del análisis de compresión se debe considerar falla por pandeo.

- **Falla por Compresión**

Para analizar falla por compresión se procede a calcular el factor de seguridad debido a la carga aplicada sobre la columna.

$$\eta = \frac{S_y A}{F} \quad (2.24)$$

Dónde:

η : Factor de seguridad.

S_y : Esfuerzo de fluencia del material.

A: Área transversal de la columna.

F: Fuerza aplicada de forma concéntrica.

- **Falla por Pandeo**

El pandeo sucede cuando se presenta una fuerza crítica ejercida sobre la columna, la cual se estima por medio de la fórmula de Euler, presentada en la ecuación 2.25.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (2.25)$$

Dónde:

P_{cr} : Carga crítica por pandeo.

E: Módulo de Young del material (20x10¹⁰ Pa)

I: Inercia de la columna.

L: Longitud de la columna.

Para culminar el análisis, se debe evaluar que la carga aplicada no sea mayor que la fuerza permisible sobre la columna, que se calcula mediante la ecuación 2.26.

$$P_p = \frac{P_c}{SF} \quad (2.26)$$

Dónde:

P_p : Carga permisible.

P_c : Carga crítica.

SF: Factor de seguridad recomendado por Norton. (Norton, 2011)

2.5.6 Análisis de Vibración

Es importante considerar las vibraciones y analizar si la estructura es lo suficientemente rígida para que no se presenten problemas en el sistema. Para determinar si el equipo no presenta problemas de vibración por su cimentación, hay que comprobar que la frecuencia natural de la estructura no se encuentre en resonancia con la velocidad de operación del equipo. Las normas ASME aconsejan que, para evitar grandes oscilaciones y problemas vibratorios en el equipo, la frecuencia natural debe ser 20 veces mayor a la frecuencia de operación del sistema.

A continuación, se procede a modelar la estructura a un sistema masa-resorte, para estimar la frecuencia natural.

Asumiendo deflexión estática en la posición de equilibrio y aplicando leyes de Newton se obtiene que:

$$m\ddot{x} + kx = 0$$

Dónde:

m: Masa del sistema.

k: Coeficiente de restitución del sistema. Rigidez de la estructura de soporte.

Por lo tanto, la frecuencia natural se la calcula con la siguiente ecuación.

$$w_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{g}{\delta}} \quad (2.27)$$

Dónde:

m: Masa del sistema.

k: Rigidez de estructura de soporte.

g: Constante gravitacional.

δ : Deformación estática máxima del sistema.

2.6 Simulación Computacional

Con la finalidad de comprobar la autenticidad de los valores teóricos a obtener del diseño del eje de transmisión y de la estructura de soporte se realizó un análisis mediante el software de elementos finitos ANSYS MECHANICAL 19.1 en su versión estudiantil, importando un archivo de extensión “.step” con la geometría del elemento correspondiente a simular. Para obtener una simulación confiable se recomienda emplear una calidad de mallado mayor a 0.8, de esta manera disminuye el porcentaje de error a menos del 15 %.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En esta sección se detalla los resultados obtenidos para cada uno de los elementos diseñados de la trituradora conforme a las ecuaciones mostradas en el capítulo anterior. La resolución detallada de los cálculos se encuentra adjunta en el Anexo A. Además, se especifican los costos inherentes al diseño y construcción del sistema de trituración.

3.1 Resultados de diseño

3.1.1 Resultados del diseño de cuchillas

Para el diseño de las cuchillas de trituración se utilizó el método de elementos finitos, con el objetivo de comprobar los resultados obtenidos por medio de métodos analíticos.

Por medio del método analítico, adjunto en el Anexo A.1, se obtiene que el factor de seguridad en la base de los dientes de las cuchillas bajo la carga de operación es alrededor de 13. Mientras que la deformación presente en los dientes es de 0.00318 mm.

Por otro lado, en la figura 3.1 se puede observar la distribución de cargas sobre el inserto, perno de sujeción y diente de la cuchilla que fue considerada para el análisis.

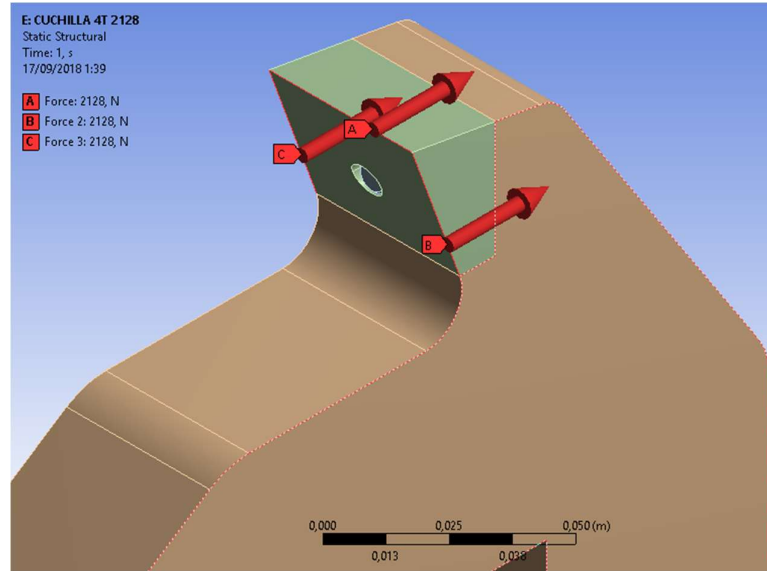


Figura 3.1 Cargas aplicadas a la simulación de las cuchillas.
 [Fuente: Autores]

En la figura 3.2 se muestran los resultados del método de elementos finitos para la distribución del factor de seguridad en los dientes de la cuchilla, presentando un valor mínimo de 8. En el resto del cuerpo analizado se distingue la distribución de color azul de forma uniforme, indicando que el factor de seguridad en estas zonas es igual o mayor a 15.

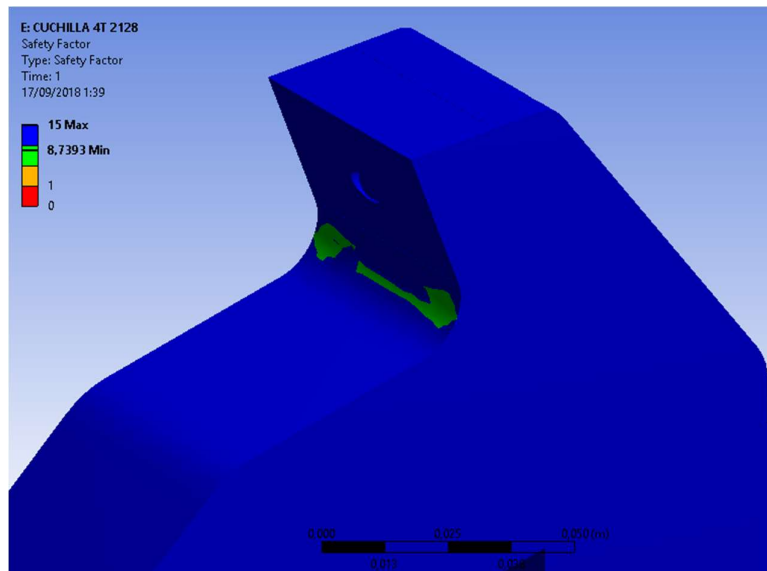


Figura 3.2. Factor de seguridad de las cuchillas.
 [Fuente: Autores]

En la figura 3.3 se observa que la deformación máxima total presente en la cuchilla (0.037 mm). Cabe recalcar que esta deformación se presenta en el extremo del diente, en el filo de corte, sobre el cual se aplica la fuerza máxima. Estos valores de factor de seguridad y deformación difieren del método analítico puesto que en los cálculos se asume al diente como una viga empotrada de sección constante.

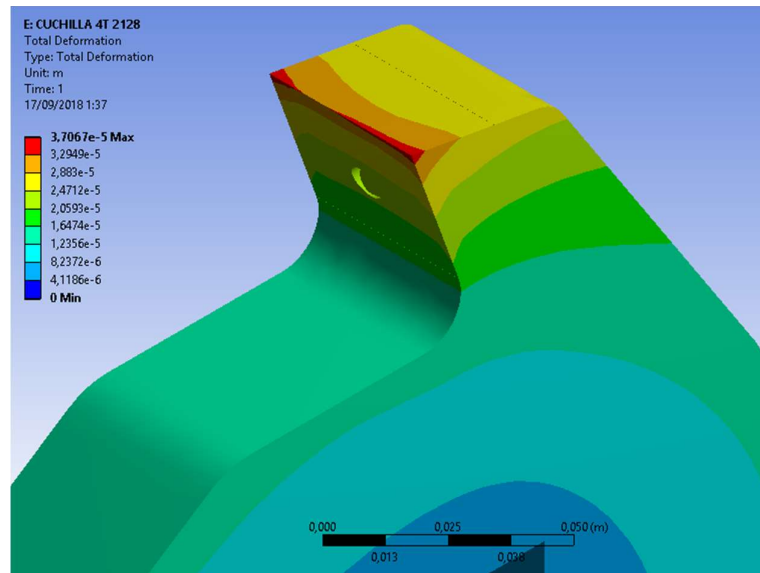


Figura 3.3 Deformación total de las cuchillas.

[Fuente: Autores]

Para la fabricación del cuerpo de las cuchillas se utilizará Acero ASTM A36, con insertos de Acero AISI D2 en el extremo del diente, como se describe en el capítulo anterior. Además, es necesario indicar que se debe realizar un tratamiento térmico a los insertos con el fin de lograr que la dureza superficial del material alcance como mínimo 55 HRC, evitando de este modo el excesivo desgaste durante el proceso de trituración.

Esta disposición de cuchillas con insertos permite que el desgaste se focalice únicamente en la sección que realiza el corte, mientras que el cuerpo de la cuchilla no se ve afectado, facilitando de esta forma el intercambio y rectificado para la obtención del filo de corte necesario sin tener que rebajar material en el cuerpo de la cuchilla. Este diseño de cuchilla permite realizar una estimación experimental del desgaste por

tiempo de operación, puesto que, al poder extraer los dientes de cuchillas, se hace posible calcular la pérdida de masa por tiempo de operación. Además, esta disposición permite que el costo de fabricación de las cuchillas reduzca un 58%, en comparación a manufacturar sin insertos, complementemente constituidas de acero AISI D2.

3.1.2 Selección de engranes

La selección de los engranes de transmisión de potencia entre los ejes de trituración se realizó utilizando el Manual de Martin. Los cálculos y consideraciones efectuadas para la selección se presentan en el Anexo A.3, además se presentan los cálculos del respectivo diseño de cuña para los engranes en el Anexo A.7. Las características del engrane se exponen en la tabla 3.1, mientras que las demás especificaciones técnicas se detallan en el Anexo D junto a los demás catálogos. Se utiliza AISI 4340 para la mecanización de los engranes.

Tabla 3.1 Características de engrane seleccionado.

[Fuente: Catálogo de Martin]

Engrane recto de acero	
Número de parte	TS654
Diámetro de paso (in)	9
Número de dientes	54
Cara (in)	2
Ángulo de Presión	20°
Peso (lb)	40.4

3.1.3 Selección del sistema de transmisión de potencia

Con la finalidad de que el tamaño del sprocket conducido (se encuentra en el eje) tenga las menores dimensiones posibles y el sprocket conductor (se encuentra en el motor) satisfaga la capacidad de transmisión, se decide que la relación de velocidad en la configuración sea 1:1. Por lo tanto, el sistema de transmisión de potencia tiene como función disminuir las vibraciones procedentes del motor, en comparación a la utilización de un

acople rígido. Los cálculos y consideraciones realizadas se presentan en el Anexo A.4, además se presentan los cálculos del respectivo diseño de chaveta para el sprocket en el Anexo A.7. Las características de los sprockets y cadena se presentan en las tablas 3.2 y 3.3. De igual modo, las demás especificaciones técnicas se exponen en el Anexo D contiguo a los demás catálogos.

Tabla 3.2 Características de sprocket seleccionado.

[Fuente: Catálogo de Martin]

Sprockets de Acero	
Número de parte	160B16
Número de dientes	16
Diámetro Exterior (in)	11.26
Paso (in)	2
Peso (lb)	49

Tabla 3.3 Características de cadena seleccionada.

[Fuente: Cadenas de rodillo de acero e inoxidable, TransLink]

Cadena de Acero	
Número de parte	160-2
Paso (in)	2
Ancho de rodillo (mm)	31.55
Diámetro de rodillo (mm)	28.58
Longitud (m)	2.02
Peso (kg)	40.68

3.1.4 Selección del motorreductor

Se seleccionó el motorreductor adecuado, tomando en consideración el cumplimiento de las condiciones presentadas en el capítulo anterior y la existencia en el mercado local. Se seleccionó un motor de 20 HP marca “Baldor-Reliance” de 4 polos, modelo VEM2334T con un armazón tipo 256TC. Además, se eligió un reductor “Dodge” con relación de velocidad de 42.59, modelo ILH HB 148. Las especificaciones técnicas detalladas del conjunto motorreductor se muestran en el Anexo D.

3.1.5 Resultados del diseño del eje

Cada eje de trituración consta de tres partes unidas por acoples rígidos para brindar de esta forma facilidad al momento de realizar el cambio de cuchillas de trituración.

Para el diseño del eje se aplicó el método de elementos finitos, con la finalidad de corroborar los resultados obtenidos por medio de métodos analíticos. Aplicando la ecuación 2.7 se calculó el diámetro mínimo en la sección crítica, obteniendo un valor de 65mm. Así mismo, aplicando las ecuaciones 2.8, 2.9 y 2.10, se calculó el factor de seguridad para cada concentrador de esfuerzo en los ejes de trituración, obteniendo valores por encima de la unidad para cada uno de los casos. (Ver Anexo A.6)

En cuanto a la simulación realizada, en la figura 3.4 se muestra la distribución de cargas y momentos sobre el eje motriz que es considerada para el análisis.

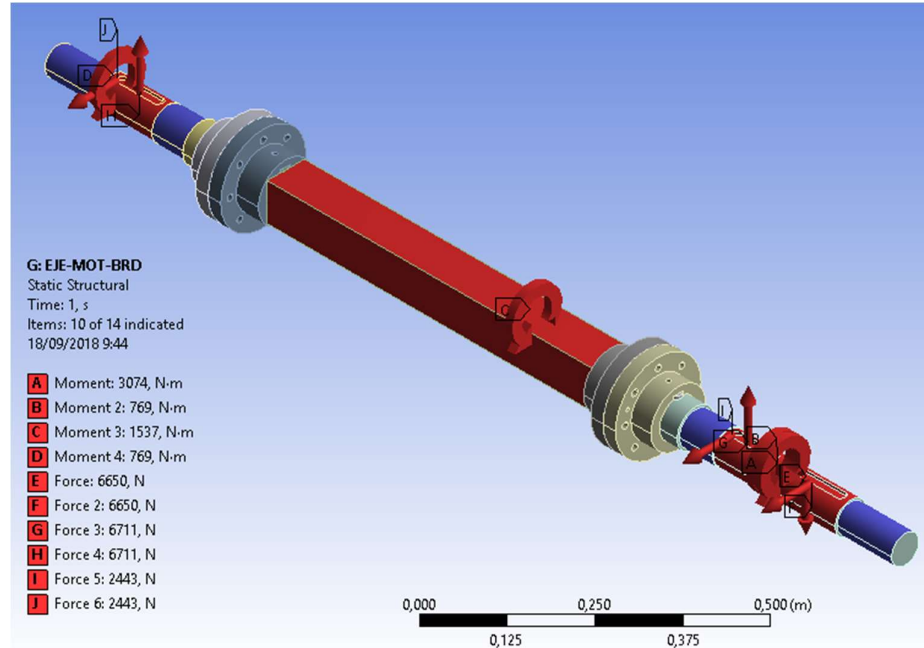


Figura 3.4 Cargas aplicadas a la simulación del eje motriz.

[Fuente: Autores]

En la figura 3.5 se observa que el factor de seguridad mínimo existente en el eje es de 3.73 (color naranja) y se localiza en el cambio de sección desde el diámetro dónde se ubica el rodamiento (65mm) hasta el diámetro dónde van ensamblados el piñón y el sprocket. El resto del elemento posee color azul de forma uniforme, lo que representa un factor de seguridad mayor o igual a 15. Además, se puede exponer que, mediante el método analítico como el método de elementos finitos, el punto crítico del eje motriz estará ubicado en los chaveteros que soportan las cargas del sistema de transmisión de potencia. La simulación se realizó con las bridas ensambladas, por lo tanto, se puede comprobar el correcto diseño del acople rígido utilizado.

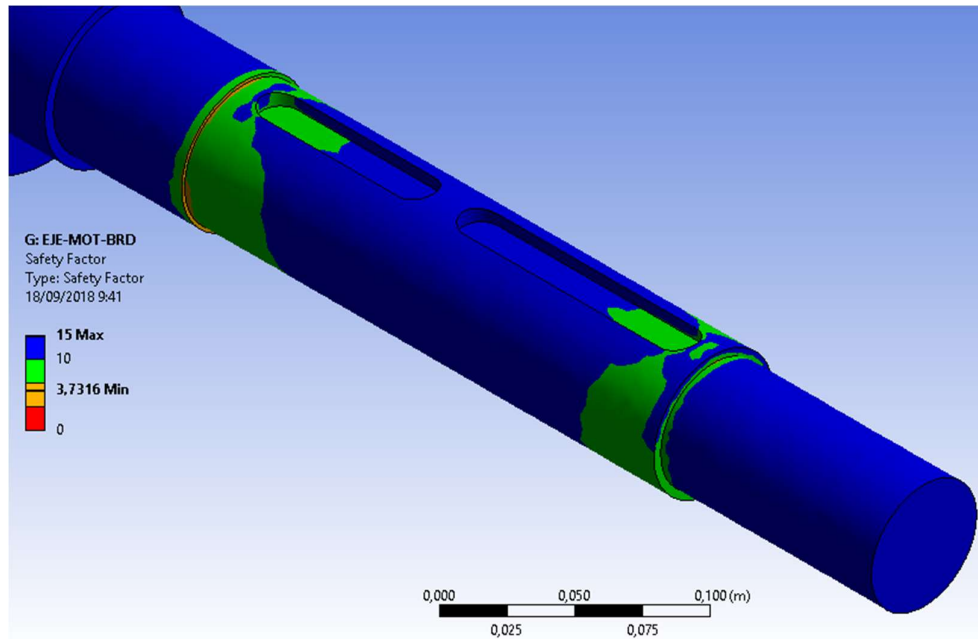


Figura 3.5 Factor de Seguridad a fatiga del eje motriz.

[Fuente: Autores]

En la figura 3.6 se observa que en la sección cuadrada del eje se presenta la deformación máxima cuyo valor es de 0.03 mm (color rojo), debido a que en esta región se aplican las fuerzas de corte del proceso de trituración. También se puede observar que existe deformación en la sección donde se ubica el sprocket, con un valor de 0.01 mm.

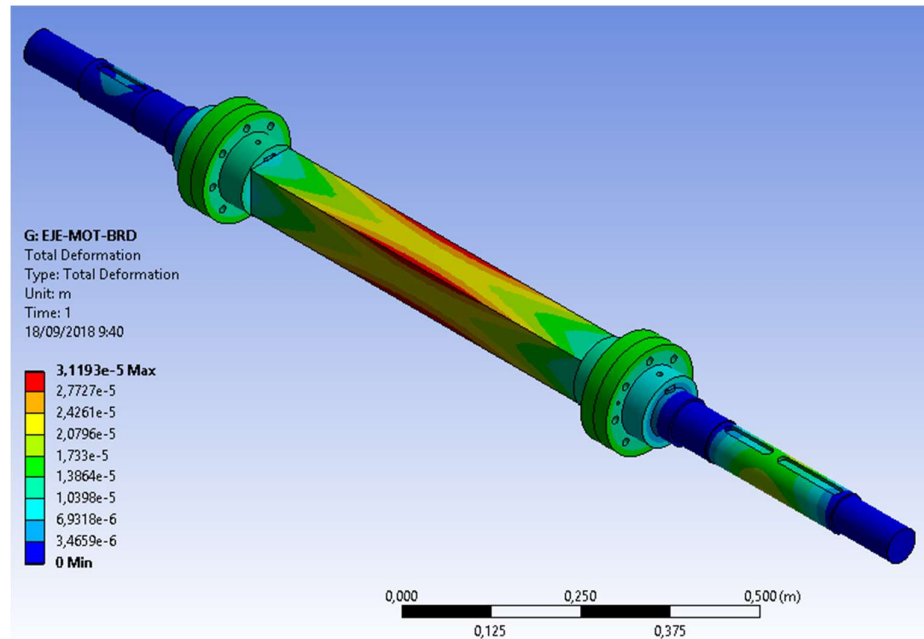


Figura 3.6 Deformación total del eje.

[Fuente: Autores]

En la figura 3.7 se muestra la distribución de los esfuerzos Von Mises, se puede observar que el esfuerzo máximo presente en el eje es de 74.49 MPa ubicado en el cambio de sección dónde se acoplan los elementos de transmisión de potencia.

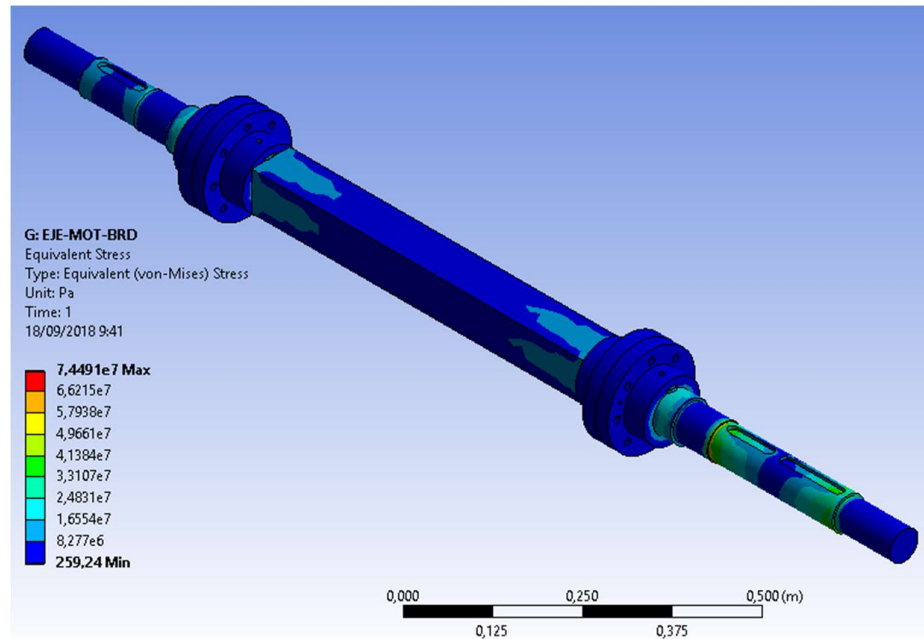


Figura 3.7 Esfuerzo de Von Mises en el eje.

[Fuente: Autores]

3.1.6 Selección de rodamientos

Con el propósito de cumplir con la capacidad de carga dinámica encontrada en el Anexo A.8 y mantener las dimensiones del diseño presente en el sistema, se decide utilizar rodamientos de rodillos cilíndricos que se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Rodamientos Seleccionados.

[Fuente: NTN Corporation, 2004]

Código	NU2313E	21311 D1C3
Capacidad de Carga [kN]	248	145
Diámetro del eje [mm]	65	55
Diámetro exterior [mm]	140	120
Ancho [mm]	48	43
Dimensión de redondeo [mm]	2,1	2

Se hace necesario mencionar que los rodamientos de la cámara de trituración se encuentran alojados en el interior de una placa de acero ASTM A36 de 48 mm de espesor, mientras que dos placas de 15 mm del mismo material lo mantienen fijo. Los rodamientos de 55 mm de diámetro

interior se encuentran colocados en chumaceras de piso. De acuerdo al fabricante NTN y siguiendo las dimensiones del rodamiento se debe seleccionar la chumacera respectiva (Ver tabla 3.5). Las especificaciones técnicas tanto del rodamiento como de la chumacera se adjuntan en el Anexo D.

Tabla 3.5 Chumacera Seleccionada

[Fuente: NTN Corporation, 2019]

Código	SNL513-611
Diámetro del eje [mm]	55
Longitud total [mm]	219
Distancia entre pernos [mm]	171
Ancho total [mm]	60

3.1.7 Resultados del diseño de cámara de trituración

En el diseño de la cámara de trituración se utilizó métodos analíticos para seleccionar pernos y comprobar que el material base de las juntas empernadas soporte las cargas involucradas. Además, se aplicó el método de elementos finitos para analizar el comportamiento de las placas de acero sometidas a fuerzas y momentos del proceso de trituración. Dentro de las variables analizadas están: factor de seguridad y deformación máxima.

Por medio del método analítico se selecciona: pernos grado 5.8 para realizar las uniones de entre las placas frontales y las planchas paralelas; y pernos grado 8.8 para mantener unidas las placas donde se alojan los rodamientos de la cámara de trituración. Además, se decide utilizar placas de acero A36 para la construcción de la cámara de trituración. Los cálculos realizados se muestran en el Anexo A.9.

Por otro lado, las fuerzas y momentos considerados en el análisis de elementos finitos se muestran en la figura 3.8.

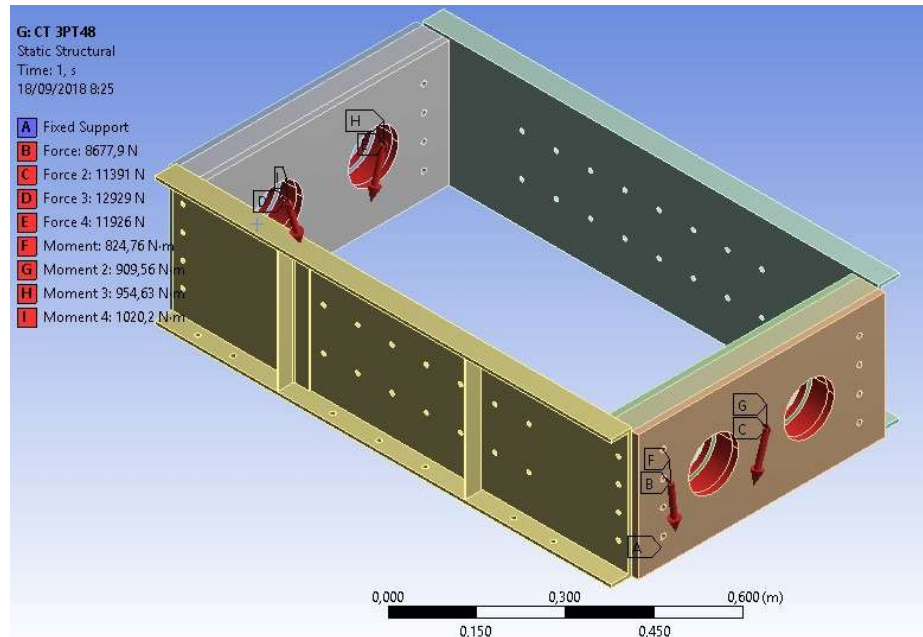


Figura 3.8 Cargas aplicadas a la simulación de la cámara de trituración.

[Fuente: Autores]

En la figura 3.9 se expone la distribución de factores de seguridad presente en la cámara de trituración, presentando un valor mínimo a fatiga de 12, esto se debe a lo robusta que son las placas donde se alojan los apoyos de los árboles de trituración.

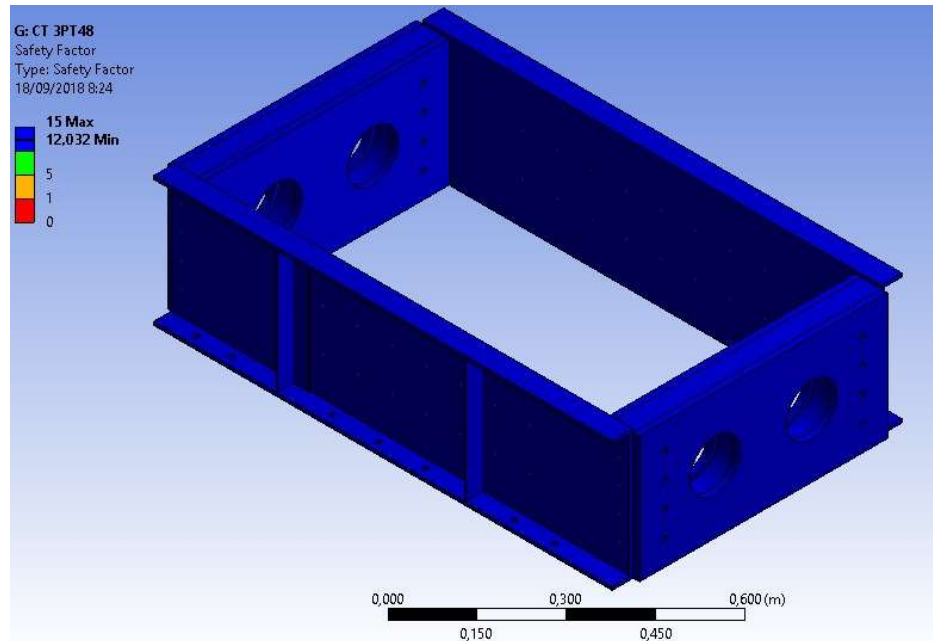


Figura 3.9 Factor de seguridad a fatiga de la cámara de trituración.

[Fuente: Autores]

En la figura 3.10 se observa que la deformación estática máxima es de 0.015 mm y se encuentra en las placas dónde se alojan los rodamientos, específicamente en la placa opuesta al sistema de transmisión de potencia.

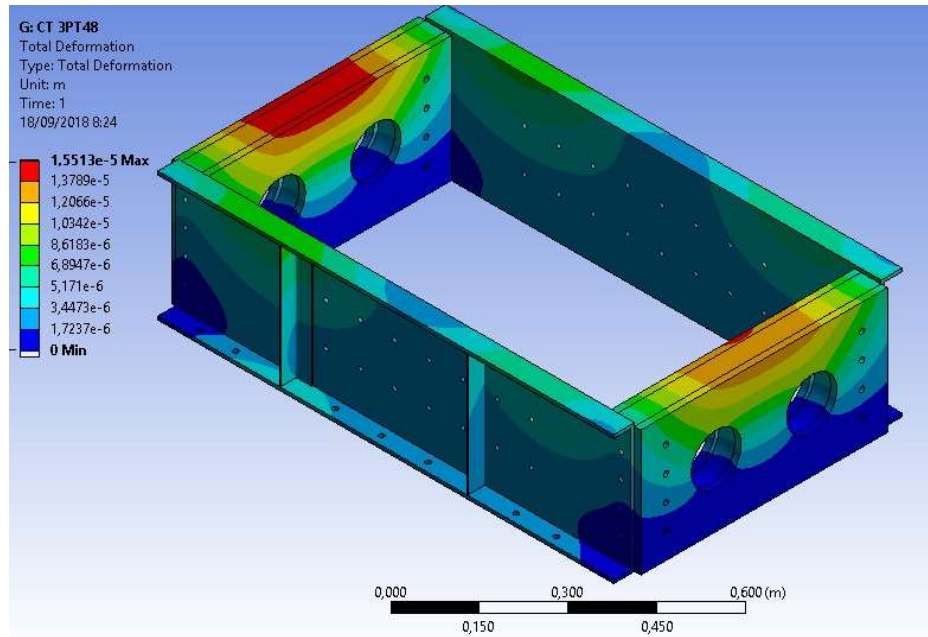


Figura 3.10 Deformación total de la cámara de trituración.

[Fuente: Autores]

En la tabla 3.6 se presentan los elementos que se deberán utilizar para la construcción de la cámara de trituración. Las especificaciones técnicas detalladas de los componentes se muestran en el Anexo D junto al resto de catálogos.

Tabla 3.6 Elementos para cámara de trituración.

[Fuente: Autores]

Elementos para Cámara de Trituración		
Elemento	Especificación	Observación
Perno M12x90	Grado 8.8	Se debe utilizar tuercas y arandelas a medida.
Perno M10x30	Grado 5.8	Se debe utilizar tuercas y arandelas a medida.
Placa	Acero A36	Placas de 48 mm, 15 mm y 8mm

3.1.8 Resultados del diseño de estructura de soporte

Para el diseño de la estructura de soporte se utilizó el método analítico con la finalidad de validar que los perfiles estructurales seleccionados satisfagan con las cargas aplicadas. Los cálculos realizados se encuentran en el Anexo A.10. Así mismo, se utilizó el método de elementos finitos para poder describir el comportamiento de la estructura de soporte definida y comprobar la capacidad del perfil elegido bajo las condiciones de operación del equipo.

La elección de la tubería estructural se realizó bajo dos criterios de selección: el módulo de sección del perfil debe ser el adecuado para las cargas aplicadas, y la geometría de la tubería debe permitir el ensamble de los componentes del equipo. En la tabla 3.7 se muestra las características del perfil seleccionado.

Tabla 3.7 Características del perfil seleccionado.

[Fuente: IPAC]

Tubería Estructural Rectangular	
Dimensiones (mm)	75x125
Espesor (mm)	5
Inercia X-X (cm ⁴)	372.77
Módulo de Sección X-X (cm ³)	59.64
Inercia Y-Y (cm ⁴)	167.93
Módulo de Sección Y-Y (cm ³)	44.78
Peso (kg/m)	11.73

De igual modo, se aplican las ecuaciones 2.25 y 2.26, con la finalidad de analizar los elementos verticales que se apoyan a la cimentación sometidos a fuerzas axiales. Se comprueba que dichos componentes, de 63 cm de altura, no presentan fallas por pandeo o por esfuerzo axial.

Por medio de la utilización del método de elementos finitos se puede analizar el comportamiento de los perfiles de una forma más real, ya que dentro de la simulación se considera: esfuerzos axiales, cortantes y de contacto entre las partes de la estructura.

En la figura 3.11 se muestra la distribución de cargas producidas por los soportes de los ejes de trituración, consideradas para la simulación de la estructura de soporte.

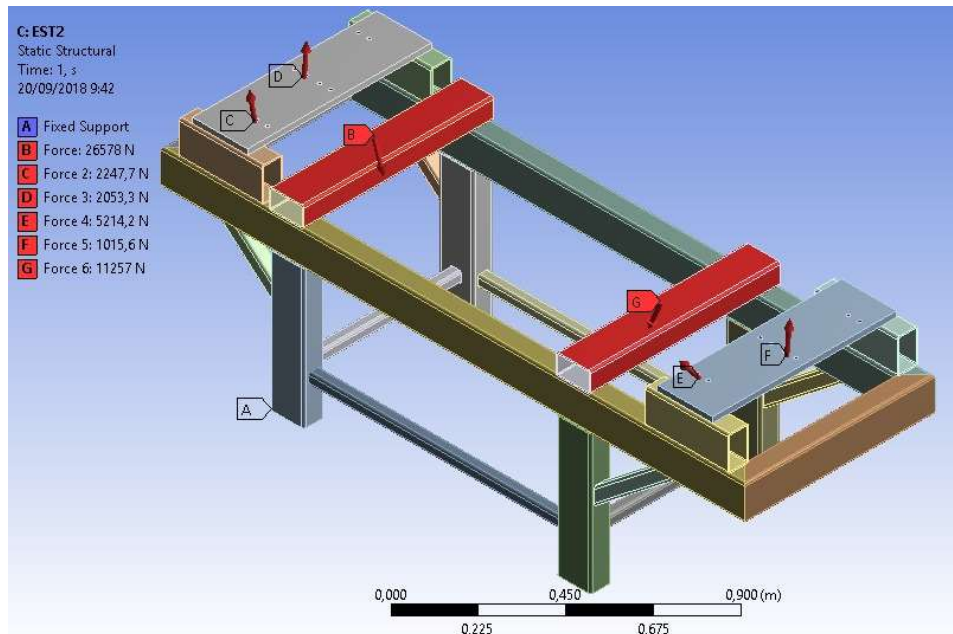


Figura 3.11 Cargas aplicadas a la simulación de la estructura de soporte.

[Fuente: Autores]

En la figura 3.12, se puede observar que el factor de seguridad mínimo en la estructura de soporte es de 1.42, ubicado en el punto de contacto del elemento transversal y las columnas de apoyo, en el soporte del eje que presenta mayores cargas. Cabe recalcar que el valor de factor de seguridad presente se debe a esfuerzos de contacto que se concentran en dicho punto de la estructura. Mientras que los factores de seguridad de los elementos sometidos a flexión y compresión son elevados. Se tiene un valor mínimo aproximado en los elementos sometidos a flexión de 5, mientras que para los elementos sometidos a compresión los factores de seguridad son mayores o iguales a 15.

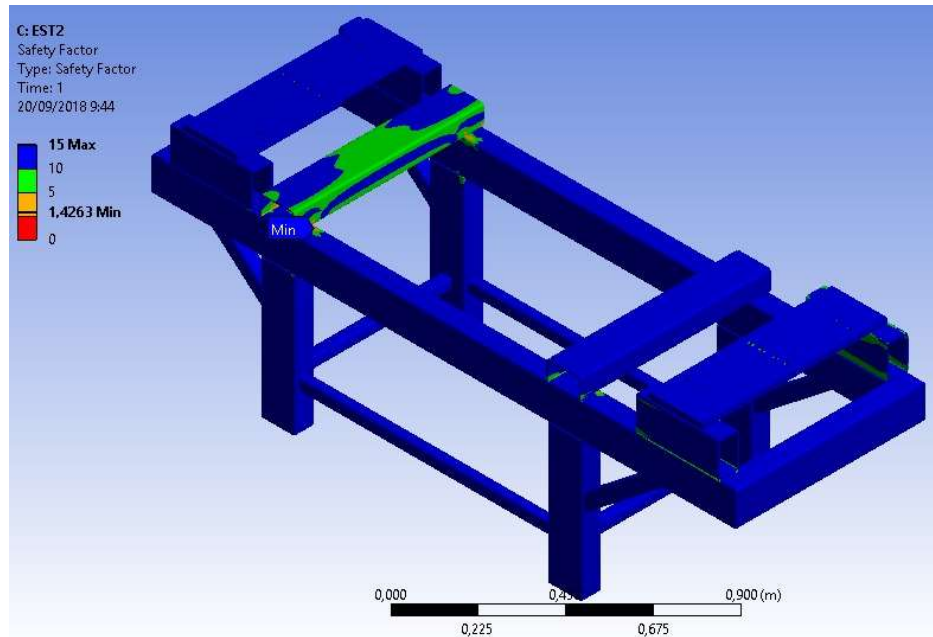


Figura 3.12 Factor de seguridad de la estructura de soporte.

[Fuente: Autores]

En la figura 3.13 se observa que el esfuerzo máximo de Von Mises se encuentra en el punto de contacto previamente analizado, alcanzando un valor de 175.2 MPa, debido a la presencia de esfuerzos axiales, cortantes y de contacto combinados en dicho punto de la estructura.

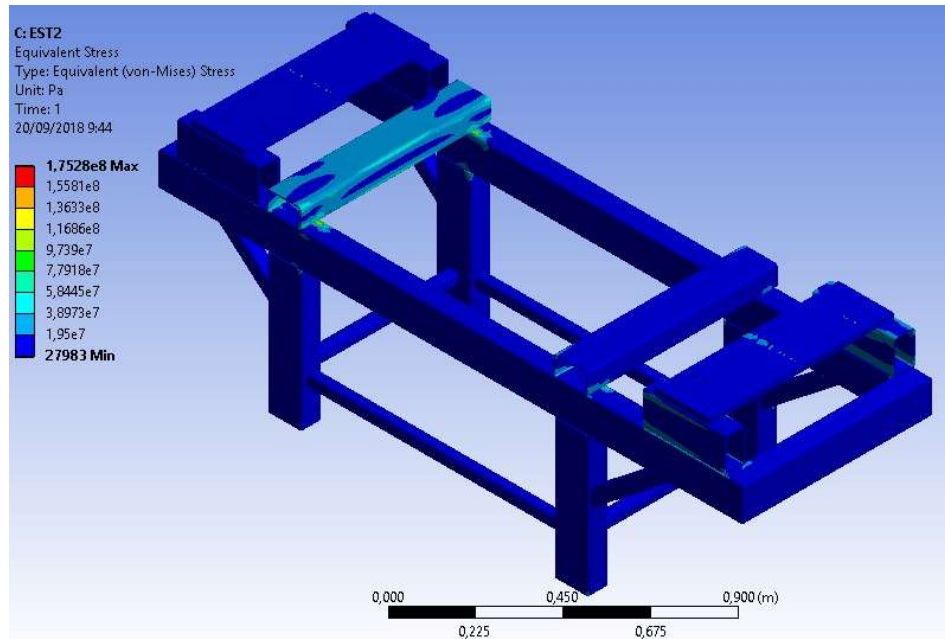


Figura 3.13 Esfuerzo de Von Mises en la estructura de soporte.

[Fuente: Autores]

En la figura 3.14 se puede apreciar que la deformación total máxima de la estructura de soporte es de 0.6 mm en la plancha donde se ubican las chumaceras de piso con mayores reacciones. La deformación presente tiene valores inferiores que la deformación máxima permisible.

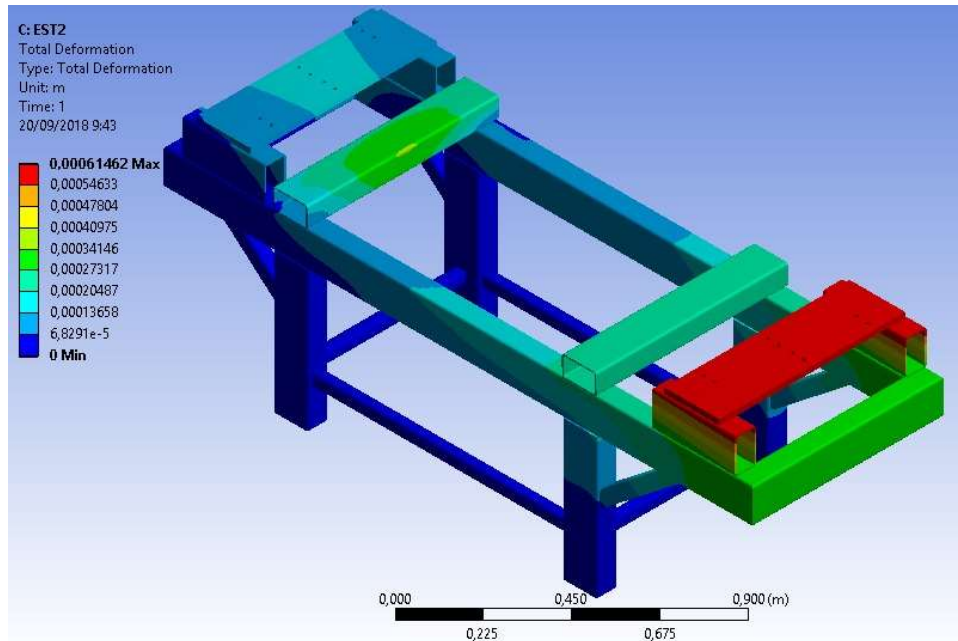


Figura 3.14 Deformación total de la estructura de soporte.

[Fuente: Autores]

3.1.9 Análisis de vibración

Como se mencionó en el capítulo anterior la relación que recomienda “ASME” entre la frecuencia natural del sistema y la velocidad de operación para que no exista problemas de vibración significativos debe ser mayor a 20. Por consiguiente, se procede a calcular la frecuencia natural de la cámara de trituración y de la estructura de soporte, y poder relacionarla con la velocidad de operación. La relación existente para la cámara de trituración es de 192, mientras que el valor para la estructura de soporte es de 30, cumpliendo en ambos casos la norma. Los cálculos realizados se muestran en el Anexo A.11.

3.1.10 Procedimiento para el desmontaje de cuchillas

El procedimiento a realizar en cada cambio de cuchilla se lo describe brevemente en los siguientes pasos:

1. Verificar que la fuente de poder del equipo se encuentre desconectada.
2. Retirar las tolvas superior e inferior.

3. Retirar las paredes laterales de la cámara de trituración, junto a las cuchillas de pared.
4. Sostener el eje motriz, se recomienda la utilización de un tecle por el peso significativo que representan los ejes de trituración.
5. Asegurarse que el eje motriz se encuentra correctamente sujeto, y retirar los pernos de los acoples rígidos.
6. Retirar el prisionero de los acoples hembras.
7. Utilizar los pernos colocados en la brida hembra para facilitar la separación entre los acoples hembra y macho.
8. Desplazar las bridas hembras hacia las placas frontales en dirección axial.
9. Con la ayuda del tecle, retirar el eje motriz hacia afuera de la cámara de trituración. No se recomienda realizar la extracción el eje motriz en dirección vertical.
10. Colocar la sección extraída del eje motriz en el lugar designado para el cambio de cuchillas.
11. Una vez que el eje se encuentre fuera de la cámara de trituración, proceder a retirar el prisionero del acople macho en los extremos de la sección retirada del eje motriz.
12. Retirar el acople macho.
13. Retirar separadores y cuchillas para el intercambio de las mismas, tener en cuenta el orden de colocación de las cuchillas.
14. Realizar los pasos mencionados para el eje conducido.

Por otro lado, el procedimiento de montaje de los ejes una vez que las cuchillas hayan sido intercambiadas se expone a continuación:

1. Colocar los separadores y cuchillas de la sección del eje extraído, colocando en el orden adecuado.
2. Colocar los acoples machos a la sección extraída del eje, con sus respectivas chavetas.
3. Fijar el prisionero de la chaveta de los acoples macho.
4. Levantar la sección del eje con ayuda de un tecle y alinear la sección del eje con las demás partes del eje motriz que aún permanecen ensambladas en el equipo.

5. Desplazar hacia adentro los acoples hembra hasta que se acoplen correctamente con los acoples macho. Este paso del montaje es esencial para el correcto funcionamiento, puesto que no deseamos que exista desalineamiento entre las secciones del eje.
6. Fijar los respectivos prisioneros de los acoples hembra.
7. Realizar los pasos mencionados para el eje conducido, recordando que para colocar el eje se deba hacer de forma horizontal, no se recomienda realizar este procedimiento en dirección vertical.
8. Instalar las paredes laterales de la cámara de trituración.
9. Instalar las tolvas superior e inferior.

3.2 Análisis de Costos

En esta sección se detallan los costos aproximados en el mercado nacional para materiales, componentes, equipos y procesos involucrados en la construcción del sistema de trituración. La mayoría de los componentes son fabricados en el país, sin embargo, existen partes que deben ser importadas para satisfacer las especificaciones deseadas.

Con el objetivo de clasificar por sectores los costos involucrados, se decide dividir en las siguientes categorías: materiales, componentes, equipos, mecanizado, tratamiento térmico y mano de obra. A continuación, en la tabla 3.8 se muestra un resumen de los valores estimados separados por categoría, la información detallada se encuentra en el Anexo B. Los precios presentados incluyen impuestos y valor de importación.

Tabla 3.8 Resumen de estimación de costos para mecanismo de trituración.

[Fuente: Autores]

Clasificación	Precio
Materiales	\$ 3.277,23
Componentes	\$ 3.250,68
Equipos	\$ 2.500,00
Mecanizado	\$ 4.064,00
Tratamiento Térmico	\$ 848,48
Mano de Obra	\$ 2.060,00
Presupuesto	\$ 16.000

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se diseñó un sistema de trituración para neumáticos fuera de uso con la capacidad de que sus elementos puedan ser desmontados fácilmente. El equipo posee la siguiente descripción:
 - Potencia: 20 HP
 - Cámara de trituración: 69 cm x 61 cm
 - Voltaje: 230 V trifásico
 - Dimensiones: 2.86 m x 1.71 m x 0.80 m
- La estimación del consumo energético del sistema de trituración diseñado se podrá realizar mediante la adquisición de las variables de voltaje y corriente del motor en cada instante de tiempo.
- El control de la velocidad de operación del equipo se realiza mediante la instalación de un variador de frecuencia que sea capaz de fluctuar la velocidad de 20 a 40 rpm.
- La mayor parte de materiales y componentes se los encuentra en el mercado nacional, pero existen elementos que se deben importar, lo que aumenta el costo de fabricación.
- La trituradora diseñada es capaz de ejecutar la reducción de neumáticos fuera de uso para aplicaciones de granulometría alta, por ejemplo: amortiguante de césped sintético y pistas atléticas. Las diferentes pasadas para la obtención del granulado deseado se deben realizar de forma manual, debido a la dificultad de manufactura de la criba para las dimensiones del equipo. La alimentación de materia prima y descarga del producto se debe realizar teniendo en cuenta las normas de seguridad industrial para maquinaria rotativa.
- La transmisión de potencia se realiza mediante el uso de cadena y sprockets, debido a que esta configuración permite reducir las vibraciones procedentes del motor eléctrico. Esta disposición eleva el costo de construcción del equipo, puesto que los elementos necesarios para cumplir con los requerimientos de transmisión no se encuentran en el mercado local y se debe realizar la

respectiva importación. Si se desea reducir costos, se puede colocar un acople rígido entre el motor y el eje motriz en vez de la utilización del sistema de transmisión por cadena. Además, la transmisión de potencia entre el eje motriz y el eje conducido se realiza por medio de dos juegos de piñón y engrane, colocados para distribuir la potencia transmitida y reducir las cargas sobre los rodamientos.

- Las cuchillas de trituración poseen 11.25° de desfase angular con respecto a la cuchilla siguiente, ubicadas en cada eje, con la finalidad de que el corte realizado sea tipo tijera, facilitando así la propagación de la fractura durante el proceso. Este desfase angular se lo obtiene mediante el mecanizado CNC de la sección interior de geometría cuadrada que se acoplará al eje motriz.
- La sección del eje mecanizada cuadrada, donde se encuentran las cuchillas de trituración, posee esta forma para evitar el uso de chaveta, debido a que se requiere que presente facilidad en el montaje y desmontaje, y el largo de la chaveta necesario impediría esta condición.
- Se utilizaron juntas empernadas en vez de unión permanente para la cámara de trituración con el objetivo de cumplir con la condición de que sea desmontable. Mientras que en la estructura de soporte se procedió a unir los elementos mediante soldadura.
- El rendimiento de operación del equipo diseñado alcanza valores similares a los sistemas de trituración existentes en el mercado, con un costo de fabricación inferior a los mismos.

4.2 Recomendaciones

- Previamente a la mecanización y adquisición de los componentes del sistema se recomienda realizar los planos de construcción del equipo.
- Los materiales y elementos utilizados en el proyecto son los recomendados para la aplicación en trituración de neumáticos, lo cual aumenta el costo de construcción. Si se desea utilizar materiales y elementos de menor calidad y más económicos se debe tener en cuenta que cumplan con las propiedades mecánicas necesarias para suplir las condiciones presentes.
- Este tipo de sistema tiene la probabilidad de presentar trabamiento en el proceso de trituración, por lo que se recomienda que se instale un guardamotor,

que es un dispositivo que ayuda a detener el motor al momento de existir picos de corriente, evitando de esta forma daños severos en el mismo.

- Los rodamientos que se utilizaron en el diseño del proyecto son de rodillos cilíndricos debido a que las cargas radiales existentes son elevadas, y la utilización de rodamientos de bolas no satisface dichas condiciones con las dimensiones calculadas para el eje. Se puede buscar otras alternativas para el reemplazo de los rodamientos seleccionados con el objetivo de reducir el costo de fabricación, siempre y cuando, la opción elegida soporte las reacciones aplicadas.
- Durante el proceso de montaje y desmontaje, se debe cumplir con las normas de seguridad industrial para evitar daños severos en las personas encargadas de la operación.
- El sistema de trituración presentado en este proyecto es capaz de realizar el proceso de reducción a cualquier material, siempre y cuando este posea menor resistencia de corte que los neumáticos.
- Durante el proceso de trituración es imperativo el uso de la tolva como medida de seguridad para el operador. Además, se debe marcar una zona de seguridad alrededor del equipo.
- Se recomienda utilizar un tecele para el transporte y ensamble de los componentes debido a que poseen un peso considerable.

BIBLIOGRAFÍA

- AEADE. (2017). Importación Anual de Neumáticos. *Anuario 2017 - AEADE*, 80-82.
- Bekaert. (28 de Julio de 2018). *Alambre para talón de neumáticos*. Obtenido de Alambre para talón de neumáticos: <https://www.bekaert.com/es-MX/productos/automotriz/externo/alambre-para-talon-de-neumaticos>
- Bogotá, A. M. (2018). *Manual de Especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C.* Obtenido de Manual de Especificaciones técnicas de diseño y construcción de parques y escenarios públicos de Bogotá D.C.: https://www.idrd.gov.co/especificaciones/index.php?option=com_content&view=article&id=2571&Itemid=2351
- Budynas, R. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México DF: The McGraw-Hill.
- Camargo, H., & Suárez, A. (2010). Diagnóstico de las Nuevas Tecnologías empleadas para el diseño de Mezclas Asfálticas densas en Caliente MDC-2. *Universidad Militar Nueva Granada, Facultad de Ingeniería*, 31-32.
- Cano Serrano, E., Cerezo García, L., & Urbina Fraile, M. (2007). *Valorización material y energética de neumáticos fuera de uso*. Madrid: CEIM.
- Cardona, L., & Sánchez, L. (2011). Aprovechamiento de llantas usadas para la fabricación de pisos decorativos. *Universidad de Medellín*, 15-19.
- Castro, G. (2007). Reutilización, Reciclado y Disposición final de Neumaticos . *Departamento de Ingeniería Mecánica F.I.U.B.A.*
- Chaires, J. M. (2010). *Evaluación de propiedades mecánicas de dos aceros grado herramienta AISI-O1, AISI-D2 y obtención de la concentración de esfuerzos en la geometría de mordazas de sujeción de especímenes compactos de tensión*. México DF: Instituto de Ciencias Físicas, UNAM.
- Encarnación Cano, L. C. (2008). *Valorización Material y energética de neumáticos fuera de uso actualización*. Madrid: CIMTAN , Universidad Carlos III de Madrid.

- Espinosa, W., & Tatamués, R. (2016). *Diseño y simulación de una máquina trituradora de llantas de una tonelada por hora de capacidad para la empresa Opra-Sembres*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. Mexico D.F.: McGraw-Hill.
- Lalama, C., & Navarrete, A. (2016). *Diseño de una máquina trituradora de neumáticos*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Landi, D., Vitali, S., & Germani, M. (2016). Environmental analysis of different end of life scenarios of tires textile. *ScienceDirect*.
- Lipson, C., Noll, G., & Clock, L. (1950). *Stress and strength of manufactured parts*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- López, J., & Torres, J. (2015). Alternativas para el manejo de llantas usadas en la ciudad de Bogotá D.C. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*, 50-52.
- Mendez, C., & Solano, F. (2010). Diseño de Triturador de Neumaticos Usados; capacidad 1 ton/h, para la empresa municipal de aseo de Cuenca (EMAC). *Universidad Politécnica Salesiana*, 101.
- Miranda, R. C., Segovia, C. C., & Sosa, C. A. (2006). Pyrolysis of Used Tires: Kinetic Study and Influence of Operating Variables. *Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ciencias Químicas. Depto. de Ing. Química*.
- Norton, R. L. (2011). *Diseño de Máquinas*. México D.F.: Pearson Education.
- NTN corporation. (2004). Rodamientos de Bolas y de Rodillos. *CAT. NO. 2202-VII/S*.
- NTN corporation. (2009). Chumaceras. *CAT. NO. 2400-IX/S*.
- Ocampo, M. (2015). Mezclas asfálticas mejoradas con caucho molido proveniente de llantas usadas. *Universidad de los Andes*.
- Oponeo. (10 de Junio de 2018). *Artículos de Neumáticos y llantas*. Obtenido de Artículos de Neumáticos y llantas: <https://www.oponeo.es/articulo/cuanto-pesa-un-neumatico>
- Reciclados de Caucho. (2018). *Reciclados de scrap y neumáticos fuera de uso*. Obtenido de Reciclados de scrap y neumáticos fuera de uso: <https://recicladosdecaucho.com/productos/>
- Sánchez, J. (2012). *Segunda Vida de los Neumáticos Usados*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Shigley, J., & Mitchell, L. (1983). *Mechanical engineering design*. McGraw-Hill.

Tchobanoglous, G. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Madrid: Mc Graw Hill.

The Goodyear Tire & Rubber Company. (Mayo de 2018). *Todo sobre llantas: Goodyear Ecuador* . Obtenido de http://www.goodyear.com.ec/tire_know/

The Maintenance Council. (1995). *Guía de Análisis de Condiciones para la Llanta Radial*.

Universidad Autónoma Metropolitana. (2017). *Criterios de Falla*. México D.F.

Universitat de Barcelona. (s.f.). *CMEmaterials*. Obtenido de <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/l%C3%A1tex-caucho>

ANEXOS

Anexo A. Cálculos representativos

1. Cálculo de esfuerzo y deformación en diente de cuchilla

Mediante las siguientes ecuaciones podemos describir el comportamiento del diente de la cuchilla frente a las cargas máximas aplicadas en un eventual caso crítico de trabamiento.

Factor de seguridad para flexión:

$$\eta = \frac{\sigma_{sy}}{\frac{F_{max} * x * c}{I}}$$

Dónde los valores a reemplazar son los siguientes:

- $\sigma_{sy} = 250 \text{ MPa}$
- $F_{max} = 6384 \text{ N}$
- $x = 50 \text{ mm}$
- $c = 25 \text{ mm}$
- $I = 4.17 \times 10^{-7} \text{ m}^4$

$$\eta = \frac{250 \times 10^6}{\frac{(6384)(50 \times 10^{-3})(25 \times 10^{-3})}{4.17 \times 10^{-7}}} = 13$$

Análisis de deflexión permisible:

$$\frac{F_{max} * x^3}{3EI} \leq \frac{1}{760} x$$

Siendo los valores a reemplazar presentados a continuación:

- $F_{max} = 6384 \text{ N}$
- $x = 50 \text{ mm}$
- $I = 4.17 \times 10^{-7} \text{ m}^4$
- $E = 20 \times 10^{10} \text{ Pa}$

$$\frac{(6384)(50 \times 10^{-3})^3}{3(20 \times 10^{10})(4.17 \times 10^{-7})} \leq \frac{1}{760} (0.05)$$

$$3.19 \times 10^{-6} \text{ m} \leq 6.58 \times 10^{-5} \text{ m}$$

2. Fuerzas de Corte

Las fuerzas de corte consideradas en el diseño del eje dependen de la colocación de las cuchillas, por lo cual se asume que 4 cuchillas están ejerciendo el corte sobre la malla de acero y 5 cuchillas están realizando el corte sobre el caucho vulcanizado. La forma de colocar el neumático para su trituración permite que se pueda determinar la dirección de las fuerzas mencionadas. Las direcciones de las fuerzas se observan en las figuras 2.11 y 2.12. A continuación, se muestra la magnitud de ellas.

$$F_{ca} = 8512 \text{ N}$$

$$F_{cc} = 1733 \text{ N}$$

3. Fuerza radial y axial de engranes

Se utilizará dos pares de engranes con los cuales se transmitirá la potencia entre los dos ejes. Se busca con esta configuración reducir los esfuerzos aplicados y disminuir las reacciones sobre los apoyos.

Al momento de realizar la selección del módulo de engranaje a utilizar se debe tener en cuenta las siguientes condiciones: el diámetro de paso y la capacidad de potencia del engrane.

Para la selección de engrane se utiliza el catálogo de "Martin"; en la tabla 3.1 se describe las características del engrane seleccionado.

Para determinar la magnitud de la fuerzas axial y radial producida por los engranes se utiliza las ecuaciones mostradas a continuación.

$$F_r = \frac{2T_t}{D_p}$$

$$F_a = F_r \tan \theta_p$$

Dónde:

Tt: Torque transmitido por el engrane ($T_c / 2$).

Fr: Fuerza radial del engrane.

Fa: Fuerza axial del engrane.

Dp: Diámetro de paso.

θ_p : Ángulo de presión.

Reemplazando valores se obtiene:

$$F_r = 6711 \text{ N}$$

$$F_a = 2443 \text{ N}$$

4. Transmisión por cadena

Debido al tamaño del motor que se emplea, se decide utilizar transmisión de potencia por medio de cadena y ruedas dentadas, brindando la facilidad de ubicar el motor en un diferente nivel que los árboles de trituración y permitiendo aislar el sistema de las vibraciones del motor.

Para una correcta selección de ruedas dentadas es necesario determinar el factor de servicio, el cual es un valor determinado por "American Chain Association" (ACA), que depende del tipo de carga existente y motor seleccionado. El factor utilizado en la aplicación de trituración se presenta a continuación y se utiliza cuando existen cargas fluctuantes.

$$F_s = 1.30$$

Como el sistema de trituración trabaja con alta potencia, se decide utilizar ruedas dentadas dobles, donde el factor de corrección para doble hilera se presenta a continuación.

$$F_h = 1.70$$

Se calcula la capacidad de potencia necesaria para la selección del piñón conductor.

$$CT = P \frac{F_s}{F_h}$$

Dónde:

CT: Capacidad de transmisión.

P: Potencia del motor.

Fs: Factor de Servicio.

Fh: Factor de Corrección de número de Hileras

Reemplazando valores se tiene que la capacidad de transmisión es:

$$CT = 15.29 \text{ HP}$$

Utilizando la capacidad de transmisión, se selecciona el número de dientes y el paso de la rueda dentada doble por medio de la tabla de capacidad de transmisión proporcionada por la "ACA".

Las características de ruedas dentadas seleccionadas por medio del catálogo de "Martin" se presentan en la tabla 3.2.

Velocidad Lineal de la cadena:

Se calcula la velocidad lineal de la cadena por medio de la siguiente ecuación

$$V = Znp$$

Dónde:

V: Velocidad lineal de la cadena.

Z: Número de dientes del piñón conductor.

n: Velocidad angular del piñón conductor.

p: Paso del piñón conductor.

Reemplazando valores se obtiene:

$$V = 135.04 \text{ in/s} = 3.4 \text{ m/s}$$

Fuerza de Tensión de la cadena:

La fuerza de tensión que va ejercer la cadena se la estima por medio de la siguiente ecuación.

$$F_u = \frac{6600PF_s}{V}$$

Dónde:

F_u: Fuerza de tensión por cadena.

P: Potencia del Motor (HP).

F_s: Factor de Servicio.

V: Velocidad Lineal (in/s).

Reemplazando valores se obtiene:

$$F_u = 747.49 \text{ lbf} = 3325 \text{ N}$$

Como se trata de una cadena doble, la fuerza de tensión ejercida por la cadena sobre el eje de trituración es:

$$F_{\text{cad}} = 6650 \text{ N}$$

Capacidad de transmisión de cadena

A continuación, por medio de la ecuación 2.12 se estima la potencia causante de falla por rotura en la cadena.

$$N = 0.004056Z^{1.08}n^{0.9} \left(\frac{p}{2.54} \right)^{3-0.0275p}$$

Conociendo que los coeficientes presentes en la ecuación tienen las siguientes magnitudes:

- $p=5.08$ cm
- $n= 40.3$ rpm
- $Z= 16$ dientes

$$N = 0.004056(16)^{1.08}(40.3)^{0.9} \left(\frac{5.08}{2.54}\right)^{3-0.0275(5.08)}$$

$$N = 16.38 \text{ CV} = 16.16 \text{ Hp}$$

Se debe multiplicar la capacidad de potencia de la cadena por el factor de hileras, obteniendo un valor de capacidad de 27.5 HP.

Cálculo de la longitud de la cadena

Para realizar la adecuada selección de la cadena, es necesario calcular la longitud de la misma mediante la ecuación 2.13.

$$L = \left[2 \left(\frac{S}{p} \right) + \frac{Z_1 + Z_2}{2} + \left(\frac{Z_2 - Z_1}{2\pi} \right)^2 \frac{p}{S} \right] p$$

Donde los valores a reemplazar son los siguientes:

- $S= 60$ cm
- $p= 5.08$ cm
- $Z_1=Z_2= 16$ dientes

$$L = \left[2 \left(\frac{60}{5.08} \right) + \frac{16 + 16}{2} + \left(\frac{(16 - 16)}{2\pi} \right)^2 \frac{5.08}{60} \right] 5.08 = 2.02 \text{ m}$$

La selección de la cadena se la realizará utilizando el catálogo de “TransLink”, adjunto en el Anexo B. Las características de la cadena elegida se presentan en la tabla 3.3.

5. Peso de Cuchillas y separadores

Con la finalidad de determinar el peso de las cuchillas y separadores se utilizará el software SolidWorks, en el cual se obtiene un valor estimado del peso de la pieza a analizar, designando el material con el que se va a fabricar. El peso total de las 9 cuchillas y los 9 separadores se presenta a continuación.

$$W_{\text{cuchillas}} = 1298 \text{ N}$$

$$W_{\text{separadores}} = 280 \text{ N}$$

6. Diseño Mecánico del eje

Estimación de diámetro mínimo

Como se explicó en el capítulo 2, el primer paso a realizar es la estimación del diámetro mínimo en la sección sometida a mayores momentos de flexión, por lo cual, se aplica las siguientes ecuaciones. Se asume: confiabilidad del 99% y superficie maquinada. Mientras que los demás factores se asumen conservadores.

$$S_e = (C_C)(C_{temp})(C_{sup})(C_{con})(C_{tam})(0.5S_{ut}) \quad (2.6)$$

Dónde los valores a reemplazar son:

$$C_C = 1$$

$$C_{temp} = 1$$

$$C_{sup} = 0.8$$

$$C_{con} = 0.814$$

$$C_{tam} = 1$$

$$S_{ut} = 637.43 \text{ MPa}$$

$$S_e = (1)(1)(0.8)(0.814)(1)(0.5)(637.43) = 197.17 \text{ MPa}$$

$$d = \left\{ \frac{32N_f}{\pi} \left[\left(K_f \frac{M_a}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(K_{fs} \frac{T_m}{S_y} \right)^2 \right] \right\}^{1/2} \quad (2.7)$$

Se tiene las siguientes constantes:

$$N_f = 1.5$$

$$M_a = 1167 \text{ Nm}$$

$$T_m = 3555 \text{ Nm}$$

$$K_f = 1.7$$

$$K_{fs} = 1.5$$

$$S_e = 197.17 \text{ MPa}$$

$$S_y = 313.81 \text{ MPa}$$

$$d = \left\{ \frac{32(1.5)}{\pi} \left[\left(1.7 \frac{1167}{197.17 \times 10^6} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(1.5 \frac{3555}{313.81 \times 10^6} \right)^2 \right] \right\}^{1/2}$$

$$d = 65 \text{ mm}$$

Por lo tanto, considerando los diferentes cambios de secciones, se establece que el diámetro en la sección sometida al momento flector máximo tendrá una sección transversal cuadrada de 75 mm de lado. Se debe encontrar el factor de corrección de tamaño adecuado para la sección cuadrada por medio del área 95.

$$d_{eq} = \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}}$$

$$C_{tam} = 1.189(d_{eq})^{-0.097}$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$d_{eq} = \sqrt{\frac{465.93}{0.0766}} = 78 \text{ mm}$$

$$C_{tam} = 1.189(78)^{-0.097} = 0.77$$

Análisis de punto críticos

A continuación, se va a describir el análisis del cambio de sección hexagonal a circular donde se ubicará el suple, los resultados de los demás puntos críticos se muestran en la tabla 3.2. Se asume: confiabilidad del 99%; superficie maquinada; temperatura ambiente; sección transversal cuadrada; y elemento sometido a flexión.

$$S_e = (C_C)(C_{temp})(C_{sup})(C_{con})(C_{tam})(0.5S_{ut}) \quad (2.6)$$

Dónde los valores a reemplazar son:

$$C_C = 1$$

$$C_{temp} = 1$$

$$C_{sup} = 0.8$$

$$C_{con} = 0.814$$

$$C_{tam} = 0.77$$

$$S_{ut} = 637.43 \text{ MPa}$$

$$S_e = (1)(1)(0.8)(0.814)(0.77)(0.5)(637.43) = 149.06 \text{ MPa}$$

Calculando el esfuerzo amplitud:

$$\sigma'_a = \frac{32k_f M_a}{\pi d^3}$$

Siendo los valores a sustituir:

$$M_a = 557 \text{ Nm}$$

$$d = 75 \text{ mm}$$

$$k_f = 1.75$$

$$\sigma'_a = \frac{32(1.75)(972)}{\pi(75 \times 10^{-3})^3}$$

$$\sigma'_a = 24.50 \text{ MPa}$$

Calculando el esfuerzo medio:

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16k_{fs}T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

Los coeficientes a sustituir son:

$$T_m = 3555 \text{ Nm}$$

$$d = 75 \text{ mm}$$

$$k_{fs} = 1.46$$

$$\sigma'_m = \left[3 \left(\frac{16(1.46)(3555)}{\pi(75 \times 10^{-3})^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma'_m = 112.99 \text{ MPa}$$

Calculando el factor de seguridad:

$$\frac{1}{N_f} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_{ut}}$$

$$\sigma'_a = 24.50 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = 112.99 \text{ MPa}$$

$$S_e = 149.06 \text{ MPa}$$

$$S_{ut} = 637.43 \text{ MPa}$$

Reemplazando valores obtenemos que el factor de seguridad para la sección es:

$$\frac{1}{N_f} = \frac{24.50}{149.06} + \frac{112.99}{637.43}$$

$$N_f = 2.9$$

Para el análisis de los demás puntos críticos se realiza el mismo procedimiento presentado, realizando asunciones similares. Los resultados se muestran en la tabla siguiente tabla.

Factor de Seguridad Eje Motriz

Punto Crítico	Momento Ejercido	Características	Resistencia a la fatiga	F. Esfuerzos Dinámicos	Factor de Seguridad
#1: Cambio de Sección	557 Nm	D=75 mm d=74 mm r=1 mm	$C_{tam}=0.77^*$ $S_e=149.06$ MPa	$k_f=1.75$ $k_{fs}=1.46$	$\sigma_a'=24.50$ MPa $\sigma_m'=112.9$ MPa $N_f=2.97$
#2: Chavetero	557 Nm	D=74 mm	$C_{tam}=0.78$ $S_e=153.79$ MPa	$k_f=1.6^{**}$ $k_{fs}=1.3^{**}$	$\sigma_a'=22.40$ MPa $\sigma_m'=100.6$ MPa $N_f=3.29$
#3: Cambio de Sección	1019 Nm	D=74 mm d=65 mm r=2.1 mm	$C_{tam}=0.79$ $S_e=155.76$ MPa	$k_f=1.98$ $k_{fs}=1.48$	$\sigma_a'=74.83$ MPa $\sigma_m'=169$ MPa $N_f=1.34$
#4: Cambio de Sección	1019 Nm	D=65 mm d=62 mm r=2 mm	$C_{tam}=0.81$ $S_e=159.7$ MPa	$k_f=2.06$ $k_{fs}=1.16$	$\sigma_a'=89.72$ MPa $\sigma_m'=152.3$ MPa $N_f=1.24$
#5: Chavetero	730 Nm	D=62 mm	$C_{tam}=0.81$ $S_e=159.7$ MPa	$k_f=1.6^{**}$ $k_{fs}=1.3^{**}$	$\sigma_a'=49.90$ MPa $\sigma_m'=171.1$ MPa $N_f=1.72$
#6: Cambio de Sección	110 Nm	D=62 mm d=55 mm r=2 mm	$C_{tam}=0.81$ $S_e=159.7$ MPa	$k_f=1.84$ $k_{fs}=1.5$	$\sigma_a'=12.39$ MPa $\sigma_m'=282.7$ MPa $N_f=1.92$

*Factor de tamaño calculado en base al área 95 de la sección cuadrada del eje.

**Factor de esfuerzos dinámicos comúnmente usados en chaveteros. (Lipson, Noll, & Clock, 1950)

Factores de Seguridad Eje Conducido

Punto Crítico	Momento Ejercido	Características	Resistencia a la fatiga	F. Esfuerzos Dinámicos	Factor de Seguridad
#1: Cambio de Sección	607 Nm	D=75 mm d=74 mm r=1 mm	$C_{tam}=0.77^*$ $S_e=149.06$ MPa	$k_f=1.75$ $k_{fs}=1.46$	$\sigma'_a=26.70$ MPa $\sigma'_m=112.9$ MPa $N_f=2.80$
#2: Chavetero	607 Nm	D=74 mm	$C_{tam}=0.78$ $S_e=153.79$ MPa	$k_f=1.6^{**}$ $k_{fs}=1.3^{**}$	$\sigma'_a=24.41$ MPa $\sigma'_m=100.6$ MPa $N_f=3.15$
#3: Cambio de Sección	1145 Nm	D=74 mm d=65 mm r=2.1 mm	$C_{tam}=0.79$ $S_e=155.76$ MPa	$k_f=1.98$ $k_{fs}=1.48$	$\sigma'_a=84.08$ MPa $\sigma'_m=169$ MPa $N_f=1.24$
#4: Cambio de Sección	1145 Nm	D=65 mm d=62 mm r=2 mm	$C_{tam}=0.81$ $S_e=159.7$ MPa	$k_f=2.06$ $k_{fs}=1.16$	$\sigma'_a=100.8$ MPa $\sigma'_m=152.3$ MPa $N_f=1.15$
#5: Chavetero	460 Nm	D=62 mm	$C_{tam}=0.81$ $S_e=159.7$ MPa	$k_f=1.6^{**}$ $k_{fs}=1.3^{**}$	$\sigma'_a=31.46$ MPa $\sigma'_m=171.1$ MPa $N_f=2.15$
#6: Cambio de Sección	100 Nm	D=62 mm d=55 mm r=2 mm	$C_{tam}=0.81$ $S_e=159.7$ MPa	$k_f=1.84$ $k_{fs}=1.5$	$\sigma'_a=11.26$ MPa $\sigma'_m=282.7$ MPa $N_f=1.95$

*Factor de tamaño calculado en base al área 95 de la sección cuadrada del eje.

**Factor de esfuerzos dinámicos comúnmente usados en chaveteros. (Lipson, Noll, & Clock, 1950)

7. Diseño de chavetas

Las fuerzas utilizadas en el análisis son las existentes en caso de trabamiento del sistema.

Chaveta para engranaje

Calculando la fuerza aplicada sobre la chaveta mediante la ecuación 2.11.

$$F = \frac{1778 \text{ Nm}}{62 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$F = 57355 \text{ N}$$

Se calcula el factor de seguridad por cortante mediante la ecuación 2.12:

$$\eta = \frac{(18 \times 10^{-3} \text{ m})(89 \times 10^{-3} \text{ m})(181.07 \times 10^6 \text{ Pa})}{57355 \text{ N}}$$

$$\eta = 5.06$$

Se estima el factor de seguridad por aplastamiento por medio de la ecuación 2.13:

$$\eta = \frac{313.81 \times 10^6 \text{ Pa}}{\frac{2(57355 \text{ N})}{(11 \times 10^{-3} \text{ m})(89 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$

$$\eta = 2.67$$

Chaveta para la rueda dentada

Calculando la fuerza aplicada sobre la chaveta mediante la ecuación 2.11:

$$F = \frac{(2)(3555 \text{ Nm})}{62 \times 10^{-3} \text{ m}}$$

$$F = 114677 \text{ N}$$

Se calcula el factor de seguridad por cortante mediante la ecuación 2.12:

$$\eta = \frac{(18 \times 10^{-3} \text{ m})(120 \times 10^{-3} \text{ m})(181.07 \times 10^6 \text{ Pa})}{144677 \text{ N}}$$

$$\eta = 2.70$$

Se estima el factor de seguridad por aplastamiento por medio de la ecuación 2.13:

$$\eta = \frac{313.81 \times 10^6 \text{ Pa}}{\frac{2(114677 \text{ N})}{(11 \times 10^{-3} \text{ m})(120 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$

$$\eta = 1.80$$

Chaveta para el acople rígido

Calculando la fuerza aplicada sobre la chaveta mediante la ecuación 2.11:

$$F = \frac{(2)(3073.5 \text{ Nm})}{74 \times 10^{-3} \text{ m}}$$
$$F = 83068 \text{ N}$$

Se calcula el factor de seguridad por cortante mediante la ecuación 2.12:

$$\eta = \frac{(20 \times 10^{-3} \text{ m})(65 \times 10^{-3} \text{ m})(181.07 \times 10^6 \text{ Pa})}{83068 \text{ N}}$$
$$\eta = 2.83$$

Se estima el factor de seguridad por aplastamiento por medio de la ecuación 2.13:

$$\eta = \frac{313.81 \times 10^6 \text{ Pa}}{\frac{2(83068 \text{ N})}{(12 \times 10^{-3} \text{ m})(65 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$
$$\eta = 1.13$$

8. Selección de Rodamientos y chumaceras

Para calcular la capacidad de carga del rodamiento se debe aplicar la ecuación 2.15, que se reemplaza a continuación:

- **Rodamiento 65 mm**

$$C = (13347)(15 \times 10^3)^{3/10}$$
$$C = 239 \text{ KN}$$

- **Rodamiento 55 mm**

$$C = (6962)(15 \times 10^3)^{3/10}$$
$$C = 125 \text{ KN}$$

Con la capacidad de carga calculada, se procede a seleccionar rodamientos mediante el catálogo de NTN, adjunto en el Anexo D. Se muestra el rodamiento y la chumacera elegidos en las tablas 3.5 y 3.6.

9. Diseño de Pernos

Las fuerzas utilizadas en el análisis son las existentes para los casos críticos de los pernos.

Junta empernada acople rígido, Grado 8.8

Se considera pernos M12x50.

Falla por tensión o compresión en pernos

Aplicando la ecuación 2.16:

$$\eta = \frac{0.25(600 \times 10^6 \text{ Pa})(84.27 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{(0.14)(6846 \text{ N})}$$
$$\eta = 13$$

Falla por cortante en cuerdas del perno

Aplicando la ecuación 2.17:

$$\eta = \frac{0.577(660 \times 10^6 \text{ Pa})\pi(9.85 \times 10^{-3} \text{ m})(0.8)(1.75 \times 10^{-3} \text{ m})}{6846 \text{ N}}$$
$$\eta = 2.41$$

Falla por cortante en pernos

Aplicando la ecuación 2.18:

$$\eta = \frac{0.577(660 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{4(12009 \text{ N})}{\pi(12 \times 10^{-3} \text{ m})^2}}$$
$$\eta = 3.6$$

Falla por aplastamiento en pernos

Aplicando la ecuación 2.19:

$$\eta = \frac{(660 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{12009 \text{ N}}{(12 \times 10^{-3} \text{ m})(25 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$
$$\eta = 16$$

Falla por desgarre placa

Aplicando la ecuación 2.20:

$$\eta = \frac{(686.5 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{12009 \text{ N}}{2(25 \times 10^{-3} \text{ m})(13 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$
$$\eta = 35$$

Junta empernada placas del rodamiento, Grado 8.8

Se considera pernos M12x90.

Falla por tensión o compresión en pernos

Aplicando la ecuación 2.16:

$$\eta = \frac{0.25(600 \times 10^6 \text{ Pa})(84.27 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{(0.14)(5644 \text{ N})}$$
$$\eta = 16$$

Falla por cortante en cuerdas del perno

Aplicando la ecuación 2.17:

$$\eta = \frac{0.577(600 \times 10^6 \text{ Pa})\pi(9.85 \times 10^{-3} \text{ m})(0.8)(1.75 \times 10^{-3} \text{ m})}{5644 \text{ N}}$$
$$\eta = 2.66$$

Falla por cortante en pernos

Aplicando la ecuación 2.18:

$$\eta = \frac{0.577(660 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{4(6071 \text{ N})}{\pi(12 \times 10^{-3} \text{ m})^2}}$$
$$\eta = 7$$

Falla por aplastamiento en pernos

Aplicando la ecuación 2.19:

$$\eta = \frac{(660 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{6071 \text{ N}}{(12 \times 10^{-3} \text{ m})(15 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$
$$\eta = 19$$

Falla por desgarre placa

Aplicando la ecuación 2.20:

$$\eta = \frac{(250 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{6071 \text{ N}}{2(30 \times 10^{-3} \text{ m})(15 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$
$$\eta = 22$$

Junta empernada cámara de trituración, Grado 5.8

Se considera pernos M10x30.

Falla por tensión o compresión en pernos

Aplicando la ecuación 2.16:

$$\eta = \frac{0.25(380 \times 10^6 \text{ Pa})(57.99 \times 10^{-6} \text{ m}^2)}{(0.14)(6071 \text{ N})}$$
$$\eta = 7$$

Falla por cortante en cuerdas del perno

Aplicando la ecuación 2.17:

$$\eta = \frac{0.577(420 \times 10^6 \text{ Pa})\pi(8.16 \times 10^{-3} \text{ m})(0.8)(1.5 \times 10^{-3} \text{ m})}{6071 \text{ N}}$$
$$\eta = 1.3$$

Falla por cortante en pernos

Aplicando la ecuación 2.18:

$$\eta = \frac{0.577(420 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{4(15415 \text{ N})}{\pi(10 \times 10^{-3} \text{ m})^2}}$$
$$\eta = 1.3$$

Falla por aplastamiento en pernos

Aplicando la ecuación 2.19:

$$\eta = \frac{(420 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{15415 \text{ N}}{(10 \times 10^{-3} \text{ m})(8 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$
$$\eta = 2$$

Falla por desgarre placa

Aplicando la ecuación 2.20:

$$\eta = \frac{(250 \times 10^6 \text{ Pa})}{\frac{15415 \text{ N}}{2(20 \times 10^{-3} \text{ m})(15 \times 10^{-3} \text{ m})}}$$
$$\eta = 9.73$$

10. Diseño de Estructura de soporte

Elementos sometidos a flexión

Con la finalidad de encontrar el módulo de la sección del perfil que se va a usar en la estructura de soporte se aplica la ecuación 2.21, asumiendo un factor de seguridad de 3.

$$\eta = \frac{(317.15 \times 10^6 \text{ Pa})(4.478 \times 10^{-5})}{(2989 \text{ Nm})}$$
$$\eta = 4.75$$

Elementos sometidos a compresión

La fuerza asumida en el análisis es la de mayor magnitud de las reacciones presentes en la viga a causa de las fuerzas aplicadas, en el plano y-z, mostrado en la sección 2.6.6.1.

Aplicando las ecuaciones 2.22 y 2.23.

$$k = \sqrt{\frac{9.029 \times 10^{-7} \text{ m}^4}{1.095 \times 10^{-3} \text{ m}^2}} = 0.028$$
$$S_r = \frac{(0.80)(0.630 \text{ m})}{0.028 \text{ m}} = 18$$

El valor de S_r es mayor a 10, por lo tanto, se debe analizar falla por compresión y falla por pandeo.

- **Falla por Compresión**

Se aplica la ecuación 2.24 para calcular el factor de seguridad de la viga sometida a compresión.

$$\eta = \frac{(317.15 \times 10^6 \text{ Pa})(1.095 \times 10^{-3} \text{ m}^2)}{12715 \text{ N}} = 27$$

El factor de seguridad de la viga tiene un valor elevado, por lo tanto, la estructura no falla por compresión.

- **Falla por Pandeo**

Se estima la fuerza crítica por medio de la ecuación 2.25.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2(20 \times 10^{10} \text{ Pa})(9.029 \times 10^{-3} \text{ m}^4)}{(0.630 \text{ m})^2} = 7016000 \text{ N}$$

Se debe calcular la fuerza permisible sobre la columna, utilizando la ecuación 2.26. Se divide para un factor de seguridad de 4 recomendado por Norton. (Norton, 2011)

$$P_p = \frac{7016000 \text{ N}}{4} = 1754000 \text{ N}$$

La fuerza ejercida sobre la columna es mucho menor que la fuerza permisible, por lo tanto, la estructura no falla por pandeo.

11. Análisis de Vibración

Cálculo frecuencia natural de Cámara de Trituración

Utilizando la ecuación 2.27 se puede estimar la frecuencia natural que posee la cámara de trituración utilizando la deformación estática máxima estimada por medio de elementos finitos. Reemplazando valores tenemos:

$$w_n = \sqrt{\frac{9.8 \text{ m/s}^2}{0.000015 \text{ m}}} = 808 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La relación que existe entre la velocidad de operación y la frecuencia natural es:

$$R_f = \frac{w_n}{w_{op}} = \frac{808}{4.19} = 192$$

Cálculo frecuencia natural de Estructura de Soporte

Se utiliza la ecuación 2.27 para calcular la frecuencia natural de la estructura de soporte por medio de la deformación del sistema calculada por medio de elementos finitos. Reemplazando valores se obtiene:

$$w_n = \sqrt{\frac{9.8 \text{ m/s}^2}{0.00061462 \text{ m}}} = 126 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

La relación que existe entre la velocidad de operación y la frecuencia natural es:

$$R_f = \frac{w_n}{w_{op}} = \frac{126}{4.19} = 30$$

Anexo B. Costos Detallados

Costos de Materiales

Materiales	Proveedor	Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Perfil Estructural cuadrado	IPAC	40x40x4x3000	kg	12,6	\$ 1,21	\$ 15,25
Perfil Estructural cuadrado	IPAC	50x50x5x1400	kg	8,18	\$ 1,21	\$ 9,90
Perfil Estructural rectangular	IPAC	75x125x5x9000	kg	129,69	\$ 1,21	\$ 156,92
Plancha Acero A36	DIPAC	2x2408x470	kg	17,80	\$ 1,16	\$ 20,65
Ángulos A36	DIPAC	L40x40x3x1200	kg	3,02	\$ 1,16	\$ 3,50
Placa Acero A36	DIPAC	15x118x300	kg	42,00	\$ 1,16	\$ 48,72
Placa Acero A36	DIPAC	48x1180x300	kg	133,00	\$ 1,16	\$ 154,28
Placa Acero A36	DIPAC	8x2336x300	kg	44,00	\$ 1,16	\$ 51,04
ASTM A36	DIPAC	φ140x335	kg	40,48	\$ 1,16	\$ 46,96
ASTM A36	DIPAC	40x260x2621	kg	213,98	\$ 1,16	\$ 248,22
ASTM A36	DIPAC	40x300x4800	kg	452,16	\$ 1,16	\$ 524,51
AISI 1045	Ivan Bohman	φ80x1670	kg	65,90	\$ 3,60	\$ 237,24
AISI 1045 Cuadrado	Ivan Bohman	80x80x1670	kg	83,90	\$ 3,60	\$ 302,04
AISI 1045	Ivan Bohman	18x11x240	kg	0,37	\$ 3,60	\$ 1,33
AISI 1045	Ivan Bohman	20x12x520	kg	0,97	\$ 4,60	\$ 4,46
AISI 4340	Ivan Bohman	φ160x600	kg	94,70	\$ 5,50	\$ 520,85
AISI 4340	Ivan Bohman	φ230x360	kg	117,41	\$ 5,50	\$ 645,76
AISI D2	Böhler	40x40x1920	kg	24,12	\$ 9,50	\$ 229,14
Tornillos M10x20	Tornituerca	Grado 5.8	Unid.	8	\$ 0,27	\$ 2,16
Tornillos M10x30	Tornituerca	Grado 5.8	Unid.	12	\$ 0,29	\$ 3,48
Tornillos M12x50	Tornituerca	Grado 8.8	Unid.	32	\$ 0,90	\$ 28,80
Tornillos M12x100	Tornituerca	Grado 8.8	Unid.	16	\$ 0,95	\$ 15,20
Tuerca M10	Tornituerca	Grado 5.8	Unid.	20	\$ 0,10	\$ 2,00
Tuerca M12	Tornituerca	Grado 5.8	Unid.	48	\$ 0,15	\$ 7,20
Arandela M10	Tornituerca	Grado 5.8	Unid.	20	\$ 0,05	\$ 1,00
Arandela M12	Tornituerca	Grado 5.8	Unid.	48	\$ 0,06	\$ 2,88
Soldadura	FerroMarket	7018	kg	2	\$ 4,50	\$ 9,00
Total						\$ 3.277,23

Costos de Componentes y Equipos

Descripción	Clasificación	Especificación	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Motorreductor	Equipos	ILH Dodge Quantis 20	Unid.	1	\$ 2.500,00	\$ 2.500,00
Sprocket	Componentes	160B16	Unid.	1	\$ 160,00	\$ 160,00
Cadena	Componentes	160-2	Unid.	1	\$ 460,00	\$ 460,00
Rodamiento	Componentes	NU2313E	Unid.	4	\$ 311,76	\$ 1.247,04
Rodamiento	Componentes	21311D1C3	Unid.	4	\$ 154,99	\$ 619,96
Soporte de Piso	Componentes	SKF SNL 513-611	Unid.	4	\$ 135,00	\$ 540,00
Elemento para Soporte	Componentes	SKF H311	Unid.	4	\$ 23,56	\$ 94,24
Elemento para Soporte	Componentes	SKF FRB-11/120	Unid.	4	\$ 15,31	\$ 61,24
Elemento para Soporte	Componentes	SKF TSN 611 L	Unid.	4	\$ 17,05	\$ 68,20
					Total	\$ 5.750,68

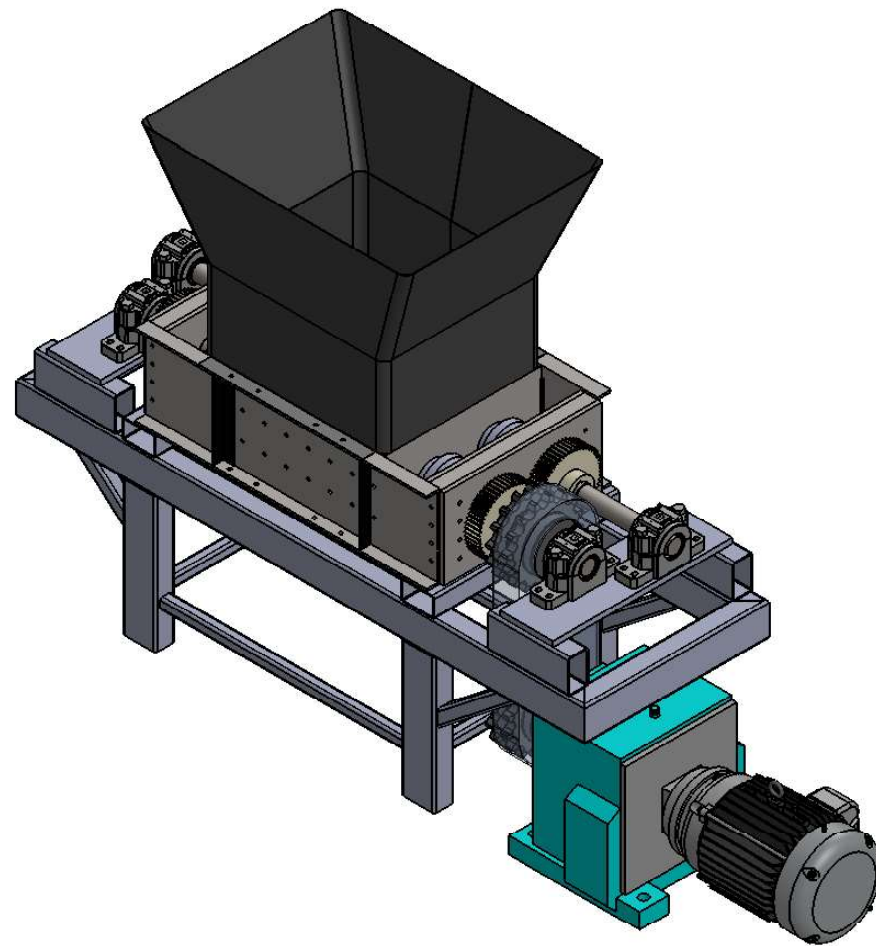
Costo de Mecanizado

Descripción	Cantidad	Clasificación	Detalle del proceso	Precio Unitario	Total
Ejes AISI 1045	6	Mecanizado	Cilindrado exterior, chaveteros machuelos, pulido	\$ 134,40	\$ 806,40
Dientes de Cuchilla	64	Mecanizado	Corte CNC	\$ 25,00	\$ 1.600,00
Cuerpo de Cuchilla	16	Mecanizado	Corte CNC	\$ 39,20	\$ 627,20
Cuchillas de Pared	16	Mecanizado	Corte CNC	\$ 39,20	\$ 627,20
Acoples	8	Mecanizado	Desbaste y corte, cilindrado	\$ 50,40	\$ 403,20
				Total	\$ 4.064,00

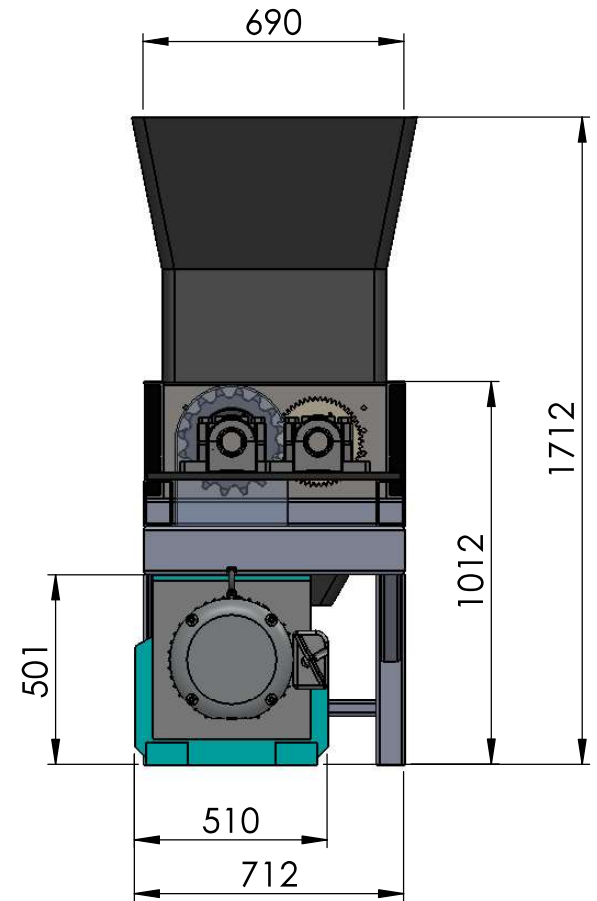
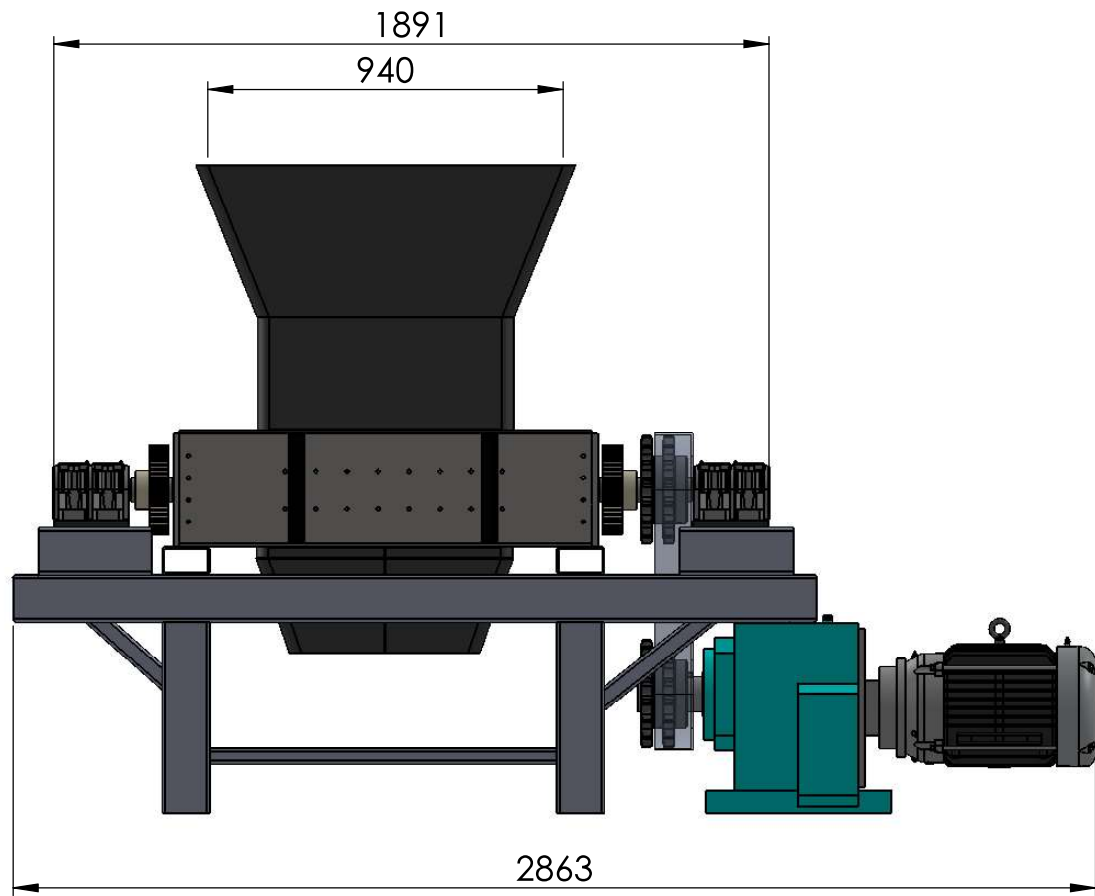
Costo de tratamiento térmico

Descripción	Cantidad	Clasificación	Detalle del proceso	Precio Unitario	Total
Insertos de Cuchilla	18	Tratamiento Térmico	Temple (55 HRC)	\$ 1,36	\$ 24,48
Engranés	4	Tratamiento Térmico	Cementación	\$ 206,00	\$ 824,00
				Total	\$ 848,48

Anexo C. Planos Esquemáticos

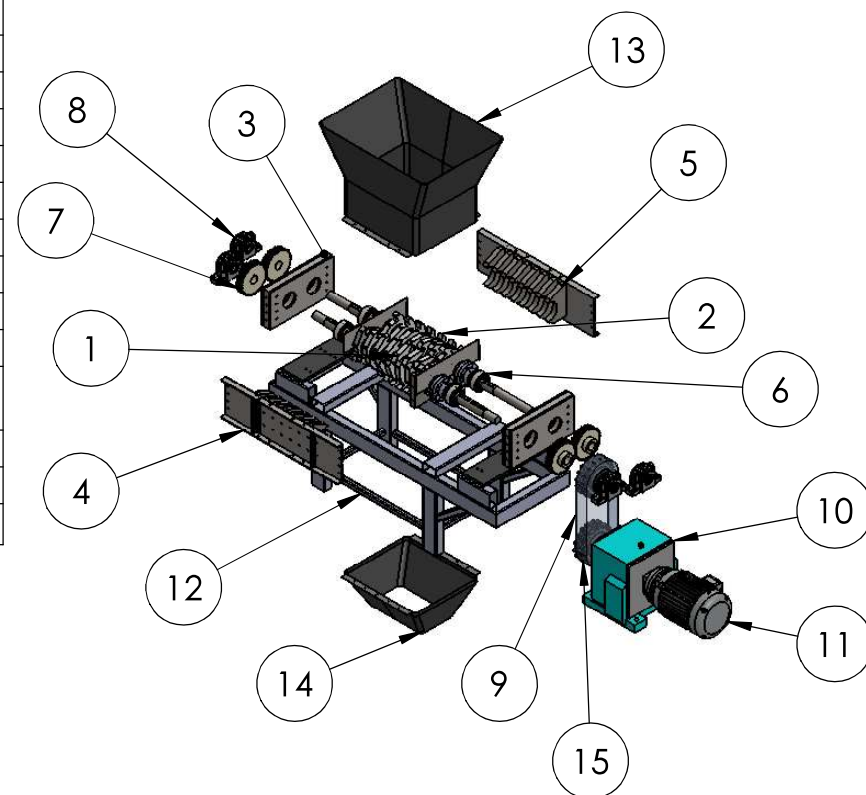


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018			
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018			
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018			
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	TÍTULO:		A4
	MATERIAL:		VISTA ISOMÉTRICA			
PESO:			ESCALA: 1:20		HOJA 1 DE 32	



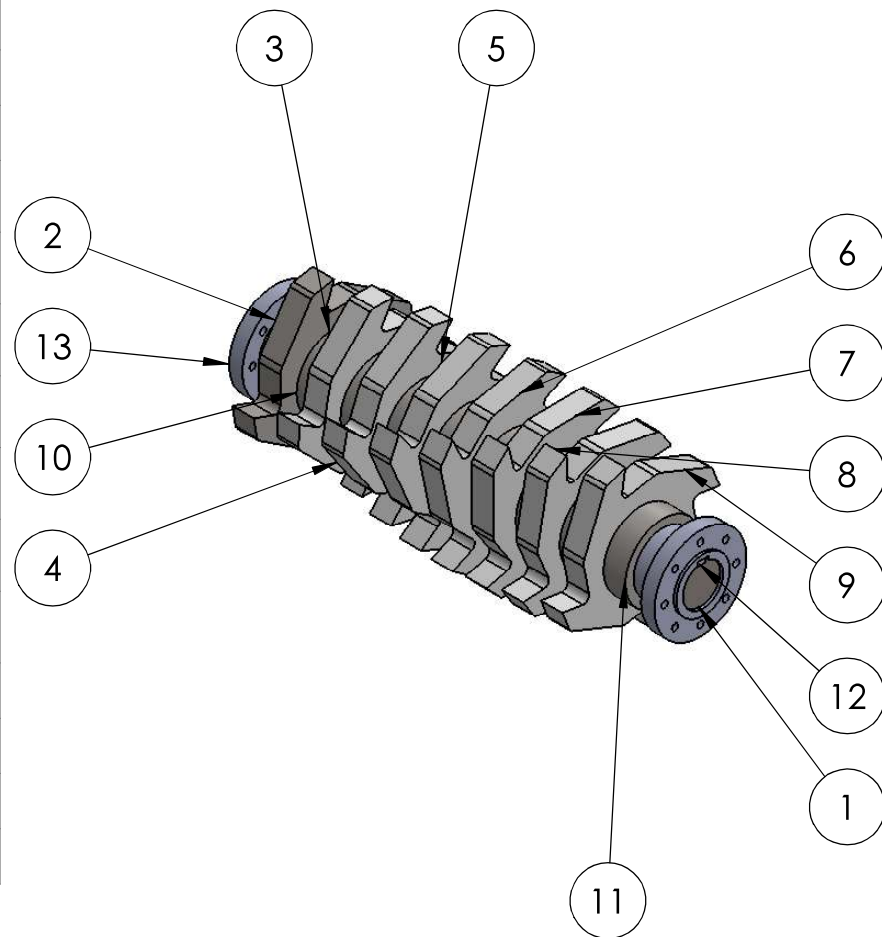
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018		CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018		TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018		TÍTULO:	
	APROBADO POR:	PhD. EMERITA DELGADO	21/09/2018		MEDIDAS DE ENSAMBLE	
	MATERIAL:			A4		
PESO:			ESCALA: 1:20		HOJA 2 DE 32	

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	EJE MOTRIZ ENSAMBLE	EJE SECCIÓN CUADRADA Y CUCHILLAS	1
2	PLANCHA LATERAL	EJE SECCIÓN CUADRADA Y CUCHILLAS	1
3	PLANCHA FRONTAL	ASTM A36 - 48MM - 15MM	2
4	PLANCHA LATERAL	ASTM A36 - 8MM	2
5	CUCHILLAS DE PARED	ASTM A36	16
6	RODAMIENTO	NU2313E	4
7	ENGRANE	TS654	4
8	CHUMACERAS DE PISO	SNL513 611	4
9	CADENA	160-2	1
10	REDUCTOR	ILH HB 148	1
11	MOTOR ELÉCTRICO	VEM2334T	1
12	ESTRUCTURA DE SOPORTE	PERFILES 75X125X5 / 50X50X5 / 40X40X4	1
13	TOLVA SUPERIOR	ASTM A36	1
14	TOLVA INFERIOR	ASTM A36	1
15	SPROCKET	160B16	2



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA	CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018	TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	MS.C FAUSTO MALDONADO	20/09/2018	TÍTULO:	
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	DESPIECE DE COMPONENTES	
MATERIAL:			TÍTULO:		A4
PESO:			ESCALA:1:50	HOJA 3 DE 32	

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	EJE CENTRAL	SECCIÓN 75X75 AISI 1045	1
2	CUCHILLA	SECCIÓN CUADRADA INTERIORR	1
3	CUCHILLA	ROTACIÓN DE SECCIÓN CUADRADA 10° DESDE LA VERTICAL	1
4	CUCHILLA	ROTACIÓN DE SECCIÓN CUADRADA 20° DESDE LA VERTICAL	1
5	CUCHILLA	ROTACIÓN DE SECCIÓN CUADRADA 30° DESDE LA VERTICAL	1
6	CUCHILLA	ROTACIÓN DE SECCIÓN CUADRADA 40° DESDE LA VERTICAL	1
7	CUCHILLA	ROTACIÓN DE SECCIÓN CUADRADA 50° DESDE LA VERTICAL	1
8	CUCHILLA	ROTACIÓN DE SECCIÓN CUADRADA 60° DESDE LA VERTICAL	1
9	CUCHILLA	ROTACIÓN DE SECCIÓN CUADRADA 70° DESDE LA VERTICAL	1
10	SEPARADOR	ESPESOR 42MM	7
11	SEPARADOR	SEPARADOR 41mm	1
12	CHAVETA - BRIDA	AISI 1045	2
13	ACOPLE MACHO	AISI 4340	2

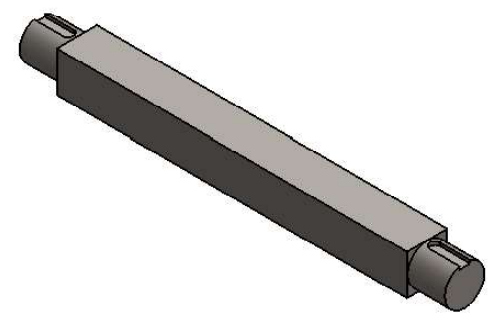


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA	CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018	TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018	TÍTULO:	
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	ENSAMBLE EJE CENTRAL	
MATERIAL: ASTM A36 - AISI 4340 - AISI 1045				A4	
PESO: 161.8 Kg			ESCALA: 1:10	HOJA 4 DE 32	

6 5 4 3 2 1

D

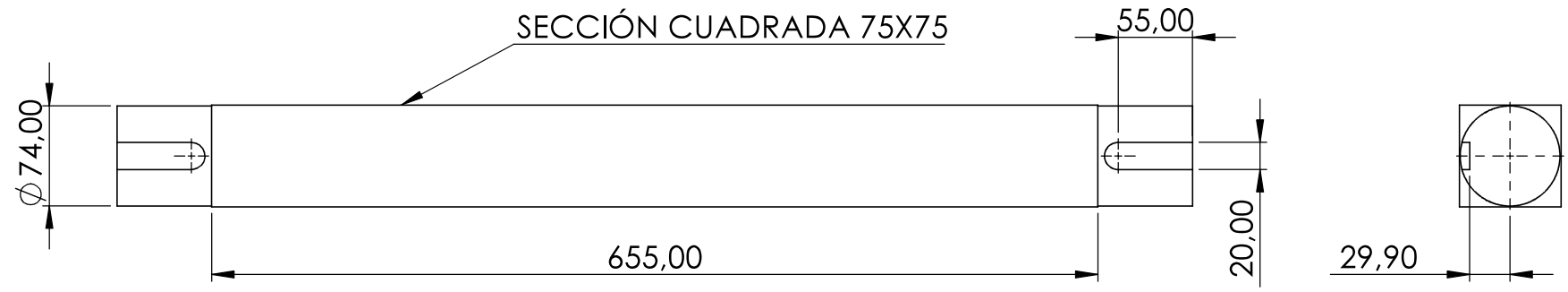
D



ESCALA 1:10

C

C



B

B

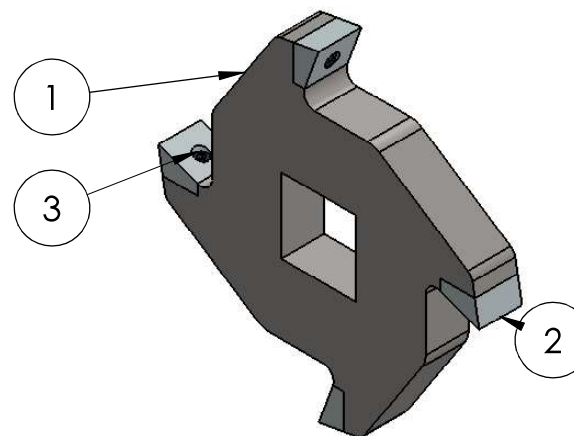
A

A

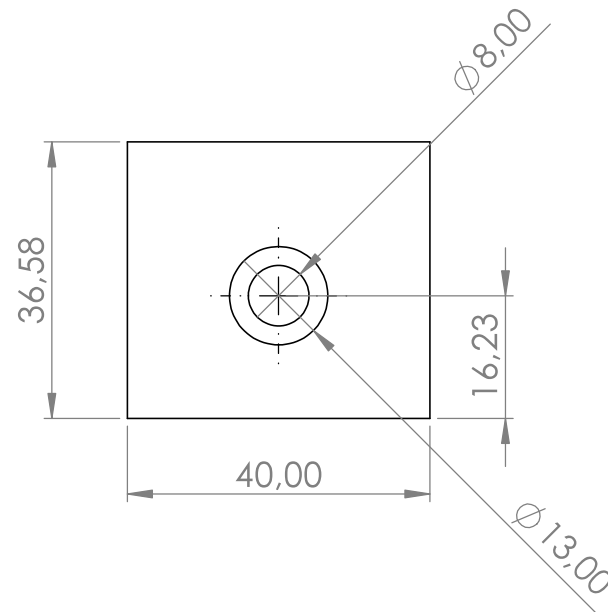
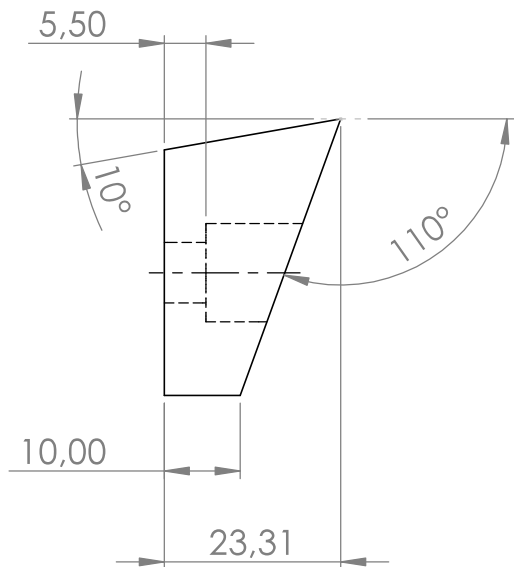
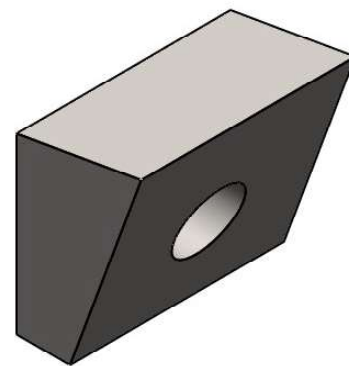
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP				MATERIA INTEGRADORA			
ESPOL	DISEÑADO POR:		NOMBRE		FECHA		CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:		ABEL OVIEDO Y.		20/08/2018		TRITURADORA NFU	
	DISEÑADO POR:		JUAN ANDINO B.		20/08/2018			
	REVISADO POR:		MSc. FAUSTO MALDONADO		20/09/2018			
APROBADO POR:		Ph.D. EMERITA DELGADO		21/09/2018		TÍTULO:		
MATERIAL:		AISI 1045		EJE CENTRAL		A4		
PESO:		33.5 Kg		ESCALA:1:5		HOJA 5 DE 32		

6 5 4 3 2 1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	CUERPO DE CUCHILLA	ASTM A36	1
2	DIENTE DE CUCHILLA	AISI D2	4
3	PERNO ALLEN	B18.3.1M - 8 x 1.25 x 20 Hex SHCS -- 20CHX	4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	MATERIA INTEGRADORA			CONJUNTO:	
FIMCP	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA	TRITURADORA NFU	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018		
ESPOL	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018		
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018		
	MATERIAL:	AISI D2 - ASTM A36		TÍTULO:	ENSAMBLE DE CUCHILLA
				A4	
PESO: 12.8 Kg			ESCALA:1:5	HOJA 6 DE 32	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
	FIMCP	DISEÑADO POR:		NOMBRE		FECHA		MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
DISEÑADO POR:		JUAN ANDINO B.		20/08/2018					
REVISADO POR:		Msc. FAUSTO MALDONADO		20/09/2018					
APROBADO POR:		Ph.D. EMERITA DELGADO		21/09/2018					
ESPOL	MATERIAL:		AISI D2		TÍTULO:		DIENTE DE CUCHILLA		
	PESO:		0.2 Kg		ESCALA:		1:1		
						HOJA 7 DE 32		A4	

6

5

4

3

2

1

D

D

C

C

B

B

A

A

6

5

4

3

2

1

6 5 4 3 2 1

D

C

B

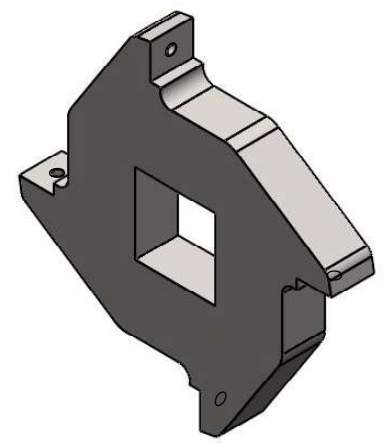
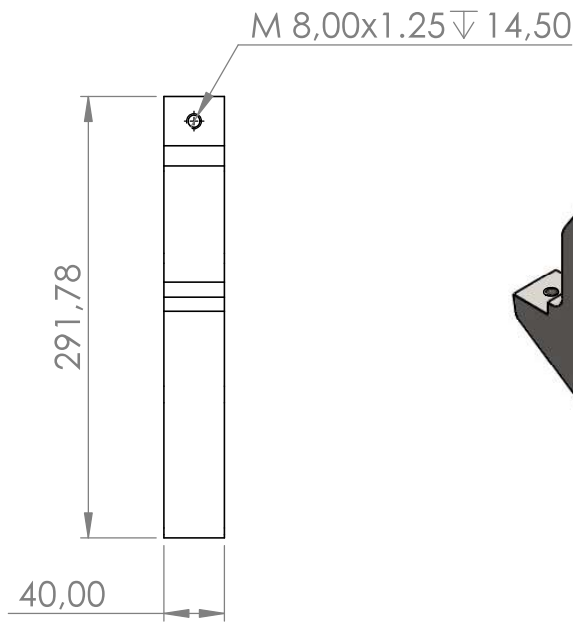
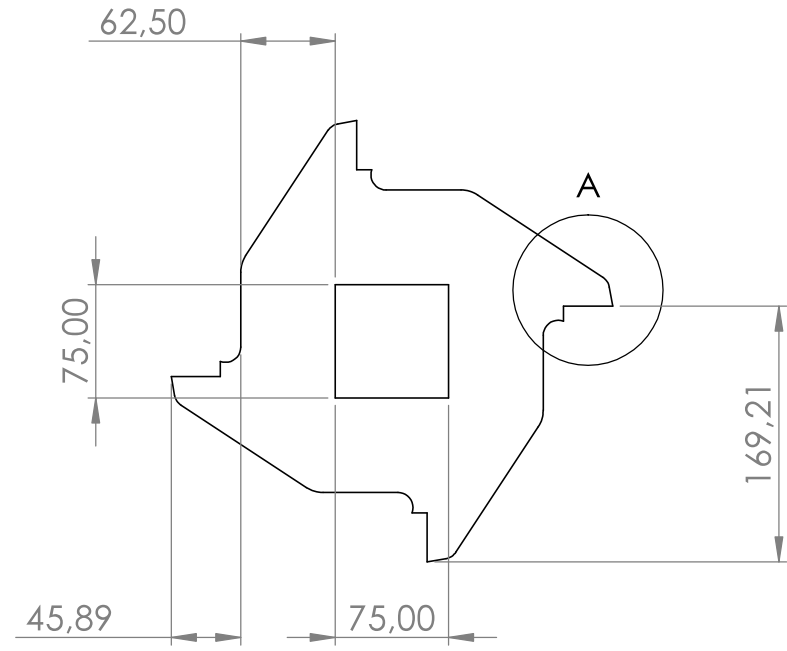
A

D

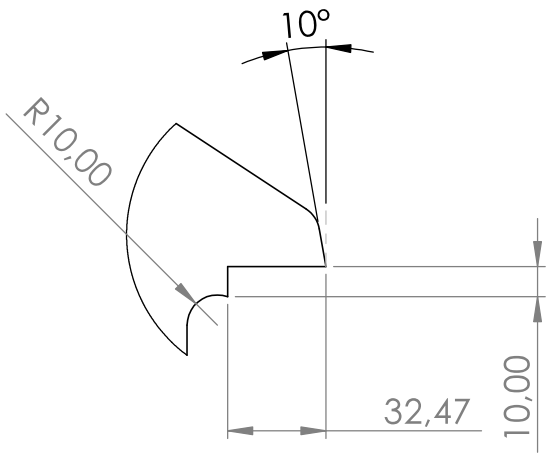
C

B

A



REDONDEOS R=20,00 mm



DETALLE A
ESCALA 2 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP				MATERIA INTEGRADORA			
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA		CONJUNTO:		TRITURADORA NFU	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018					
	REVISADO POR:	Msc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018					
	APROBADO POR:	PhD. EMERITA DELGADO	21/09/2018					
MATERIAL:			ASTM A36			TÍTULO:		A4
			PESO: 11.9 kg			ESCALA:1:5		HOJA 8 DE 32
				CUERPO CUCHILLA 4 DIENTES				

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D

C

B

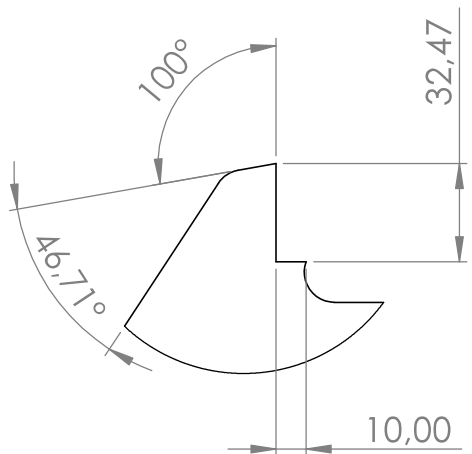
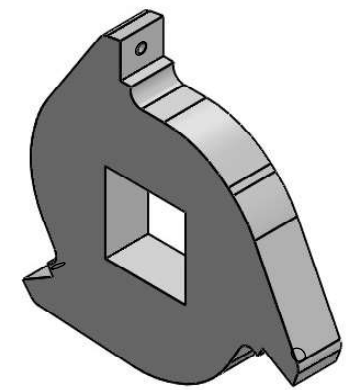
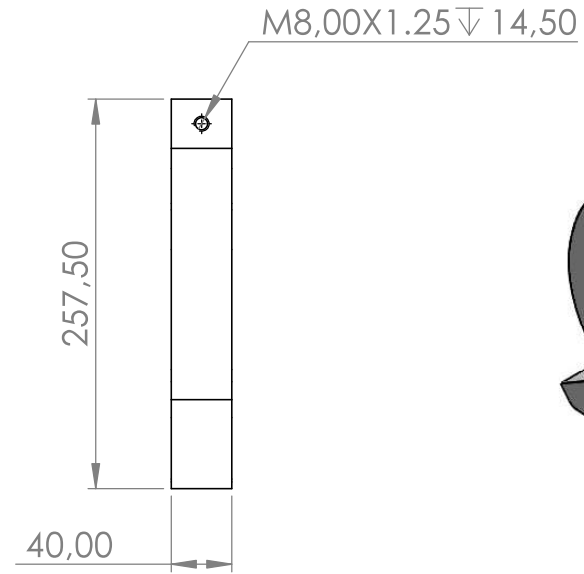
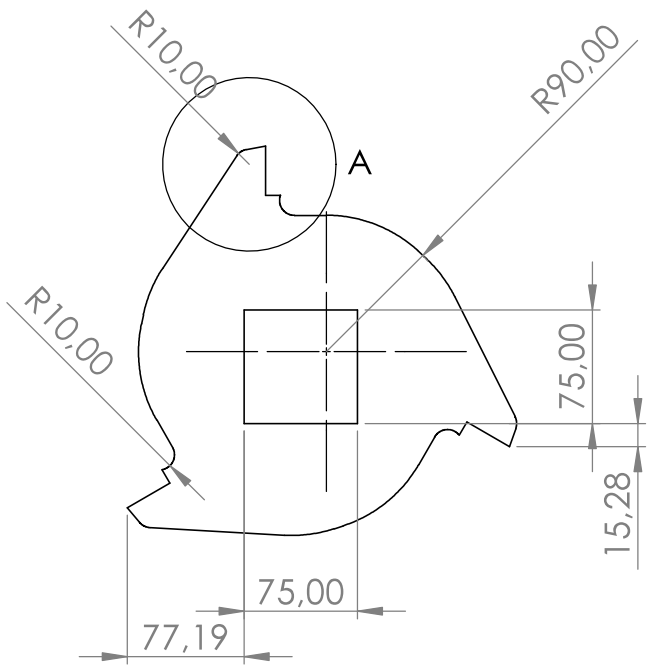
A

D

C

B

A



DETALLE A
ESCALA 2 : 5

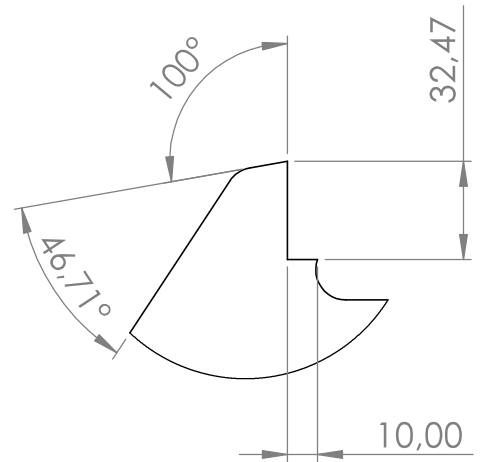
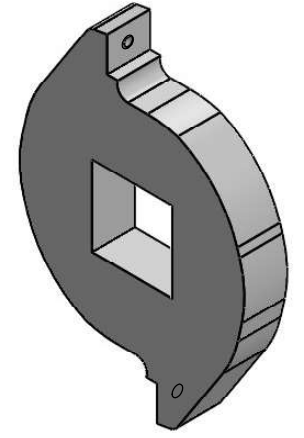
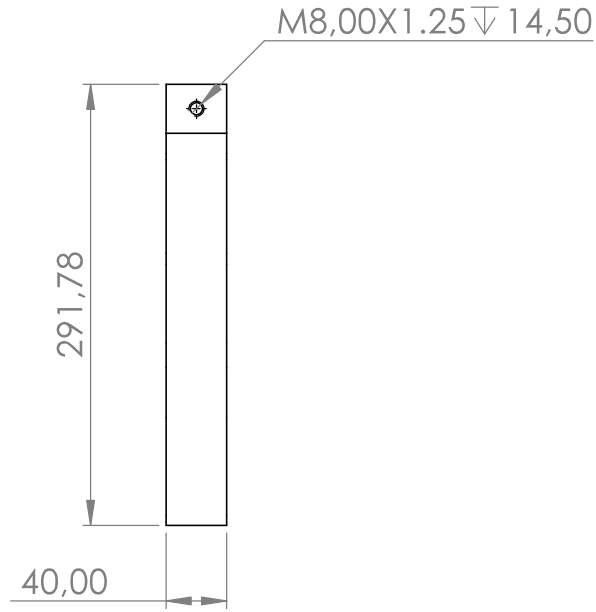
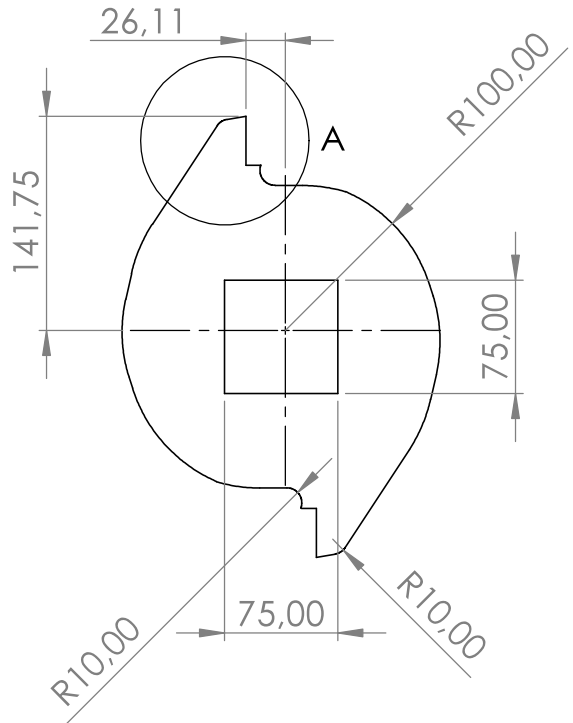
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP				MATERIA INTEGRADORA			
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA:		CONJUNTO:		TRITURADORA NFU	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018					
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018					
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018					
MATERIAL:		ASTM A36			TÍTULO:		CUERPO CUCHILLA 3 DIENTES	
		PESO: 11.3 kg			ESCALA: 1:5		A4	
					HOJA 9 DE 32			

6 5 4 3 2 1

6 5 4 3 2 1

D
C
B
A

D
C
B
A



DETALLE A
ESCALA 2 : 5

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP				MATERIA INTEGRADORA			
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA:		CONJUNTO:		TRITURADORA NFU	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018					
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018					
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018					
MATERIAL:		ASTM A36			TÍTULO:		CUERPO DE CUCHILLA 2 DIENTES	
PESO:		10.5 kg			ESCALA: 1:5		HOJA 10 DE 32	
							A4	

6 5 4 3 2 1

6

5

4

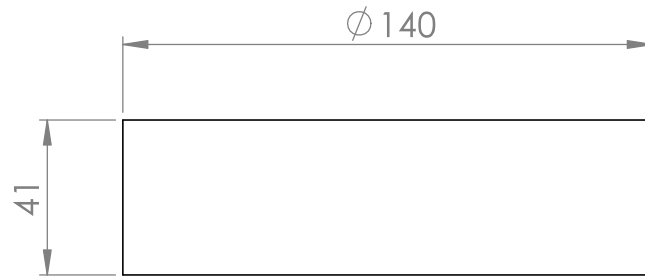
3

2

1

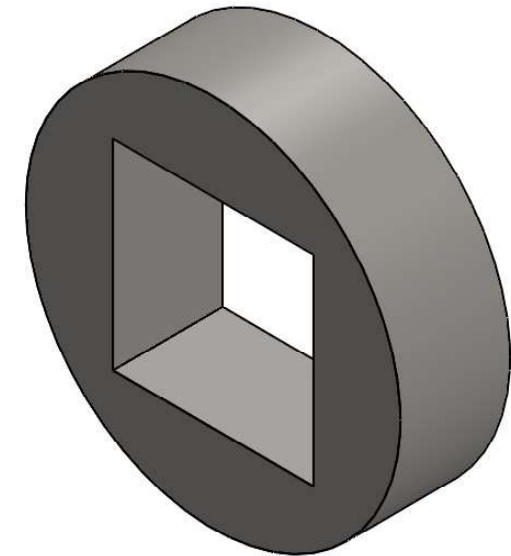
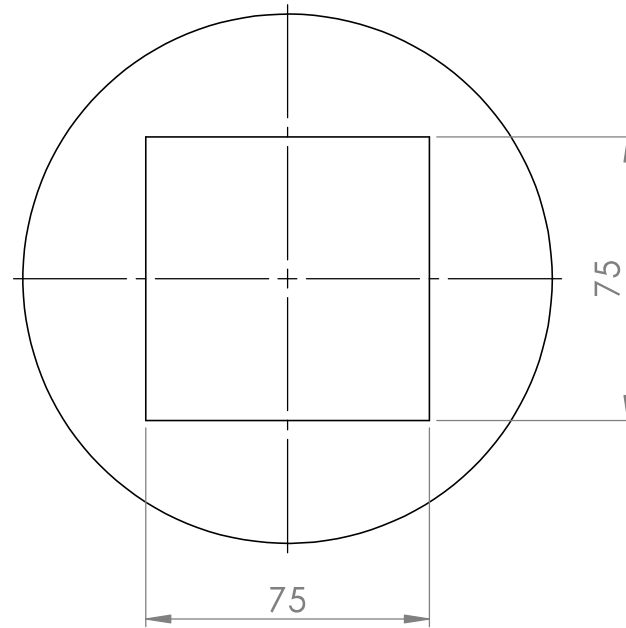
D

D



C

C



B

B

A

A

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018			
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018			
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018			
	APROBADO POR:	PhD. EMERITA DELGADO	21/09/2018	TÍTULO: SEPARADOR 41MM		
	MATERIAL:	ASTM A36					A4
PESO: 3.2 kg			ESCALA: 1:2		HOJA 11 DE 32	

6

5

4

3

2

1

6

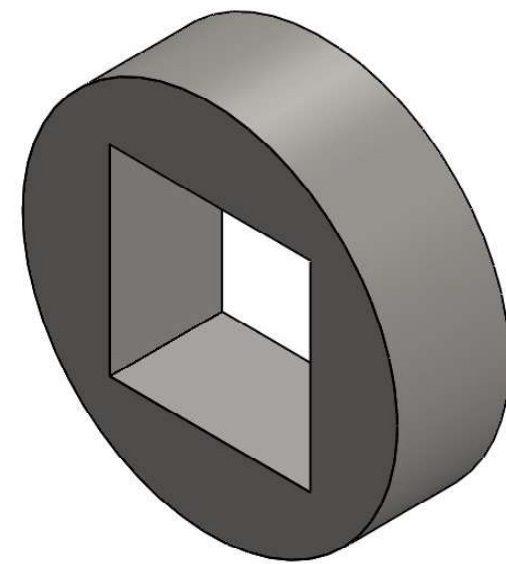
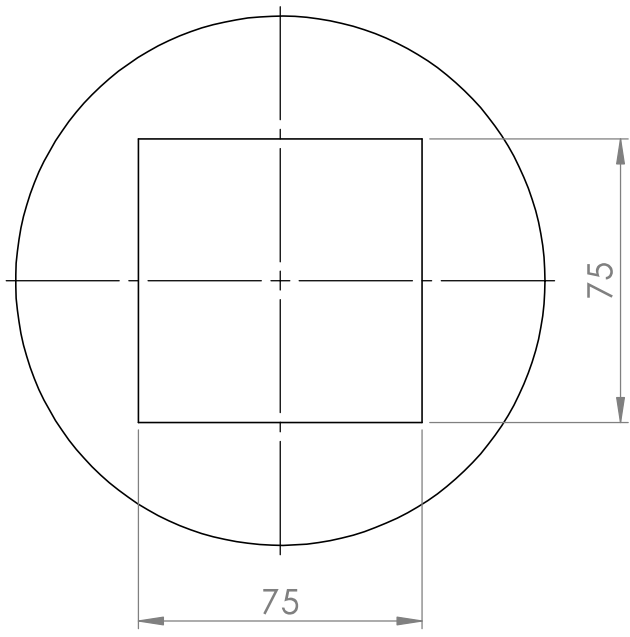
5

4

3

2

1



D

D

C

C

B

B

A

A

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP				MATERIA INTEGRADORA			
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	NOMBRE		FECHA		CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.					TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO						
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO						
MATERIAL:		ASTM A36		TÍTULO:		SEPARADOR 42 MM		A4
PESO: 3.2 kg				ESCALA: 1:2		HOJA 12 DE 32		

6

5

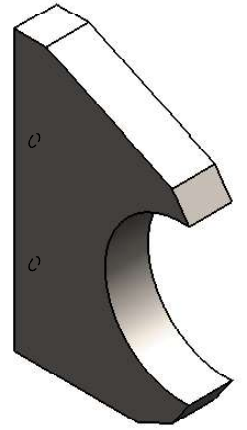
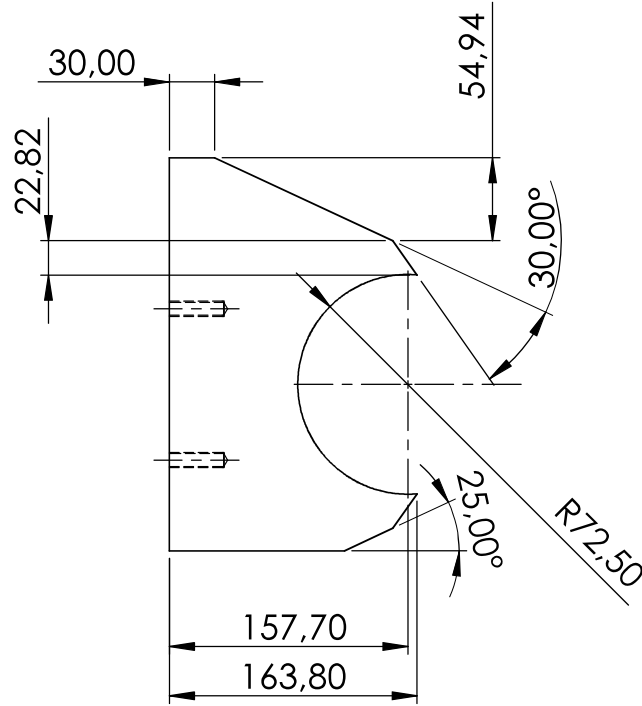
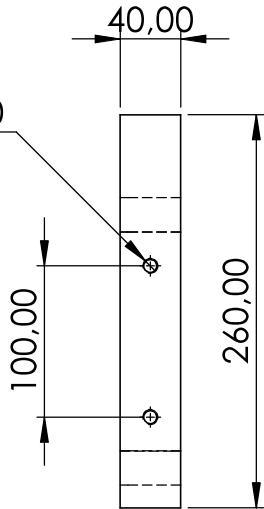
4

3

2

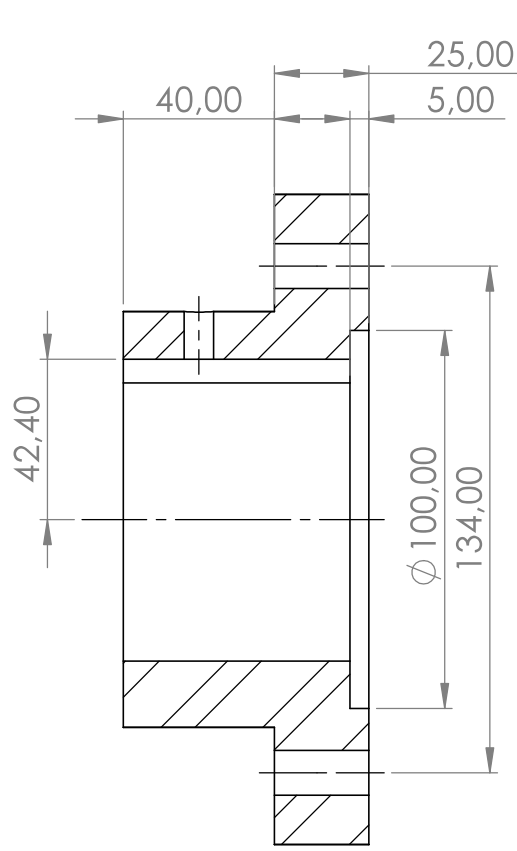
1

2 x ϕ 8,50 ∇ 36,00
M10x1,5 - 6H ∇ 36,00

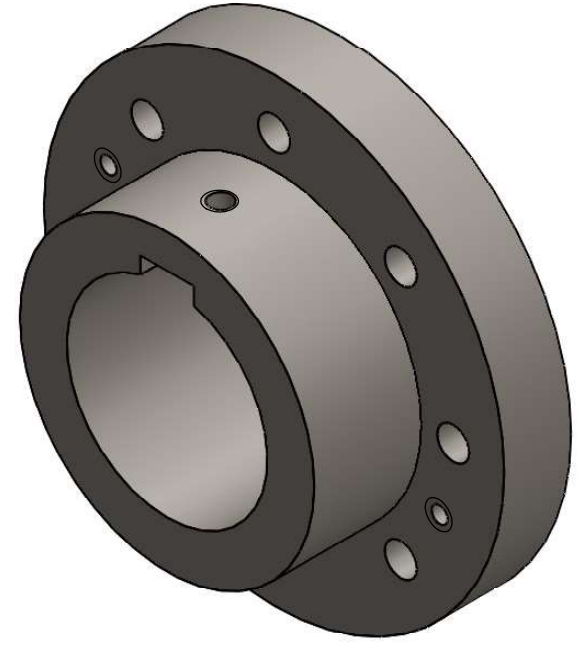
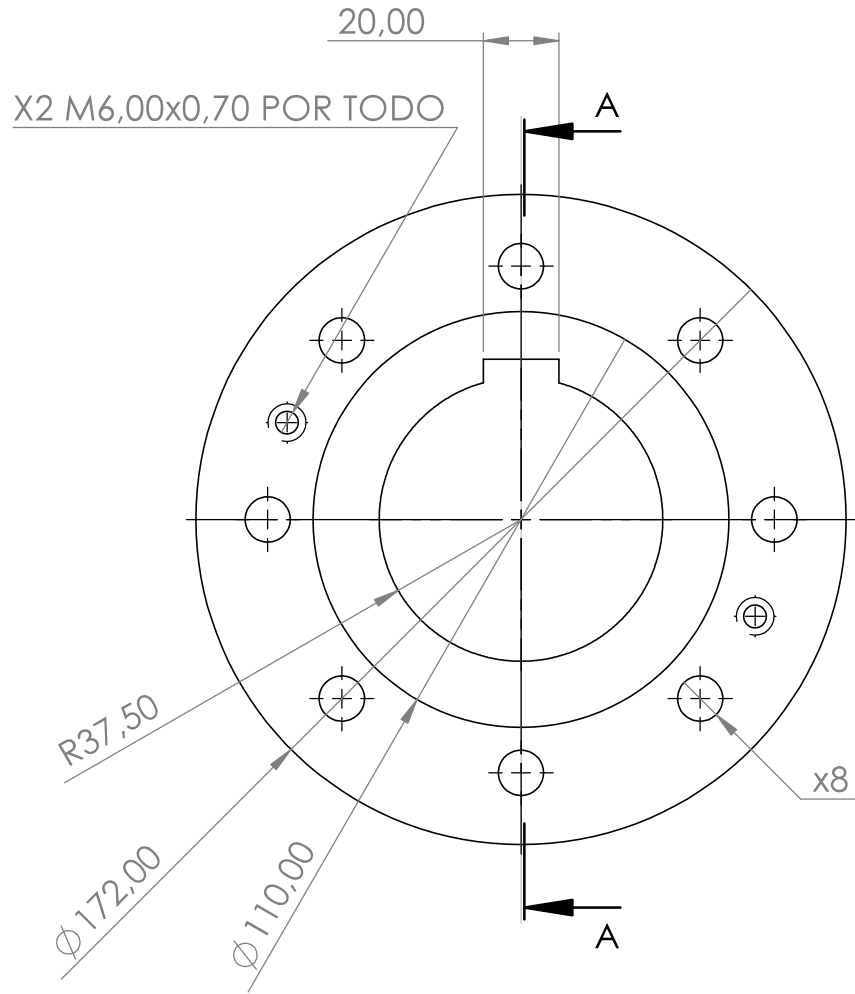


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN	
					MATERIA INTEGRADORA		
FIMCP	NOMBRE		FECHA		CONJUNTO: TRITURADORA NFU		
	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018				
ESPOL	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018		TÍTULO: CUCHILLA DE PARED		
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018				
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018				
MATERIAL:		ASTM A36				A4	
PESO: 8.9 Kg			ESCALA: 1:5		HOJA 13 DE 32		

6 5 4 3 2 1



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2
PASADOR M8X1.25



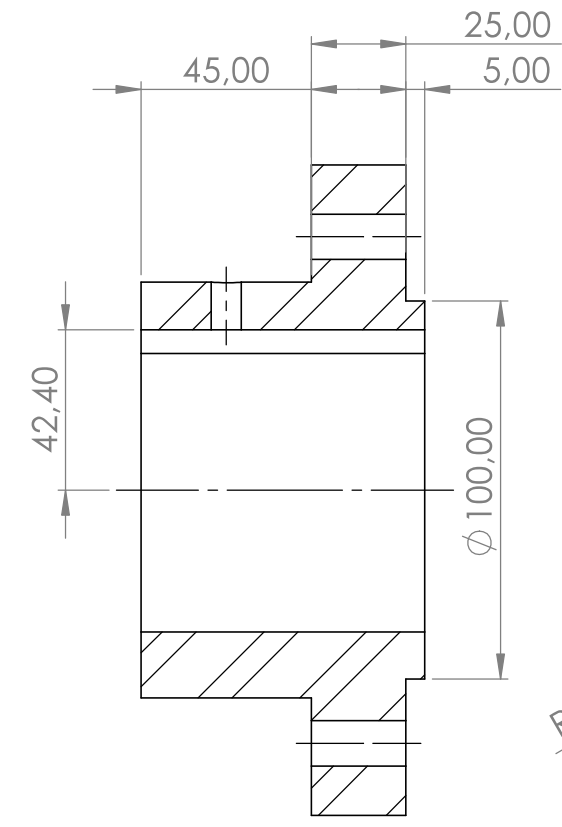
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP		NOMBRE		FECHA		MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:		ABEL OVIEDO Y.		20/08/2018		CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:		JUAN ANDINO B.		20/08/2018		TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:		MSc. FAUSTO MALDONADO		20/09/2018		TÍTULO:	
APROBADO POR:		Ph.D. EMERITA DELGADO		21/09/2018		ACOPLE HEMBRA		A4
MATERIAL:		AISI 4340		PESO: 4.9 Kg		ESCALA:1:2		HOJA 14 DE 32

6 5 4 3 2 1

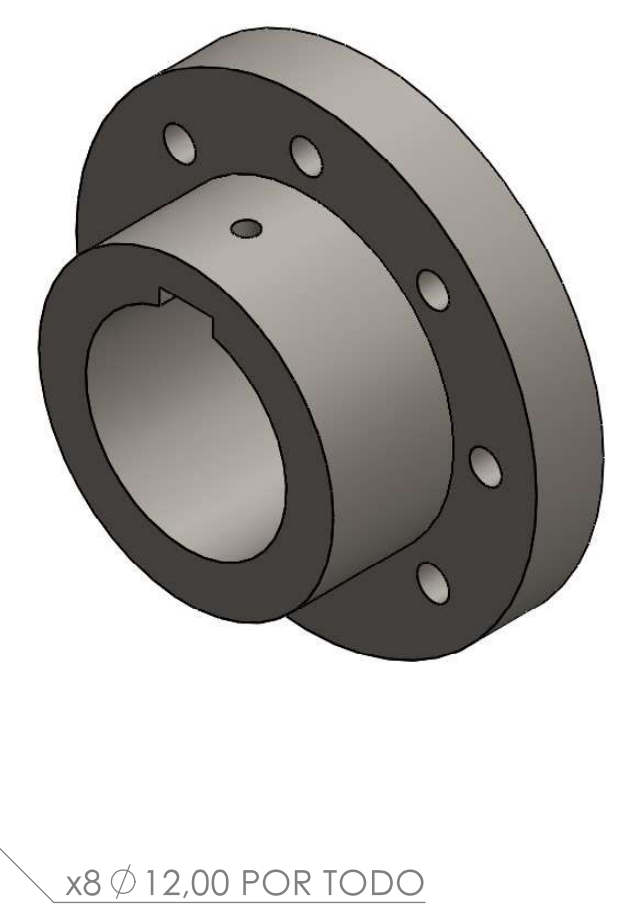
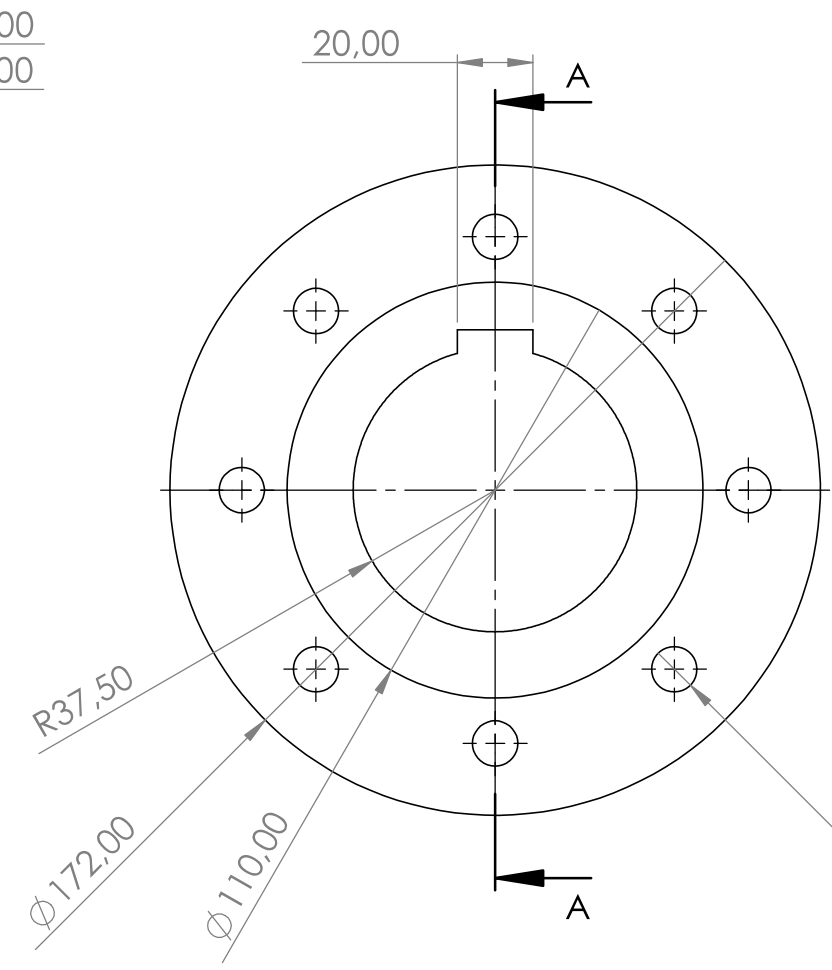
D
C
B
A

D
C
B
A

6 5 4 3 2 1



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2
PASADOR M8X1.25



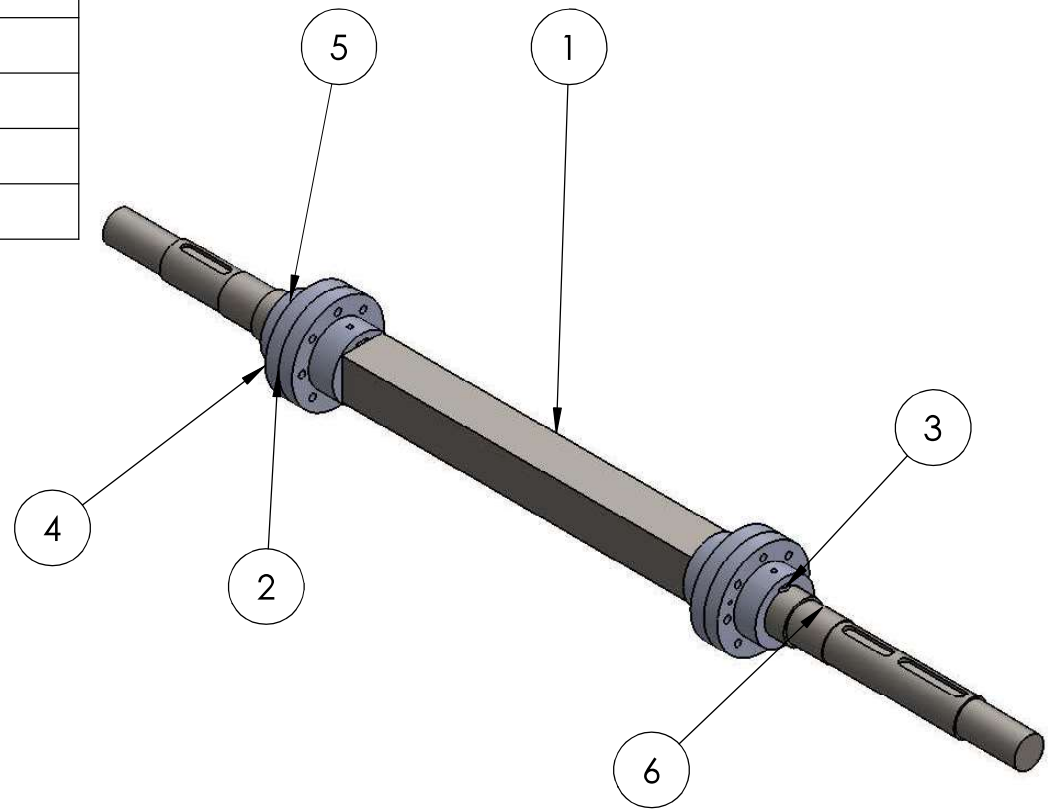
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE		MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA		CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018		TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018		TÍTULO:	
	APROBADO POR:	PhD. EMERITA DELGADO	21/09/2018		ACOPLE MACHO	
MATERIAL:		AISI 4340		TÍTULO:		A4
PESO: 5.4 Kg		ESCALA: 1:5		HOJA 15 DE 32		

6 5 4 3 2 1

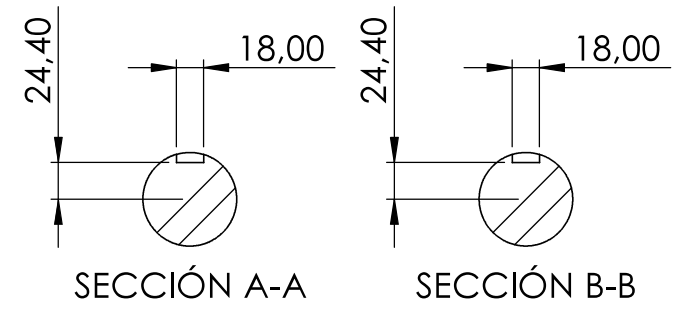
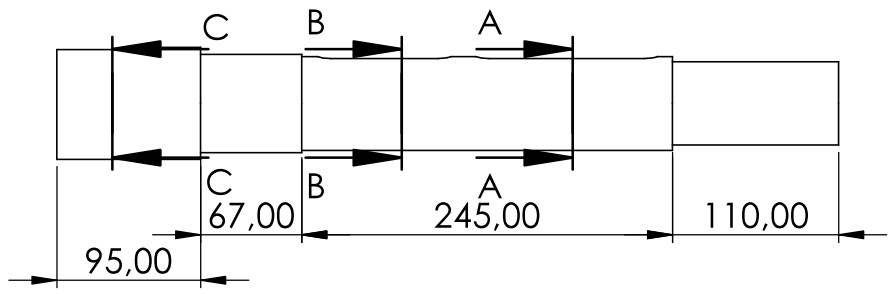
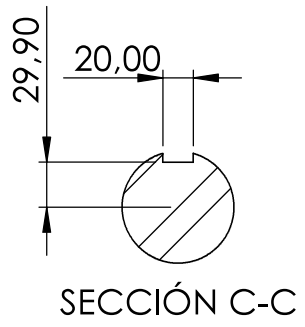
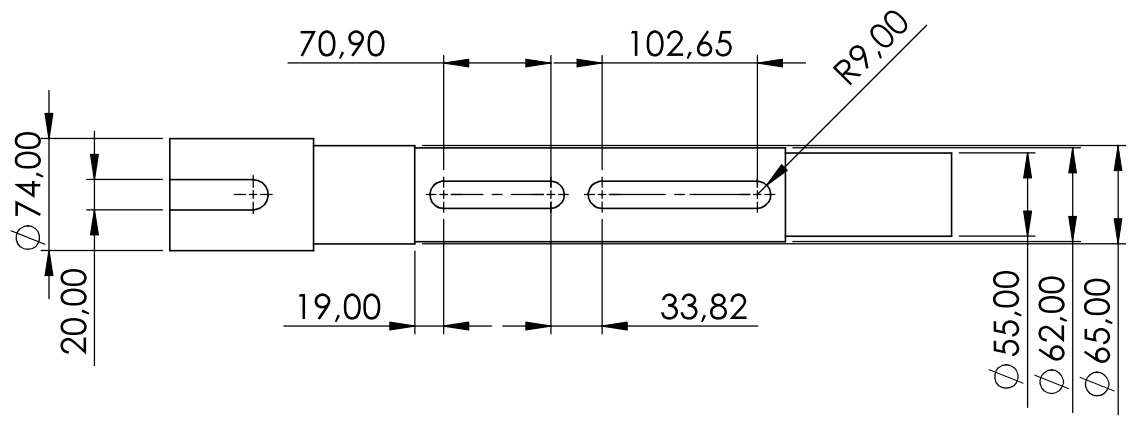
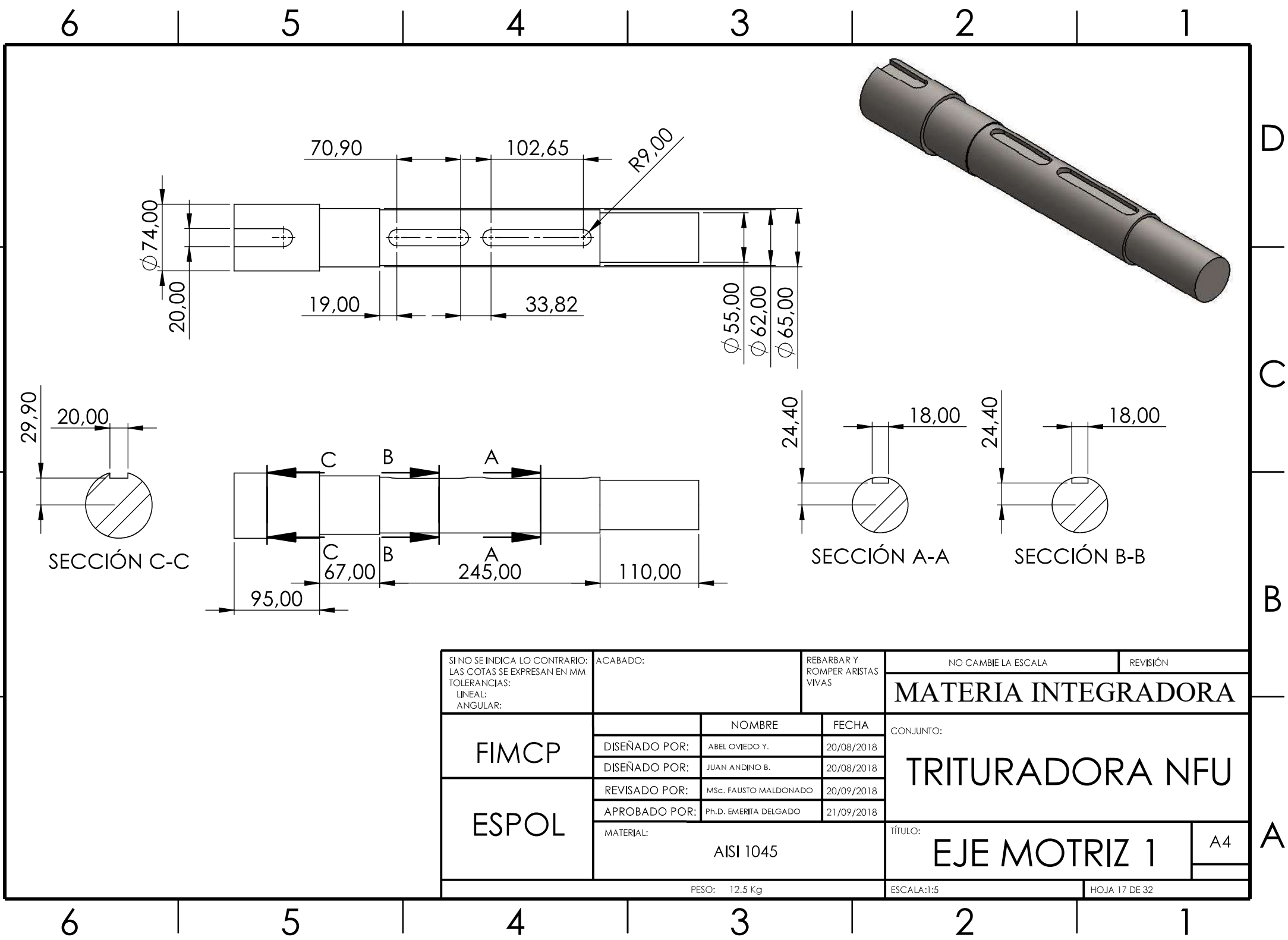
D
C
B
A

D
C
B
A

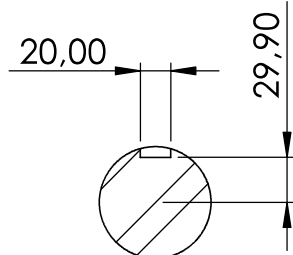
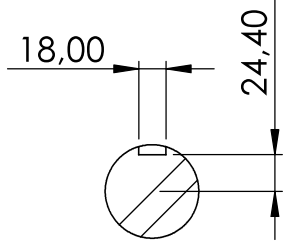
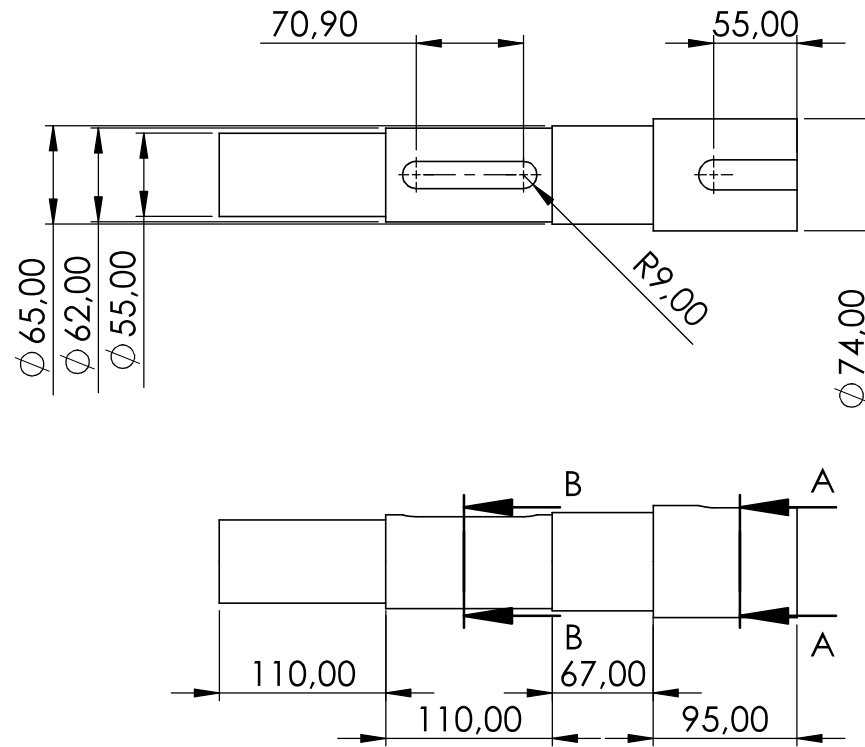
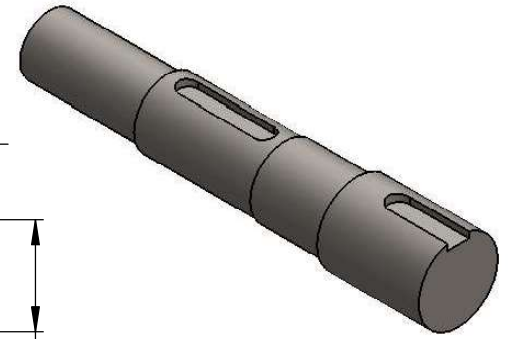
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	EJE CENTRAL	SECCIÓN 75X75 AISI 1045	1
2	ACOPLE MACHO	AISI 4340	2
3	CHAVETA - BRIDA	AISI 1045	4
4	ACOPLE HEMBRA	AISI 4340	2
5	EJE MOTRIZ 2	AISI 1045	1
6	EJE MOTRIZ 1	AISI 1045	1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP			MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018	CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018	TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018	TÍTULO:	
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	ENSAMBLE EJE MOTRIZ	
	MATERIAL:	AISI 4340 - AISI 1045		A4	
PESO: 58.2 Kg			ESCALA: 1:10	HOJA 16 DE 32	

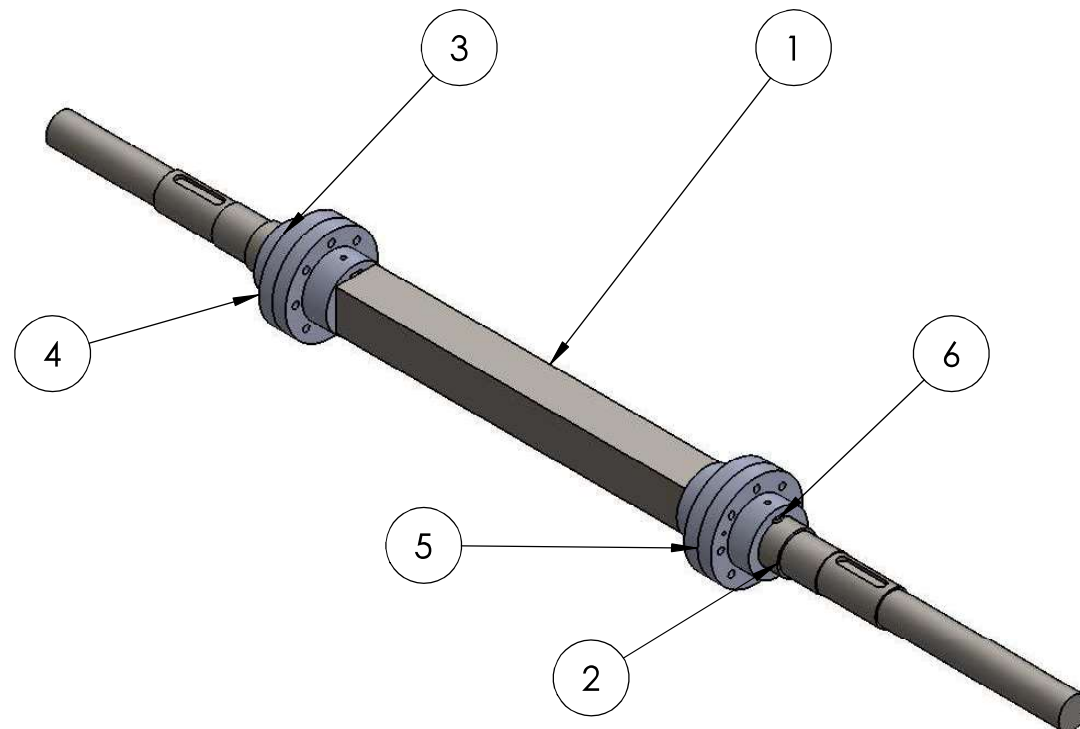


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP		NOMBRE		FECHA		MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
ESPOL		DISEÑADO POR:		FECHA				
		DISEÑADO POR:		FECHA				
ESPOL		REVISADO POR:		FECHA		TÍTULO: EJE MOTRIZ 1		
		APROBADO POR:		FECHA				
		MATERIAL:		AISI 1045		A4		
		PESO: 12.5 Kg		ESCALA: 1:5		HOJA 17 DE 32		

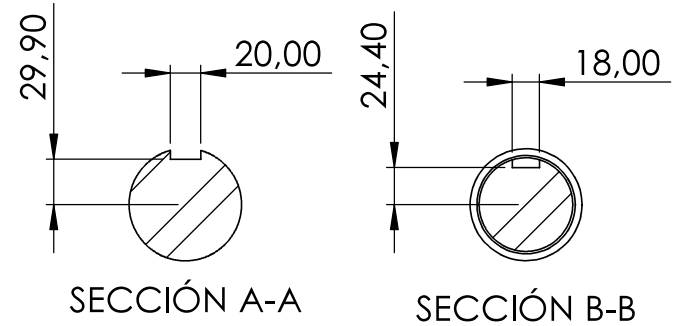
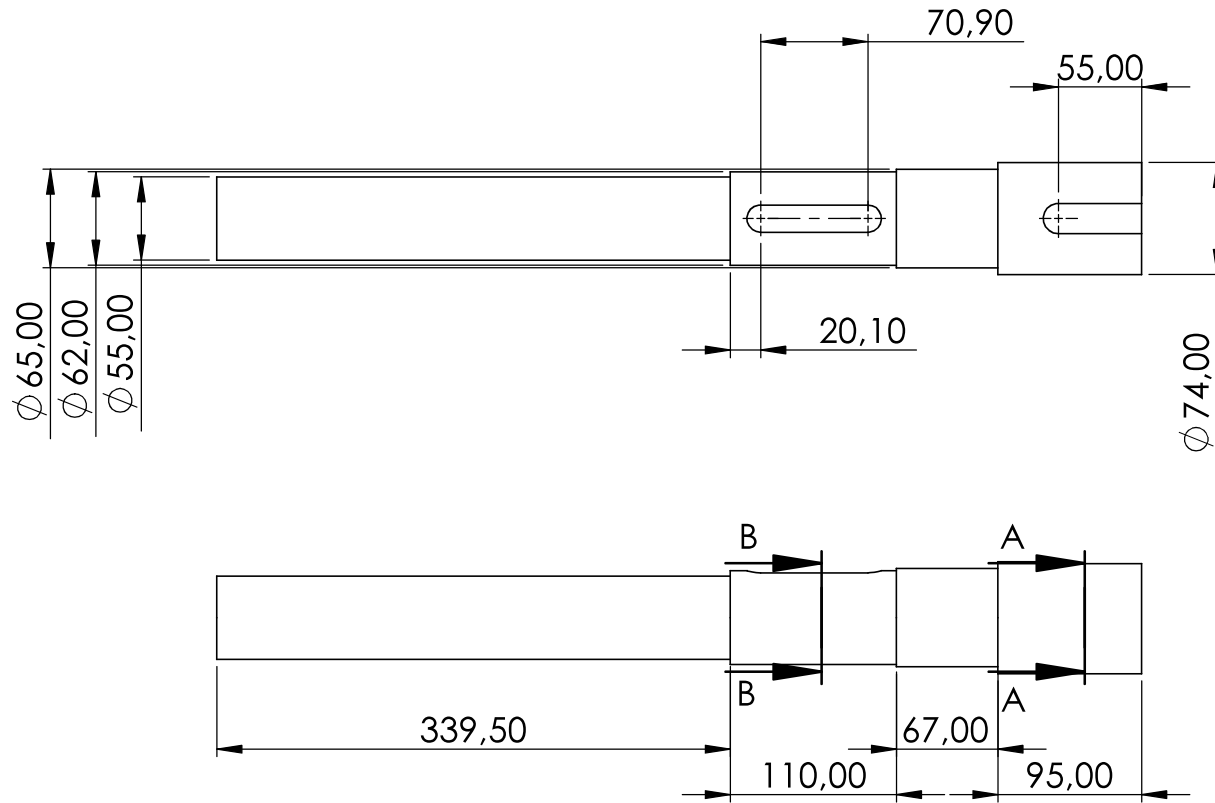


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					MATERIA INTEGRADORA	
FIMCP	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA		CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018			
ESPOL	REVISADO POR:	Msc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018		TÍTULO: EJE MOTRIZ 2	
	APROBADO POR:	PhD. EMERITA DELGADO	21/09/2018			
MATERIAL:		AISI 1045			A4	
PESO: 9.4 Kg				ESCALA: 1:5		HOJA 18 DE 32

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	EJE CENTRAL	SECCIÓN 75X75 AISI 1045	1
2	EJE CONDUcido 1	AISI 1045	1
3	EJE CONDUcido 2	AISI 1045	1
4	ACOPLE HEMBRA	AISI 4340	2
5	ACOPLE MACHO	AISI 4340	2
6	CHAVETA - BRIDA	AISI 1045	4



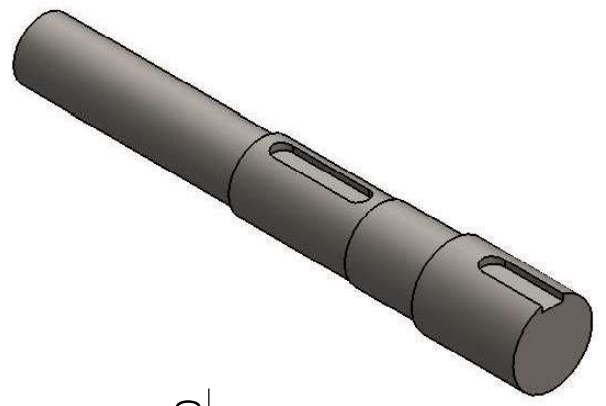
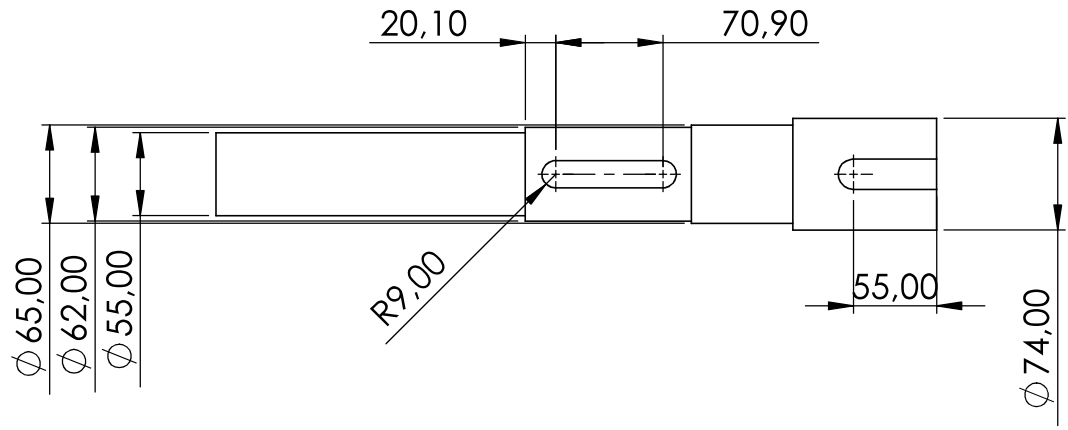
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP			MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018	CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018	TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	Msc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018	TÍTULO:	
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	ENSAMBLE EJE CONDUcido	
MATERIAL:			AISI 4340 - AISI 1045		A4
PESO: 61.2 Kg			ESCALA:1:10		HOJA 19 DE 32



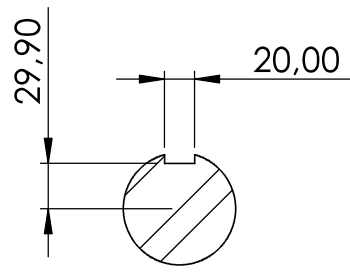
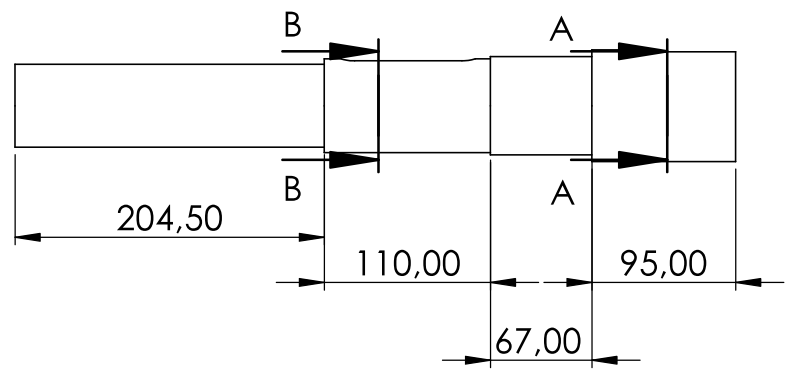
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
ESPOL		DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018		
		DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018		
		REVISADO POR:	Msc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018	TÍTULO: EJE CONDUCCION 1	
		APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018		
		MATERIAL:	AISI 1045		A4	
		PESO: 13.7 Kg			ESCALA: 1:5	HOJA 20 DE 32

6 5 4 3 2 1

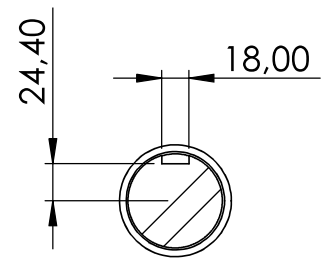
D



C



SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B

B

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
	FIMCP		NOMBRE		FECHA		MATERIA INTEGRADORA TRITURADORA NFU		
ESPOL		DISEÑADO POR:		FECHA					
		DISEÑADO POR:		FECHA					
ESPOL		REVISADO POR:		FECHA		TÍTULO: EJE CONDUCIDO 2			
		APROBADO POR:		FECHA					
		MATERIAL:		AISI 1045		ESCALA: 1:5		A4	
		PESO:		11.2 Kg		HOJA 21 DE 32			

A

6 5 4 3 2 1

D

C

B

A

6

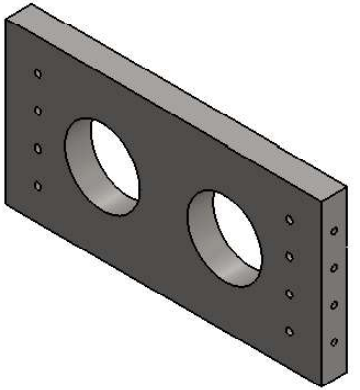
5

4

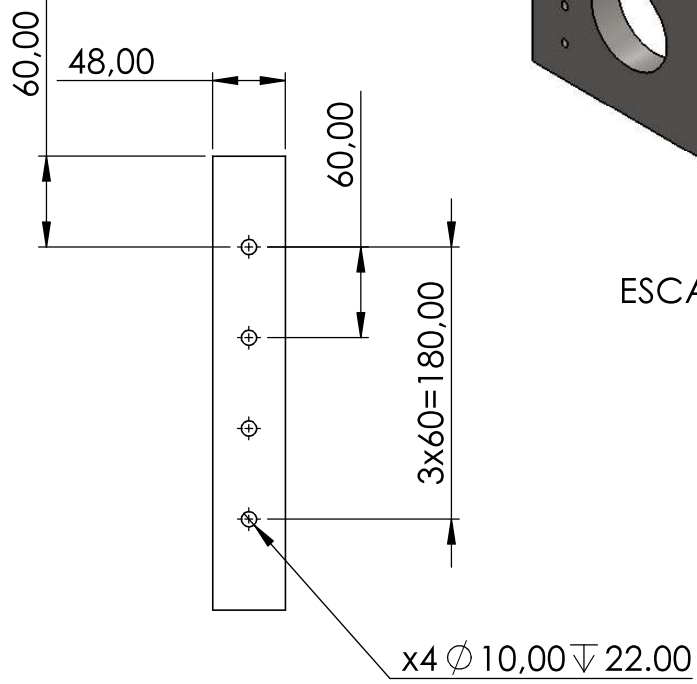
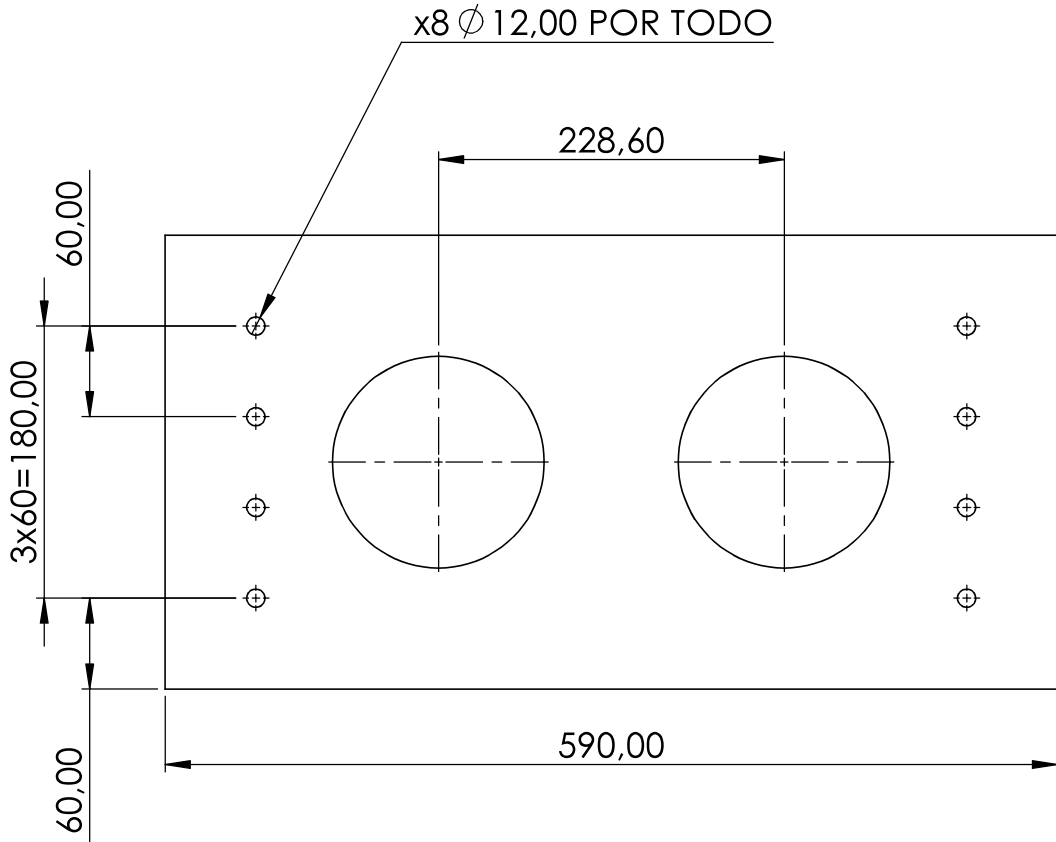
3

2

1



ESCALA 1:10



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP		NOMBRE		FECHA		MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:		ABEL OVIEDO Y.		20/08/2018		CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
	DISEÑADO POR:		JUAN ANDINO B.		20/08/2018			
	REVISADO POR:		MSc. FAUSTO MALDONADO		20/09/2018			
APROBADO POR:		Ph.D. EMERITA DELGADO		21/09/2018		TÍTULO:		
MATERIAL:		ASTM A36				PLACA DE RODAMIENTO 1		A4
PESO:		55 Kg				ESCALA:1:5		HOJA 22 DE 32

6

5

4

3

2

1

D

C

B

A

D

D

C

C

B

B

A

A

6

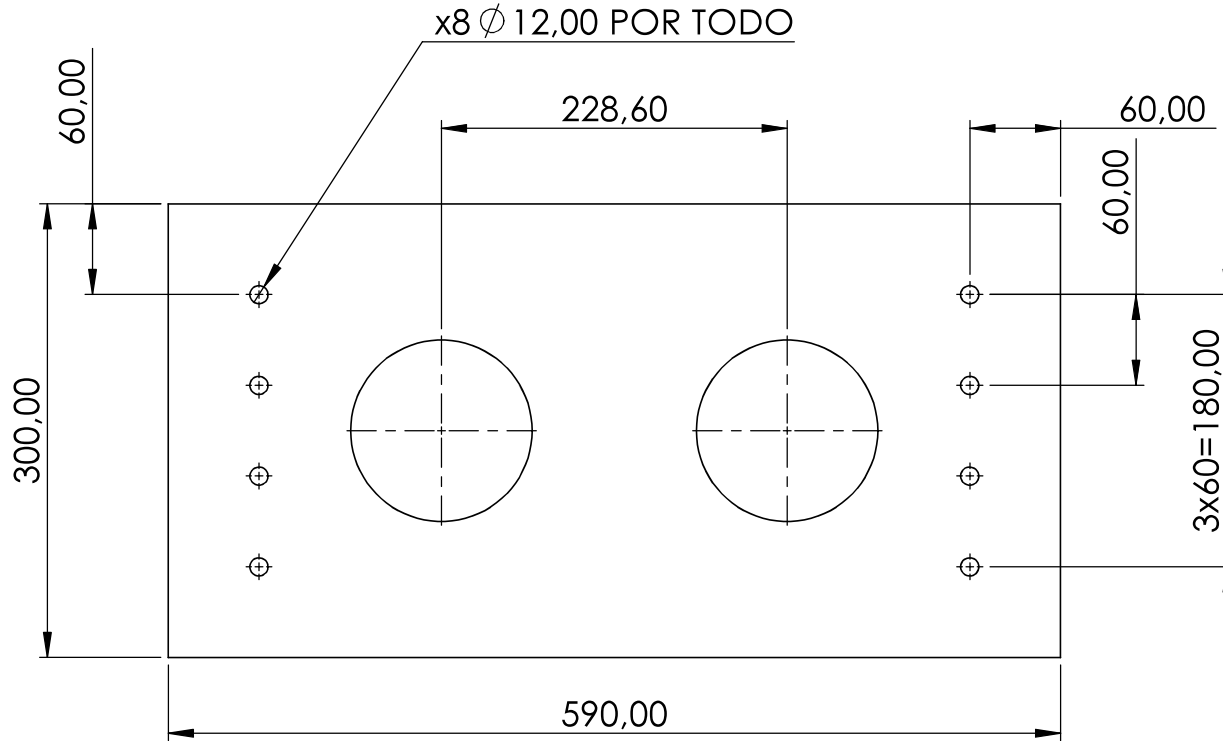
5

4

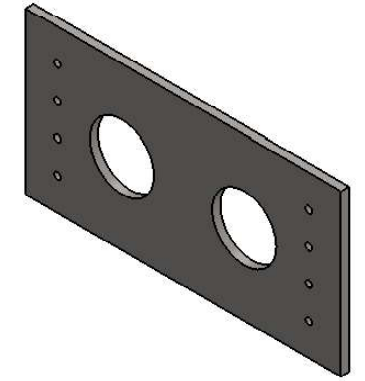
3

2

1



ESPESOR 15MM



ESCALA 1:10

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018			
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018			
	REVISADO POR:	Msc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018			
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	TÍTULO: PLACA DE RODAMIENTO 2		
	MATERIAL:	ASTM A36					A4
PESO: 18.2 Kg			ESCALA:1:5		HOJA 23 DE 32	

6

5

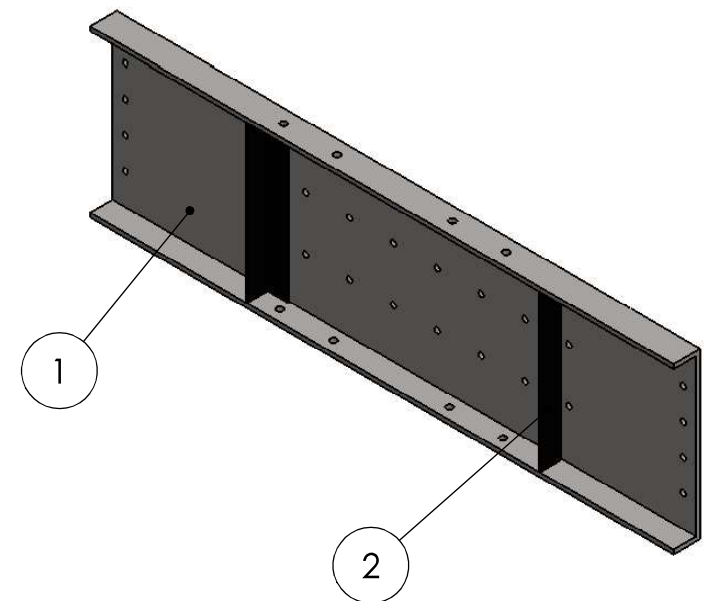
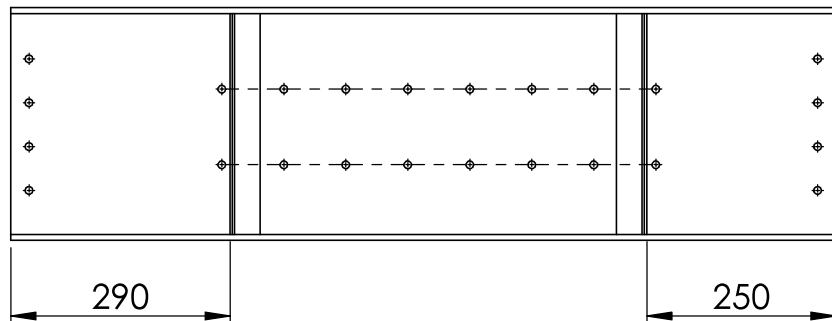
4

3

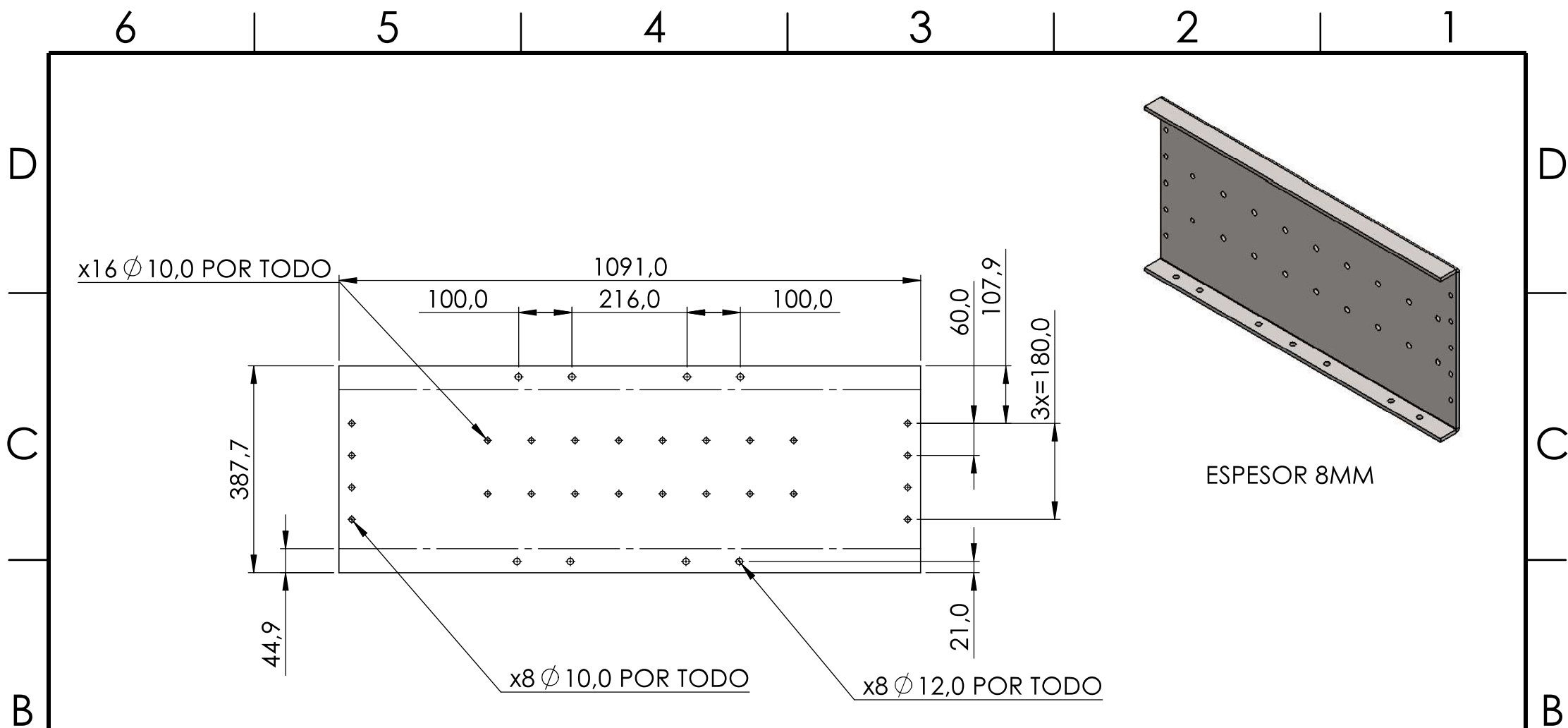
2

1

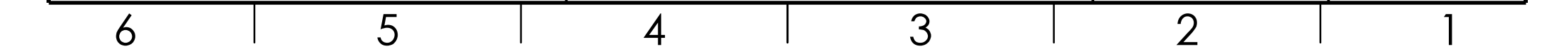
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PLANCHA LATERAL	8 MM DE ESPESOR	1
2	ÁNGULO	40x40x3	2



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP	NOMBRE		FECHA	MATERIA INTEGRADORA	
DISEÑADO POR:		ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018			
DISEÑADO POR:		JUAN ANDINO B.	20/08/2018	CONJUNTO: TRITURADORA NFU		
REVISADO POR:		MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018			
ESPOL	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	TÍTULO: PLANCHA LATERAL		A4
	MATERIAL:		ASTM A36			
PESO: 27.5 Kg			ESCALA: 1:10		HOJA 24 DE 32	



SIN O SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018			
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018			
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018			
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	TÍTULO: PLANCHA LATERAL PLEGADA		A4
	MATERIAL:	ASTM A36				
PESO: 26.2 Kg			ESCALA: 1:10		HOJA 25 DE 32	



6

5

4

3

2

1

D

D

C

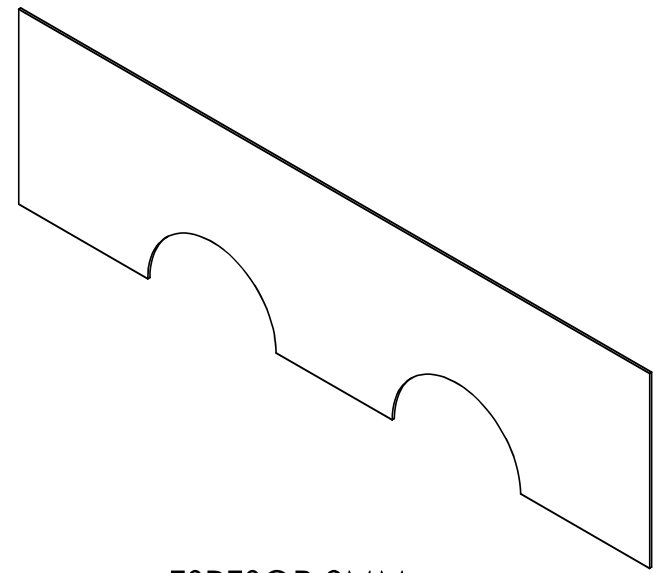
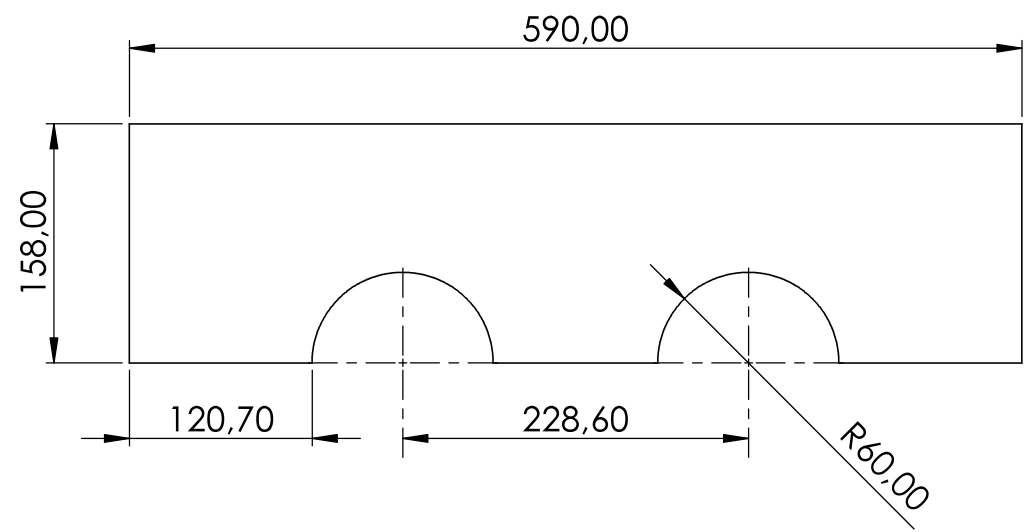
C

B

B

A

A



ESPESOR 2MM

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
	FIMCP				MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU			
ESPOL		MATERIAL: ASTM A36		TÍTULO: PLANCHA SEPARADORA					A4
		PESO: 1.3 Kg		ESCALA:1:5		HOJA 26 DE 32		

6

5

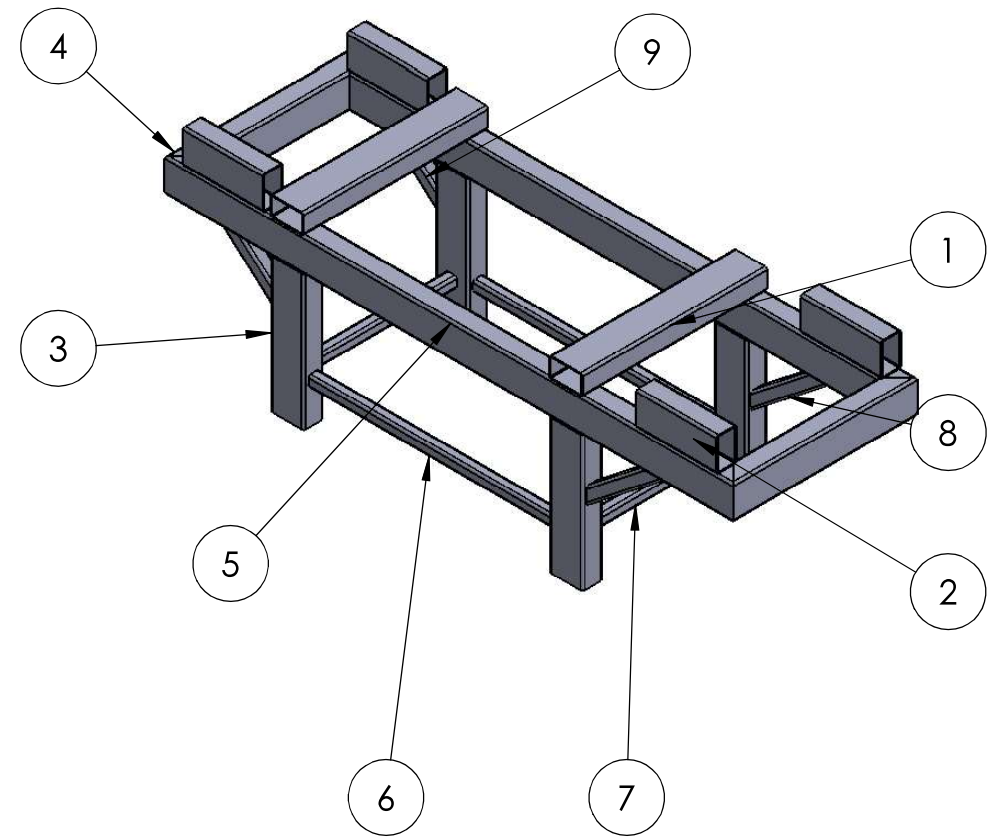
4

3

2

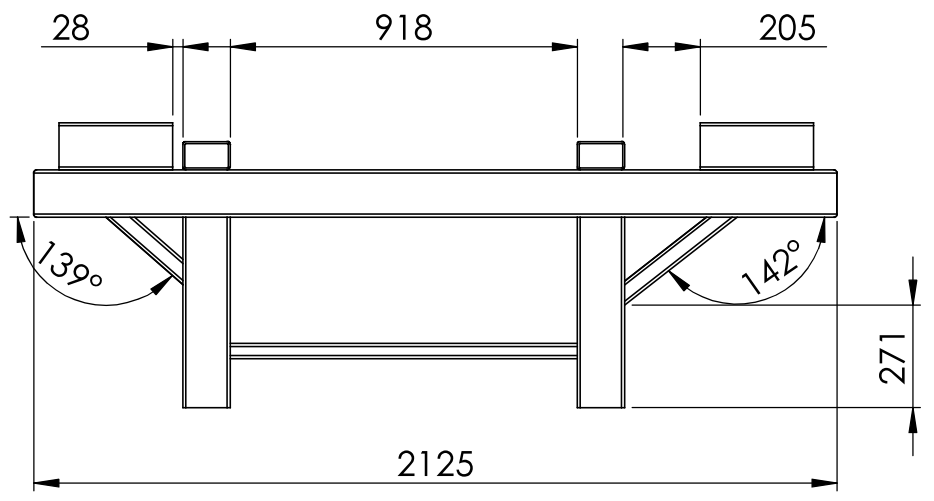
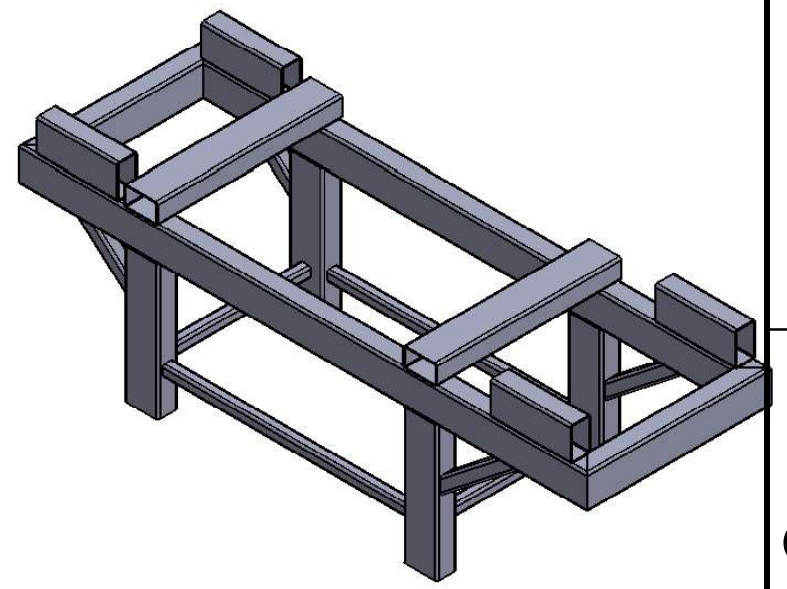
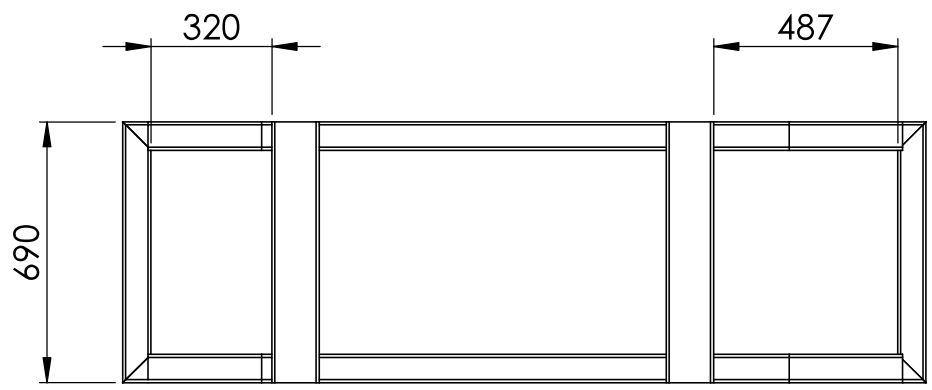
1

N.º DE ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LONGITUD
1	2	PERFIL RECTANGULAR 75X125X5	690
2	4	PERFIL RECTANGULAR 75X125X5	300
3	4	PERFIL RECTANGULAR 75X125X5	504
4	2	PERFIL RECTANGULAR 75X125X5	690
5	2	PERFIL RECTANGULAR 75X125X5	2125
6	2	PERFIL CUADRADO 40X40X4	918
7	2	PERFIL CUADRADO 40X40X4	540
8	2	PERFIL CUADRADO 50X50X5	378.3
9	2	PERFIL CUADRADO 50X50X5	271.12



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018	CONJUNTO: TRITURADORA NFU		
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018			
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018			
		APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	TÍTULO: ELEMENTOS DE ESTRUCTURA	
		MATERIAL:		ASTM A36			A4
		PESO:		ESCALA: 1:20	HOJA 27 DE 32	

6 5 4 3 2 1



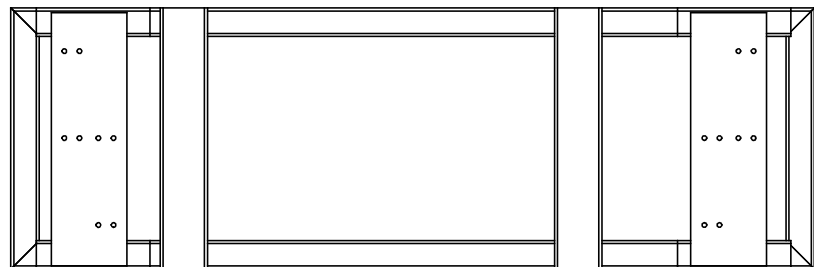
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA	
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018		CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018		TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018		TÍTULO:	
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018		ESTRUCTURA DE SOPORTE	
	MATERIAL:	ASTM A36		A4		
PESO:			ESCALA: 1:20		HOJA 28 DE 32	

6 5 4 3 2 1

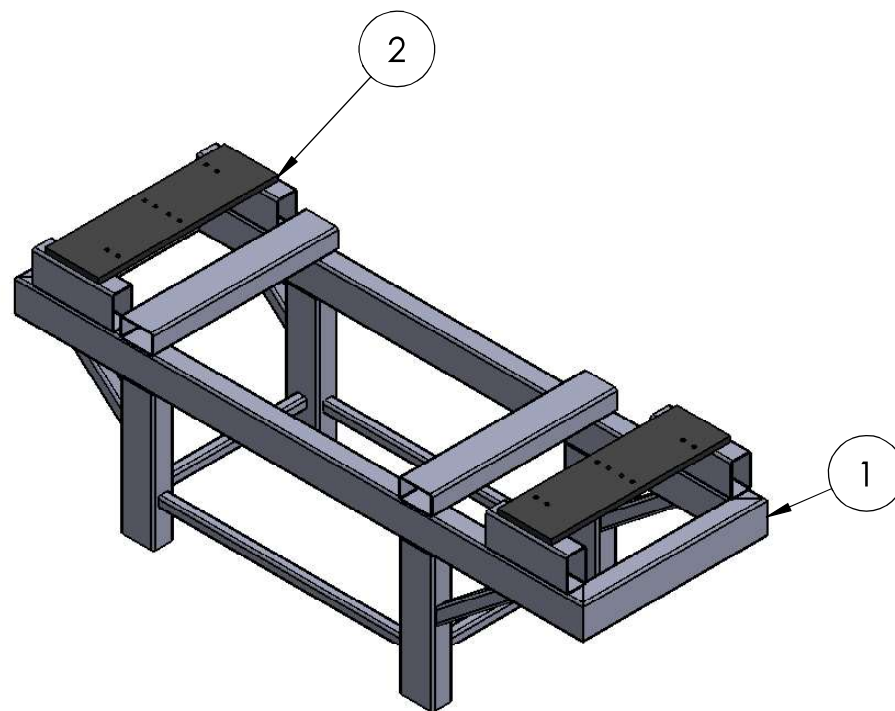
D
C
B
A

D
C
B
A

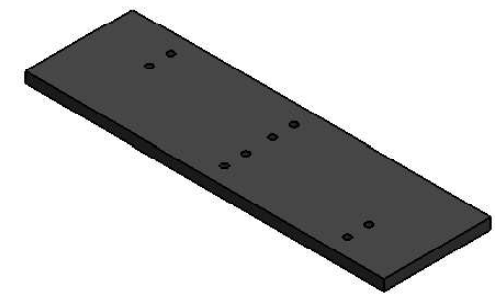
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	ESTRUCTURA DE SOPORTE	PERFILES - ASTM A36	1
2	PLACA BASE DE CHUMACERAS	ASTM A36	2



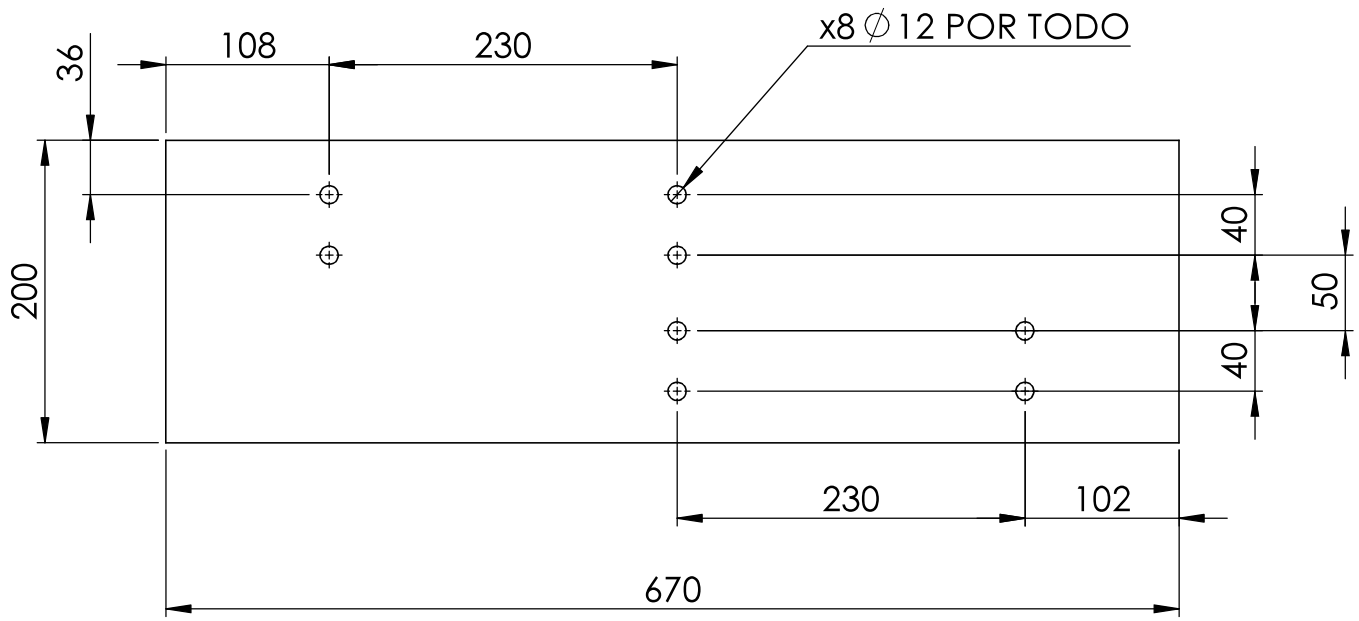
40 1491 65



SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018	CONJUNTO:	
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018	TRITURADORA NFU	
	REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018	TÍTULO:	
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018	UNIÓN ESTRUCTURA - PLACA DE SOPORTE	
	MATERIAL:	ASTM A36		A4	
PESO:			ESCALA: 1:20	HOJA 29 DE 32	



ESCALA 1:10
 ESPESOR 20MM



SIN O SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
	FIMCP		NOMBRE	FECHA	MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU	
ESPOL		DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	20/08/2018		
		DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018		
		REVISADO POR:	MSc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018	TÍTULO: PLACA BASE DE CHUMACERAS	
		APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018		
		MATERIAL:	ASTM A36		A4	
		PESO:	18.9 Kg		ESCALA:1:5	HOJA 30 DE 32

6

5

4

3

2

1

D

D

C

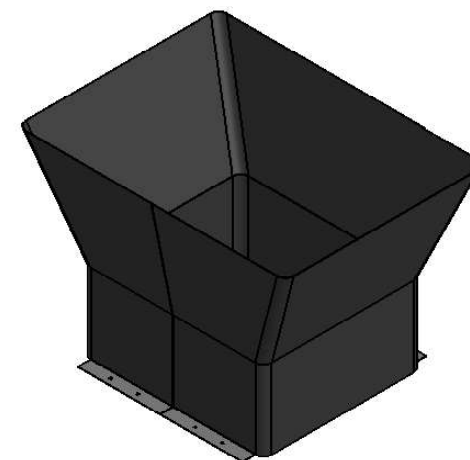
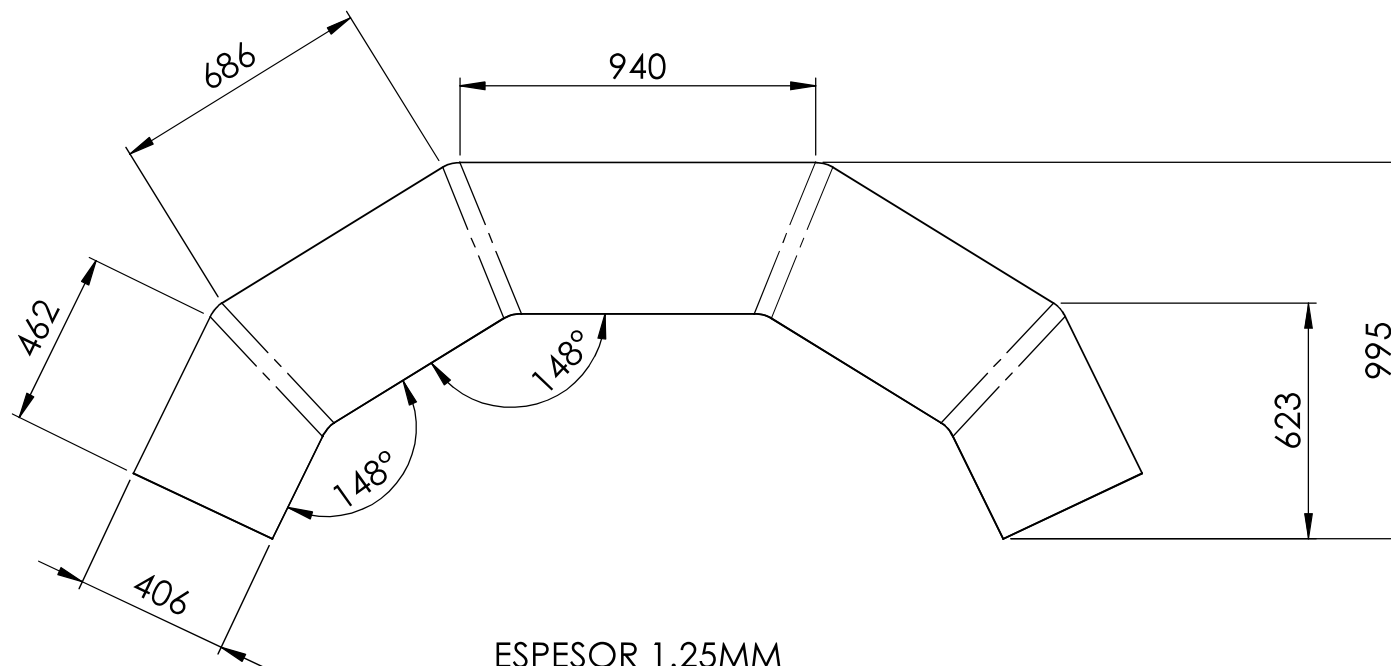
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN
	FIMCP				MATERIA INTEGRADORA		
ESPOL	DISEÑADO POR:	ABEL OVIEDO Y.	FECHA		CONJUNTO: TRITURADORA NFU		
	DISEÑADO POR:	JUAN ANDINO B.	20/08/2018				
	REVISADO POR:	Msc. FAUSTO MALDONADO	20/09/2018				
	APROBADO POR:	Ph.D. EMERITA DELGADO	21/09/2018				
MATERIAL:		ASTM A36			TÍTULO:		A4
		PESO: 24.13 Kg			ESCALA: 1:20		HOJA 31 DE 32

6

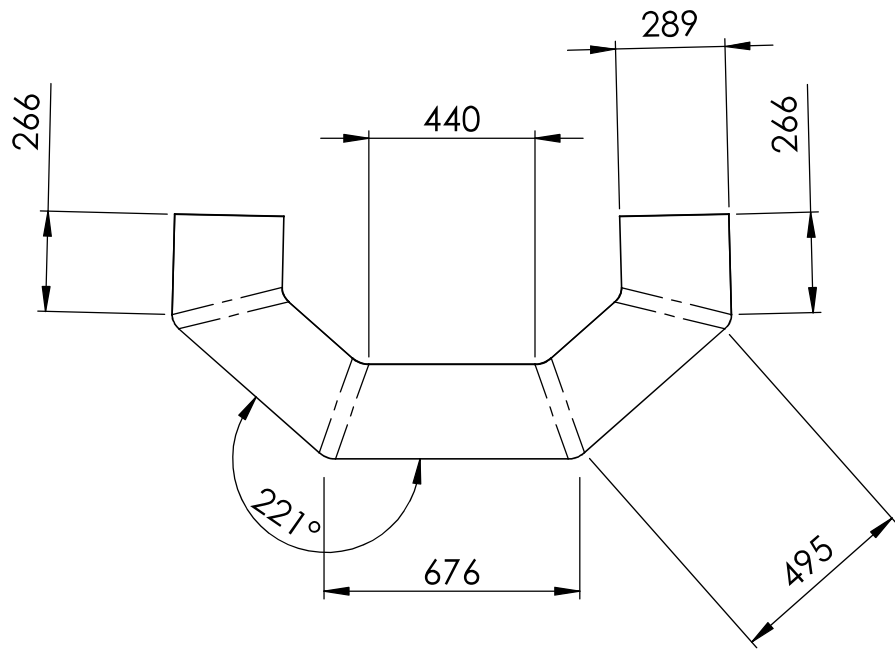
5

4

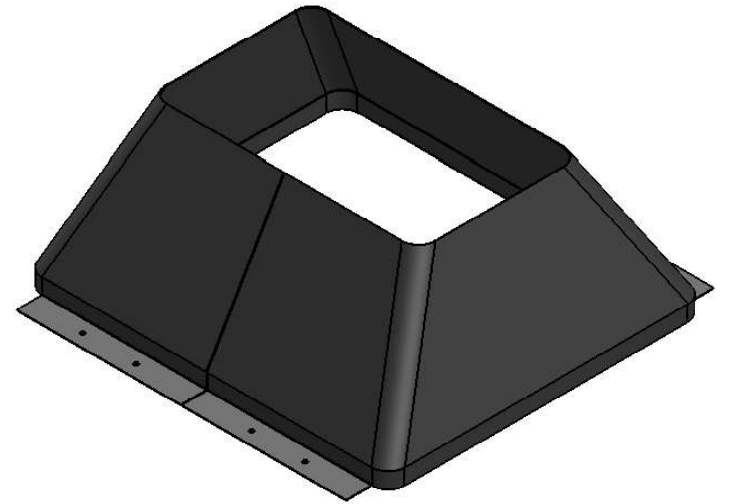
3

2

1



ESPESOR 1.5MM



ESCALA 1:10

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:	ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
	FIMCP		NOMBRE		FECHA		MATERIA INTEGRADORA CONJUNTO: TRITURADORA NFU		
ESPOL		DISEÑADO POR:		FECHA					
		DISEÑADO POR:		FECHA					
ESPOL		REVISADO POR:		FECHA		TOLVA INFERIOR			
		APROBADO POR:		FECHA					
ESPOL		MATERIAL:				TÍTULO:		A4	
		ASTM A36				ESCALA:1:20		HOJA 32 DE 32	
		PESO: 8.2 Kg							

Anexo D. Catálogos

Manual de Martin. Engranes

6 DP
Cara 2"

Engranes Rectos
de Acero en Existencia
Ángulo de Presión 20°

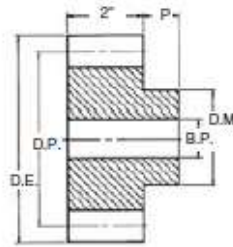
Martin



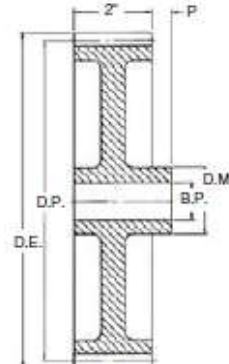
Tipo B
Sencillo con Maza
en Acero



Tipo B₂
Con Alma y Barrenos de
Aligeramiento en Acero



Tipo B



Tipo B₂

Acero

Número de Dientes	Número de Parte	Ángulo de Presión	Diámetro		Tipo	Barreno (Pulg.)		Maza (Pulg.)		Peso Aprox. (lb)
			Paso	Exterior		Piloto	Máx.*	Diámetro	Proy.	
11	TS811†	20	2.000	2.333	B	1	1	1½	¾	1.6
12	TS812	20	2.000	2.333	B	1	1	1½	¾	1.6
14	TS814	20	2.333	2.666	B	1	1	1¾	¾	2.4
15	TS815	20	2.500	2.833	B	1	1½	2	¾	2.9
16	TS816	20	2.666	3.000	B	1	1½	2½	¾	3.4
18	TS818	20	3.000	3.333	B	1	1½	2½	¾	4.8
21	TS821	20	3.500	3.833	B	1	1½	3	¾	6.6
24	TS824	20	4.000	4.333	B	1½	1½	3	¾	9.1
27	TS827	20	4.500	4.833	B	1½	2½	3½	¾	10.6
30	TS830	20	5.000	5.333	B	1½	2½	4	¾	13.4
33	TS833	20	5.500	5.833	B	1½	2½	4	1½	17.8
36	TS836	20	6.000	6.333	B	1½	2½	4	1½	20.4
42	TS842	20	7.000	7.333	B	1½	2½	4	1½	26.2
48	TS848	20	8.000	8.333	B	1½	2½	4	1½	35.0
54	TS854	20	9.000	9.333	B	1½	2½	4	1½	40.4
60	TS860	20	10.000	10.333	B	1½	2½	4	1½	46.0
64	TS864	20	10.666	11.000	B	1½	2½	4½	1½	56.5
66	TS866	20	11.000	11.333	B	1½	2½	4½	1½	59.8
72	TS872	20	12.000	12.333	B	1½	2½	4½	1½	70.0
84	TS884	20	14.000	14.333	B ₂	1½	2½	5	1½	42.8
96	TS896	20	16.000	16.333	B ₂	1½	2½	5	1½	46.0
108	TS8108	20	18.000	18.333	B ₂	1½	2½	5	1½	48.8
120	TS8120	20	20.000	20.333	B ₂	1½	2½	5	1½	51.3

* Barreno máximo recomendado con cutter y opressor.

† Diámetro de paso alargado con forma especial del diente.

Manual de Martin. Capacidad de Potencia Engranes

Capacidad de Potencia HP (Aprox.) de Engranes Rectos

Ángulo de Presión 20°



Para
Servicio Clase I (Factor de Servicio = 1.0)

Paso Diametral 6

Ángulo de Presión 20°

Cara 2^{na}

Número de Dientes	25 RPM		50 RPM		100 RPM		200 RPM		300 RPM		400 RPM		600 RPM		800 RPM		1200 RPM		1800 RPM	
	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI	S	CI
11*	0.67		1.32		2.54		4.73		6.83		9.79		11.11		14.34		16.78		20.21	
12*	0.79		1.56		3.00		5.59		7.84		11.58		13.14		16.96		19.84		23.91	
13	0.93		1.82		3.50		6.52		9.15		13.51		15.34		19.80		23.16		27.91	
14*	1.04		2.06		3.94		7.35		10.31		15.21		17.27		22.29		26.08		31.42	
15*	1.17		2.30		4.43		8.24		11.56		17.07		19.37		25.01		29.28		35.25	
16*	1.28		2.50		4.82		8.97		12.58		18.58		21.10		27.23		31.85		38.38	
17	1.39		2.72		5.24		9.76		13.69		20.21		22.95		29.61		34.65			
18*	1.50		2.94		5.66		10.54		14.79		21.83		24.78		31.98		37.42			
19	1.61		3.16		6.09		11.34		15.91		23.49		26.66		34.41		40.26			
20	1.73		3.39		6.53		12.17		17.07		25.20		28.60		36.92		43.19			
21*	1.84		3.62		6.97		12.97		18.21		26.87		30.50		39.37		46.06			
22	1.96		3.85		7.41		13.80		19.37		28.59		32.45		41.88		49.00			
24*	2.19		4.29		8.26		15.38		21.57		31.85		36.15		46.65		54.59			
25	2.30		4.51		8.68		16.16		22.67		33.47		37.99		49.03					
26	2.42		4.74		9.13		17.00		23.86		35.22		39.97		51.59					
27*	2.54		4.98		9.59		17.86		25.06		37.00		41.99		54.20					
28	2.66		5.22		10.06		18.74		26.29		38.81		44.05		56.85					
30*	2.90		5.69		10.97		20.42		28.65		42.29		48.00		61.95					
32	3.15		6.17		11.89		22.14		31.07		45.86		52.06							
33*	3.27		6.42		12.36		23.02		32.31		47.69		54.13							
35	3.54		6.94		13.36		24.88		34.92		51.54		58.50							
36*	3.67		7.19		13.86		25.80		36.20		53.44		60.66							
40	4.21		8.25		15.89		29.58		41.51		61.27		69.54							
42*	4.46		8.75		16.85		31.38		44.03		64.99		73.77							
44	4.72		9.26		17.83		33.21		46.59		68.78		78.07							
45	4.85		9.52		18.33		34.13		47.89		70.70		80.25							
48*	5.27		10.33		19.90		37.05		51.98		76.73									
50	5.51		10.81		20.83		38.78		54.42		80.32									
52*	5.76		11.29		21.82		40.63		57.01		84.15									
54*	6.04		11.85		22.82		42.50		59.63		88.02									
55	6.15		12.07		23.25		43.29		60.74											
56	6.28		12.32		23.73		44.18		61.99											
60*	6.83		13.39		25.79		48.02		67.38											
64*	7.33		14.39		27.70		51.59		72.38											
66*	7.60		14.91		29.71		53.45		75.00											
70	8.12		15.92		30.66		57.09		80.10											
72*	8.35		16.37		31.54		58.72		82.39											
90	9.43		18.49		35.61		66.31		93.04											
94*	9.97		19.55		37.65		70.10		96.26											
98	10.46		20.53		39.53		73.61		103.28											
90	10.73		21.04		40.52		75.45													
96*	11.52		22.60		43.52		81.03													
100	12.03		23.59		45.43		84.60													
108*	13.05		25.59		49.29		91.77													
110	13.32		26.12		50.31		93.68													
112	13.56		26.60		51.23		95.39													
120*	14.63		28.89		55.25															
144	13.89		27.25		52.49															
160	19.85		38.93		74.98															
200	25.03		49.09		94.54															

Las capacidades de potencia están basadas en cálculos de resistencia.

* indica los tamaños en existencia para este paso.

Nota: 1. Las capacidades de potencia que se encuentran a la derecha de la línea gruesa no son recomendadas debido a que la velocidad lineal excede los 1000 pies por minuto. Sólo deben ser usados para interpolación.

2. Los engranes no metálicos se utilizan normalmente como el piñón molizo con engranes fabricados de acero o de hierro fundido en aplicaciones en donde la velocidad lineal exceda los 1000 pies por minuto y que no estén sujetas a cargas de impacto.

Manual de Martin. Sprocket

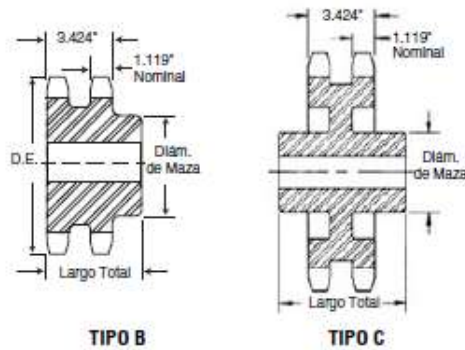


Sprockets de Acero en Existencia

No. 160-2

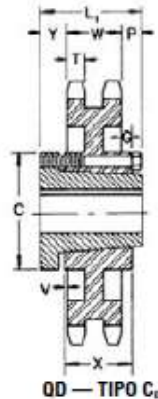
Paso 2"

Doble - Tipo B y C



No. de Dientes	Número de Parte	Diámetro Exterior	Tipo	Barreno (Pulg.)		Maza (Pulg.)		Peso Aprox. (lb)
				Estad.	Barreno Máximo	Diám.	Largo Total	
13	D160B13	9.310	B	2	4	6	4%	48
14	D160B14	9.960	B	2	4%	6%	4%	58
15	D160B15	10.610	B	2	5%	7	4%	68
16	D160B16	11.260	B	2	5%	7	4%	75
17	D160B17	11.910	B	2	5%	7	4%	81
18	D160B18	12.540	B	2	5%	7	4%	96
19	D160B19	13.190	B	2	5%	7	4%	107
20	D160B20	13.830	B	2	5%	7	4%	119
21	D160B21	14.470	B	2	5%	7%	4%	130
22	D160B22	15.110	B	2	5%	7%	4%	141
23	D160B23	15.750	B	2	5%	7%	4%	157
24	D160B24	16.390	B	2	5%	7%	4%	171
25	D160B25	17.030	B	2	5%	7%	4%	187
26	D160B26	17.670	B	2	5%	7%	4%	201
35	D160C35	23.420	C	1½	6%	9%	6%	306
45	D160C45	29.800	C	1½	7	10	7%	431
60	D160C60	39.360	C	1½	7	10	7%	564

Los barrenos máximos indicados permiten que el cuñero sea de dimensiones estándar con el opresor sobre el cuñero. Se pueden obtener barrenos ligeramente mayores sin cuñero, con cuñero plano o con el opresor formando ángulo con el cuñero.



ESTÁNDAR AMERICANO NO. 160

CUÑERO (Estándar Americano) y OPRESOR

No. de Dientes	Máx. RPM	Maza Máx.	Barreno Máximo	No. de Dientes	Máx. RPM	Maza Máx.	Barreno Máximo	No. de Dientes	Máx. RPM	Maza Máx.	Barreno Máximo	Diám. de Opre-sor	Min. añadido al barreno para pared de Maza adecuada en sprockets de acero		
													Opresor sobre Cuña	Opresor en ángulo a Cuña	
6	25	1 ⁷ / ₆₄	7 ¹ / ₈	16	325	8 ¹ / ₆₄	6	26	405	14 ⁷ / ₁₆	10 ⁵ / ₁₆	1 ¹ / ₂ - 2 ¹ / ₄	1/2 x 1/4	1 ¹ / ₂	1
7	60	2 ¹ / ₆₄	1 ¹ / ₈	17	340	8 ⁷ / ₃₂	6 ¹ / ₂	27	405	15 ⁵ / ₆₄	....	2 ⁷ / ₁₆ - 2 ³ / ₈	3/8 x 2/8	1 ¹ / ₈	1 ¹ / ₄
8	100	2 ⁵ / ₆₄	1 ³ / ₈	18	355	9 ¹ / ₁₆	6 ³ / ₁₆	28	405	15 ²⁹ / ₃₂	....	2 ³ / ₁₆ - 3 ¹ / ₄	3/4 x 3/8	2 ¹ / ₄	1 ¹ / ₂
9	135	3 ³ / ₆₄	2 ¹ / ₄	19	365	9 ⁵ / ₆₄	7 ¹ / ₁₆	29	400	16 ²⁹ / ₆₄	....	3 ¹ / ₁₆ - 3 ³ / ₈	7/8 x 7/16	2 ³ / ₈	1 ³ / ₄
10	170	4 ¹ / ₆	2 ³ / ₄	20	375	10 ³ / ₃₂	7 ¹ / ₁₆	30	400	17	....	3 ¹ / ₈ - 3 ¹ / ₂	1 x 1/2	2 ¹ / ₂	2
11	200	4 ⁵ / ₃₂	3 ¹ / ₄	21	385	11 ¹ / ₆₄	8 ¹ / ₁₆	31	400	17 ¹ / ₁₆	....	4 ¹ / ₁₆ - 5 ¹ / ₈	1 ¹ / ₄ x 5/8	2 ³ / ₄	1 ³ / ₄
12	230	5 ² / ₆₄	3 ³ / ₈	22	390	11 ¹ / ₈	8 ¹ / ₈	32	395	18 ¹ / ₆₄	....	5 ¹ / ₁₆ - 6 ¹ / ₈	1 ¹ / ₂ x 3/4	3	2
13	260	6 ¹ / ₆₄	4 ¹ / ₈	23	395	12 ³ / ₆₄	9	35	380	20 ³ / ₁₆	....	....	....	....	....
14	280	6 ² / ₃₂	4 ³ / ₈	24	400	13 ³ / ₃₂	9 ⁵ / ₈	40	355	23 ³ / ₁₆	....	....	....	....	....
15	305	7 ¹ / ₈	5 ¹ / ₂	25	400	13 ⁵ / ₆₄	10 ¹ / ₄	45	320	26 ¹ / ₁₆	....	....	....	....	....

Manual de Martin. Capacidad de Potencia Sprocket

Capacidad de Potencia HP Cadena de Rodillo de Hilera Sencilla

Para la Capacidad de Hileras Múltiples, vea la Tabla de Factores en la página E-191.

Paso 2" No. 160		REVOLUCIONES POR MINUTO - SPROCKET MENOR																							
No. de Dientes del Sprocket Menor		10	25	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	1000	1100	1200	1300
11		3,07	7,01	13,1	24,4	35,2	45,6	55,7	65,6	75,4	85,0	94,5	96,6	83,7	73,5	65,2	58,3	52,6	47,7	43,6	40,0	34,1	29,6	26,0	23,0
12		3,38	7,70	14,4	26,8	38,6	50,1	61,2	72,1	82,8	93,4	104	110	95,4	83,7	74,2	66,4	59,9	54,4	49,6	45,6	38,9	33,7	29,6	26,3
13		3,68	8,40	15,7	29,2	42,1	54,6	66,7	78,6	90,3	102	113	124	108	94,4	83,7	74,9	67,5	61,3	56,0	51,4	43,9	38,0	33,4	29,6
14		3,99	9,10	17,0	31,7	45,6	59,1	72,3	85,2	97,8	110	123	135	120	105	93,6	83,7	75,5	68,5	62,6	57,4	49,0	42,5	37,3	33,1
15		4,30	9,80	18,9	34,1	49,2	63,7	77,9	91,7	105	119	132	145	133	117	104	92,8	83,7	76,0	69,4	63,7	45,4	47,1	41,4	—
16		4,61	10,5	19,6	36,6	52,7	68,3	83,5	98,4	113	127	142	156	147	129	114	102	92,2	83,7	76,4	70,2	59,9	51,9	45,6	—
17		4,92	11,3	21,1	39,1	56,3	72,9	89,1	105	121	136	151	166	161	141	125	112	101	91,7	83,7	75,8	65,6	56,9	49,9	—
18		5,23	11,9	22,3	41,6	59,9	77,6	94,8	112	128	145	161	177	175	154	136	122	110	99,9	91,2	83,7	71,5	62,0	54,4	—
19		5,55	12,7	23,6	44,1	63,5	82,2	101	118	136	153	171	188	190	167	148	132	119	108	98,9	90,8	77,6	67,2	59,0	—
20		5,86	13,4	25,0	46,6	67,1	86,9	106	125	144	162	180	198	205	180	160	143	129	117	93,1	83,7	72,6	63,7	—	—
21		6,18	14,1	26,3	49,1	70,7	91,6	112	132	152	171	190	209	221	194	172	154	139	126	115	105	90,1	78,1	68,5	—
22		6,50	14,8	27,7	51,6	74,4	96,3	118	139	159	180	200	220	237	208	184	165	149	135	123	113	96,6	83,7	—	—
23		6,82	15,6	29,0	54,2	78,0	101	124	146	167	189	210	231	251	222	197	176	159	144	132	121	103	98,5	—	—
24		7,14	16,3	30,4	56,7	81,7	106	129	152	175	197	220	241	263	237	210	188	169	154	140	129	110	95,4	—	—
25		7,46	17,0	31,8	59,3	85,4	111	135	159	183	206	229	252	275	252	223	200	180	164	149	137	117	101	—	—
26		7,78	17,8	33,1	61,8	89,1	115	141	166	191	215	239	263	287	267	237	212	191	173	158	145	124	106	—	—
28		8,43	19,2	35,9	67,0	96,5	125	153	180	207	233	259	285	311	298	265	237	214	194	177	162	139	120	—	—
30		9,08	20,7	38,7	72,2	104	135	165	194	223	251	279	307	335	331	293	263	237	215	196	180	154	—	—	—
32		9,74	22,2	41,5	77,4	111	144	176	208	239	269	300	329	359	365	323	289	261	237	216	198	169	—	—	—
35		10,7	24,5	45,7	85,2	123	159	194	229	263	297	330	363	395	417	370	331	298	271	247	227	180	—	—	—
40		12,4	28,3	52,8	98,5	142	184	225	265	304	343	381	419	457	494	452	404	365	331	302	257	—	—	—	—
45		14,1	32,1	59,9	112	161	209	255	301	345	389	433	476	519	561	538	482	418	348	271	189	—	—	—	—
Lubri- cación	Tipo A	Tipo B				Tipo C																			

Lubricación Tipo A : A mano, con aceitera o brocha

Lubricación Tipo B : En baño de aceite o por salpique

Lubricación Tipo C : Al chorro bajo presión.

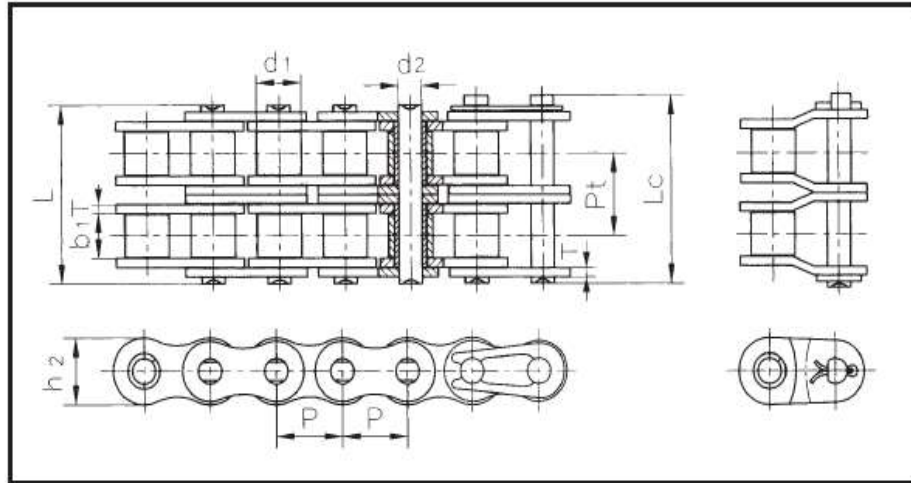
Factores de Hileras Múltiples

No. de Hileras	Factor de Hilera
2	1,7
3	2,5

Temperatura Ambiental Grados Centigrados	Viscosidad Grados SAE del aceite lubricante
6 a 5	SAE 20
5 a 38	SAE 30
38 a 49	SAE 40
49 a 60	SAE 50

Catálogo TransLink. Cadena

Cadena con rodillos dobles y cadenas con casquillos
 Double strand roller chains & bushing chains
 Chaînes à rouleaux doubles et chaînes à douilles

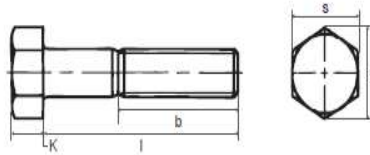


DIN ISO Nº Cadena	ANSI Nº Cadena	Paso	Diámetro del rodillo	Longitud entre las placas interiores	Diámetro del pasador	Longitud del pasador	Profundidad de la placa interior	Paso transversal	Resistencia max. a la tracción	Resistencia media a la tracción	Peso por metro	
DIN ISO Chain No.	ANSI Chain No.	Pitch	Roller diameter	Width between inner plates	Pin diameter	Pin length	Inner plate depth	Transverse pitch	Ultimate tensile strength	Average tensile strength	Weight per meter	
Nº de chaîne DIN ISO	Nº de chaîne ANSI	Pas	Diamètre du rouleau	Largeur entre les plaques intérieures	Diamètre de la goupille	Longueur de la goupille	Profondeur de la plaque intérieure	Pas transversal	Résistance maximum à la traction	Résistance moyenne à la traction	Poids par mètre	
		P mm	d1 max mm	b1 min mm	d2 max mm	L max mm	Lc max mm	h2 max mm	Pt mm	Q min kN	Qo kN	q kg/m
*04C-2	*25-2	6,35	3,30	3,18	2,31	14,50	15,00	6,00	6,40	7,00	8,20	0,28
*06C-2	*35-2	9,525	5,08	4,77	3,58	22,50	23,30	9,00	10,13	15,80	19,10	0,63
08A-2	40-2	12,70	7,95	7,85	3,96	31,00	32,20	12,00	14,38	28,20	33,60	1,12
10A-2	50-2	15,875	10,16	9,40	5,08	38,90	40,40	15,09	18,11	44,40	55,40	2,00
12A-2	60-2	19,05	11,91	12,57	5,94	48,80	50,50	18,00	22,78	63,60	83,20	2,92
16A-2	80-2	25,40	15,88	15,75	7,92	62,70	64,30	24,00	29,29	113,40	140,00	5,15
20A-2	100-2	31,75	19,05	18,90	9,53	76,40	80,50	30,00	35,76	177,00	202,90	7,80
24A-2	120-2	38,10	22,23	25,22	11,10	95,80	99,70	35,70	45,44	254,00	291,40	11,70
28A-2	140-2	44,45	25,40	25,22	12,70	103,30	107,90	41,00	48,87	344,80	395,50	15,14
32A-2	160-2	50,80	28,58	31,55	14,27	123,30	128,10	47,80	58,55	453,60	520,40	20,14
36A-2	180-2	57,15	35,71	35,48	17,46	138,60	144,40	53,60	65,84	560,50	655,70	29,22
40A-2	200-2	63,50	39,68	37,85	19,85	151,90	158,80	60,00	71,55	707,60	748,60	32,24
48A-2	240-2	76,20	47,63	47,35	23,81	183,40	190,80	72,39	87,83	1020,60	1170,90	45,23

Catálogo de Tornillería y Remaches. Tornillos

DIN 931

TORNILLO CABEZA HEXAGONAL. MEDIA ROSCA



d	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24
s	7	8	10	13	17	19	22	24	27	30	32	36
k	2,8	3,5	4	5,3	6,4	7,5	8,8	10	11,5	12,5	14	15
Paso	0,7	0,8	1	1,25	1,50	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5	3
b (l≤125)	14	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54
e	7,66	8,79	11,05	14,30	18,90	21,10	24,49	26,75	30,14	33,53	35,72	39,98



Calidad 6.8 Ref. Catálogo	Calidad 8.8 Ref. Catálogo	Calidad Inox. Ref. Catálogo	Medidas d x L	Calidad 6.8 Ref. Catálogo	Calidad 8.8 Ref. Catálogo	Calidad Inox. Ref. Catálogo	Medidas d x L	Calidad 6.8 Ref. Catálogo	Calidad 8.8 Ref. Catálogo	Calidad Inox. Ref. Catálogo	Medidas d x L
13010484	13010689	13010894	4x20	13010502	13010707	13010912	6x35	13010520	13010725	13010930	8x55
13010485	13010690	13010895	4x25	13010503	13010708	13010913	6x40	13010521	13010726	13010931	8x60
13010486	13010691	13010896	4x30	13010504	13010709	13010914	6x45	13010522	13010727	13010932	8x65
13010487	13010692	13010897	4x35	13010505	13010710	13010915	6x50	13010523	13010728	13010933	8x70
13010488	13010693	13010898	4x40	13010506	13010711	13010916	6x55	13010524	13010729	13010934	8x75
13010489	13010694	13010899	4x45	13010507	13010712	13010917	6x60	13010525	13010730	13010935	8x80
13010490	13010695	13010900	4x50	13010508	13010713	13010918	6x65	13010526	13010731	13010936	8x90
13010491	13010696	13010901	4x55	13010509	13010714	13010919	6x70	13010527	13010732	13010937	8x100
13010492	13010697	13010902	4x60	13010510	13010715	13010920	6x75	13010528	13010733	13010938	8x110
13010493	13010698	13010903	5x20	13010511	13010716	13010921	6x80	13010529	13010734	13010939	8x120
13010494	13010699	13010904	5x25	13010512	13010717	13010922	6x90	13010530	13010735	13010940	8x130
13010495	13010700	13010905	5x30	13010513	13010718	13010923	6x100	13010531	13010736	13010941	8x140
13010496	13010701	13010906	5x35	13010514	13010719	13010924	6x110	13010532	13010737	13010942	8x150
13010497	13010702	13010907	5x40	13010515	13010720	13010925	8x30	13010533	13010738	13010943	8x160
13010498	13010703	13010908	5x45	13010516	13010721	13010926	8x35	13010534	13010739	13010944	8x180
13010499	13010704	13010909	5x50	13010517	13010722	13010927	8x40	13010535	13010740	13010945	10x35
13010500	13010705	13010910	6x25	13010518	13010723	13010928	8x45	13010536	13010741	13010946	10x40
13010501	13010706	13010911	6x30	13010519	13010724	13010929	8x50	13010537	13010742	13010947	10x45

Continúa en página siguiente

Calidad 6.8 Ref. Catálogo	Calidad 8.8 Ref. Catálogo	Calidad Inox. Ref. Catálogo	Medidas d x L	Calidad 6.8 Ref. Catálogo	Calidad 8.8 Ref. Catálogo	Calidad Inox. Ref. Catálogo	Medidas d x L	Calidad 6.8 Ref. Catálogo	Calidad 8.8 Ref. Catálogo	Calidad Inox. Ref. Catálogo	Medidas d x L
13010538	13010743	13010948	10x50	13010590	13010795	13011000	14x150	13010642	13010847	13011052	20x120
13010539	13010744	13010949	10x55	13010591	13010796	13011001	14x160	13010643	13010848	13011053	20x130
13010540	13010745	13010950	10x60	13010592	13010797	13011002	14x170	13010644	13010849	13011054	20x140
13010541	13010746	13010951	10x65	13010593	13010798	13011003	14x180	13010645	13010850	13011055	20x150
13010542	13010747	13010952	10x70	13010594	13010799	13011004	14x190	13010646	13010851	13011056	20x160
13010543	13010748	13010953	10x75	13010595	13010800	13011005	16x50	13010647	13010852	13011057	20x170
13010544	13010749	13010954	10x80	13010596	13010801	13011006	16x55	13010648	13010853	13011058	20x180
13010545	13010750	13010955	10x90	13010597	13010802	13011007	16x60	13010649	13010854	13011059	20x190
13010546	13010751	13010956	10x100	13010598	13010803	13011008	16x65	13010650	13010855	13011060	20x200
13010547	13010752	13010957	10x110	13010599	13010804	13011009	16x70	13010651	13010856	13011061	20x210
13010548	13010753	13010958	10x120	13010600	13010805	13011010	16x75	13010652	13010857	13011062	20x220
13010549	13010754	13010959	10x130	13010601	13010806	13011011	16x80	13010653	13010858	13011063	20x230
13010550	13010755	13010960	10x140	13010602	13010807	13011012	16x90	13010654	13010859	13011064	20x240
13010551	13010756	13010961	10x150	13010603	13010808	13011013	16x100	13010655	13010860	13011065	20x250
13010552	13010757	13010962	10x160	13010604	13010809	13011014	16x110	13010656	13010861	13011066	22x70
13010553	13010758	13010963	10x170	13010605	13010810	13011015	16x120	13010657	13010862	13011067	22x75
13010554	13010759	13010964	10x180	13010606	13010811	13011016	16x130	13010658	13010863	13011068	22x80
13010555	13010760	13010965	12x40	13010607	13010812	13011017	16x140	13010659	13010864	13011069	22x90
13010556	13010761	13010966	12x45	13010608	13010813	13011018	16x150	13010660	13010865	13011070	22x100
13010557	13010762	13010967	12x50	13010609	13010814	13011019	16x160	13010661	13010866	13011071	22x110
13010558	13010763	13010968	12x55	13010610	13010815	13011020	16x170	13010662	13010867	13011072	22x120
13010559	13010764	13010969	12x60	13010611	13010816	13011021	16x180	13010663	13010868	13011073	22x130
13010560	13010765	13010970	12x65	13010612	13010817	13011022	16x190	13010664	13010869	13011074	22x140
13010561	13010766	13010971	12x70	13010613	13010818	13011023	16x200	13010665	13010870	13011075	22x150
13010562	13010767	13010972	12x75	13010614	13010819	13011024	16x210	13010666	13010871	13011076	22x160
13010563	13010768	13010973	12x80	13010615	13010820	13011025	16x220	13010667	13010872	13011077	22x180
13010564	13010769	13010974	12x90	13010616	13010821	13011026	16x230	13010668	13010873	13011078	22x200
13010565	13010770	13010975	12x100	13010617	13010822	13011027	16x240	13010669	13010874	13011079	22x220

Diseño de Máquinas. Características de Tornillos

Tabla 11-2 Dimensiones principales de cuerdas de tornillos del estándar métrico ISO
 Datos calculados con las ecuaciones 11.1; véase la referencia 4 para mayor información

Diámetro mayor d (mm)	Cuerdas gruesas			Cuerdas finas		
	Paso p mm	Diámetro menor d_r (mm)	Área de esfuerzo por tensión A_t (mm ²)	Paso p mm	Diámetro menor d_r (mm)	Área de esfuerzo por tensión A_t (mm ²)
3.0	0.50	2.39	5.03			
3.5	0.60	2.76	6.78			
4.0	0.70	3.14	8.78			
5.0	0.80	4.02	14.18			
6.0	1.00	4.77	20.12			
7.0	1.00	5.77	28.86			
8.0	1.25	6.47	36.61	1.00	6.77	39.17
10.0	1.50	8.16	57.99	1.25	8.47	61.20
12.0	1.75	9.85	84.27	1.25	10.47	92.07
14.0	2.00	11.55	115.44	1.50	12.16	124.55
16.0	2.00	13.55	156.67	1.50	14.16	167.25
18.0	2.50	14.93	192.47	1.50	16.16	216.23
20.0	2.50	16.93	244.79	1.50	18.16	271.50
22.0	2.50	18.93	303.40	1.50	20.16	333.06
24.0	3.00	20.32	352.50	2.00	21.55	384.42
27.0	3.00	23.32	459.41	2.00	24.55	495.74
30.0	3.50	25.71	560.59	2.00	27.55	621.20
33.0	3.50	28.71	693.55	2.00	30.55	760.80
36.0	4.00	31.09	816.72	3.00	32.32	864.94
39.0	4.00	34.09	975.75	3.00	35.32	1028.39

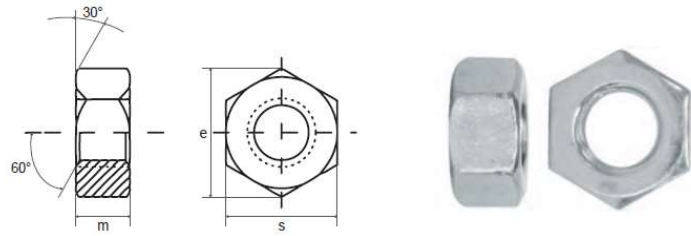
Tabla 11-7 Especificaciones métricas y resistencias para pernos de acero

Número de clase	Intervalo del tamaño del diám. ext. (mm)	Resistencia de prueba mínima (MPa)	Resistencia a la fluencia mínima (MPa)	Resistencia a la tensión mínima (MPa)	Material
4.6	M5–M36	225	240	400	bajo o medio carbono
4.8	M1.6–M16	310	340	420	bajo o medio carbono
5.8	M5–M24	380	420	520	bajo o medio carbono
8.8	M3–M36	600	660	830	medio carbono, Q&T
9.8	M1.6–M16	650	720	900	medio carbono, Q&T
10.9	M5–M36	830	940	1 040	martensita al bajo carbono, Q&T
12.9	M1.6–M36	970	1 100	1 220	aleación, templada y revenida

Catálogo de Tornillería y Remaches. Tuercas

DIN 934

TUERCA HEXAGONAL



d1	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36	M39	M42	M48
e	6,01	7,66	8,79	11,05	12,12	14,38	18,9	21,10	24,49	26,75	29,56	32,95	35,03	39,55	45,2	50,85	55,37	60,79	66,44	72,09	82,6
s	5,5	7	8	10	11	13	17	19	22	24	27	30	32	36	41	46	50	55	60	65	70
m	2,4	3,2	4	5	5,5	6,5	8	10	11	13	15	16	18	19	22	24	26	29	31	34	38

Calidad 8.8 Ref. catálogo	Calidad 10.9 Ref. catálogo	Calidad Zincado Ref. catálogo	Calidad Inox Ref. catálogo	Medidas sistema métrico
13020001	13020019	13020037	13020055	M3
13020002	13020020	13020038	13020056	M4
13020003	13020021	13020039	13020057	M5
13020004	13020022	13020040	13020058	M6
13020005	13020023	13020041	13020059	M8
13020006	13020024	13020042	13020060	M10
13020007	13020025	13020043	13020061	M12
13020008	13020026	13020044	13020062	M14
13020009	13020027	13020045	13020063	M16
13020010	13020028	13020046	13020064	M18

Calidad 8.8 Ref. catálogo	Calidad 10.9 Ref. catálogo	Calidad Zincado Ref. catálogo	Calidad Inox Ref. catálogo	Medidas sistema métrico
13020011	13020029	13020047	13020065	M20
13020012	13020030	13020048	13020066	M22
13020013	13020031	13020049	13020067	M24
13020014	13020032	13020050	13020068	M27
13020015	13020033	13020051	13020069	M30
13020016	13020034	13020052	13020070	M33
13020017	13020035	13020053	13020071	M36
13020018	13020036	13020054	13020072	M48

Consultar para otras medidas

Catálogo de Tornillería y Remaches. Arandelas

1. Arandelas.

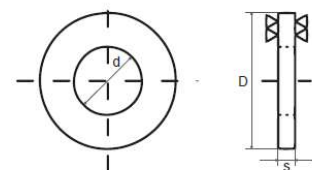
DIN 125-A

ARANDELA PLANA SIN BISEL

M	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30
d	3,2	4,3	5,3	6,4	8,4	10,5	13	15	17	19	21	23	25	28	31
D	7	9	10	12	16	20	24	28	30	34	37	39	44	50	56
s	0,5	0,8	1	1,6	1,6	2	2,5	2,5	3	3	3	3	4	4	4

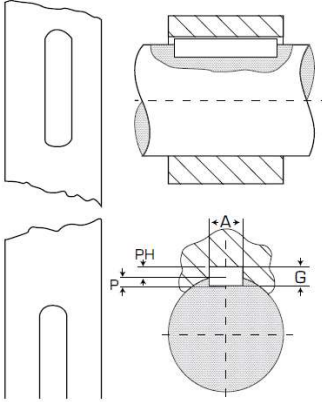


Pavonado Ref. catálogo	Zincado Ref. catálogo	Inox. Ref. catálogo	Medidas (para Ø de rosca)	Pavonado Ref. catálogo	Zincado Ref. catálogo	Inox. Ref. catálogo	Medidas (para Ø de rosca)
13030001	13030016	13030031	M3	13030009	13030024	13030039	M16
13030002	13030017	13030032	M4	13030010	13030025	13030040	M18
13030003	13030018	13030033	M5	13030011	13030026	13030041	M20
13030004	13030019	13030034	M6	13030012	13030027	13030042	M22
13030005	13030020	13030035	M8	13030013	13030028	13030043	M24
13030006	13030021	13030036	M10	13030014	13030029	13030044	M27
13030007	13030022	13030037	M12	13030015	13030030	13030045	M30
13030008	13030023	13030038	M14				



Catálogo Intermec. Cuñas y Cuñeros

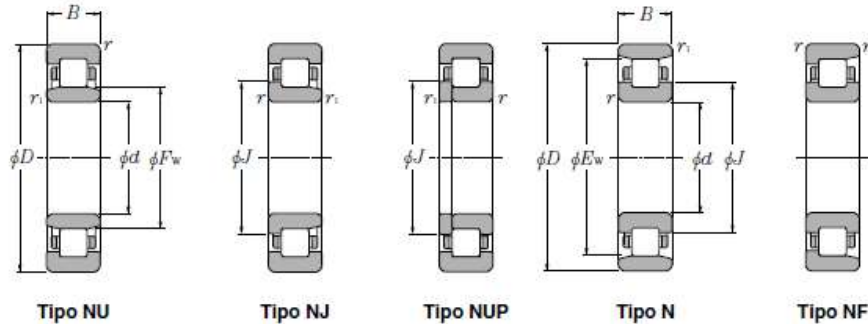
TABLA DE LOS CUÑEROS Y CUÑAS ESTÁNDAR MILIMÉTRICOS



Diámetro del eje (mm)	Anchura y profundidad del cuñero en el eje (mm)	Dimensiones de la cuña (mm)	Diámetro del prisionero (mm)
6 a 8	2 x 1	2 x 2	3
8+ a 10	3 x 1,6	3 x 3	3
10+ a 12	4 x 2,2	4 x 4	4
12+ a 17	5 x 2,7	5 x 5	5
17+ a 22	6 x 3,2	6 x 6	6
22+ a 30	8 x 3,7	8 x 7	8
30+ a 38	10 x 4,7	10 x 8	10
38+ a 44	12 x 4,7	12 x 8	10
44+ a 50	14 x 5,2	14 x 9	14
50+ a 58	16 x 5,7	16 x 10	14
58+ a 65	18 x 6,6	18 x 11	18
65+ a 75	20 x 7,1	20 x 12	18
75+ a 85	22 x 8,6	22 x 14	22
85+ a 95	25 x 8,6	25 x 14	22
95+ a 110	28 x 8,6	28 x 16	22
110+ a 130	32 x 10,6	32 x 18	30
130+ a 150	36 x 11,6	36 x 20	30
150+ a 170	40 x 12,6	40 x 22	30
170+ a 200	45 x 14,6	45 x 25	30
200+ a 230	50 x 16,6	50 x 28	30

Stress and Strength of Manufactured Parts. Concentrador a fatiga (kf y kfs)
 Catálogo NTN. Rodamientos de Rodillos Cilíndricos

● Rodamientos de Rodillos Cilíndricos

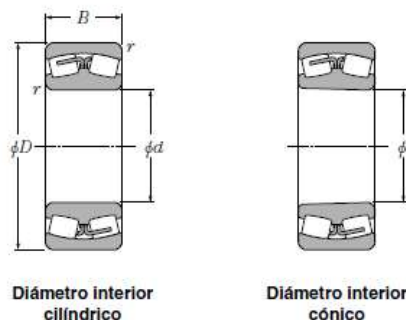


d 60 ~ 75mm

d	Dimensiones principales				Capacidad básica de carga				Velocidades límites ¹⁾		Números de rodamientos ²⁾			
	mm				dinámica	estática	dinámica	estática	r.p.m.		tipo	tipo	tipo	tipo
	D	B	r _{1mm} ²⁾	r _{15mm} ²⁾	C _r	C _{0r}	C _r	C _{0r}	grasa	aceite	NU	NJ	NUP	N
60	110	28	1.5	1.5	131	157	13 400	16 000	5 200	6 100	NU2212E	NJ	NUP	—
	130	31	2.1	2.1	124	126	12 600	12 900	5 500	6 500	NU312	NJ	NUP	N
	130	31	2.1	2.1	150	157	15 200	16 000	4 900	5 800	NU312E	NJ	NUP	—
	130	46	2.1	2.1	169	188	17 200	19 200	4 800	5 700	NU2312	NJ	NUP	N
	130	46	2.1	2.1	222	262	22 700	26 700	4 400	5 200	NU2312E	NJ	NUP	—
	150	35	2.1	2.1	167	168	17 100	17 200	3 900	4 600	NU412	NJ	NUP	N
65	100	18	1.1	1	41.0	51.0	4 200	5 200	7 000	8 200	NU1013	NJ	NUP	N
	120	23	1.5	1.5	84.0	94.5	8 550	9 650	5 900	7 000	NU213	NJ	NUP	N
	120	23	1.5	1.5	108	119	11 000	12 100	5 400	6 300	NU213E	NJ	NUP	—
	120	31	1.5	1.5	120	149	12 200	15 200	5 400	6 300	NU2213	NJ	NUP	N
	120	31	1.5	1.5	149	181	15 200	18 400	4 800	5 600	NU2213E	NJ	NUP	—
	140	33	2.1	2.1	135	139	13 800	14 200	5 100	6 000	NU313	NJ	NUP	N
	140	33	2.1	2.1	181	191	18 400	19 500	4 600	5 400	NU313E	NJ	NUP	—
	140	48	2.1	2.1	188	212	19 100	21 700	4 400	5 200	NU2313	NJ	NUP	N
	140	48	2.1	2.1	248	287	25 200	29 300	4 100	4 800	NU2313E	NJ	NUP	—
160	37	2.1	2.1	182	186	18 600	19 000	3 600	4 300	NU413	NJ	NUP	N	

Catálogo NTN. Rodamientos de Rodillos Esféricos

● Rodamientos de Rodillos Esféricos

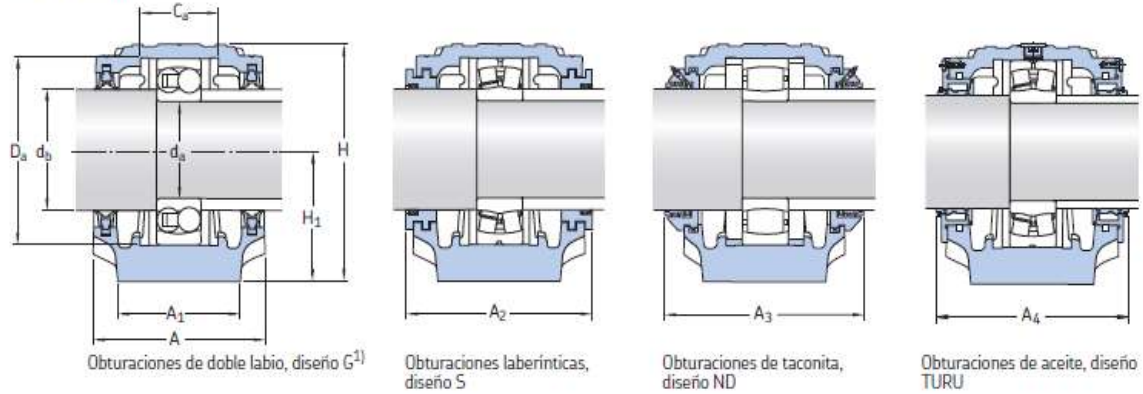


a 25 ~ 75mm

Dimensiones principales mm	Capacidad básica de carga				Velocidades límites ¹⁾		Números de rodamientos ⁴⁾				
	dinámica	estática	dinámica	estática	r.p.m.		diámetro interior cilíndrico	diámetro ²⁾ interior cónico			
<i>d</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>r</i> _{3mm} ³⁾	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	<i>C_r</i>	<i>C_{0r}</i>	grasa	aceite		
25	52	18	1	36.5	36	3 750	3 650	8 500	11 000	22205C	22205CK
30	62	20	1	49	49	5 000	5 000	7 500	9 500	22206C	22206CK
35	72	23	1.1	69.5	71	7 050	7 200	6 500	8 500	22207C	22207CK
40	80	23	1.1	79	88.5	8 050	9 000	6 000	7 600	LH-22208C	LH-22208CK
	90	23	1.5	88	90	8 950	9 150	4 900	6 400	21308C	21308CK
	90	33	1.5	121	128	12 300	13 000	4 500	5 900	22308C	22308CK
45	85	23	1.1	82.5	95	8 400	9 700	5 300	6 800	LH-22209C	LH-22209CK
	100	25	1.5	102	106	10 400	10 800	4 400	5 700	21309C	21309CK
	100	36	1.5	148	167	15 100	17 000	4 100	5 300	22309C	22309CK
50	90	23	1.1	86	102	8 750	10 400	4 900	6 300	LH-22210C	LH-22210CK
	110	27	2	118	127	12 000	12 900	4 000	5 200	21310C	21310CK
	110	40	2	186	212	19 000	21 600	3 700	4 800	22310C	22310CK
55	100	25	1.5	118	144	12 000	14 700	4 400	5 800	LH-22211E	LH-22211EK
	100	25	1.5	93.5	110	8 500	11 200	4 500	5 800	LH-22211B	LH-22211BK
	120	29	2	145	163	14 800	16 600	3 700	4 800	21311	21311K
	120	43	2	204	234	20 800	23 900	3 400	4 400	22311B	22311BK

Catálogo NTN. Soportes de Pie

Soportes de pie SNL para rodamientos con agujero cilíndrico
 d_3 45 – 60 mm



Eje d_3	Soporte Dimensiones										Masa	Designaciones Soporte	Obturaciones	Tapa lateral
	A	A ₁	H	H ₁	H ₂	J	L	N	N ₁	G				
mm	mm										kg	-		
45	85	60	109	60	25	170	205	20	15	12	2,75	SNL 209 SNL 209 SNL 509 SNL 209 SNL 209	TSN 209 G TSN 209 A 4 FS 170 TSN 209 S TSN 209 ND	ASNH 511-609 ASNH 511-609 ASNH 509 ASNH 511-609 ASNH 511-609
	95	70	128	70	28	210	255	24	18	16	4,40	SNL 511-609 SNL 511-609 SNL 511-609 SNL 511-609	TSN 309 G TSN 309 A TSN 309 S TSN 309 ND	ASNH 511-609 ASNH 511-609 ASNH 511-609 ASNH 511-609
50	90	60	113	60	25	170	205	20	15	12	3,00	SNL 210 SNL 210 SNL 510-608 SNL 210 SNL 210	TSN 210 G TSN 210 A 4 FS 170 TSN 210 S TSN 210 ND	ASNH 512-610 ASNH 512-610 ASNH 510-608 ASNH 512-610 ASNH 512-610
	105	70	134	70	30	210	255	24	18	16	5,10	SNL 512-610 SNL 512-610 SNL 512-610 SNL 512-610	TSN 310 G TSN 310 A TSN 310 S TSN 310 ND	ASNH 512-610 ASNH 512-610 ASNH 512-610 ASNH 512-610
55	95	70	128	70	28	210	255	24	18	16	4,20	SNL 211 SNL 211 SNL 511-609 SNL 211 SNL 211	TSN 211 G TSN 211 A 4 FS 170 TSN 211 S TSN 211 ND	ASNH 513-611 ASNH 513-611 ASNH 511-609 ASNH 513-611 ASNH 513-611
	110	80	150	80	30	230	275	24	18	16	6,50	SNL 513-611 SNL 513-611 SNL 513-611 SNL 513-611	TSN 311 G TSN 311 A TSN 311 S TSN 311 ND	ASNH 513-611 ASNH 513-611 ASNH 513-611 ASNH 513-611

Catálogo Ivan Bohman. AISI 4340

Información general

705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido, que los demás aceros aleados para maquinaria.

Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requería luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Suceptible de temple por inducción y también puede someterse a tratamiento de nitrado.

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	V
34 CrNiMo6	0,30 - 0,38	≤ 0,30	0,50 - 0,80	0,025	0,025	1,30 - 1,70	1,30 - 1,70	0,15 - 0,30
AISI 4337	0,35 - 0,40	0,20 - 0,35	0,60 - 0,80	0,04	0,04	1,65 - 2,00	0,70 - 0,90	0,20 - 0,30
AISI 4340	0,38 - 0,43	0,15 - 0,35	0,60 - 0,80	0,03	0,04	1,65 - 2,00	0,70 - 0,90	0,20 - 0,30
Código de color	Dorado / Azul							
Equivalencias	AISI / SAE (4337 - 4340) Din (34CrNiMo6)		W.Nr (1.6582) JIS (SNCM1)		AFNOR (35NCD6)			

Aplicaciones

1.-Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- Ejes.
- Cardanes.
- Cigüeñales.
- Ejes de leva Tornillería de alta resistencia.

2.-Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- Árbol para trituradoras.
- Ejes de transmisión de grandes dimensiones.
- Engranajes de temple por llama, inducción o nitración.
- Barras de torsión.
- Mandriles.
- Portaherramientas.

3.-Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipo militar, etc.

Propiedades mecánicas

En condición de suministro

Resistencia a la tracción	90 - 110 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70 kg/mm ²
Elongación, A5	min 12 %
Reducción de área, Z	min 45 %
Resistencia al impacto, KU	aprox. 20 J
Dureza	270 - 330 HB

Tratamiento térmico

Recocido blando

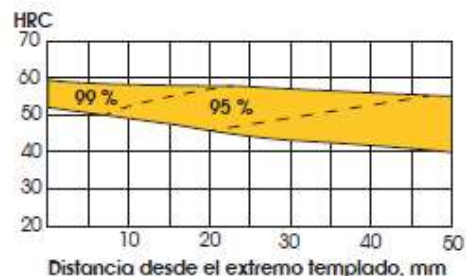
(650 - 700 °C): Mantener a la temperatura por 2 horas. Enfriar en el horno con una velocidad de 15 °C/h hasta los 600 °C y luego libremente al aire.

Alivio de tensiones

(450 - 650 °C): El acero templado tenaz deberá ser calentado hasta aproximadamente 50 °C por debajo de la temperatura usada para el revenido (como standard el 705 es suministrado revenido a 600 °C). Mantenerlo a esta temperatura durante 1/2 a 2 horas. Enfriar en el horno hasta los 450 °C y luego libremente al aire.

Temple

(830 - 850 °C). Con enfriamiento en aceite: El mantenimiento del tiempo en minutos cuando la superficie ha alcanzado la temperatura de temple es 0.7x espesor o diámetro en milímetros. Interrumpir el enfriamiento a los 125 °C y luego revenir inmediatamente.



► Cód. IBCA: 705 ≡ 34 CrNiMo6 ≡ AISI 4340 ≡ AISI 4337



Propiedades	Tratamiento térmico
<div style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Revenido</div> <p>(500 - 700 °C): El tiempo de mantenimiento a la temperatura de revenido podría ser de 1 - 2 horas o una hora por pulgada de grueso. Partes de máquinas que requieran una resistencia alta, como por ej. engranajes, deberán ser revenidas a temperaturas más bajas, es decir de 200 a 250 °C, lo que dará dureza de aproximadamente 500 HB.</p> <div style="text-align: center;"> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">HRC 70 60 50 40 30 20 10 0</p> <p style="font-size: small; margin-top: 5px;">100 200 300 400 500 600 °C Temperatura del revenido °C</p> </div>	<div style="text-align: center; background-color: #e0e0e0; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">Nitruración</div> <p>Se pueden lograr durezas de alrededor de 53 - 55 HRC. El proceso durará entre 48 y 72 horas, por lo cual la planeación del tratamiento debe hacerse con el tiempo necesario.</p> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;"> </div>

Medidas en stock			
Redondo			
Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
20	2,5	90	51,0
22	3,0	105	69,5
25	3,9	110	76,2
28	4,9	115	83,3
30	5,7	120	90,7
32	6,5	125	98,4
35	7,7	130	106,5
38	9,1	135	114,8
40	10,1	140	123,5
45	12,8	150	141,8
50	15,8	160	161,3
55	19,1	170	182,1
60	22,7	180	204,1
65	26,6	200	252,0
70	30,9	230	333,3
75	35,4	250	393,8
80	40,3	300	567,0
85	45,5	350	771,8

* Medidas y pesos son teóricos IVAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte

Catálogo Ivan Bohman. AISI 1045

Información general

Acero al carbono sin alea de esmerada manufactura, con buena tenacidad. Características en su alta uniformidad y rendimiento. Puede utilizarse en condición de suministro o con tratamiento térmico de temple y revenido. Aplicable a partes relativamente simples de máquinas. Dureza de suministro aproximada: 200 HB.

Análisis típico %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
C45	0.42 - 0.50	≤ 0.40	0.50 - 0.80	0.045	0.045	≤ 0.40	≤ 0.10
AISI 1045	0.43 - 0.50	0.15 - 0.35	0.60 - 0.90	0.030	0.050		
Normas equivalentes	AISI (1045), SAE (C1045), W.Nr (1.1820), DIN (CK45)						
Código de color	Rojo / Plomo						

Propiedades mecánicas

Resistencia a la tracción	65 kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	32 kg/mm ²
Elongación, A5	min 10%
Reducción de área	40 %
Dureza	220 - 235

Tratamiento térmico

TIPO	°C
Forjado	800 - 1050
Normalizado	830 - 850
Temple (agua)	770 - 810
Temple (aceite)	790 - 830
Revenido (herramientas de corte)	100 - 300
Revenido de bonificación	550 - 650

Aplicaciones

Componentes sencillos, como por ejemplo:

- Pernos
- Chavetas
- Piezas de mediana resistencia para aplicación automotriz
- Ejes

Medidas en stock

Redondo

Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)
25	3,9	90	51,0	165	171,5
30	5,7	100	63,0	170	182,1
32	6,5	105	69,5	180	204,1
38	9,1	115	83,3	190	227,4
40	10,1	120	90,7	200	252,0
50	15,8	125	98,4	230	333,3
60	22,7	130	106,5	250	393,8
70	30,9	140	123,5	300	567,0
80	40,3	150	141,8	320	645,1
				350	771,8

Cuadrado

Cuadrado (mm)	Peso (kg/m)	Cuadrado (mm)	Peso (kg/m)
5 x 5	0,2	35 x 35	9,8
6 x 6	0,3	40 x 40	12,8
8 x 8	0,5	45 x 45	16,2
10 x 10	0,8	50 x 50	20,0
12 x 12	1,2	60 x 60	28,8
16 x 16	2,0	70 x 70	39,2
20 x 20	3,2	80 x 80	51,2
25 x 25	5,0	90 x 90	64,8
30 x 30	7,2	130 x 130	135,2
32 x 32	8,2		

Planchas

Planchas (mm)	Peso (kg/m)	Planchas (mm)	Peso (kg/m)
10 x 610	48,8	35 x 700	196,0
12 x 610	58,6	40 x 610	195,2
20 x 610	97,6	50 x 615	246,0
20 x 620	99,2	60 x 610	292,8
25 x 610	122,0	60 x 615	295,2
25 x 620	124,0	70 x 615	344,4
30 x 615	147,6	90 x 700	504,0

Platinas

Platinas (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)
10 x 40	3,2	25 x 40	8,0
12 x 40	3,8	25 x 50	10,0
12 x 60	5,8	25 x 80	16,0
15 x 100	12,0	30 x 70	16,8
20 x 100	16,0	30 x 80	19,2
20 x 150	24,0	40 x 80	25,6
20 x 50	8,0	60 x 100	48,0

Catálogo Ivan Bohman. AISI D2

► Cód. IBCA: XW41 ■ AISI D2 ■ W. Nr. 1.2379 ■ UDDEHOLM SVERKER 21



Información General	Aplicaciones																																												
<p>XW41 es un acero para utilajes con alto contenido de carbono y cromo, aleado con molibdeno y vanadio, caracterizado por:</p> <ul style="list-style-type: none"> Alta resistencia al desgaste. Alta resistencia a la compresión. Buenas propiedades de temple tanto en núcleo como en superficie. Excelente estabilidad en el temple. Buena resistencia al revenido <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th style="text-align: left;">Análisis típico %</th> <th>C</th> <th>Si</th> <th>Mn</th> <th>Cr</th> <th>Mo</th> <th>V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>1,55</td> <td>0,3</td> <td>0,4</td> <td>11,8</td> <td>0,8</td> <td>0,8</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <tbody> <tr> <td style="width: 20%;">Normas equivalentes</td> <td>BD2, ARNOR Z160 CDV 12, AISI D2, W.-Nr. 1.2379.</td> </tr> <tr> <td>Estado de suministros</td> <td>Recocido blando aprox. 210 HB</td> </tr> <tr> <td>Código de color</td> <td>Amarillo / Blanco</td> </tr> </tbody> </table>	Análisis típico %	C	Si	Mn	Cr	Mo	V		1,55	0,3	0,4	11,8	0,8	0,8	Normas equivalentes	BD2, ARNOR Z160 CDV 12, AISI D2, W.-Nr. 1.2379.	Estado de suministros	Recocido blando aprox. 210 HB	Código de color	Amarillo / Blanco	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Conformado</th> <th>HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Herramientas para: Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y conformado por estrado.</td> <td>56 - 62</td> </tr> <tr> <td>Troqueles de acuñar en frío</td> <td>56 - 60</td> </tr> <tr> <td>Suñideras para prensado en frío</td> <td>58 - 60</td> </tr> <tr> <td>Estampas para prensado en frío</td> <td>56 - 60</td> </tr> <tr> <td>Laminadores para tubos y laminado de secciones, laminadores planos</td> <td>58 - 62</td> </tr> <tr> <td>Suñideras para el conformado de: Materiales cerámicos, ladrillos, azulejos, muelas de afilado, tabletas, plásticos abrasivos.</td> <td>58 - 62</td> </tr> <tr> <td>Herramientas para laminado de roscas</td> <td>58 - 62</td> </tr> <tr> <td>Herramientas para estampado en frío</td> <td>56 - 60</td> </tr> <tr> <td>Martillos de trituración</td> <td>56 - 60</td> </tr> <tr> <td>Bloques de estampado</td> <td>56 - 60</td> </tr> <tr> <td>Calibres, herramientas de medición, columnas guía, casquillos, manguitos, moletas, boquillas de chorreado con arena</td> <td>58 - 62</td> </tr> </tbody> </table>	Conformado	HRC	Herramientas para: Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y conformado por estrado.	56 - 62	Troqueles de acuñar en frío	56 - 60	Suñideras para prensado en frío	58 - 60	Estampas para prensado en frío	56 - 60	Laminadores para tubos y laminado de secciones, laminadores planos	58 - 62	Suñideras para el conformado de: Materiales cerámicos, ladrillos, azulejos, muelas de afilado, tabletas, plásticos abrasivos.	58 - 62	Herramientas para laminado de roscas	58 - 62	Herramientas para estampado en frío	56 - 60	Martillos de trituración	56 - 60	Bloques de estampado	56 - 60	Calibres, herramientas de medición, columnas guía, casquillos, manguitos, moletas, boquillas de chorreado con arena	58 - 62
Análisis típico %	C	Si	Mn	Cr	Mo	V																																							
	1,55	0,3	0,4	11,8	0,8	0,8																																							
Normas equivalentes	BD2, ARNOR Z160 CDV 12, AISI D2, W.-Nr. 1.2379.																																												
Estado de suministros	Recocido blando aprox. 210 HB																																												
Código de color	Amarillo / Blanco																																												
Conformado	HRC																																												
Herramientas para: Doblar, acuñar, embutición profunda, repujado y conformado por estrado.	56 - 62																																												
Troqueles de acuñar en frío	56 - 60																																												
Suñideras para prensado en frío	58 - 60																																												
Estampas para prensado en frío	56 - 60																																												
Laminadores para tubos y laminado de secciones, laminadores planos	58 - 62																																												
Suñideras para el conformado de: Materiales cerámicos, ladrillos, azulejos, muelas de afilado, tabletas, plásticos abrasivos.	58 - 62																																												
Herramientas para laminado de roscas	58 - 62																																												
Herramientas para estampado en frío	56 - 60																																												
Martillos de trituración	56 - 60																																												
Bloques de estampado	56 - 60																																												
Calibres, herramientas de medición, columnas guía, casquillos, manguitos, moletas, boquillas de chorreado con arena	58 - 62																																												

Aplicaciones	Propiedades																																																																					
<p>Se recomienda para fabricar utilajes que deban tener una resistencia muy alta al desgaste, combinada con una tenacidad moderada (resistencia a los golpes). Además de las aplicaciones relacionadas en catálogo de XW5, se utiliza para cortar materiales más gruesos y duros, y en herramientas de dar forma expuestas a esfuerzos de flexión y cargas de impacto.</p> <p>XW41 puede suministrarse en varios acabados, incluyendo el laminado en caliente, premecanizado o en acabado definitivo. También puede obtenerse en forma de barras huecas y anillos.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th rowspan="2">Herramientas para</th> <th rowspan="2">Espesor del material</th> <th colspan="2">Dureza del material (HB)</th> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th><180 HRC</th> <th>>180 HRC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corte, corte fino</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cizallado, punzonado, doblado, desbarbado,</td> <td>< 3 mm 3 - 6 mm</td> <td>60 - 62 58 - 60</td> <td>58 - 60 54 - 56</td> </tr> <tr> <td>Cizallas cortas para trabajar en frío, cuchillas para corte de plásticos, cuchillas de molinos granuladores</td> <td></td> <td></td> <td>56 - 60</td> </tr> <tr> <td>Cizallas circulares</td> <td></td> <td></td> <td>58 - 60</td> </tr> <tr> <td>Herramientas de tronzo y desbarbado para piezas de forja</td> <td>(En caliente) (En frío)</td> <td>58 - 60 56 - 58</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fresas para madera, escariadoras, mandrinado.</td> <td></td> <td></td> <td>58 - 60</td> </tr> </tbody> </table>	Herramientas para	Espesor del material	Dureza del material (HB)		<180 HRC	>180 HRC	Corte, corte fino				Cizallado, punzonado, doblado, desbarbado,	< 3 mm 3 - 6 mm	60 - 62 58 - 60	58 - 60 54 - 56	Cizallas cortas para trabajar en frío, cuchillas para corte de plásticos, cuchillas de molinos granuladores			56 - 60	Cizallas circulares			58 - 60	Herramientas de tronzo y desbarbado para piezas de forja	(En caliente) (En frío)	58 - 60 56 - 58		Fresas para madera, escariadoras, mandrinado.			58 - 60	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th colspan="4">Características físicas</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Templado y revenido a 62 HRC.</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Características a la temperatura ambiente y temperaturas elevadas.</td> </tr> <tr style="background-color: #e0e0e0;"> <th>Temperatura</th> <th>20 °C</th> <th>200 °C</th> <th>400 °C</th> </tr> <tr> <td>Densidad kg/m³</td> <td>7700</td> <td>7 650</td> <td>7 600</td> </tr> <tr> <td>Módulo de elasticidad Mpa</td> <td>210 000</td> <td>200 000</td> <td>180 000</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Coeficiente de dilatación térmica - a baja temperatura revenido por °C a partir de 20 °C - a alta temperatura revenido por °C a partir de 20 °C</td> <td>-</td> <td>12,3 x 10⁻⁶</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>11,2 x 10⁻⁶</td> <td>12 x 10⁻⁶</td> </tr> <tr> <td>Conductibilidad térmica W/m °C</td> <td>20,0</td> <td>21,0</td> <td>23,0</td> </tr> <tr> <td>Calor específico J/Kg °C</td> <td>460</td> <td>-</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>	Características físicas				Templado y revenido a 62 HRC.				Características a la temperatura ambiente y temperaturas elevadas.				Temperatura	20 °C	200 °C	400 °C	Densidad kg/m ³	7700	7 650	7 600	Módulo de elasticidad Mpa	210 000	200 000	180 000	Coeficiente de dilatación térmica - a baja temperatura revenido por °C a partir de 20 °C - a alta temperatura revenido por °C a partir de 20 °C	-	12,3 x 10 ⁻⁶	-	-	11,2 x 10 ⁻⁶	12 x 10 ⁻⁶	Conductibilidad térmica W/m °C	20,0	21,0	23,0	Calor específico J/Kg °C	460	-	-
Herramientas para			Espesor del material	Dureza del material (HB)																																																																		
	<180 HRC	>180 HRC																																																																				
Corte, corte fino																																																																						
Cizallado, punzonado, doblado, desbarbado,	< 3 mm 3 - 6 mm	60 - 62 58 - 60	58 - 60 54 - 56																																																																			
Cizallas cortas para trabajar en frío, cuchillas para corte de plásticos, cuchillas de molinos granuladores			56 - 60																																																																			
Cizallas circulares			58 - 60																																																																			
Herramientas de tronzo y desbarbado para piezas de forja	(En caliente) (En frío)	58 - 60 56 - 58																																																																				
Fresas para madera, escariadoras, mandrinado.			58 - 60																																																																			
Características físicas																																																																						
Templado y revenido a 62 HRC.																																																																						
Características a la temperatura ambiente y temperaturas elevadas.																																																																						
Temperatura	20 °C	200 °C	400 °C																																																																			
Densidad kg/m ³	7700	7 650	7 600																																																																			
Módulo de elasticidad Mpa	210 000	200 000	180 000																																																																			
Coeficiente de dilatación térmica - a baja temperatura revenido por °C a partir de 20 °C - a alta temperatura revenido por °C a partir de 20 °C	-	12,3 x 10 ⁻⁶	-																																																																			
	-	11,2 x 10 ⁻⁶	12 x 10 ⁻⁶																																																																			
Conductibilidad térmica W/m °C	20,0	21,0	23,0																																																																			
Calor específico J/Kg °C	460	-	-																																																																			





Propiedades	
Características mecánicas	
Resistencia a la compresión. Las cifras deben considerarse como aproximadas.	
Dureza HRC	Resistencia a la compresión Rc0,2 Mpa
62	2200
60	2150
55	1900
50	1650

Tratamiento térmico		
Recocido blando		
Proteger el acero y calentarlo en toda su masa a 850 °C. Luego enfriarlo en el horno 10 °C por hora hasta 650 °C y por último libremente en el aire.		
Eliminación de tensiones		
Después del desbastado en máquina, debe calentarse la herramienta en toda su masa a 650 °C, tiempo de mantenimiento 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500 °C y después libremente al aire.		
Temple		
Temperatura de precalentamiento: 650 - 750 °C. Temperatura de austenización: 990 - 1050 °C. Normalmente 1000 - 1040 °C.		
Temperatura °C	Tiempo de mantenimiento minutos *	Dureza antes del revenido HRC
990	60	Apróx. 63
1010	45	Apróx. 64
1030	30	Apróx. 65
*Tiempo de mantenimiento = tiempo a la temperatura de temple después de que la herramienta está plenamente calentada en toda su masa.		
Proteger la herramienta contra decarburación y oxidación durante el proceso de temple.		
Temple		
<ul style="list-style-type: none"> • Aceite (sólo geometrías sencillas). • Vacío (gas a alta velocidad). • Aire forzado/gas. • Temple escalonado martensítico o lecho fluidizado a 180-500 °C, después, enfriar al aire. 		
Nota: Revenir inmediatamente que la herramienta alcance 50 - 70 °C.		

Tratamiento térmico	
Temple	
Dureza, tamaño del grano y austenita retenida, en función de la temperatura de austenización.	
<p>Este gráfico muestra tres variables en función de la temperatura de austenización (900-1080 °C). La Dureza HRC (línea roja) aumenta de ~58 a ~68. El Tamaño del grano ASTM (zona gris) aumenta de ~5 a ~8. La Austenita retenida (%) (línea azul) aumenta de ~10 a ~40.</p>	
Revenido	
Elegir la temperatura de acuerdo con la dureza requerida según el gráfico de revenido. Revenir dos veces con enfriamiento intermedio a la temperatura ambiental. Mínima temperatura de revenido 180 °C. Tiempo mínimo de mantenimiento de temperatura, 2 horas.	
<p>Este gráfico muestra la dureza y la austenita retenida durante el revenido (100-700 °C). La Dureza HRC (línea azul) comienza en ~65 y cae a ~30. La Austenita retenida (línea roja) comienza en ~10 y cae a ~0. Se indican curvas para austenización a 990 °C y 1000 °C.</p>	

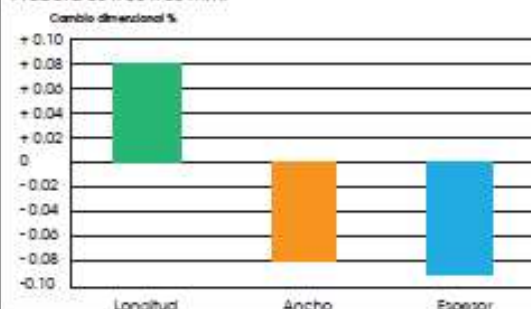


Tratamiento térmico

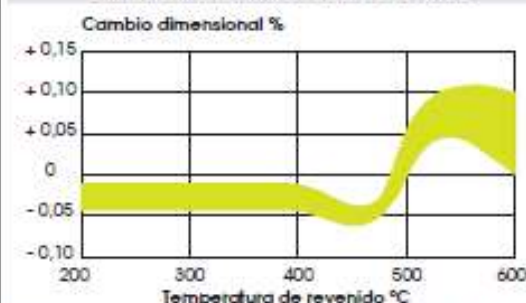
Cambios dimensionales durante el temple

Tratamiento térmico: Temperatura de autotemperado 1020 °C, 30 minutos, enfriar en equipo de vacío con 2 bar de sobrepresión.

Probeta 80 x 80 x 80 mm.



Cambios dimensionales durante el revenido



Nota: Hay que sumar los cambios dimensionales experimentados en el temple y revenido. Tolerancia recomendada 0,15%.

Tratamiento sub-cero

Las piezas que requieran una estabilidad dimensional máxima deberán someterse a tratamiento sub-cero*, para que con el tiempo no experimenten cambios en el volumen. Esto se aplica, por ejemplo, a las herramientas de medición y ciertas piezas de construcción.

Inmediatamente después del temple la pieza se enfriará entre -70 y -80 °C durante un tiempo de 3 a 4 horas, seguido de revenido.

El tratamiento sub - cero confiere un aumento de dureza de 1 - 3 HRC. Evitar las formas complicadas debido al riesgo de formación de grietas.

* En algunas ocasiones se utiliza también un envejecimiento a 110 - 140 °C durante 28 - 100 horas.

Cambios dimensionales durante el temple

La nitruración aporta una superficie dura muy resistente al desgaste y a la erosión. Una superficie nitrurada aumenta también la resistencia a la corrosión. La dureza de la superficie después de la nitruración a una temperatura de 525 °C en gas amoniacado será de aprox. 1250 HV1.

Temperatura nitruración °C	Tiempo de nitruración horas	Profundidad de la capa mm, aprox.
525	20	0,25
525	30	0,30
525	60	0,35

La Nitrocarburoción se realiza en un baño de sales especial a 570 °C. Tiempo de mantenimiento: normalmente 2 horas. Da una dureza superficial de aprox. 950 HV1. El espesor de capa es de 10 - 20 µm. Estas cifras se refieren a material templado y revenido previamente.

Mecanizado por electroerosión

Si la electroerosión se efectúa en material templado y revenido, deberá darse a la herramienta un revenido adicional a aprox. 25 °C por debajo de la temperatura de revenido anterior.

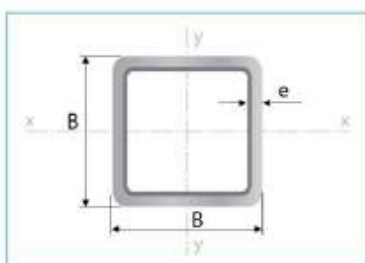
Medidas en stock

Redondo						Platinas			
Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Diámetro (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)	Platinas (mm)	Peso (kg/m)
10	0,6	66	27,4	126	100,0	216	293,9	15 x 57	6,8
16	1,4	70	30,9	127	101,6	225	318,9	18 x 86	12,4
31	6,1	71	31,8	127	101,6	250	393,8	20 x 685	109,6
32	6,5	76	36,4	131	108,1	254	406,5	22 x 133	23,4
35	7,7	76,2	36,6	152	145,6	300	567,0	22 x 210	37,0
40	10,1	82,6	43,0	153	147,5	310	605,4	22 x 86	15,1
41	10,6	86	46,6	160	161,3	330	686,1	28 x 108	24,2
46	13,3	90	51,0	165	171,5	333	698,6	28 x 133	29,8
50	15,8	91	52,2	167	175,7	356	798,4	28 x 158	35,4
50,8	16,3	101	64,3	170	182,1	450	1275,8	28 x 260	58,2
51	16,4	102	65,5	180	204,1			28 x 45	10,1
55	19,1	108	73,5	182	208,7			28 x 86	19,3
56	19,8	115	83,3	202	257,1			30 x 615	147,6
63,5	25,4	116	84,8	203	259,6			35 x 108	30,2

* Medidas y pesos son teóricos (VAN BOHMAN C.A. facturará al peso del material una vez efectuado el corte)

Catálogo IPAC. Tubería Estructural Cuadrada

Tubería Estructural Cuadrada



Largo Normal:
 6 metros
Recubrimiento:
 Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
 ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:
 NTE INEN 2415
Espesores:
 Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
 Otras dimensiones y largos,
 previa consulta

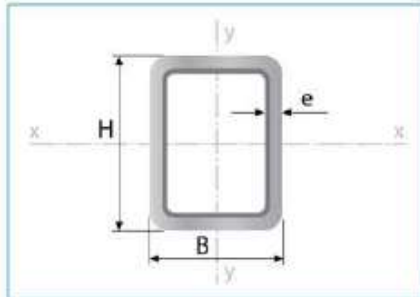
Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos industriales, agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.



Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
B	e			Eje x-x' = y-y'		
				Momento de inercia	Modulo de resistencia	Radio de giro
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
20	1,40	0,99	0,78	0,56	0,56	0,75
	1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
	1,80	1,23	0,96	0,66	0,66	0,73
	2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
25	1,40	1,27	1,00	1,16	0,93	0,95
	1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
	1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
	2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
30	1,40	1,55	1,22	2,08	1,39	1,16
	1,50	1,65	1,30	2,20	1,47	1,15
	1,80	1,95	1,53	2,53	1,68	1,14
	2,00	2,14	1,68	2,73	1,82	1,13
40	1,40	2,11	1,66	5,18	2,59	1,57
	1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
	1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
	2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
	2,50	3,59	2,82	8,23	4,12	1,51
	3,00	4,27	3,28	9,54	4,88	1,48
	4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
50	1,40	2,81	2,15	10,42	4,77	1,61
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
	3,00	5,47	4,25	19,80	7,90	1,89
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,40	3,13	2,27	15,82	5,37	2,06
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
70	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
	2,50	9,59	7,53	150,65	30,13	3,96
	3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
	4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
	5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
	6,00	21,63	16,80	312,00	62,40	3,80
125	3,00	14,41	11,31	354,53	56,73	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,33	73,17	4,91

Catálogo IPAC. Tubería Estructural Rectangular



Largo Normal:
 6 metros
Recubrimiento:
 Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
 ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:
 NTE INEN 2415
Espesores:
 Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
 Otras dimensiones y largos,
 previa consulta

» Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería y remolques.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: soportes.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: columnas.
- Estructuras: galpones y naves industriales, edificios, soporte de techos.



Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas					
					Eje x-x			Eje y-y		
B	H	e	A	P	I	W	i	I	W	i
mm	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
20	30	1.50	1,35	1,06	1,59	1,06	1,08	0,84	0,84	0,79
		2.00	1,74	1,36	1,94	1,30	1,06	1,02	1,02	0,77
20	40	1.40	1,55	1,22	3,09	1,55	1,41	1,04	1,04	0,82
		1.50	1,65	1,30	3,27	1,63	1,41	1,10	1,10	0,82
		1.80	1,95	1,53	3,75	1,88	1,39	1,26	1,26	0,80
		2.00	2,14	1,68	4,06	2,03	1,38	1,35	1,35	0,79
25	50	1.40	1,97	1,55	6,28	2,51	1,79	2,13	1,71	1,04
		1.50	2,10	1,65	6,66	2,66	1,78	2,26	1,80	1,04
		1.80	2,49	1,95	7,72	3,09	1,76	2,60	2,08	1,02
		2.00	2,74	2,15	8,39	3,36	1,75	2,82	2,25	1,01
		2.50	3,34	2,62	9,90	3,96	1,72	3,29	2,64	0,99
		3.00	3,91	3,07	11,20	4,48	1,69	3,70	2,96	0,97
30	50	1.40	2,11	1,66	7,11	2,84	1,83	3,23	2,15	1,24
		1.50	2,25	1,77	7,54	3,02	1,83	3,42	2,29	1,23
		1.80	2,67	2,09	8,77	3,51	1,81	3,96	2,64	1,22
		2.00	2,94	2,31	9,54	3,82	1,80	4,30	2,87	1,21
		2.50	3,59	2,82	11,31	4,53	1,78	5,07	3,38	1,19
		3.00	4,21	3,30	12,86	5,15	1,75	5,73	3,82	1,17
40	60	1.40	2,67	2,10	13,54	4,51	2,25	7,27	3,63	1,65
		1.50	2,85	2,24	14,39	4,80	2,25	7,72	3,86	1,64
		1.80	3,39	2,66	16,85	5,62	2,23	9,01	4,51	1,63
		2.00	3,74	2,93	18,42	6,14	2,22	9,84	4,92	1,62
		2.50	4,59	3,60	22,09	7,36	2,19	11,75	5,88	1,60
		3.00	5,41	4,25	25,41	8,47	2,17	13,47	6,74	1,58
30	70	1.40	2,67	2,10	16,36	4,67	2,47	4,37	2,92	1,28
		1.50	2,85	2,24	17,38	4,97	2,47	4,64	3,09	1,28
		1.80	3,39	2,66	20,35	5,81	2,45	5,39	3,60	1,26
		2.00	3,74	2,93	22,23	6,35	2,44	5,87	3,91	1,25
		2.50	4,59	3,60	26,63	7,61	2,41	6,96	4,64	1,23
		3.00	5,41	4,25	30,61	8,74	2,38	7,93	5,29	1,21
40	80	1.50	3,45	2,71	28,99	7,25	2,90	9,94	4,97	1,70
		1.80	4,11	3,22	34,09	8,52	2,88	11,64	5,82	1,68
		2.00	4,54	3,56	37,36	9,34	2,87	12,73	6,36	1,67
		2.50	5,59	4,39	45,12	11,28	2,84	15,27	7,64	1,66
		3.00	6,61	5,19	52,28	13,07	2,81	17,59	8,79	1,63
		4.00	8,55	6,71	64,90	16,22	2,76	21,59	10,79	1,59
50	90	1.50	4,05	3,18	44,68	9,93	3,32	18,13	7,25	2,12
		1.80	4,83	3,79	52,70	11,71	3,30	21,32	8,53	2,10
		2.00	5,34	4,19	57,88	12,86	3,29	23,37	9,35	2,09
		2.50	6,59	5,17	70,28	15,62	3,27	28,25	11,30	2,07
		3.00	7,81	6,13	81,88	18,20	3,24	32,77	13,11	2,05
		4.00	10,15	7,97	102,81	22,85	3,18	40,81	16,32	2,01
50	100	1.50	4,35	3,42	57,77	11,55	3,64	19,89	7,96	2,14
		1.80	5,19	4,07	68,22	13,64	3,63	23,41	9,37	2,12
		2.00	5,74	4,50	74,99	15,00	3,62	25,68	10,27	2,12
		2.50	7,09	5,56	91,22	18,24	3,59	31,07	12,43	2,09
		3.00	8,41	6,60	106,49	21,30	3,56	36,09	14,44	2,07
		4.00	10,85	8,59	134,24	26,85	3,50	45,05	18,02	2,03
50	150	1.80	6,99	5,48	188,33	25,11	5,19	33,87	13,55	2,20
		2.00	7,74	6,07	207,54	27,67	5,18	37,21	14,88	2,19
		2.50	9,59	7,53	254,09	33,88	5,15	45,19	18,08	2,17
		3.00	11,41	8,96	298,58	39,81	5,12	52,68	21,07	2,15
		4.00	14,95	11,73	381,49	50,87	5,05	66,27	26,51	2,11
		5.00	18,36	14,41	456,54	60,87	4,99	78,12	31,25	2,06
60	120	1.80	6,27	4,92	119,80	19,97	4,37	41,25	13,75	2,57
		2.00	6,94	5,45	131,93	21,99	4,36	45,34	15,11	2,56
		2.50	8,59	6,74	161,25	26,87	4,33	55,17	18,39	2,53
		3.00	10,21	8,01	189,15	31,53	4,30	64,44	21,48	2,51
		4.00	13,35	10,48	240,84	40,14	4,25	81,35	27,12	2,47
		5.00	16,36	12,84	287,23	47,87	4,19	96,25	32,08	2,43
70	200	3.00	15,61	12,25	749,71	74,97	6,93	145,15	41,47	3,05
		4.00	20,55	16,13	969,28	96,93	6,87	185,62	53,03	3,01
		5.00	25,36	19,90	1,174,26	117,43	6,81	222,47	63,56	2,96
		6.00	30,03	23,58	1,365,00	136,50	6,74	255,91	73,12	2,92
75	125	1.80	6,99	5,48	152,92	24,47	4,68	70,06	18,68	3,17
		2.00	7,74	6,07	168,56	26,97	4,67	77,15	20,57	3,16
		2.50	9,59	7,53	206,53	33,04	4,64	94,26	25,14	3,14
		3.00	11,41	8,96	242,88	38,86	4,61	110,55	29,48	3,11
		4.00	14,95	11,73	310,97	49,71	4,55	140,75	37,53	3,07
		5.00	18,36	14,41	372,77	59,64	4,51	167,93	44,78	3,02
75	175	3.00	15,61	11,91	959,71	95,97	9,44	159,49	39,86	3,44

Catálogo DIPAC. Planchas Laminadas al Caliente.

PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE



Especificaciones Generales

Espesores: 1,20mm a 150,00mm
Rolls: Ancho 1000mm, 1220mm, 1500mm
Planchas: 4 x 8 pies y a medida

PLANCHAS

Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Dobrado 180°	Norma Equivalente
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= 0e	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

Calidad Estructural

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fuencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Dobrado 180°	Norma Equivalente
ASTM A-568M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

Torque de Apriete para Uniones Roscadas

Torque de Apriete para Uniones Roscadas

Rosca Milimétrica

Diámetro Nominal		Sección Resistente	Carga en el límite elástico 0.2% (Kg.)				Fuerza de Pretensado 70/75% de carga en límite elástico (Kg.)				Torque de Apriete (Kgm.)			
Diámetro	Paso	mm ²	5.6	8.8	10.9	12.9	5.6	8.8	10.9	12.9	5.6	8.8	10.9	12.9
12	1.75	84.3	2,530	5,400	7,600	9,100	1,900	3,830	5,400	6,450	4	9	12	15
14	2	115	3,450	7,350	10,350	12,400	2,600	5,250	7,400	8,850	7	14	19	23
16	2	157	4,710	10,000	14,100	17,000	3,550	7,300	10,200	12,300	11	21	30	36
18	2.5	192	5,760	12,300	17,300	20,700	4,320	8,800	12,400	14,800	15	29	41	49
20	2.5	245	7,350	15,700	22,000	26,500	5,500	11,400	16,000	19,200	20	41	58	69
22	2.5	303	9,090	19,400	27,300	32,700	6,800	14,100	19,900	23,900	27	55	78	93
24	3	353	10,590	22,600	31,800	36,100	7,900	16,400	23,000	27,600	35	70	100	120
27	3	459	13,770	29,400	41,300	49,600	10,300	21,500	30,200	36,300	50	105	150	180
30	3.5	651	16,830	35,900	50,500	60,600	12,600	26,200	36,800	44,200	68	145	200	240
33	3.5	694	20,820	44,400	62,500	75,000	15,620	33,300	46,800	56,200	94	200	280	340
36	4	817	24,510	52,300	73,500	88,200	18,380	39,200	55,100	66,200	120	260	360	430
39	4	976	29,280	62,500	87,800	105,400	21,960	46,800	65,900	79,100	160	330	470	560
42	4.5	1,117	33,510	71,500	100,500	120,600	25,130	53,600	75,400	90,500	190	410	580	690
45	4.5	1,302	39,060	83,300	117,200	140,600	29,300	62,500	87,900	105,500	240	510	720	860
48	5	1,469	44,070	94,000	132,200	158,700	33,100	70,500	99,200	119,000	290	620	870	1,040

Catálogo Baldor. Motor Trifásico 20 HP

BALDOR • RELIANCE Paquete de información de producto: VEM2334T - 20HP,1770RPM,3PH,60HZ,256TC,0960M,TEFC,F

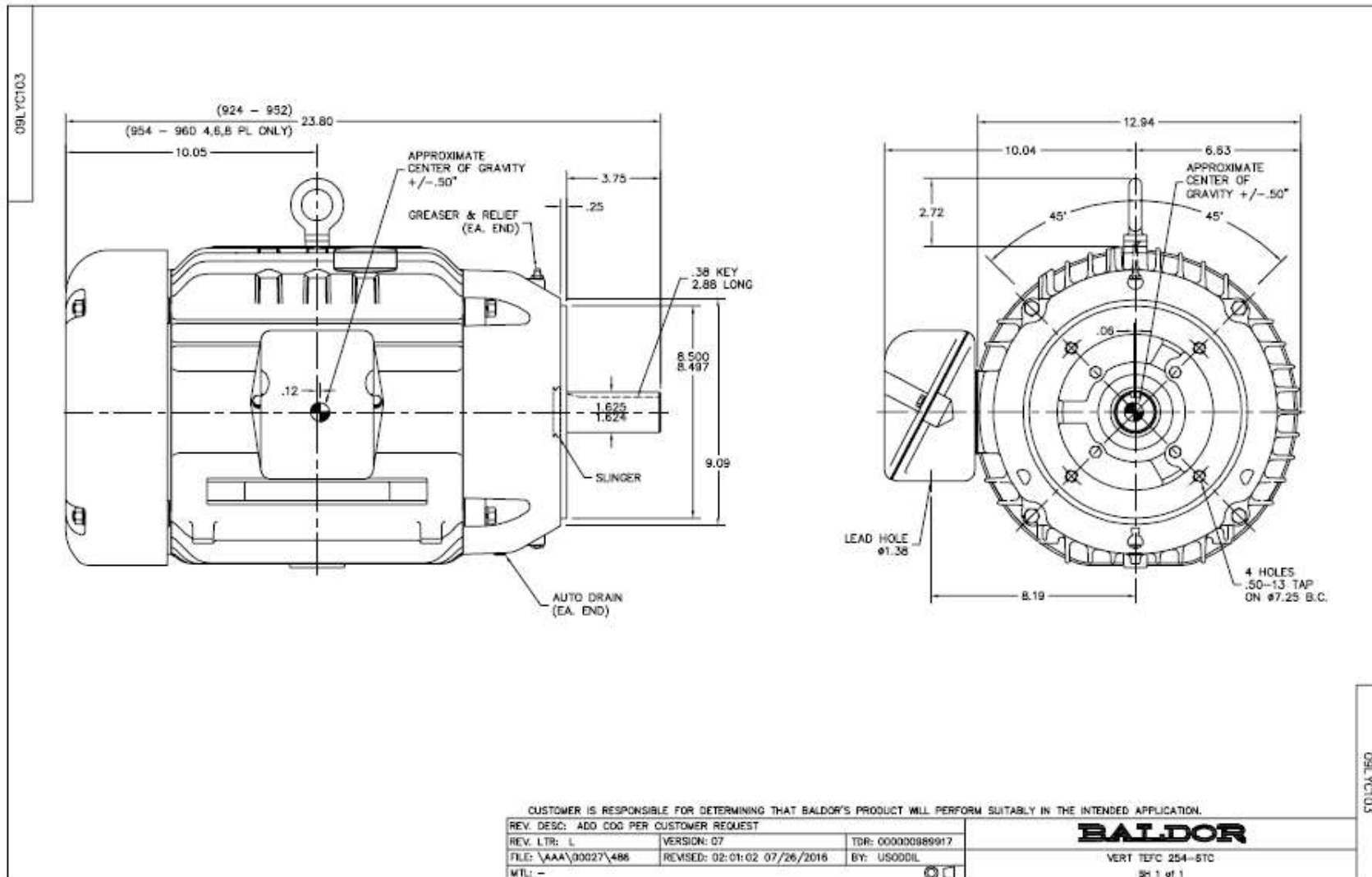
AC Induction Motor Performance Data
Record # 67948 - Typical performance - not guaranteed values

Winding: 09WGT459-R001	Type: 0960M	Enclosure: TEFC
-------------------------------	--------------------	------------------------

Nameplate Data				460 V, 60 Hz: High Voltage Connection	
Rated Output (HP)	20			Full Load Torque	59.27 LB-FT
Volts	230/460			Start Configuration	direct on line
Full Load Amps	48/24			Breakdown Torque	232 LB-FT
R.P.M.	1770			Pull-up Torque	126 LB-FT
Hz	60	Phase	3	Locked-rotor Torque	141 LB-FT
NEMA Design Code	A	KVA Code	J	Starting Current	198 A
Service Factor (S.F.)	1.15			No-load Current	10.4 A
NEMA Nom. Eff.	93	Power Factor	83	Line-line Res. @ 25°C	0.33814 Ω
Rating - Duty	40C AMB-CONT			Temp. Rise @ Rated Load	58°C
S.F. Amps				Temp. Rise @ S.F. Load	70°C
				Locked-rotor Power Factor	26.5

Load Characteristics 460 V, 60 Hz, 20 HP

% of Rated Load	25	50	75	100	125	150	S.F.
Power Factor	45	67	78	83	86	87	85
Efficiency	89.2	93	93.7	93.6	93.1	92.4	93.3
Speed	1793.2	1786.4	1779.1	1771.9	1763.7	1755.3	1767
Line amperes	11.8	15	19.2	24	29.3	34.9	27.2



DIMENSIONS



IN-LINE HELICAL GEAR REDUCER (ILH)

SIZE: HB148

NEMA C-Face - Foot Mounted - Clamp Collar / 3 Piece Coupled
Double/Triple Reduction

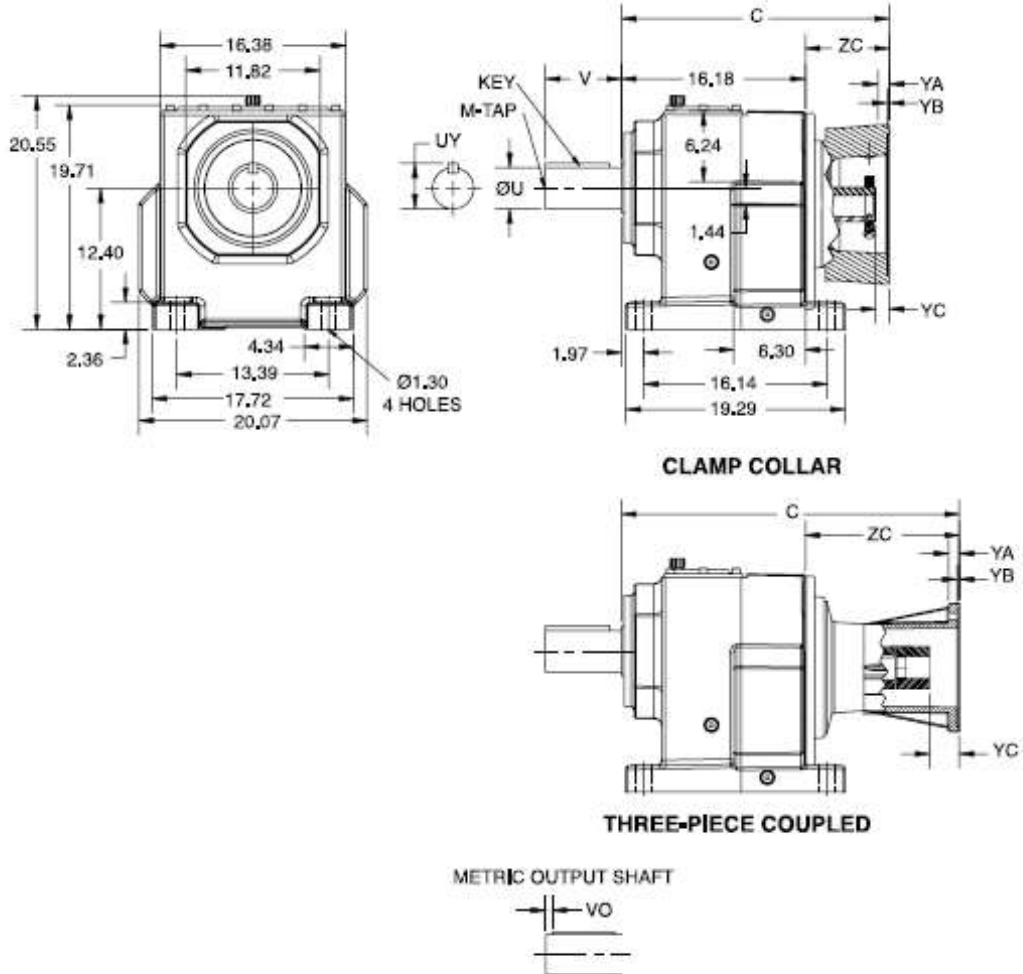
QUANTIS

QUANTIS GOLD

ILH

PHS

M3M



NOMENCLATURE PAGE ILH-4	MOUNTING POSITIONS PAGE ILH-7	STOCK/NON-STOCK PART NUMBERS PAGE ILH-67	WEIGHTS PAGE ILH-343
----------------------------	----------------------------------	---	-------------------------

DIMENSIONS



IN-LINE HELICAL GEAR REDUCER (ILH) NEMA C-Face - Foot Mounted - Clamp Collar / 3 Piece Coupled Double/Triple Reduction

SIZE: HB148

Standard Output Shaft					Dimension - Inch/MM	
ØU	tol.	UY	V	VO	KEY	M-TAP x DEPTH
3.625	+0.0000 -0.0010	4.01	6.69	-	7/8 x 7/8 x 5-5/8	1-8 UNC x 1.97
90	+0.035 +0.013	95	170	15	25 x 14 x 140	M24 x 50

Optional Output Shaft					Dimension - Inch/MM	
ØU	tol.	UY	V	VO	KEY	M-TAP x DEPTH
4.000	+0.0000 -0.0010	4.44	8.27	-	1 x 1 x 7-1/8	1-8 UNC x 1.97
100	+0.035 +0.013	106	210	15	28 x 16 x 180	M24 x 50

NEMA Motor Adapter - Clamp Collar					Dimension - Inch		
	H148 Double		H148 Triple		YA	YB	YC
	C	ZC	C	ZC			
180TC	-	-	20.98	4.80	0.73	0.22	0.91
210TC	21.36	5.18	22.86	6.68	0.69	0.22	0.89
250TC	21.12	4.94	22.62	6.44	0.95	0.20	1.13
280TC	22.04	5.86	23.54	7.36	0.95	0.20	1.30
320TC	23.63	7.45	25.13	8.95	1.02	0.20	1.19
360TC	25.36	9.18	-	-	1.02	0.20	1.48

NEMA Motor Adapter - 3 Piece Coupled					Dimension - Inch		
	H148 Double		H148 Triple		YA	YB	YC
	C	ZC	C	ZC			
180TC	-	-	24.57	8.39	0.73	0.22	1.65
210TC	25.14	8.96	26.63	10.45	0.87	0.22	2.01
250TC	26.91	10.73	28.41	12.23	0.95	0.20	2.17
280TC	29.72	13.54	31.22	15.04	0.95	0.20	2.57
320TC	32.22	16.04	33.72	17.54	1.02	0.20	2.99
360TC	33.27	17.09	-	-	1.02	0.20	3.26

Refer to page Engineering-2 for Input Shaft and Flange details.

NOMENCLATURE PAGE ILH-4	MOUNTING POSITIONS PAGE ILH-7	STOCK/NON-STOCK PART NUMBERS PAGE ILH-67	WEIGHTS PAGE ILH-343
----------------------------	----------------------------------	---	-------------------------

ILH-303

QUANTIS

QUANTIS GOLD

ILH

PHB

MSM

REDUCER SPECIFICATIONS

Catalog Number (Part 1)	HB1482CN250TC
Catalog Number (Part 2)	42.59A1S13.625 X 6.69
Product Type	In-Line Helical
Motor Type	NEMA
Horsepower	20.00
Motor Frame	250TC
Input Speed (RPM)	1750
Actual Ratio	42.59
Actual Output Speed (RPM)	41.00
Output Torque Maximum (IN -LB)	53147
Output OverhungLoad (OHL)	7911
Ambient Temp (Fahrenheit)	68
Thermal Rating	103.70
Service Factor	1.00
Final Max Input Power (HP)	34.65
Separate Group	160
Output Configuration	Foot Mounted
Unit Size	148
Reduction Stage	2
Input Configuration	C-Face Clamp Collar
Actual Service Factor	1.73

MOUNTING / FLANGE

Mounting Position	A1
-------------------	----

BEARING / SEALS / LUBRICATION

Lubrication Type	Mineral - Mobilgear 600 XP 220
Input Seals	Single Nitrile (Standard)
Output Seals	Single Nitrile (Standard)

SHAFT / COUPLING

Output Shaft/Bore Dia. (in)	3.625 x 6.69
Output Shaft Type	Single Extension Solid Shaft
Output Shaft UOM	Imperial (Inch)

REDUCER OPTIONS

Reducer Protection Level	Standard
Paint Color	Reliance Blue-Green
Nameplate Material Option	Mylar (Standard)
Drawing	ILH_302_303
Delivery	Standard
Packaging Type	Standard Packaging

MOTOR INFORMATION

Voltage	230/460
Enclosure	TEFC
Motor Category	Baldor-Reliance Stock Motor

<https://config.baldor.com/CustomConfigurators/CustomQuantis/Default.aspx?model=CUSTOMQUANTIS&SessionID=253453ba-aa38-454a-b3d4-cd3...>

17/8/2018

ABB Product Configurator - Custom Quantis Product

Conduit Box Location	3C
Motor Model #	VEM2334T
	Y