



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS TRITURADOR DE GRANO”

Autores:

Calapaqui Toapanta Oscar Andrés

Maiquiza Toapanta Luis Octavio

Tutor:

Ing. MS.c. Navarrete López Luis Miguel

Latacunga – Ecuador

Septiembre 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Nosotros Calapaqui Toapanta Oscar Andrés y Maiquiza Toapanta Luis Octavio declaro ser el autor (a) del presente proyecto de investigación **DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLO TRITURADOR DE GRANOS** siendo Ing. Navarrete López Luis Miguel tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la universidad técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad

.....
Calapaqui Toapanta Oscar Andrés

CC: 050401434-1

.....
Maiquiza Toapanta Luis Octavio

CC: 180477403-0

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS TRITURADOR DE GRANO,”, de Calapaqui Toapanta Oscar Andrés y Maiquiza Toapanta Luis Octavio, de la carrera Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Septiembre 2020

El tutor

.....

Ing. MS.c. Navarrete López Luis Miguel

C.C. 1803747284

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, los postulantes: Oscar Andrés Calapaqui Toapanta con CC 050401434-1 y Luis Octavio Maiquiza Toapanta con CC 180477403-0, con el Título de Proyecto de Titulación: “DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS TRITURADOR DE GRANO,” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Septiembre 2020

Para constancia firman

.....
Ing. Mauro Darío Albarracín Alvares
CC: 050311373-0

.....
Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina
CC: 050284769-2

.....
Ing. Enrique Torres Tamayo
CC: 175712194-0

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios por darme salud y un espontáneo sentimiento de gratitud para con la Universidad Técnica de Cotopaxi, quien me dio la oportunidad de prepararme académicamente y alcanzar una de las metas más anheladas en vida. Un especial reconocimiento al Ing. Navarrete López Luis Miguel tutor de mi proyecto de investigación, quien con su paciencia y excelente conducción me guio en forma acertada para culminar con éxito la realización del Trabajo. Y un agradecimiento especial a mi madre, como también a una persona quien con sus enseñanzas y consejos lograr calar en mí como gran ser humano.

Oscar A.

AGRADECIMIENTO

A dios por la vida y las bendiciones dadas cada día incondicionalmente. A mi gentil Universidad Técnica de Cotopaxi, a mi querida carrera Ingeniería Electromecánica y a la docencia de toda mi trayectoria Universitaria de ofrecer sus conocimientos hacia mi persona. A mis padres por darme la vida y crecerme con principios y valores que me han fortalecido en mi Vida. A mí querida madre por ser una persona ejemplar de lucha y sacrificio durante todo mi tiempo de estudios. A mis hermanos, hermanas que me han apoyado depositado su confianza plenamente en mí y día a día de seguir adelante pese a las circunstancias y situaciones dificultades que se presenten durante la vida.

Luis O.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo, en primer lugar a mi madre por guiarme siempre por el camino hacia la feliz culminación de mi éxito, como también a Gonzalo el cual es un gran ser humano por haberme brindado su apoyo incondicional a mis hermanas Nydia, Keisi y Cristina que los quiero con todo mi cariño. Al igual que todas esas personas que me apoyaron y confiaron en mí. "A los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi" por sus sabios conocimientos que lograron impartir, A mis compañeros de aula, amigos y todos aquellos que hicieron posible la elaboración de este trabajo.

Oscar A.

DEDICATORIA

A dios por permitirme llegar a cumplir unos de mis sueños más anhelados. A mi madre y a mi padre ya fallecido por la sabiduría y fortaleza que siempre han demostrado por sus sabios consejos, el apoyo incondicional y los valores inculcados, al ser un ejemplo a seguir.

A todas aquellas personas que estuvieron pendientes y prestándome su ayuda, dándome sus palabras de aliento y ánimos para llegar a cumplir este gran objetivo.

Luis O.

INDICE GENERAL

CARÁTULA	i
DECLARACIÓN DE AUTORIA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
AVAL DE TRADUCCION.....	xvi
1.DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
1.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
1.2. TIPO DE ALCANCE	2
1.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO:	3
1.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	3
1.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
1.5.1. Objeto de estudio	3
1.5.2. Campo de acción	3
1.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA	3
1.6.1. Situación problemática	3
1.6.2. Problema	4
1.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA	4
1.8. OBJETIVOS	4
1.8.1. Objetivo general	4
1.8.2. Objetivos específicos	4
1.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS	4

2.MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Fundamentación teórica	6
2.2.1. Granos	6
2.2.2. La Quinoa	7
2.2.3. Variedad tunkahuan y variedad pata de venado (tarhua chaqui)	7
2.2.4. Molienda	9
2.2.5. Procesos de molienda	9
2.3. Tipos de molinos	9
2.3.1. Molino de discos	9
2.3.2. Molino de Martillos	10
2.3.3. Molino de Barras	12
2.3.4. Molino de rodillos trituradores	13
2.4. Tamaños de molienda	14
2.5. Selección del molino a desarrollar	14
2.6. Parámetros a tener en cuenta en el diseño de un triturador de rodillos	15
2.7. Partes constitutivos de un molino de rodillos	15
2.8. Principios de molienda de molino por rodillos	17
2.9. Factores principales a determinar en un molino de rodillos	18
2.10. Factores presentes en un sistema de molienda	18
3.METODOLOGÍA	19
3.1. Conceptualización	19
3.2. Diseño funcional	19
3.3. Diseño dimensional	19
3.3.1. Diámetro de los rodillos	19
3.3.2. Revoluciones por minuto de los elementos triturantes	20
3.3.3. Superficie de contacto	20
3.3.4. Definición del diámetro de poleas	21
3.3.5. Diseño de engranajes	21
3.3.6. Potencia requerida en los rodillos	22

3.3.7.	Potencia requerida en las poleas y en los engranajes	23
3.3.8.	Potencia requerida para moler el material deseado	25
3.3.9.	Potencias totales	25
3.3.10.	Validación del eje seleccionado	25
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	28
4.1.	Introducción	28
4.2.	Diseño del molino de rodillos triturador de grano	28
4.2.1.	Diseño dimensional	28
4.2.2.	Diámetro de los rodillos	28
4.2.3.	Diseño de la tolva	30
4.2.4.	Longitud de los elementos triturantes	31
4.2.5.	Cargas en los elementos triturantes	31
4.2.6.	Definición del diámetro de poleas	31
4.2.7.	Diseño de engranajes	32
4.2.8.	Potencia requerida en los rodillos (AISI 420)	33
4.2.9.	Potencia requerida en las varillas ejes de los rodillos (AISI 1018)	34
4.2.10.	Potencia requerida en las poleas y en los engranajes (AISI 1018)	34
4.2.11.	Momento de inercia total de las ruedas dentadas	37
4.2.12.	Potencia requerida para moler el material deseado	37
4.2.13.	Potencias totales	38
4.2.14.	Selección del motorreductor	38
4.3.	Diseño de las correas en el primer juego (entre $d_1=100$ mm y $d_2=40$ mm)	40
4.4.	Diseño de las correas en el segundo juego (entre $d_1=80$ mm y $d_2=40$ mm)	41
4.5.	Diseño del eje del rodillo derecho	41
4.6.	Diseño del eje del rodillo izquierdo	45
4.7.	Diseño del eje secundario	47
4.7.1.	Selección del rodamiento para los ejes	51
5.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO	53
5.1.	Presupuesto	53
5.2.	Costos directos	53
5.3.	Costos indirectos	54

5.4. Presupuesto total	54
5.5. Impactos	54
5.5.1. Impacto tecnológico	54
5.6. Beneficios:	55
6.CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
6.1. Conclusiones	56
6.2. Recomendaciones	56
BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	1

Índice de Figuras

Figura 2. 1 Molino de discos	10
Figura 2. 2 Esquema de un molino de martillos	11
Figura 2. 3 Molino de martillos	11
Figura 2. 4 Molino de Barras	12
Figura 2. 5 Esquema de molino de rodillos trituradores.....	13
Figura 2. 6. Molino de rodillos trituradores.....	13
Figura 2. 7 Rodillos corrugados	15
Figura 2. 8 Rodillos lisos	15
Figura 2. 9 <i>Motorreductor</i>	16
Figura 2. 10 Ejes de los rodillos	16
Figura 2. 11 Rodillos moledores armados	16
Figura 2. 12 Mecanismo de transmisión.....	17
Figura 2. 13 Principios de molienda.....	17
Figura 4. 2 Perfil de correa	40
Figura 4. 3 Eje - rodillo derecho.....	42
Figura 4. 4 Diagrama de cuerpo libre del eje – rodillo derecho	42
Figura 4. 5 Factor f resistencia a la fatiga.....	45
Figura 4. 6 Conjunto eje - rodillo izquierdo	45
Figura 4. 7 Diagrama de cuerpo libre del conjunto eje – rodillo izquierdo.....	46
Figura 4. 8 Diseño del eje secundario.....	47
Figura 4. 9 Diagrama de cuerpo libre del eje secundario	48
Figura 4. 10 Plano estructura bancada.....	1
Figura 4. 11 Plano cuerpo.....	2
Figura 4. 12 Plano varilla eje izquierdo.....	3
Figura 4. 13 Plano rodillo	4
Figura 4. 14 Plano chaveta superior	5
Figura 4. 15 Plano varilla eje derecho	6
Figura 4. 16 Plano polea menor.....	7
Figura 4. 17 Plano bocín de ajuste.....	8
Figura 4. 18 Plano eje secundario.....	9
Figura 4. 19 Plano PIN	10
Figura 4. 20 Plano chaveta de traslado	11
Figura 4. 21 Plano polea mayor	12

Figura 4. 22 Plano polea media	13
Figura 4. 23 Plano engranaje	14
Figura 4. 24 Plano chaveta de sujeción	15
Figura 4. 25 Plano bocín de apoyo	16
Figura 4. 26 Plano tolva de ingreso	17
Figura 4. 27 Factor de seguridad adecuado para la tolva de entrada.....	18
Figura 4. 28 Plano tolva de salida.....	19
Figura 4. 29 Plano nervio	20
Figura 4. 30 Plano Molino armado.....	21
Figura 4. 30 Datos de engranaje	35

Índice de Tablas

Tabla 2. 1 Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos. .4	
Tabla 2. 2 Composición de granos7	7
Tabla 2. 3 Características morfológicas8	8
Tabla 2. 4 Características agronómicas8	8
Tabla 2. 5 Molino de discos – datos técnicos referenciales..... 10	10
Tabla 2. 6 Molino de discos vibratorios – datos técnicos referenciales. 10	10
Tabla 2. 7 Molino de martillos – datos técnicos referenciales. 11	11
Tabla 2. 8 Molino de barras – datos técnicos referenciales. 12	12
Tabla 2. 9 Molino de rodillos – datos técnicos referenciales 13	13
Tabla 2. 10 Tamaño de molienda 14	14
Tabla 2. 11 Matriz de decisión 14	14
Tabla 4. 1 Coeficiente de fricción 29	29
Tabla 4. 2 Datos del tamizado de la quinua.....29	29
Tabla 4. 3. Unidad motriz.....38	38
Tabla 4. 4 Factor de Servicio..... 39	39
Tabla 4. 5 Cargas a ubicar en el conjunto eje - rodillos derecho.....42	42
Tabla 4. 6 Parámetros del Factor de Modificación.....43	43
Tabla 4. 7 Efectos de temperatura de operación 44	44
Tabla 4. 8 Factor de modificación de confiabilidad44	44
Tabla 4. 9 Tabla de las cargas a ubicar en los ejes del rodillo izquierdo45	45
Tabla 4. 10 Tabla de las cargas a ubicar en el eje secundario47	47
Tabla 4. 11 Vida útil especificada49	49
Tabla 4. 12 Tabla de las cargas a ubicar en las chumaceras.....50	50
Tabla 4. 13 Chumaceras 51	51
Tabla 4. 14 Tabla de las cargas a ubicar en las chumaceras.....52	52
Tabla 4. 15 Rodamiento..... 52	52
Tabla 5. 1 Costos directos de los materiales 53	53
Tabla 5. 2 Detalle de costos directos por mano de obra54	54
Tabla 5. 3 Detalle de costos indirectos 54	54
Tabla 5. 4 Presupuesto total.....54	54

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TITULO: “DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS TRITURADOR DE GRANO”

Autores: Calapaqui Toapanata Oscar Andrés

Maiquiza Toapanta Luis Octavio

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica tiene como objetivo diseñar un molino de rodillos para triturar quinua, mediante un análisis matemático y un método de elementos finitos, para los productores de la región Sierra, provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, analizando las principales variables en el proceso; empleándose una selección en base al ángulo de separación, donde el $\varnothing=0.425$ mm, del grano, dimensionando a los elementos trituradores, definiendo las poleas a usar, así como los engranajes a emplear que brinde de apoyo para la transmisión de movimiento entre los rodillos, con una potencia de $\frac{1}{2}$ hp a 1750 rpm, donde la correa a utilizar es de tipo A, con materiales existentes en el mercado nacional y local.

El molino de rodillos está constituido de tolvas de entrada y salida, motor eléctrico, rodillos trituradores, bocín de apoyo, chumaceras, definidos en un ciclo determinado, generando movimiento por los rodillos los cuales son impulsados por correas.

La máquina sirve de apoyo al sector agricultor, que permita triturar el producto de manera automática de hasta 1 quintal, por cada 10 a 17 minutos, definiendo el diseñado mediante herramientas CAD CAE, el cual se procede a validar mediante un análisis de elementos finitos para evidenciar la influencia de las variables de la máquina.

Palabras clave: Molino, diseño, elemento triturador, método por elementos finitos, motor eléctrico

INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR

Calapaqui Toapanta Oscar Andrés

Luis Octavio Maiquiza Toapanta

TEMA APROBADO

“DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS TRITURADOR DE GRANO”.

CARRERA

Ingeniería Electromecánica.

FACULTAD

Facultad de Ciencias de la Ingeniería Y Aplicada

DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Ing. Navarrete López Luis Miguel

EQUIPO DE TRABAJO

Asesor Técnico Del Proyecto Tecnológico

Nombre: Ing. Luis Miguel Navarrete López

Correo electrónico: luis.navarrete7284@utc.edu.ec

Cedula: 180374728-4

Celular: 098 855 6656

ponente1

Nombre: Oscar Andrés Calapaqui Toapanta

Correo electrónico: oscar.calapaqui1@utc.edu.ec

Cedula: 050401434-1

Celular: 0987010036

Ponente 2

Nombre: Luis Octavio Maiquiza Toapanta

Correo electrónico: luis.maiquiza0@utc.edu.ec

Cedula: 180477403-0

Celular: 0979487808

LUGAR DE EJECUCIÓN: Región Sierra, Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: 6 Meses

FECHA DE ENTREGA: Septiembre del 2020

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: De acuerdo a lo establecido por el departamento de investigación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, línea 4: Procesos industriales.

SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN: Diseño construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA: Diseño

1. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

1.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

“DISEÑO DE UN MOLINO DE RODILLOS TRITURADOR DE GRANO”.

1.2. TIPO DE ALCANCE

Desarrollo: El presente proyecto demandó el empleo compuesto de varias materias estudiadas, durante la carrera, para diseñar un molino de rodillos triturador de grano, el diseño cubre la molienda de 1 quintal, el cual permite triturar los granos en un tiempo de 10 a 17 minutos, optimizando el tiempo de molido del producto que por lo general se demoran hasta 30 minutos, de acuerdo con la investigación desarrollada por Ibarra (2017) pudiendo ser construida en cualquier taller con materiales existentes en el mercado local y nacional; donde el desarrollo del proyecto identifica, las partes y el funcionamiento; del equipo ensamblado y de cada pieza; en base a los materiales definidos.

1.3.ÁREA DEL CONOCIMIENTO:

Área: Ingeniería, Industria y Construcción (07)

Subárea de Conocimiento: Ingeniería y Profesiones Afines (071)

Subárea Específica Conocimiento: Mecánica y oficios de metales (0715)

1.4.SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

El presente proyecto permite diseñar un molino de rodillos triturador de granos enfatizando a la quinua, el cual optimizaría los tiempos de trituración de los granos, donde los beneficiarios de manera directa son los estudiantes y la comunidad; los cuales podrán ver y aprender los procesos, así como diseños adquiridos; construyendo la máquina con materiales locales y nacionales; seleccionando los diferentes componentes y validando por el Método de Elementos Finitos (MEF).

1.5.OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

1.5.1. Objeto de estudio

Molino de trituración de granos

1.5.2. Campo de acción

Diseño de máquinas, mecanismo, materiales y sistemas de transmisión de potencia.

1.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA

1.6.1. Situación problemática

En la actualidad la molienda de granos, principalmente en familias tradicionales es común, integrando a un determinado número de miembros en la elaboración de masas comestibles como pan, humitas, etc., utilizándose principalmente el molino de tornillo como medio de trituración de granos; donde la quinua, el maíz, entre otros, no llegan al estado de pulverización requerida con condiciones necesarias para el amasado y preparación de productos como del pan. El resultado de la molienda por tornillo, muestra alto porcentaje de material particulado grueso, generando variaciones en las características del producto, evidenciándose un alto grado de desperdicios de granos no triturados, con características de alta dureza y tamaño pequeño.

1.6.2. Problema

El problema central es el bajo porcentaje de grano pulverizado en el proceso de molienda casera.

1.7.HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

El diseño de un molino de rodillos será el adecuado para triturar el grano enfatizando a la quinua y optimizar los tiempos de molienda, así como la granulometría.

1.8.OBJETIVOS

1.8.1. Objetivo general

Diseñar un molino de rodillos para triturar quinua que optimice el tiempo de triturado disminuyendo el desperdicio de granos.

1.8.2. Objetivos específicos

- Establecer las características físicas y químicas de la quinua para determinar las especificidades propias del grano a ser triturado.
- Establecer un análisis comparativo de los diversos molinos para determinar ventajas de cada uno y determinar la opción más viable en la trituración de quinua.
- Identificar los componentes que constituyen un molino de rodillos para triturar quinua.
- Diseñar y seleccionar los elementos que componen el molino de rodillos, bajo criterios mecánicos y eléctricos mediante el Método de Elementos Finitos, para su funcionamiento adecuado.

1.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Tabla 1. 1 Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.

Objetivo	Actividad	Resultado de la actividad	Descripción de la metodología
Establecer las características físicas y químicas de la quinua para determinar las especificidades propias del grano a ser triturado	Recopilación de la información bibliográfica	Diseño de la base teórica de grano a ser triturado	Bibliográfica documental a través de la creación de fichas nemotécnicas
Establecer un análisis comparativo de los diversos molinos para determinar ventajas de cada uno y determinar la opción más viable en la trituración de	Recopilación de información bibliográfica y de investigaciones anteriores que permitan determinar la mejor opción de molino a diseñar	Estructura del estado de arte que genere un conocimiento previo de los diversos tipos de molinos con ventajas y desventajas.	Bibliográfica documental a través de la creación de fichas nemotécnicas

quinua			
Identificar los componentes que constituyen un molino de rodillos para triturar quinua	Indagar libros, manuales, proyectos de investigación, artículos científicos y páginas la web sobre los componentes que constituyen un molino de rodillos para triturar quinua. Seleccionar la información recaudada. Definir los temas requeridos de la información seleccionada.	Tablas y figuras sobre los componentes que conforman un molino de rodillos y los parámetros necesarios para lograr una trituration adecuada de la quinua.	Indagar información sobre componentes que constituyen un molino de rodillos, así como los parámetros que debe tener la máquina para moler la quinua.
Diseñar y seleccionar los elementos que componen el molino de rodillos, bajo criterios mecánicos y eléctricos mediante el Método de Elementos Finitos para su funcionamiento adecuado	Analizar y seleccionar los componentes que conforman el molino de rodillos. Elegir los materiales adecuados de cada parte que constituyen el molino de rodillos, disponibles en el mercado local o nacional. Realizar el modelado de la máquina en un software CAD CAE. Analizar los elementos críticos que conforman la máquina. Simular el movimiento de los elementos que conforman el molino de rodillos, en un software CAD CAE	Diseño y selección correcta de los elementos que forman y sirven para el funcionamiento detallados, como los rodillos, ejes, motor, chumaceras, determinación de cargas y tipos de circuitos eléctricos. Validación de los elementos críticos mediante el análisis y simulaciones de los componentes modelados del molino de rodillos.	Se analizarán los parámetros dimensionados y seleccionados de manera correcta, simulado a través de la trituration de granos de manera correcta, corrigiéndolos de manera adecuada el diseño.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Con la finalidad de realizar una recopilación de información efectiva se procedió a investigar los repositorios universitarios a nivel nacional de tal manera que se pudo establecer que las investigaciones más representativas son:

El proyecto de investigación efectuada por Ramos (2016), bajo la temática titulada como “Diseño y construcción de un molino triturador de bagazo de caña para la industria de producción de champiñones con capacidad de 600 kilos por hora”, Quito: Ecuador; Escuela Politécnica Nacional dice que:

Todo procesos de producción es recomendable que vaya automatizándose para que mejore su producción y disminuya sus costos; los cuales deben ser construidos con materiales existentes

en el mercado local o nacional, en vista que los aparatos mecánicos sufren un deterioro alto cuando trabajan en zonas o bajo condiciones húmedas o con elementos abrasivos, por lo que es recomendable seguir los consejos de los manuales de funcionamiento para un adecuado uso, así como un mantenimiento preventivo que permita prolongar la vida de la máquina; por lo que antes de construir debe tener en cuenta algunos parámetros como son el diseño, la materia a procesar, las limitaciones en el diseño, así como variaciones de las cantidades que se requiere procesar. [1]

El proyecto ejecutado por Ramos & Vega (2015), con el título “Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 Quintales por hora”, Quito: Ecuador; Escuela Politécnica Nacional dice que:

La trituración se da en varias clases como son materiales duros, frágiles y extra duros; por lo que es recomendable tener varios parámetros como son, trituración gruesa la cual genera tamaños en la salida superiores a 15cm, media donde la salida es de 3 a 15 cm y fina la cual varía en los tamaños delimitados entre 0.5 a 3 cm; tipos de molienda la cual se divide en gruesa y fina; las condiciones ambientales de trabajo, capacidad de carga a triturar, espacio físico necesario, la ergonomía, el tipo de material el cual debe de existir en el mercado nacional o local, en caso que se requiera cambiar o reparar alguna pieza; el diseño de la máquina debe marcar un factor mínimo de 5, para estar seguro del funcionamiento. [2]

Finalmente, el proyecto de Bermeo (2014), bajo la temática “Diseño y construcción de un molino de martillos triturados de granos para granjas avícolas”, Latacunga: Ecuador; Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, dice que:

El diseño de la máquina, basado en diferentes elementos mecánicos, se da en funcionamiento de factores detallados como el económico, la seguridad y la eficiencia, la cual se utiliza para trituración de granos de tamaño grueso y medio; elaborado con materiales resistentes a la corrosión existentes en el mercado local en caso que requiere cambiar o reponer algún elemento; el cual debe tener un factor de seguridad (FDS) mínimo de 3, el cual es útil para producción a gran escala, minimizando los costos de producción, así como tiempos de servicio con un grado de confiabilidad superior al 90%. [3]

2.2.Fundamentación teórica

2.2.1. Granos

Son frutos que pertenecen a la familia de las gramíneas, como alimento humano por su alto

contenido de proteínas y carbohidratos, con su composición la cual varía entre un 70 a 76% de glúcidos en forma de almidón, del 8 al 12% de proteínas, del 2 al 4% de lípidos y entre un 10 al 15% de agua.

Tabla 2. 1 Composición de granos

Producto	Humedad %	Proteínas %	Carbohidratos %	Grasa %	Fibra %	Mineral
Trigo	12.5	12	68	1.8	2.2	1.7
Arroz	11.4	8.3	64.7	1.8	8.8	5.0
Maíz	13	9.9	69.2	4.4	2.2	1.3
Cebada	14.5	10	66.5	1.5	4.5	2.6
Avena	13.5	10.3	58.2	4.8	10.3	3.1
Quinua	11.65	13.85	59.74	5.01	4.38	4.0

Fuente: [4]

2.2.2. La Quinua

La quinua (*Chenopodium quinoa willd*) es un cereal andino cultivado y consumido principalmente en Bolivia, Perú y Ecuador. Se cultiva en menor escala en el norte de Argentina, Chile y Colombia. Desde la década de 1980 se ha extendido más allá de los Andes y hoy se cultiva en Brasil, Estados Unidos, Canadá, Holanda y otros países europeos, y su demanda como Producto alimenticio de alta calidad en casi todo el mundo [5].

Este pseudo-trigo tiene un alto valor nutricional debido a su composición, cantidad y calidad de proteínas. También está compuesto por carbohidratos, vitaminas y minerales (calcio, fósforo, hierro y vitamina C, entre otros). Por tanto, es reconocido como uno de los alimentos vegetales con mayor valor nutricional. Se le llama pseudo-trigo porque no pertenece a la familia de las gramíneas que incluye los cereales tradicionales, pero debido a su alto contenido en almidón se utiliza como cereal.

Según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, (2017) actualmente existen tres variedades de quinua en el mercado ecuatoriano: grande, blanca - perla y pura de Bolivia y Perú (la variedad real); quinua de tamaño mediano, parcialmente pura de Perú (Ingapirca) y quinua nacional, pequeña y dulce (INIAP - Tunkahuan) [5].

2.2.3. Variedad tunkahuan y variedad pata de venado (tarhua chaqui)

INIAP TUNKAHUAN se obtuvo de la selección de una población de material genético recolectada en la provincia de Carchi (Ecuador) en 1985. En 1986 fue reconocida como una línea promisorio e incluida en el banco de germoplasma de la Dirección Nacional de Recursos Fitogenéticos INIAP con código ECU 0621. De 1992 a 1996 se evaluó en diversos ambientes de la sierra ecuatoriana en el marco del programa Cultivos Andinos, demostrando su gran

adaptabilidad en áreas con una altura de 2400 a 3200 metros [5].

El cultivo INIAP Pata de Venado (Tarhua Chaki) surgió de una selección de un artículo obtenido por intercambio de material genético con Bolivia (EE Patacamaya). Este material genético está registrado en el Departamento Nacional de Recursos Fitogenéticos y Biotecnológicos INIAP con el código ECU-572. En 2001, se caracterizó y evaluó una colección nacional de quinua de grano blanco y con base en su corta edad, resistencia al moho, contenido de saponina y rendimiento potencial, se eligió como una línea prometedora [5]. La tabla resume las características morfológicas del cultivo Tunkahuan que al ser un cultivo de baja saponina y el más típico de Ecuador, fue seleccionado para los propósitos de este proyecto.

Tabla 2. 2 Características morfológicas

Características morfológicas	
Características	Var. Tunkahuan
Habito de crecimiento	Erecto
Tipo de raíz	Pivolante
Tipo de ramificación	Sencillo a ramificado
Forma del Tallo	Redondo con aristas
Color del tallo juvenil	Verde claro
Forma de la hoja	Triangular
Tamaño de la hoja	Grande
Borde de la hoja	Ondulado y dentado
Axila de la hoja	No pigmentada
Presencia de estrías	Si
Color de la planta joven	Verde
Color de la panoja de flor	Rosado
Tamaño de la panoja	20 a 60 cm
Tipo de panoja	Glomerular
Pedícelos	Largos
Color del grano seco	Blanco
Tamaño del grano	Mediano a pequeño (2,1 mm)
Forma de grano	Redondo aplanado
Peso de 1000 granos	2,9 a 3,0 g
Peso hectolítrico	66 (kg/hl)
Contenido de saponina	0.06 %

Fuente: [5]

En la tabla se encuentran los rangos de las principales características agronómicas de la variedad Tunkahuan, en la cual se demuestra el rendimiento potencial que posee este grano.

Tabla 2. 3 Características agronómicas

Características agronómicas	
Características	Var. Tunkahuan
Altura de la planta	90 a 180 cm
Días al panojamiento	70 a 110
Días de floración	90 a 130
Días a la cosecha en seco	150 a 210
Adaptación	2200 a 3200 m
RENDIMIENTO: Grano seco: 1500 a 3000 Kg/ha (33 a 66 qq/ha)	

Fuente: [5]

2.2.4. Molienda

Molienda, es la disminución del tamaño del grano, al aplicar una fuerza sobre un determinado material que requiere moler; comprimiendo su porte, a través de una serie de procesos; consistiendo en ruptura y reducción de forma gradual, por lo que las fases son; trituración, la misma que se da, después del limpiado, pasando el producto por un molino; cribado que consiste en la función del cernido, separando el salvado, la sémola y el germen; otra fase es la purificación, la cual general la eliminación del salvado y finalmente se da la reducción, donde se procede a moler las sémolas obtenidas las cuales se convierten en harina. [6]. Los tipos de harina, por su empleo, según [7], dicen que se clasifican en:

- Harina extra fuerte, se da por un alto porcentaje de proteínas, los cuales están sobre el 13%, partir del molido de un trigo duro.
- Harina fuerte, el porcentaje de proteína varía entre el 10 y 12%, apropiados para la producción del pan.
- Harina débil, se da por un porcentaje de proteína que varía entre el 7 y el 9%, útil para la producción de repostería y galletas.

2.2.5. Procesos de molienda

Los procesos de molienda se dan en dos procesos:

Molienda húmeda, este tipo de molienda es un proceso sofisticados por medios físicos y químicos, separando los componentes del grano de maíz [8].

Molienda seca, es un proceso de trituración la cual permite reducir el tamaño por una combinación de impacto y la abrasión [8].

2.3. Tipos de molinos

Los tipos de molino usados en la reducción del tamaño del grano son:

2.3.1. Molino de discos

La trituradora de discos es de dos tipos: discos y discos vibrantes u oscilantes; Según el principio de funcionamiento, el primero se utiliza en diversas industrias, por ejemplo, en minería, metalurgia, metalurgia, cemento, agroindustria, laboratorios, etc. El segundo se utiliza en varios sectores, a nivel de laboratorio. La trituración en un molino de discos se realiza mediante presión y fricción o fuerza de cizallamiento que actúa entre dos discos, que se ajustan

según la distribución de tamaño de partícula deseada. Pueden ser lisos, desiguales o con una variedad de golpes en su área. Los discos giran en direcciones opuestas o uno permanece estacionario y el otro se mueve.



Figura 2. 1 Molino de discos
Fuente: [9]

La trituración de disco se realiza por impacto y fricción entre el producto molido y los elementos del sistema que se encuentran dentro del contenedor en el que se ubican; Estos elementos son: una masa en forma de disco y anillo; el impacto y la fricción entre ellos es causado por el movimiento de rotación horizontal del sistema.

Tabla 2. 4 Molino de discos – datos técnicos referenciales

Molino de discos	
Aplicación	Molienda preliminar y fina
Tipo de material a moler	Duro, semiduro y frágil (hasta 8 Mohs)
Principio de molienda	Presión, fricción
Granulometría inicial	< 20 mm
Granulometría final	< 50 μ m
Rpm (referencial)	180 rpm a 440 rpm
Material de los discos	Oxido de circonio, acero templado, carburo de tungsteno, acero al manganeso.

Fuente: [10]

Tabla 2. 5 Molino de discos vibratorios – datos técnicos referenciales.

Molino de discos vibratorios u oscilantes	
Aplicación	Reducción de tamaño, mezcla, trituración
Tipo de material a moler	Duro, semiduro, frágil, fibroso (hasta 8 Mohs)
Principio de molienda	Presión, fricción
Granulometría inicial	< 20 mm
Granulometría final	< 20 μ m
Rpm (referencial)	700 rpm a 1500 rpm

Fuente: [10]

2.3.2. Molino de Martillos

Son un tipo de molino de impacto o persecución, que posee un eje de tipo rotatorio el cual gira a una gran velocidad, generando el recorte del tamaño de los granos por fuerza de impacto, los cuales tienen como mecanismo principal de molienda el eje con los martillos en sus extremos, no es recomendable para la molienda fina de materiales. [9]

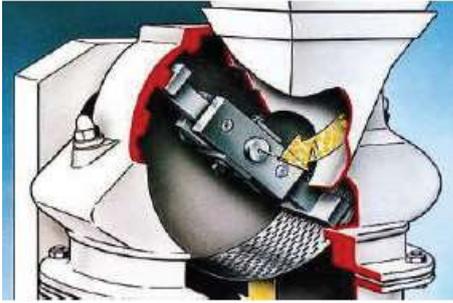


Figura 2. 2 Molino de martillos
Fuente: [9]

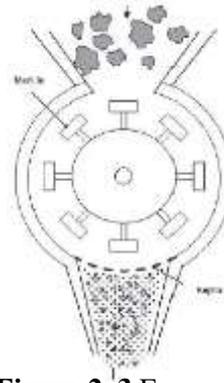


Figura 2. 3 Esquema de un molino de martillos
Fuente: [9]

El eje de rotación rápida tiene un anillo rodeado por varios martillos. A medida que gira el eje, las cabezas de los martillos se mueven en una trayectoria de flujo dentro de un marco que contiene una placa de ruptura endurecida, casi del mismo tamaño que la trayectoria del martillo. Los productos de arranque entran en el área donde los martillos los presionan contra la placa de ruptura. La reducción de tamaño se debe principalmente a las fuerzas de impacto, aunque si las condiciones de alimentación están selladas, las fuerzas de fricción también pueden contribuir a la reducción de tamaño. Los martillos a menudo se reemplazan por cuchillos o barras, como en los molinos de barras. A continuación se procede a detallar las especificaciones técnicas:

Tabla 2. 6 Molino de martillos – datos técnicos referenciales.

Molino de martillos	
Aplicación	Molienda preliminar y fina
Tipo de material a moler	Duro, semiduro y frágil (hasta 8 Mohs)
Principio de molienda	Impacto
Dimensión de cámara de molienda (mm)	Largo/ancho/altura de 2310/1665/1610 a 3720/2650/2540 (minería) Ancho/diámetro De 150/250 a 120/150 (agroindustria)
Granulometría inicial (mm)	< 100 (minería) < 40 (agroindustria)
Granulometría final	De 0 a 3 mm (minería) < 100 μ m (agroindustria)
% de humedad del material a moler	Hasta el 20% (en molienda húmeda)
Rpm (referencial)	500 rpm a 1000 rpm (minería) Hasta 2000 rpm (agroindustria)
Producción toneladas/hora	De 35 a 100 (minería) De 0.05 a 3 (agroindustria)
Potencia (kW)	De 75 a 132 (minería) De 3 a 38 (agroindustria)
Material de los martillos	Acero al manganeso (minería) Acero al carbono (agroindustria)

Fuente: [10]

2.3.3. Molino de Barras

Este tipo de molino se usan como aditamentos moledores bolas de acero, los cuales al moverse generan impacto y cizallamiento, por lo que ocupan el 50 % del volumen del molino. [9]

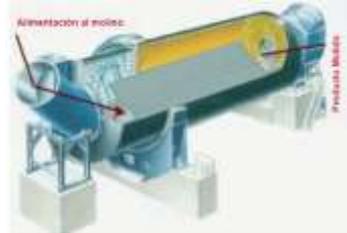


Figura 2. 4 Molino de Barras
Fuente: [9]

El triturado se realiza dentro de un cilindro de eje horizontal, que contiene masas libres de acero en forma de varillas cuya longitud es aproximadamente igual a la longitud del cilindro; el material a triturar penetra allí, gira y las varillas caen en cascada sobre el material por impacto y fricción. En la mayoría de los casos, la trituración se realiza de forma húmeda, con descarga con agua y en seco, con descarga por tiro. A continuación encontrará los datos técnicos de referencia para este tipo de trituradora.

Tabla 2. 7 Molino de barras – datos técnicos referenciales.

Molino de barras	
Aplicación	Molienda preliminar y fina
Tipo de material a moler	Duros y semiduros (hasta 8 Mohs)
Principio de molienda	Impacto y fricción
Granulometría inicial	< 55 mm
Granulometría final	De 0.5 mm a 6.7 mm
Rpm (referencial)	de 18 rpm a 32 rpm
% de velocidad crítica	60% a 69%
Material de barras	Aleaciones de hierro-carbono al manganeso o al cromo
Diámetro de barras	< 90 mm
Relación longitud de barras/diámetro de molino	De 1.4 a 1.6 (asegura no trabamiento en el molino)
Dureza de barras (HB)	De 280 a 540
Consumo de elementos de molienda	De 0.1 a 1 kg/tonelada de mineral molido (depende dureza de material)
Relación de reducción de material	De 15:1 a 20:1
Revestimiento interno del casco	Acero al manganeso, Ni-hard, cromo-molibdeno. (depende del mineral que se muele)
% de mineral en peso	De 60% a 80%
% de volumen de barras en la cámara	De 35% a 45%
% de agua en peso	50% a 60% (molienda húmeda)
Producción (t/h)	De 0.62 a 250
Diámetro de molino	De 900 mm a 3600 mm
Longitud de molino	De 1800 mm a 5400 mm
Potencia (kW)	De 22 a 1600

Fuente: [10]

2.3.4. Molino de rodillos trituradores

Está diseñado por dos rodillos, los cuales son construidos de hierro fundido o acero colado, con sus superficies estriadas, regulables y precisas, donde su mecanismo de molienda consiste en hacer pasar al grano mediante la sucesión definida. [4]

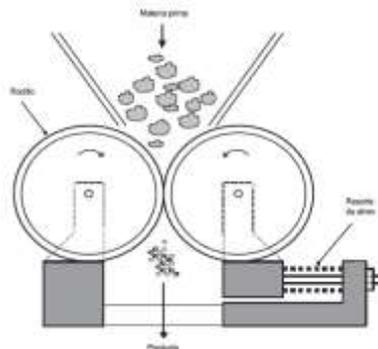


Figura 2. 5 Esquema de molino de rodillos trituradores
Fuente: [9]



Figura 2. 6. Molino de rodillos trituradores
Fuente: [9]

En esta máquina, dos o más rodillos de acero pesados giran uno hacia el otro. Las partículas de la carga son capturadas y transportadas entre los rodillos, sufriendo una fuerza de compresión que las aplasta. En algunos dispositivos, los rodillos giran a diferentes velocidades, lo que también genera fuerzas de corte. Su realización depende de la longitud y diámetro de los rodillos así como de la velocidad de rotación. Para diámetros mayores, la velocidad es de 20 a 300 rpm, se utilizan comúnmente los factores de reducción son bajos, generalmente inferiores a 5. El diámetro de los rodillos, su velocidad diferencial y la distancia entre ellos se pueden cambiar en función del tamaño del material de partida y la velocidad de producción deseada. Aunque hay un resorte de compresión de sobrecarga para proteger la superficie del rodillo, los objetos extraños duros deben eliminarse antes de triturar. Aquí están los datos de referencia técnica para este tipo de molino:

Tabla 2. 8 Molino de rodillos – datos técnicos referenciales

Molino de rodillos	
Aplicación	Molienda preliminar y fina
Tipo de material a moler	Duro, semiduro y frágil
Principio de molienda	Compresión, fricción
Granulometría inicial	< 30 mm (en el caso de mineral)
Granulometría final	< 50 μ m (en el caso de harinas)
Rpm (referencial)	40 rpm (en el caso de la caña de azúcar)
Material de rodillos	Oxido de circonio, acero templado, carburo de tungsteno, acero al manganeso, piedra.

Fuente: [10]

2.4. Tamaños de molienda

El tamaño de la molienda es:

Tabla 2. 9 Tamaño de molienda

Tipo de Molienda	Molino de Rodillos	Molino de Martillos	Molino de Fricción	Molino de Tambor
Grueso	X			
Intermedios	X	X	X	X
Finos		X	X	X
Ultrafinos		X	X	X

Fuente: [11]

2.5. Selección del molino a desarrollar

Con la finalidad de seleccionar la mejor opción de molino fue necesario desarrollar la matriz de toma de decisión que considera ventajas y desventajas de cada tipo de molino, la misma que se detalla a continuación:

Tabla 2. 10 Matriz de decisión

Molino	Ventaja	Desventaja
Molino de Martillo	Las operaciones de mantenimiento son sencillas y por lo tanto no se requiere personal calificado.	Mal molido si los granos están mojados.
	Son aptas para moler trigo seco.	Triturar no es tan bueno como otros equipos.
		Dado que los martillos giran a altas velocidades, la trituradora está sujeta a vibraciones si las cargas no están debidamente equilibradas.
		Si la distancia entre ellos es insuficiente, pueden producirse atascos entre el cuerpo y los martillos.
Molino de rodillos	Pueden trabajar en secuencia y producir molidos más finos.	El funcionamiento del molino requiere una formación adicional ya que es un molino con un sistema de molienda completamente interno.
	Los rodillos no están sujetos a un desgaste excesivo.	
	El tamaño de partícula es uniforme.	
	La vida útil es larga.	
		Requiere un mantenimiento moderado.
		Molienda ligeramente lenta en comparación con otros molinos.
Molino de discos	Puede reducir fácilmente el tamaño de las partículas secas o húmedas.	El tamaño de las partículas no es uniforme.
	El sistema de alimentación es sencillo y se puede añadir agua para facilitar la molienda.	
	Fácil de manejar y mantener.	
		Esto provoca la contaminación del producto final.
		Es difícil ajustar el tamaño de las partículas según la fuente de alimentación y la separación del disco.

A partir del análisis desarrollado tomando en cuenta las ventajas y desventajas de los modelos de molino estudiados se decidió la elaboración del molino de rodillos, tomando en cuenta su versatilidad y plena disposición para dar cumplimiento a los objetivos investigativos proyectados.

2.6. Parámetros a tener en cuenta en el diseño de un triturador de rodillos

Los parámetros principales a tener en cuenta en el diseño de un triturador de rodillos son:

- **Ángulo de separación:** Es el ángulo formado por las tangentes a las caras de contacto entre la partícula a moler y los rodillos. [11]
- **Capacidad de trituración de los rodillos:** Es el volumen de la corriente continua desalojada por los rodillos. [11]
- **Longitud de contacto:** Es el área que se encuentran en contacto entre las fuerzas de compresión y de corte [11].

2.7. Partes constitutivos de un molino de rodillos

Los sistemas que clasifica a un molino son:

- Sistema de molido
- Sistema de carga y descarga
- Sistema de transmisión

Las partes constitutivas de un molino de rodillos son: de tipo aceros duros e inoxidable, lisos, corrugados o de dientes de sierra, los cuales deben permitir ajustar la luz entre los rodillos y el tamaño de partículas requeridas. [12]



Figura 2. 7 Rodillos corrugados
Fuente: [12]



Figura 2. 8 Rodillos lisos
Fuente: [12]

- Motorreductor,** es un mecanismo útil para reducir la velocidad controlada de un motor conectado directamente, conformado con cuerpo compactos por uno o varios pares de engranajes que ajustan la velocidad y por ende la potencia mecánica de la maquina ala que se aplica. [13]



Figura 2. 9 Motorreductor
Fuente: [13]

- b. Ejes de los rodillos**, son ejes diseños soldados o fusionados al rodillo, donde se colocan rodamientos, siendo capaces de soportar esfuerzos excesivos. [14]

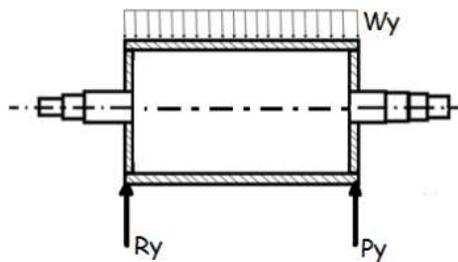
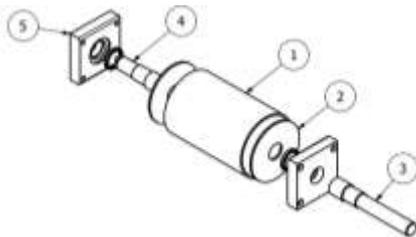


Figura 2. 10 Ejes de los rodillos
Fuente: [14]

Por lo que los rodillos moledores se conforman de la siguiente manera



- 1.- Es el rodillo
- 2.- Tapa
- 3.- Eje motor
- 4.- Eje engrane
- 5.- Cajera fija

Figura 2. 11 Rodillos moledores armados
Fuente: [15]

- c. Estructura**, es la base soporte donde se ubican todas las partes que guían al molino de rodillos [15].
- d. Mecanismos de transmisión:** Es el mecanismo útil para transmitir la potencia de un rodillo al otro, en base a engranajes detallados [15].

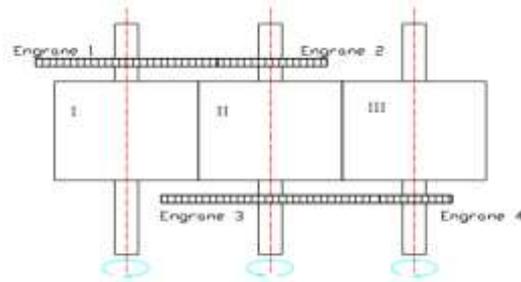


Figura 2. 12 Mecanismo de transmisión
Fuente: [14]

2.8.Principios de molienda de molino por rodillos

El principio de molienda de un molino por rodillos, consiste con la disminución de tamaño de un determinado producto, en función de la velocidad producida, tiempo de paso y la fuerza centrífuga necesaria para el transporte del material, por lo que a mayor velocidad se genera una fuerza mayor, disminuyendo el tiempo de permanencia. [16]



Figura 2. 13 Principios de molienda
Fuente: [16]

Las aplicaciones del molino de rodillos más comunes son:

- Industria agroalimentaria, útil en el molido de granos y para extraer almidón
- Industria de la construcción, útil para triturar piedra, cemento y grava [16]

Los tipos de molino de rodillos se dividen en;

- Molinos de 1 rodillo, este funciona en base a una placa rompedora, donde el material es aplastado por compresión.
- Molino de 2 rodillos, este funciona mediante el giro de los rodillos en sentido contrario a velocidades diferentes o iguales, triturando el producto por compresión [16].

Entre las ventajas que tiene un molino de rodillos son:

- Superficie grande para moler.
- Funcionamiento sencillo y de fácil mantenimiento
- Gran versatilidad de materiales que se pueden usar o emplear durante su construcción

sin disminuir su eficiencia de molido [16].

2.9. Factores principales a determinar en un molino de rodillos

Los factores principales a determinar en un molino de rodillos son:

- Velocidad crítica, es la máxima velocidad que se da durante un tiempo prolongado, por lo que es conocido como la velocidad de rotación a la cual los medios de molienda actúan.
- Relaciones entre elementos variables con el molino, se trata entre el contacto ejecutado del material a moler con los moledores.
- Tamaño de los elementos moledores, consiste en el diámetro y longitud de los rodillos
- Volumen de carga, es la capacidad máxima que se puede triturar o moler en un determinado tiempo.
- Potencia, es la cantidad de trabajo necesario, requerido en un determinado tiempo.
- Tipos de molienda, consiste en los tipos de molienda que dese ejecutar seca o húmeda [12].

2.10. Factores presentes en un sistema de molienda

Los factores en sus sistemas de molienda son:

- Tipologías del material a moler, como es el tamaño inicial, rangos de humedad, dureza y sensibilidad a la temperatura.
- Capacidad de la molienda, consiste en propiedades físicas del grano como son densidad, dureza y friabilidad.
- Área, es el espacio dimensionado del equipo de trituración
- Confiable, este parámetro se refiere a la confiabilidad que presenta la maquina por lo que debe marcar un factor de seguridad (FDS) mínimo de 5.
- Diseño viable, este factor es considerado como uno de los principales, el cual consiste en verificar diseños aptos y apropiados que pueden ser construidos en cualquier taller [17].

3. METODOLOGÍA

3.1. Conceptualización

La metodología utilizada tiene un enfoque cuantitativo, el cual emplea un paradigma empleado en determinadas ciencias donde se basa en la medición numérica con un análisis de tipo estadístico, en base a una medición numérica, empleando variables medibles. La modalidad básica de investigación a utilizar es el análisis documental, el cual es un conjunto de actividades enfocadas a representar un documento, analizando los textos, profundizando el análisis en fuentes bibliográficas, vinculadas con el tema especificado.

De acuerdo al tema planteado se procederá a emplear las investigaciones documentales, empleada al momento de apoyarse en libros, revistas, artículos científicos y tesis, permitiendo obtener fundamentos válidos y el de campo, utilizado para analizar los acontecimientos donde se puede tomar contacto con la realidad; permitiendo evaluar y vivir el problema planteado, buscando una solución de tipo práctico manipulado las variables delimitadas.

3.2. Diseño funcional

El molino de rodillos triturador de grano, constituida por varios elementos que son, tapas cubiertas, rueda motriz y conducida, poleas, ruedas dentadas, rodamientos, motor y base del ensamble.

3.3. Diseño dimensional

El diseño dimensional define las selecciones, materiales y medidas, que tienen las distintas partes que integran el molino de rodillos. Por lo que el diseño se da a partir de los datos establecidos como son:

- Masa a moler (m) = 1 quintal = 100kg
- Producto a moler = quinua
- Tiempo (t) = 10 minutos = 0.16666667 horas
- Número de rodillos = 2

La trituradora de rodillos a usar, se inicia con el diseño de los rodillos.

3.3.1. Diámetro de los rodillos

El diámetro de los rodillos debe ser mínimo, necesario para poder triturar los granos, este se define en función de la separación de sus ángulos.

a) Ángulo de separación

Es el ángulo constituido por las caras ubicadas de manera tangente entre los rodillos y el elemento a triturar.

$$\operatorname{tg} \theta = \mu$$

- θ = Ángulo de separación
- μ = Coeficiente de rozamiento

b) Determinación del diámetro de los rodillos

El diámetro de los rodillos se determina de la siguiente manera.

$$\operatorname{Cos} \theta = \frac{D_r + D_f}{D_r + D_t}$$

- θ = Ángulo de separación
- D_r = Diámetro de los rodillos
- D_f = Diámetro medio de las partículas finales
- D_t = Diámetro medio de las partículas añadidas

3.3.2. Revoluciones por minuto de los elementos triturantes

El número de revoluciones por minutos se determina de la siguiente manera:

$$Q = 2 * N * l * D_r * D_f$$

- Q = Capacidad de trituración
- D_r = Diámetro de los rodillos
- D_f = Diámetro medio de las partículas finales
- N = Número de revoluciones por minuto
- l = Longitud de rodillo

3.3.3. Superficie de contacto

La superficie de contacto se define del diámetro medio de los rodillos y el ángulo de contacto

$$S = r * \theta = l$$

- S = Superficie de contacto
- l = Longitud de contacto
- r = Radio del arco de contacto

- θ = Ángulo de separación

3.3.4. Definición del diámetro de poleas

El diámetro de las poleas se determina en función de tipo motriz y conducida.

$$i = \frac{N_m}{N_c} = \frac{D_c}{D_m}$$

- **I** = Relación de transmisión
- **N_m** = Número de revoluciones de la polea motriz
- **N_c** = Número de revoluciones de la polea conducida
- **D_c** = Diámetro primitivo de la polea conducida
- **D_m** = Diámetro primitivo de la polea motriz

3.3.5. Diseño de engranajes

El diseño de engranajes se define como conducida y conductora

a) Diámetro de las ruedas dentadas

$$C = \frac{D_p + d_p}{2}$$

- **C** = Distancia entre centros
- **D_p** = Diámetro primitivo del engranaje
- **d_p** = Diámetro primitivo del piñón

b) Definición del número de dientes

$$D_p = Z * M$$

- **D_p** = Diámetro primitivo del engranaje
- **Z** = Número de dientes
- **M** = Módulo

c) Definición del diámetro externo

$$D_e = (Z + 2) * M$$

- **D_e** = Diámetro externo de la rueda dentada
- **Z** = Número de dientes
- **M** = Módulo

d) Definición del paso

$$P = \pi * M$$

- **P** = Paso de la rueda
- **M** = Módulo

e) Altura del diente

$$h = 2.167 * M$$

- **h** = Altura del diente
- **M** = Módulo

f) Diámetro interno

$$D_i = D_e - 2h$$

- **De** = Diámetro externo de la rueda dentada
- **Di** = Diámetro interno de la rueda dentada
- **h** = Altura del diente

3.3.6. Potencia requerida en los rodillos

La potencia requerida para dar movimiento al rodillo se determina de la siguiente manera:

$$P = T * \omega$$

- **P** = Potencia requerida
- **T** = Torque
- **ω** = Velocidad angular

- **Momento de inercia del rodillo**

El momento de inercia se determina de la siguiente manera:

$$I_m = \frac{\pi * D_r^4 * \rho * l}{32}$$

- **Im** = Momento de inercia
- **D_r** = Diámetro del rodillo
- **ρ** = Densidad del material del rodillo
- **l** = Longitud del rodillo
-

- **Aceleración angular**

La aceleración angular se define de la siguiente manera:

- $\alpha = \frac{\omega}{t}$
- α = Aceleración angular
- ω = Velocidad angular
- T = Tiempo

- **Torque del rodillo**

El torque del rodillo se determina de la siguiente manera

$$T = I * \alpha$$

- T = Torque
- I = Inercia
- α = Aceleración angular

3.3.7. Potencia requerida en las poleas y en los engranajes

La potencia en las poleas y en los engranes se da para poder generar la fuerza necesaria en estos elementos.

- **Definición de volumen**

La definición de volumen de la polea y en los engranes se da de la siguiente manera:

$$V_{polea} = \frac{\pi}{4} (D_{ext}^2 - D_{int}^2) * l$$

- V = Volumen
- D_{ext} = Diámetro exterior
- D_{int} = Diámetro interior
- l = Longitud

- **Masa**

La masa se da en función de su densidad

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- ρ = Densidad del material
- m = Masa
- V = Volumen

- **Momento de inercia**

Las inercias se dan de la siguiente manera:

$$I = \frac{m}{8}(D_{ext}^2 - D_{int}^2)$$

- I = Inercia
- m = Masa
- D_{ext} = Diámetro exterior
- D_{int} = Diámetro interior

- **Momento de inercia total de las poleas**

El momento de inercias total de las poleas se dan de la siguiente manera:

$$I_{polea\ Total} = I_{polea\ motriz} + I_{polea\ conducida}$$

- $I_{polea\ Total}$ = Momento de inercia total de la polea
- $I_{polea\ motriz}$ = Momento de Inercia de la polea motriz
- $I_{polea\ conducida}$ = Momento de Inercia de la polea conducida

- **Momento de inercia total de las ruedas dentadas**

El momento de inercias total de las ruedas se dan de la siguiente manera:

$$I_{Engranaje\ Total} = 2 * I_{Engranaje}$$

- $I_{Engranaje\ Total}$ = Momento de inercia total de los engranes
- $I_{Engranaje}$ = Momento de Inercia del engrane

Aplicando las ecuaciones de torque y de potencia empleada en los rodillos, se utilizan para definir el torque y la potencia de las poleas y en las ruedas dentadas.

3.3.8. Potencia requerida para moler el material deseado

La potencia requerida para moler el material deseado se procede a definir iniciado el torque.

$$T = \mu * q * l * r$$

- T = Torque
- μ = Coeficiente de rozamiento
- q = Carga unitaria
- l = Longitud de contacto
- r = Radio de rodillo

Aplicando las ecuaciones de potencia empleada en los rodillos, se utilizan para definir la potencia requerida del material a moler.

3.3.9. Potencias totales

Las potencias totales se dan de la siguiente manera:

$$P_{Total} = P_{rodillos} + P_{poleas} + P_{engranes} + P_{Triturada}$$

- P_{Total} = Potencia total
- $P_{rodillos}$ = Potencia de rodillos
- P_{poleas} = Potencia de poleas
- $P_{engranes}$ = Potencia de engranes
- $P_{Triturada}$ = Potencia de trituración

3.3.10. Validación del eje seleccionado

La validación de eje seleccionado se da en función del peso uniforme a lo largo del rodillo.

- **Esfuerzo de tensión**

Los esfuerzos de tensión se definen de la siguiente manera:

$$\sigma_t = \frac{MC}{I}$$

- σ_t = Esfuerzo de tensión
- M = Momento
- C = Centroide

- I = Inercia

- **Inercia del eje**

La inercia del eje es:

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

- I = Inercia del eje
- d = Diámetro del eje

- **Análisis estático**

- **Esfuerzo permisible equivalente**

La determinación del esfuerzo equivalente.

$$\sigma_{eq} = \frac{32 M}{\pi * D^3}$$

- M = Momento
- D = Diámetro del eje
- σ_{eq} = Esfuerzo permisible

- **Factor de seguridad estático**

El factor de seguridad es:

$$n_e = \frac{S_y}{\sigma}$$

- S_y = Resistencia a la fluencia
- σ = Esfuerzo permisible equivalente

- **Análisis dinámico**

El diseño del eje se define

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

- k_a = Factor de superficie

- k_b = Factor de modificación
- k_c = Factor de carga
- k_d = Factor de temperatura
- k_e = Factor de confiabilidad
- k_f = Factor de concentración
- S'_e = Límite de Resistencia a la fatiga en viga rotatoria
- S_e = Límite de Resistencia a la fatiga en la ubicación crítica

- **Resistencia a la fatiga**

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{S_e}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log\left(\frac{fS_{ut}}{S_e}\right)$$

$$S_f = aN^b$$

- S_{ut} = Resistencia última a la tensión
- f = Factor de resistencia
- a = Factor de multiplicidad
- b = Factor potencial
- S_e = Límite de resistencia
- S_f = Resistencia a la fatiga
- N = Número de ciclos

- **Factor de seguridad dinámico**

El factor de seguridad dinámico es:

$$n_d = \frac{S_f}{\sigma}$$

- S_f = Resistencia a la fatiga
- σ = Esfuerzo permisible equivalente
- n_d = Factor de seguridad dinámico

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.Introducción

Una vez definido el problema central, donde se determina la capacidad de la máquina que debe moler 1 quintal por cada 17 minutos de acuerdo con la investigación desarrollada por Ibarra (2017), se procede a diseñar un molino de rodillos, iniciando con el dimensionamiento de los rodillos donde se debe definir el peso aplicar, siguiendo con el diseño de engranajes así como de las poleas, determinando la potencia necesaria, definiendo las bandas a usar, seleccionando las chumaceras.

4.2.Diseño del molino de rodillos triturador de grano

Los elementos que constituyen el molino de rodillos triturador de grano son:

4.2.1. Diseño dimensional

El diseño dimensional define las selecciones, materiales y medidas, que tienen las distintas partes que integran el molino de rodillos. Por lo que el diseño se da a partir de los datos establecidos como son:

- Molienda

Por normativa, se recomienda moler la harina de quinua por segundo una masa promedio de 30 gramos (Norma NTE INEN 3042) [18]. Generándose una molienda de un quintal en un tiempo de = 3333.33 segundos = 55.555 minutos, mientras que manual de agricultores de 1 quintal = 30 minutos, razón por la que se decide construir un molino no aplicado a la normativa.

- Masa (m) = 1 quintal = 100kg
- Producto a moler = quinua
- Tiempo (t) = 10 minutos = 0.16667 h
- Número de rodillos = 2

La trituradora de rodillos a usar, se inicia con el diseño de los rodillos.

4.2.2. Diámetro de los rodillos

El diámetro de los rodillos debe ser el mínimo, necesario para poder triturar los granos, el cual se define en función de la separación de sus ángulos, de la siguiente manera.

- **Ángulo de separación**

Tabla 4. 1 Coeficiente de fricción (μ)

Producto	Coeficiente de fricción (μ)		
	Acero	Concreto	Madera
Trigo		0.52	0.31
Arroz	0.40	0.45	0.40
Paddy	0.50	0.60	0.45
Ajonjolí		0.51	0.47
Maíz	0.35	0.64	0.37
Cebada	0.37	0.62	0.40
Quinua	0.288		

Fuente: [19]

El diámetro de los rodillos requerido para arrastras y triturar las partículas, se da en base al empleo del coeficiente de fricción de la combinación entre acero y quinua, el cual es de $\mu = 0.288$.

$$\theta = \text{tg}^{-1}(0.288) = 16.0664^\circ$$

$$A = 2 \times \text{tg}^{-1}(0.288) = 32.133^\circ = 0.5608 \text{ rad}$$

• **Determinación del diámetro de los rodillos**

Tabla 4. 2 Datos del tamizado de la quinua

Tamiz	Dp (mm)	% Retenido	% Pasa	Masa por tamiz (g)
40	0.425	0.000	100.000	0.00
45	0.355	2.050	97.950	2.05
50	0.300	3.450	94.499	3.45
60	0.250	8.901	85.599	8.90
70	0.212	9.051	76.548	9.05
80	0.180	6.101	70.447	6.10
100	0.150	15.052	55.396	15.05
120	0.125	9.031	46.365	9.03
140	0.106	10.021	36.344	10.02
170	0.090	8.101	28.243	9.10
200	0.075	13.251	14.991	13.25
Colector		14.991		14.99

Fuente: [20]

El diámetro de los rodillos se determina en base al diámetro inicial y final del producto a moler, por lo que se ha tomado el dp menor a obtener.

$$D_r = \frac{2.76 \text{ mm} * \text{Cos } 16.0664^\circ - 0.075 \text{ mm}}{1 - \text{Cos } 16.0664^\circ}$$

$$D_r = 65.98 \text{ mm} \approx 66 \text{ mm}$$

Por lo que para el diseño se considera que los rodillos tengan un diámetro de 66 mm.

- **Longitud de contacto**

La longitud de contacto es:

$$l = \frac{66 \text{ mm} * 0.5608}{4} = 9.2532 \text{ mm}$$

4.2.3. Diseño de la tolva

El diseño de la tolva se da en función de una longitud de 450 mm y un diámetro de cada rodillo de 66mm, lo cual serviría para dimensionar.

Como parámetro principal está la densidad y masa de la materia prima a moler

$$1027.3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \frac{100 \text{ Kg}}{\text{Vol}}$$

$$\text{Vol.} = 0.097342548 \text{ m}^3$$

Definido el volumen, el ancho y el largo de salida, que debería tener la tolva, se procede a dimensionar la altura, la longitud y el ancho de entrada, de la siguiente manera:

$$L_e = 1.5 * 450 \text{ mm} = 675 \text{ mm}$$

$$A_e = 2 * A_s = 2.5 * 132 \text{ mm} = 330 \text{ mm}$$

En base a estas dimensiones se definiría una altura apropiada de la tolva, para lo cual como es un elemento de tipo pirámide, se procede a delimitar en función de cubos y elementos triangulares.

$$V_1 = 450 \text{ mm} * 132 \text{ mm} * h = 59400 \text{ mm}^2 * h$$

$$V_2 = \frac{330 - 132}{2} \text{ mm} * 675 \text{ mm} * h = 66825 \text{ mm}^2 * h$$

$$V_3 = \frac{675 - 450}{2} \text{ mm} * 330 \text{ mm} * h = 37125 \text{ mm}^2 * h$$

$$V_T = 59400 \text{ mm}^2 * h + 2 * 66825 \text{ mm}^2 * h + 2 * 37125 \text{ mm}^2 * h$$

$$V_T = 267300 \text{ mm}^2 * h$$

$$0.97342548 \text{ m}^3 = h * 0.2673 \text{ m}^2$$

$$h = 0.36417 \text{ m}$$

Por lo que se delimitaría en una altura de 0.37 m = 370 mm

4.2.4. Longitud de los elementos triturantes

La longitud de los elementos triturantes se determina en base a varios factores que son:

Masa (m) = 1 quintal = 100 Kg

Tiempo (t) = 17 minutos = 0.16667 h

$$\dot{m} = \frac{100 \text{ Kg}}{0.16667 \text{ h}} = 600 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}$$

Mientras que la capacidad de trituración

$$Q = \frac{600 \frac{\text{Kg}}{\text{h}}}{1027.3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 0.584055 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Teniendo presente que los rpm que deben tener los elementos trituradores deberían ser de 350 $\frac{\text{rev}}{\text{min}}$

$$0.584055 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 2 * 350 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2 \pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * l * 0.066 \text{ m} * 0.000075 \text{ m}$$

$$l * 0.447 \text{ m} = 447 \text{ mm}$$

Por lo que la longitud de los rodillos se definiría en 450 mm

4.2.5. Cargas en los elementos triturantes

La carga en los rodillos o cargas unitarias de se da en base al peso definido de 1 qq

$$q_c = \frac{100 \text{ Kg}}{450 \text{ mm}} = 0.2222 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2.18 \frac{\text{N}}{\text{mm}}$$

4.2.6. Definición del diámetro de poleas

El diámetro de las poleas se determina en función del número de revoluciones por minuto (rpm) que origina la polea motriz y conducida, donde el número de revoluciones mínimas que poseen los motores eléctricos, que se encuentran de venta en el Ecuador, y de mayor accesibilidad son de 1750 rpm.

$$i = \frac{1750 \text{ rpm}}{350 \text{ rpm}} = 5$$

Para cumplir con la relación de transmisión de 5, esta se cumplirá con 2 juegos de 2 poleas cada

uno, los cuales tendrían los siguientes diámetros.

$$5/2 = \frac{Dc1}{40 \text{ mm}}$$

$$Dc1 = 100 \text{ mm}$$

Donde se generaría la siguiente relación de transmisión:

En el primer juego

$$\frac{1750 \text{ rpm}}{Nc} = \frac{100 \text{ mm}}{40 \text{ mm}}$$

$$Nc1 = 700 \text{ rpm}$$

Iniciando con el número de revoluciones de la segunda rueda conducida, se procede a definir los diámetros de las revoluciones, según la relación determinada.

$$i = \frac{700 \text{ rpm}}{350 \text{ rpm}} = 2$$

$$2 = \frac{Dc2}{40 \text{ mm}}$$

$$Dc2 = 80 \text{ mm}$$

Donde se generaría la siguiente relación de transmisión:

En el segundo juego

$$\frac{700 \text{ rpm}}{Nc} = \frac{80 \text{ mm}}{40 \text{ mm}}$$

$$Nc2 = 350 \text{ rpm}$$

Por lo que la primera patea motriz generaría 1750 rpm, la segunda patea disminuiría a 700 rpm y la tercera reduciría a 350 rpm.

4.2.7. Diseño de engranajes

El diseño de engranajes se define de la siguiente manera:

- **Diámetro de las ruedas dentadas**

La separación entre centros de los engranajes, se dan en función del diámetro de los rodillos, los cuales son de $C = 66 \text{ mm}$

$$66 \text{ mm} = \frac{D_p + d_p}{2}$$

$$D_p = d_p = 66 \text{ mm}$$

Definición del número de dientes; $66 = Z * 2$; $z = 33$ dientes

Definición del diámetro externo: $D_e = (33 + 2) * 2 = 70 \text{ mm}$

Definición del paso: $P = \pi * 2 = 6.2832$

Altura del diente: $h = 2.167 * 2 = 4.334 \text{ mm}$

Diámetro interno: $D_i = 2 * (33 - 2.5) = 61 \text{ mm}$

Espesor del diente: $e = s = \frac{6.2832}{2} = 3.1416 \text{ mm}$

Longitud del diente: $B = 10 * 2 = 20 \text{ mm}$

4.2.8. Potencia requerida en los rodillos (AISI 420)

La potencia requerida para dar movimiento al rodillo se determina de la siguiente manera:

- Momento de inercia del rodillo

El momento de inercia se determina de la siguiente manera:

$$I_m = \frac{\pi * (0.033 \text{ m})^4 * 8000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.450 \text{ m}}{32} = 0.00042 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

- Aceleración angular

La aceleración angular se define en función de la velocidad angular, la cual es de:

$$\omega = 350 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El tiempo de estabilización de funcionamiento es de 0.2 segundos

$$\alpha = \frac{36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0.2 \text{ s}} = 183.26 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

- Torque del rodillo

$$T = 0.00042 \text{ Kg} * \text{m}^2 * 183.26 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 0.077 \text{ Nm}$$

Potencia requerida es de

$$P = 0.077 \text{ Nm} * 36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 2.82 \text{ W}$$

4.2.9. Potencia requerida en las varillas ejes de los rodillos (AISI 1018)

La potencia requerida para dar movimiento a las varillas de los rodillos se determina de la siguiente manera:

- Momento de inercia del eje del rodillo

El momento de inercia se determina de la siguiente manera:

$$I_m = \frac{\pi * (0.010 \text{ m})^4 * 7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.664 \text{ m}}{32} = 0.00000513 \text{ Kg} * \text{m}^2$$

- Aceleración angular

La aceleración angular se define en función de la velocidad angular, la cual es de:

$$\omega = 350 \frac{\text{rev}}{\text{min}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} = 36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

El tiempo de estabilización de funcionamiento es de 0.2 segundos

$$\alpha = \frac{36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}{0.2 \text{ s}} = 183.26 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$$

- Torque del rodillo

$$T = 0.00000513 \text{ Kg} * \text{m}^2 * 183.26 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 0.00094 \text{ Nm}$$

Potencia requerida es de

$$P = 0.00094 \text{ Nm} * 36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 0.0344 \text{ W}$$

4.2.10. Potencia requerida en las poleas y en los engranajes (AISI 1018)

La potencia en las poleas se da para poder generar la fuerza necesaria en estos elementos.

Polea motriz (d=40 mm)

- Definición de volumen

La definición de volumen de la polea y en los engranes se da de la siguiente manera:

$$V_{\text{polea}} = \frac{\pi}{4} ((40 \text{ mm})^2 - (20 \text{ mm})^2) * 30 \text{ mm} = 28274.33 \text{ mm}^3$$

$$= 0.00002827433 \text{ m}^3$$

Masa ($\rho = 7870 \text{ Kg/m}^3$)

La masa se da en función de su densidad

$$7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \frac{m}{0.00002827433 \text{ m}^3}; m = 0.2225 \text{ Kg}$$

- **Momento de inercia**

Las inercias se dan de la siguiente manera:

$$I = \frac{0.2225 \text{ Kg}}{8} ((0.04 \text{ m})^2 - (0.02 \text{ m})^2) = 0.000033375 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Polea conducida 1 (d=100 mm)

- **Definición de volumen**

La definición de volumen de la polea se da de la siguiente manera:

$$V_{\text{polea}} = \frac{\pi}{4} ((100 \text{ mm})^2 - (20 \text{ mm})^2) * 40 \text{ mm} = 301592.9 \text{ mm}^3$$

$$= 0.0003015929 \text{ m}^3$$

Masa ($\rho = 7870 \text{ Kg/m}^3$)

La masa se da en función de su densidad

$$7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \frac{m}{0.0003015929 \text{ m}^3}; m = 2.4 \text{ Kg}$$

- **Momento de inercia**

Las inercias se dan de la siguiente manera:

$$I = \frac{2.4 \text{ Kg}}{8} ((0.100 \text{ m})^2 - (0.020 \text{ m})^2) = 0.00288 \text{ kg} * \text{m}^2$$

Polea conducida 2 (d = 80 mm)

- **Definición de volumen**

La definición de volumen de la polea se da de la siguiente manera:

$$V_{\text{polea}} = \frac{\pi}{4} ((80 \text{ mm})^2 - (20 \text{ mm})^2) * 40 \text{ mm} = 188495.56 \text{ mm}^3$$

$$= 0.00018849556 \text{ m}^3$$

Masa ($\rho = 7870 \text{ Kg/m}^3$)

La masa se da en función de su densidad

$$7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \frac{m}{0.00018849556 \text{ m}^3}; m = 1.5 \text{ Kg}$$

- **Momento de inercia**

Las inercias se dan de la siguiente manera:

$$I = \frac{1.5 \text{ Kg}}{8} ((0.08 \text{ m})^2 - (0.02 \text{ m})^2) = 0.0011125 \text{ kg} * \text{m}^2$$

- **Momento de inercia total de las poleas**

El momento de inercias total de las poleas se dan de la siguiente manera:

$$I_{\text{polea Total}} = 2 * 0.000033375 \text{ kg} * \text{m}^2 + 0.00288 \text{ kg} * \text{m}^2 + 0.0011125 \text{ kg} * \text{m}^2$$

$$= 0.00406 \text{ kg} * \text{m}^2$$

- **Potencia de las poleas**

El torque del rodillo se determina:

$$T = 0.00406 \text{ kg} * \text{m}^2 * 183.26 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 0.744 \text{ Nm}$$

La potencia requerida es de

$$P = 0.744 \text{ Nm} * 36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 27.3 \text{ W}$$

- **Engrane motriz y conducido**

Definición de volumen

La definición de los engranes se da de la siguiente manera:

$$V_{\text{engrane}} = \frac{\pi}{4} ((70 \text{ mm})^2 - (20 \text{ mm})^2) * 50 \text{ mm} = 176714.6 \text{ mm}^3$$

$$= 0.000176714.6 \text{ m}^3$$

Masa ($\rho = 7870 \text{ Kg/m}^3$ – Acero AISI 1018)

La masa se da en función de su densidad

$$7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} = \frac{m}{0.000176714.6 \text{ m}^3}; m = 1.4 \text{ Kg}$$

- **Momento de inercia**

Las inercias se dan de la siguiente manera:

$$I = \frac{1.4 \text{ Kg}}{8} ((0.07 \text{ m})^2 - (0.020 \text{ m})^2) = 0.0007875 \text{ kg} * \text{ m}^2$$

4.2.11. Momento de inercia total de las ruedas dentadas

El momento de inercias total de las ruedas se dan de la siguiente manera:

$$I_{\text{Engranaje Total}} = 2 * 0.0007875 \text{ kg} * \text{ m}^2 = 0.001575 \text{ Kg} * \text{ m}^2$$

Aplicando las ecuaciones de torque y de potencia empleada en los rodillos, se utilizan para definir el torque y la potencia de las poleas y en las ruedas dentadas.

- **Potencia de los engranes**

El torque del rodillo se determina:

$$T = 0.001575 \text{ Kg} * \text{ m}^2 * 183.26 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} = 0.289 \text{ Nm}$$

La potencia requerida es de

$$P = 0.289 \text{ Nm} * 36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 10.6 \text{ W}$$

4.2.12. Potencia requerida para moler el material deseado

La potencia requerida para moler el material deseado se procede a definir iniciado el torque.

$$T = 0.288 * 2.18 \frac{\text{N}}{\text{mm}} * 9.2532 \text{ mm} * 33 \text{ mm} = 191.71 \text{ N} * \text{ mm} = 0.19171 \text{ N} * \text{ m}$$

$$P = 0.19171 \text{ Nm} * 36.652 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 7.03 \text{ W}$$

Aplicando las ecuaciones de potencia empleada en los rodillos, se utilizan para definir la potencia requerida del material a moler.

4.2.13. Potencias totales

Las potencias totales se dan de la siguiente manera:

$$P_{\text{Total}} = 2 * (2.82 + 0.0344)W + 27.3 W + 10.6 W + 7.03 W = 50.64 W$$

$$= 0.07 \text{ Hp}$$

4.2.14. Selección del motorreductor

El factor a emplear es de 4.5, el cual es útil para máquinas dinámicas bajo cargas dinámicas, con una combinación de cargas a un análisis de esfuerzos o al ambiente. [10]

$$P_{\text{Total}} = 0.07 \text{ Hp} * 4.5 = 0.315 \text{ Hp}$$

Por facilidad de adquisición se deberá adquirir un motor de 1/2 hp, a 1750rpm

- Selección de correas

El diseño de las correas síncronas se determina de la siguiente manera:

Unidad motriz

Tabla 4. 3. Unidad motriz

Clase de Unidad Motriz	Clase I	Clase II	Clase III
Picos de carga momentáneos % de la capacidad de carga	149%	150 - 249%	250 - 400%
Motores Eléctricos AC Monofásicos		todos	
Jaula de Ardilla NEMA diseño A			
3450 rpm	40 hp - o más	1½ - 30 hp	1-3 hp
1750 rpm	100 hp - o más	5 - 75 hp	
1160 rpm	15 hp - o más	¾ - 10 hp	
870 rpm	5 hp - o más	½ - 3 hp	
NEMA diseño B			
3450 rpm		5 hp - o más	1½ - 3 hp
1750 rpm		5 hp - o más	1 - 3 hp
1160 rpm		5 hp - o más	¾ - 3 hp
870 rpm		2 hp - o más	½ - 1½ hp
NEMA diseño C			
1750 rpm		15 hp - o más	5 - 10 hp
1160 rpm		7½ hp - o más	3 y 5 hp
870 rpm		todos	
NEMA diseño D			todos
NEMA diseño F	todos		
Rotor Devanado			
1750 rpm		20 hp	2 a 15 hp
1160 rpm		15 hp	2 a 10 hp
870 rpm		7½ hp	1 a 5 hp
Sincrónico		torque normal	torque alto
Motores Eléctricos D.C.	derivación	compuesto	Serie
Motores - Combustión Interna	8 cil o más	6 cil	4 cil o menos
Motores Hidráulicos Ejes de Línea			todos

Fuente: [21]

- Factor de servicio

Tabla 4. 4 Factor de Servicio

Máquinas Impulsadas	Clase I	Clase II	Clase III
Agitadores, mezcladoras (paletas o propulsor)	líquido: 1.2	1.4	1.6
	semilíquido: 1.3	1.5	1.7
Maquinaria de Panadería, Batidoras de Masa	1.2	1.4	1.6
Maquinaria para ladrillos y arcilla sinfines, mezcladoras, granuladoras:	1.4	1.6	1.8
	mezclador de arcilla: 1.6	1.8	2.0
Centrífugas	1.5	1.7	—
Compresores	reciprocantes: 1.6	1.8	2.0
	centrífugas: 1.4	1.5	1.6
Transportadores banda, empaque ligero: banda para horno; para minerales, carbón, arena: placa de deflexión, elevador de cangilones, charolas: helicoidales:	1.1	1.2	1.3
	1.2	1.4	1.6
	1.6	1.8	1.9
	1.4	1.6	1.8
Ventiladores, Sopladores centrífugas, extractor de tiro inducido: ventiladores para minas, sopladores positivos:	1.4	1.6	1.8
	1.6	1.8	2.0
Generadores y Excitadores	1.4	1.6	1.8
Molinos de Martillos	1.5	1.7	1.9
Grúas, Elevadores	1.4	1.6	1.8
Maquinaria para Lavandería general: extractores, lavadoras:	1.2	1.4	1.6
	1.4	1.6	1.8
Ejes de Línea	1.2	1.4	1.6
Máquinas Herramientas taladros, tornos: pulidoras: fresadoras:	1.2	1.4	1.6
	1.3	1.5	1.7
	1.3	1.5	1.7
Molinos de bolas, de barras, de guijarros:	—	1.9	2.1
Maquinaria para Papel agitadores, calandrias, secadores: batidoras, jordan, bombas Nash, pulpers:	1.2	1.4	1.6
	1.4	1.6	1.8
Maquinaria para Imprentas prensas; para periódicos, grabado rotatorio, cama plana, para revistas; linotipos, cortadoras y dobladoras:	1.2	1.4	1.6
Bombas centrífugas, de engranes, rotatorias: reciprocantes:	1.2	1.4	1.6
	1.7	1.9	2.1
Maquinaria para Hule	1.4	1.6	1.8
Maquinaria para Aserraderos	1.4	1.6	1.8
Cribas vibratorias: de tambor, cónicas:	1.3	1.5	—
	1.2	1.4	—
Maquinaria Textil telares, bastidores, cordeleros: carretes, urdimbre:	1.3	1.5	1.7
	1.2	1.4	—
Maquinaria para Trabajar Madera tornos, serruchos de banda: sierras circulares, cepillos:	1.2	1.3	—
	1.2	1.4	—

Fuente: [21]

- **Potencia de diseño**

$$P_d = 0.5H_p \times 1.7 = 0.85 H_p$$

Selección del paso o sección de la correa

$$n = 1750 \text{ rpm}$$

$$P_d = 0.85 H_p$$

- **Selección del perfil**

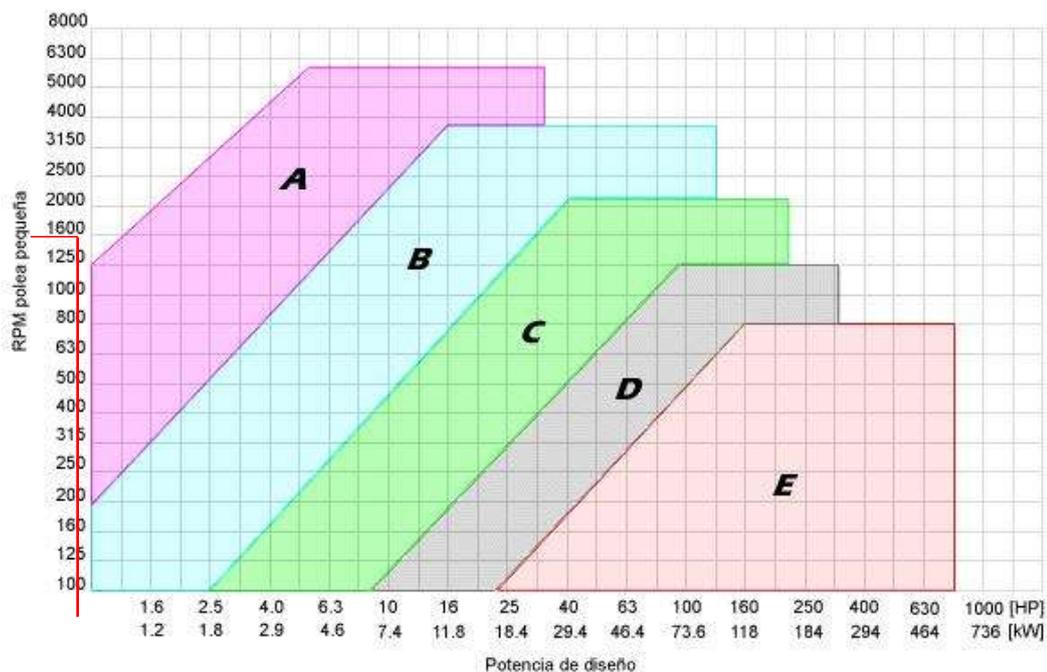


Figura 4. 1 Perfil de correa
Fuente: [22]

Por lo que se selecciona un perfil con SECCIÓN de tipo A

4.3. Diseño de las correas en el primer juego (entre $d_1=100 \text{ mm}$ y $d_2=40 \text{ mm}$)

- **Distancia entre centros**

$$0.7(100 \text{ mm} + 40 \text{ mm}) \leq C \leq 2(100 \text{ mm} + 40 \text{ mm})$$

$$98 \text{ mm} \leq C \leq 280 \text{ mm}$$

Por lo que la distancia entre centros de las poleas es de 235 mm

- **Ángulo de contacto**

El ángulo de contacto está definido por:

Angulo de contacto de la polea motriz

$$\theta_s = 180 - 2\text{Sen}^{-1} \frac{100 - 40}{2 * 235} = 165.33^\circ = 2.88557 \text{ rad}$$

Angulo de contacto de la polea conducida

$$\theta_c = 180 + 2\text{Sen}^{-1} \frac{100 - 40}{2 * 235} = 194.67^\circ = 3.3976 \text{ rad}$$

Longitud de la banda

$$L = \sqrt{4(235 \text{ mm})^2 - (100 \text{ mm} - 40 \text{ mm})^2} + \frac{1}{2}(100 \text{ mm} * 3.3976 + 40 \text{ mm} * 2.88557)$$

$$L = 693.746 \text{ mm}$$

4.4. Diseño de las correas en el segundo juego (entre d1=80 mm y d2=40 mm)

Distancia entre centros

$$0.7(80 \text{ mm} + 40 \text{ mm}) \leq C \leq 2(80 \text{ mm} + 40 \text{ mm})$$

$$84 \text{ mm} \leq C \leq 240 \text{ mm}$$

Por lo que la distancia entre centros de las poleas es de 170 mm.

- **Ángulo de contacto**

El ángulo de contacto está definido por:

Angulo de contacto de la polea motriz

$$\theta_s = 180 - 2\text{Sen}^{-1} \frac{80 - 40}{2 * 170} = 166.5^\circ = 2.906 \text{ rad}$$

Angulo de contacto de la polea conducida

$$\theta_c = 180 + 2\text{Sen}^{-1} \frac{80 - 40}{2 * 170} = 193.5^\circ = 3.377 \text{ rad}$$

Longitud de la banda

$$L = \sqrt{4(170 \text{ mm})^2 - (80 \text{ mm} - 40 \text{ mm})^2} + \frac{1}{2}(80 \text{ mm} * 3.377 + 40 \text{ mm} * 2.906)$$

$$L = 530.84 \text{ mm}$$

4.5. Diseño del eje del rodillo derecho

El diseño del eje del rodillo derecho se da en función del peso uniforme a lo largo del rodillo.

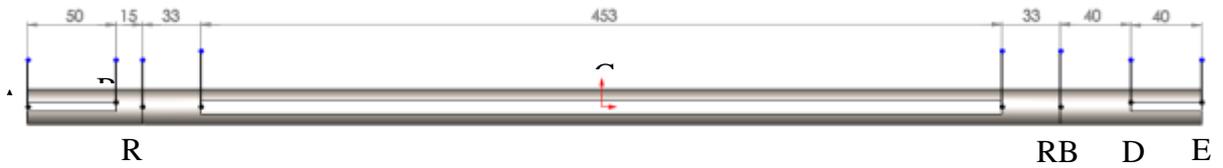


Figura 4. 2 Eje - rodillo derecho

Tabla 4. 5 Cargas a ubicar en el conjunto eje - rodillos derecho

Componentes	Piezas	Peso (Kg)	Pesos (N)
Punto A - B			
Masa de la catalina	1	1.5	14.715
Punto D - E			
Masa del engranaje	1	1.4	13.734
Punto C			
Masa del producto a moler	1	100	981
Masa del rodillo	1	11.1	108.891
Total			1089.891

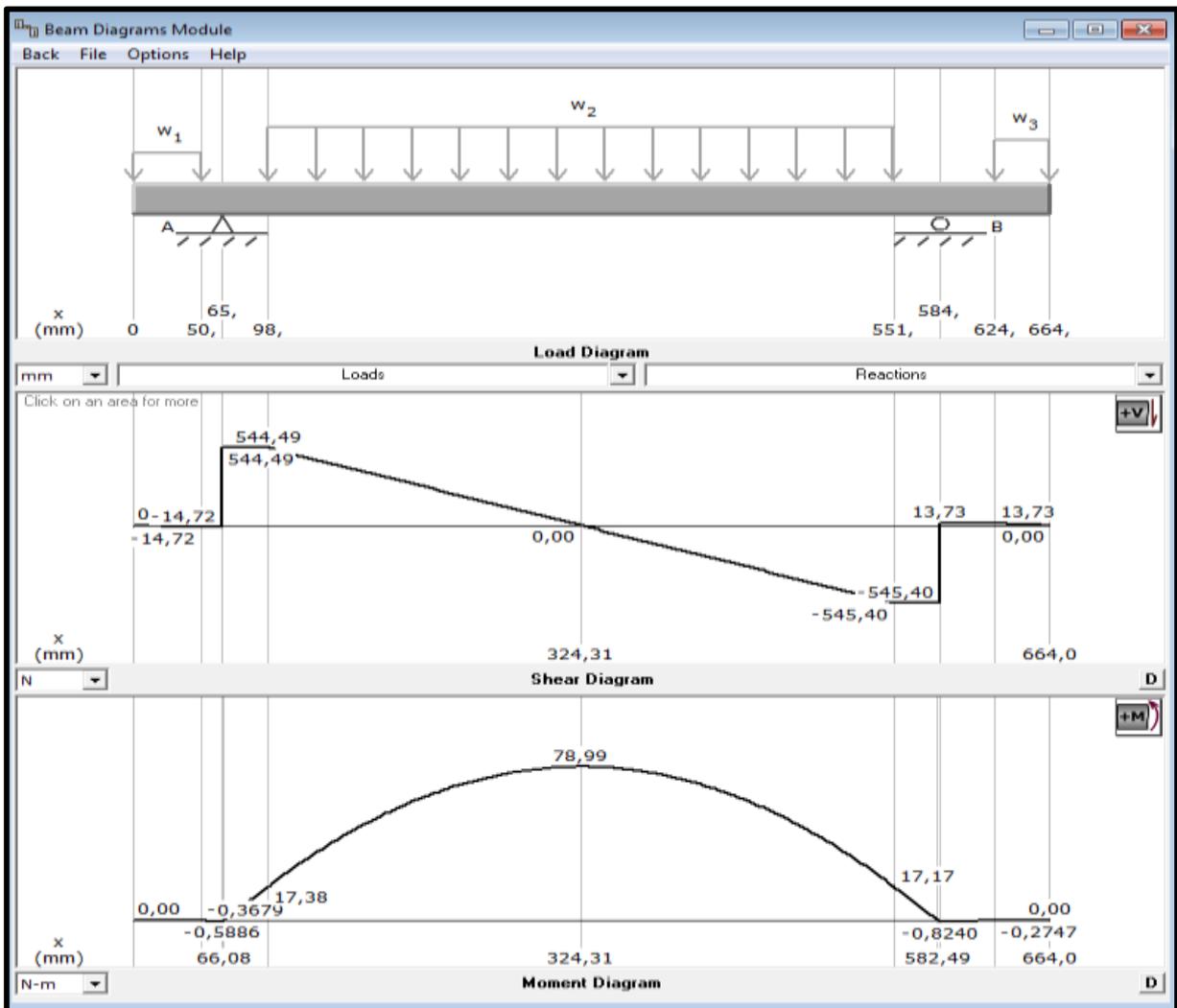


Figura 4. 3 Diagrama de cuerpo libre del eje – rodillo derecho

Una vez definido el diagrama de momento se procede a indicar el esfuerzo de tensión, de la siguiente manera:

- **Esfuerzo de tensión**

Los esfuerzos de tensión se definen de la siguiente manera:

En base a un diámetro asumido de 20 mm, se determina.

Análisis estático

- **Esfuerzo permisible equivalente**

$$\sigma_{eq} = \frac{32 * 78990 \text{ N mm}}{\pi * (20 \text{ mm})^3} = 100.573 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- **Factor de seguridad estático**

El factor de seguridad es:

$$n_e = \frac{370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{100.573 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 3.68$$

Análisis dinámico

El diseño del eje, por el análisis dinámico se define de la siguiente manera:

- k_a = Factor de superficie (Acero AISI 1018)

$$k_a = 4.51 * 440^{-0.265} = 0.9$$

Tabla 4. 6 Parámetros del Factor de Modificación

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o estirado en frío	2.70	4.51	-0.265

Fuente: [31]

- k_b = Factor de modificación del tamaño ($d = 20 \text{ mm}$)

$$k_b = \left(\frac{20}{7.62} \right)^{-0.107} = 0.902$$

- **kc = Factor de carga (flexión)**

$$k_b = 1$$

- **kd = Factor de temperatura (20 °C)**

$$k_d = 1$$

Tabla 4.7 Efectos de temperatura de operación

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}	Temperatura, °F	S_T/S_{RT}
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020

Fuente: [31]

- **(ke) Factor de confiabilidad (99.9%)**

$$k_e = 1 - 0.08 \times 3.091 = 0.75272$$

Tabla 4.8 Factor de modificación de confiabilidad

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_u	Factor de confiabilidad k_u
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753

Fuente:[31]

- **(kf) Factores de efectos varios**

$$k_f = 1$$

- **El límite de Resistencia $S'e$ (Sut = 440 MPa)**

$$S'e = 0.5 \text{ Sut} = 0.5 \times 440 \text{ MPa} = 220 \text{ MPa}$$

Por lo que:

$$S_e = 0.9 \times 0.902 \times 0.59 \times 1 \times 0.75272 \times 1 \times 220 \text{ MPa} = 79.315 \text{ MPa}$$

Resistencia a la fatiga (Sut 440 MPa = 63.82 kpsi)

$$a = \frac{(0.9 \times 440 \text{ MPa})^2}{79.315 \text{ MPa}} = 1977.13 \text{ MPa}$$

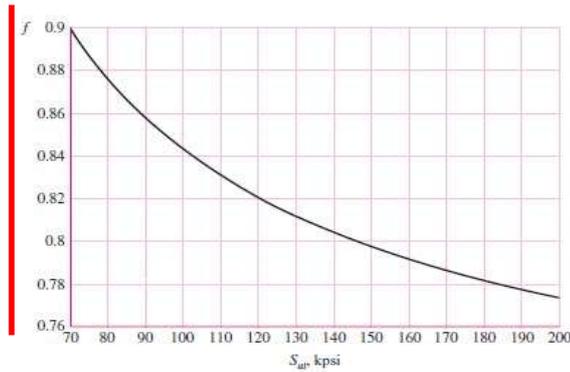


Figura 4. 4 Factor f resistencia a la fatiga

Fuente: [31]

$$b = -\frac{1}{3} \log \left(\frac{0.9 \times 440}{79.315} \right) = -0.233$$

$$S_f = 1977.13 * 1000^{-0.233} = 395.4 \text{ MPa}$$

- **Factor de seguridad dinámico**

El factor de seguridad dinámico es:

$$n_d = \frac{395.4 \text{ MPa}}{100.573 \text{ MPa}} = 3.93$$

4.6. Diseño del eje del rodillo izquierdo

El diseño del eje del rodillo izquierdo se da en función del peso uniforme a lo largo del rodillo.

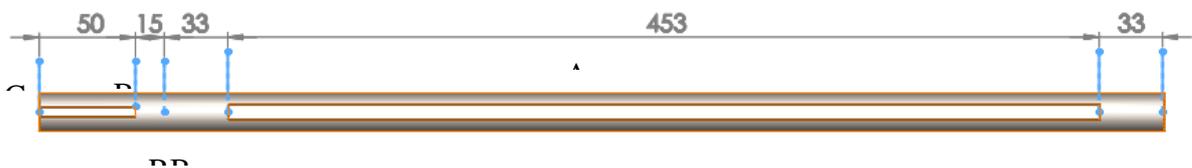


Figura 4. 5 Conjunto eje - rodillo izquierdo

Tabla 4. 9 Tabla de las cargas a ubicar en los ejes del rodillo izquierdo

Componentes	Piezas	Peso (Kg)	Pesos (N)
Punto B – C			
Masa del engranaje	1	1.4	13.734
Punto A			
Masa del producto a moler	1	100	981
Masa del rodillo	1	11.1	108.891
Total			1089.891

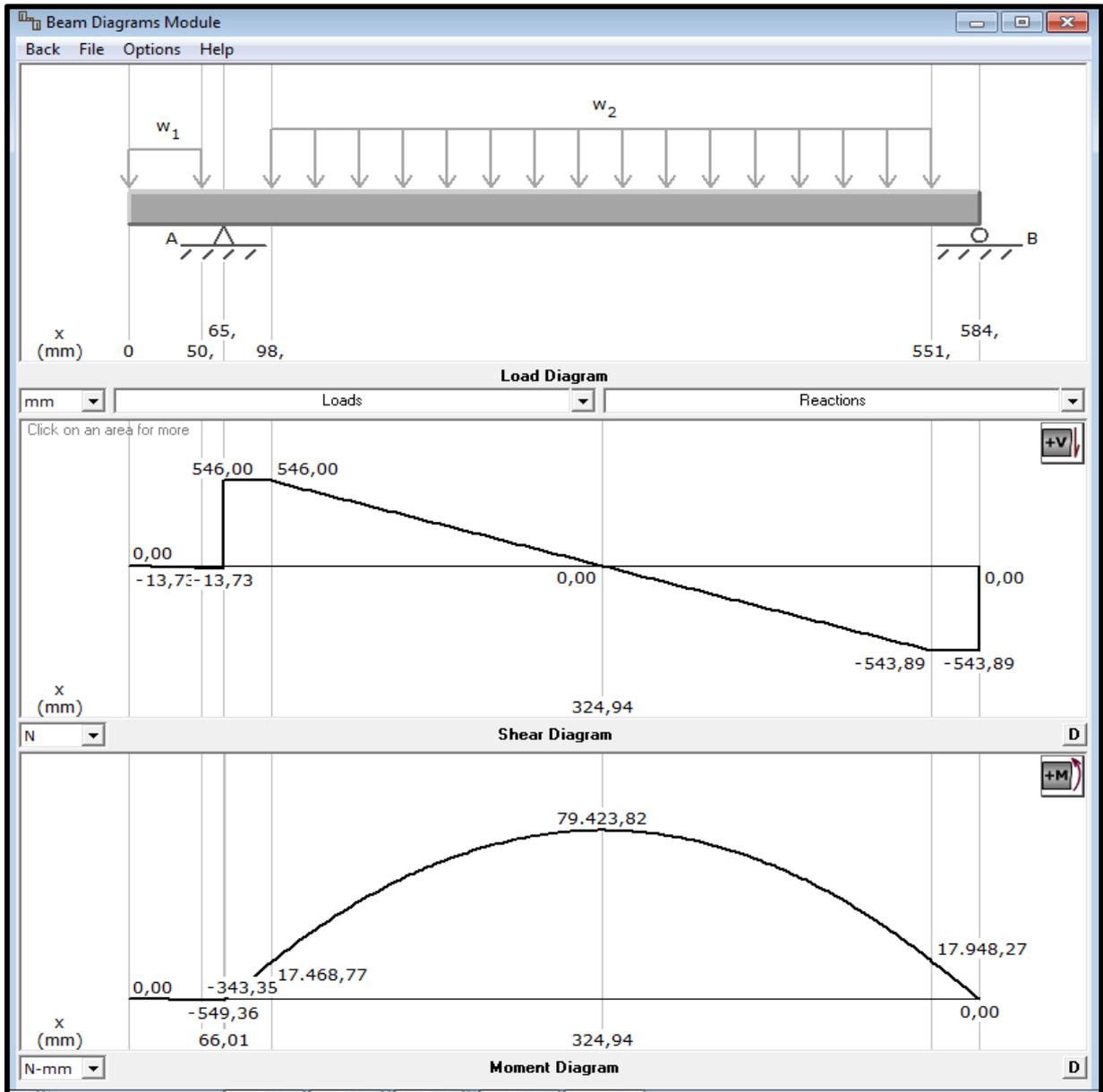


Figura 4. 6 Diagrama de cuerpo libre del conjunto eje – rodillo izquierdo

- **Esfuerzo de tensión**

Los esfuerzos de tensión se definen de la siguiente manera:

En base a un diámetro asumido de 20 mm, se determina.

- **Análisis estático**

Esfuerzo permisible equivalente

$$\sigma_{eq} = \frac{32 * 79423,82 \text{ N mm}}{\pi * (20 \text{ mm})^3} = 101.12555 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- **Factor de seguridad estático**

El factor de seguridad es:

$$n_e = \frac{370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{101.12555 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 3.659$$

Análisis dinámico

Como se tiene los mismos parámetros que el eje del rodillo derecho, la resistencia a la fatiga sería la misma, por lo que:

$$Sf = 1977.13 * 1000^{-0.233} = 395.4 \text{ MPa}$$

Factor de seguridad dinámico

El factor de seguridad dinámico es:

$$n_d = \frac{395.4 \text{ MPa}}{101.12555 \text{ MPa}} = 3.91$$

4.7. Diseño del eje secundario

El diseño del eje secundario se da de la siguiente manera:

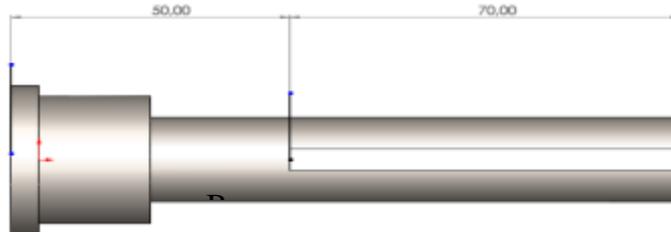


Figura 4. 7 Diseño del eje secundario

Tabla 4. 10 Tabla de las cargas a ubicar en el eje secundario

Componentes	Piezas	Peso (Kg)	Pesos (N)
Punto A – B			
Masa de la polea media	1	2.4	23.544
Masa de la polea menor	1	0.2225	2.183

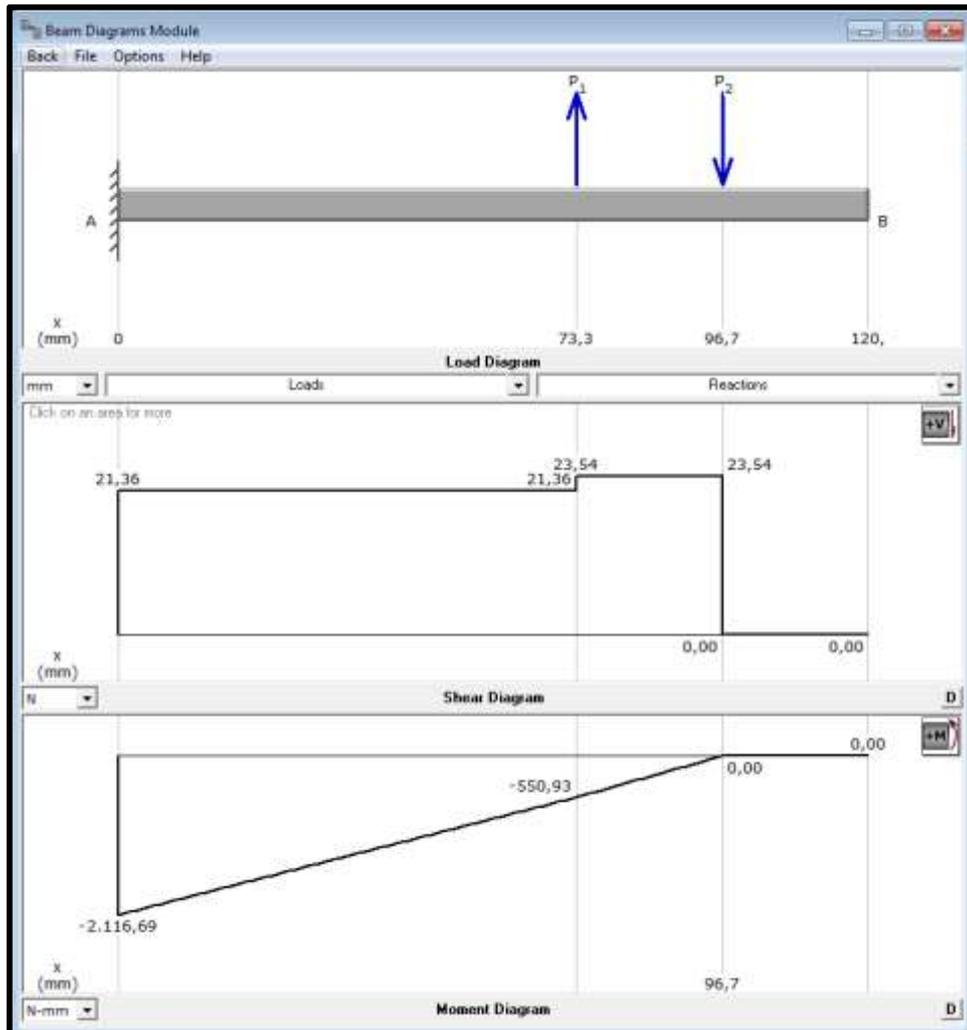


Figura 4. 8 Diagrama de cuerpo libre del eje secundario

- **Esfuerzo de tensión**

Los esfuerzos de tensión se definen de la siguiente manera:

En base a un diámetro asumido de 20 mm, se determina.

- **Análisis estático**

Esfuerzo permisible equivalente

$$\sigma_{eq} = \frac{32 * 2116.69 \text{ N mm}}{\pi * (20 \text{ mm})^3} = 2.7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- **Factor de seguridad estático**

El factor de seguridad es:

$$n_e = \frac{370 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{2.70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 137.04$$

- **Análisis dinámico**

Como se tiene los mismos parámetros que los ejes de los rodillos, la resistencia a la fatiga sería la misma, por lo que:

$$S_f = 1977.13 * 1000^{-0.233} = 395.4 \text{ MPa}$$

- **Factor de seguridad dinámico**

El factor de seguridad dinámico es:

$$n_d = \frac{395.4 \text{ MPa}}{2.70 \text{ MPa}} = 146.44$$

- **Selección de chumaceras para los rodillos**

La selección de chumaceras sigue el siguiente procedimiento

Consideración de la vida útil:

Tabla 4. 11 Vida útil especificada

Valores orientativos de la vida útil especificada de los diferentes tipos de máquinas	
Tipo de máquina	Vida útil especificada Horas de funcionamiento
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, equipos técnicos de uso médico	300 ... 3 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos: herramientas eléctricas portátiles, dispositivos de elevación en talleres, máquinas y equipos para la construcción	3 000 ... 8 000
Máquinas utilizadas intermitentemente o durante breves períodos donde se requiere una alta confiabilidad: ascensores (elevadores), grúas para productos embalados o eslingas para tambores, etc.	8 000 ... 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario, no siempre utilizadas al máximo: transmisiones por engranajes de uso general, motores eléctricos para uso industrial, trituradoras giratorias	10 000 ... 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario utilizando plenamente sus capacidades; herramientas mecánicas, máquinas para carpintería, máquinas para la industria de la ingeniería, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipos de impresión, separadores y centrifugadoras	20 000 ... 30 000
Máquinas para 24 horas de trabajo continuo: unidades de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil	40 000 ... 50 000
Maquinaria para energía eólica, incluidos los rodamientos del eje principal, de orientación, de la caja de engranajes de cambio de paso, del generador	30 000 ... 100 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas de trenzado de cables, maquinaria de propulsión para buques de alta mar	60 000 ... 100 000
Máquinas eléctricas de gran tamaño, plantas de generación de energía, bombas para minas, ventiladores para minas, rodamientos para ejes en túnel para buques de alta mar	> 100 000

Fuente: [23]

El número de revoluciones máximo requerido es de 350 rpm.

Vida útil, según la clasificación del molino es de hasta: $l = 3000 \text{ h}$

- F_b = Carga Crítica
- Carga Requerida, $C = ?$
- Diámetro interior = 20 mm
- Factor de Rotación = 1.2
- $a = 3$ para cojinetes de bolas

Como no se tiene la Carga Crítica que soporta las chumaceras, estas se determinan de la siguiente manera, en base al rodillo que genera mayor peso.

Tabla 4. 12 Tabla de las cargas a ubicar en las chumaceras

Componentes	Piezas	Peso (Kg)	Pesos (N)
Masa de la catalina	1	1.5	14.715
Masa del engranaje	1	1.4	13.734
Masa del producto a moler	1	100	981.0
Masa del Rodillo	1	11.1	108.891
Masa del eje	1	1.52	14.9112
Total			1133.2513

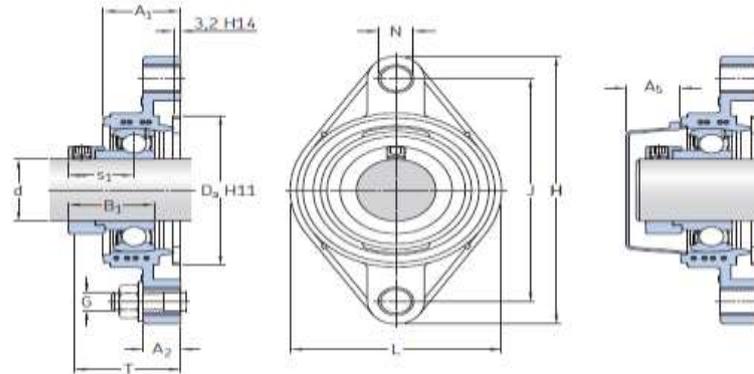
Por lo que:

$$P = 1133.2513 \text{ N} * 1.2 = 1359.90 \text{ N}$$

$$C = 1359.90 \text{ N} \left(\frac{3000 * 350 * 60}{10^6} \right)^{1/3} = 5.411 \text{ KN}$$

Por lo que se seleccionara la siguiente chumacera:

Tabla 4. 13 Chumaceras



Dimensiones

d	A ₁	A ₂	B ₁	D _a	H	J	L	N	G	s ₁	T	A ₅
mm												
20	29,5	15	31	50,8	112	90	60,5	12,3	M10	23,9	42,9	18,5
25	30	15	30,9	63,5	124	99	70	12,3	M10	23,4	42,4	18
30	33	15	35,6	76,2	142,5	116,5	83	12,3	M10	26,6	46,6	20
35	35	17	38,8	88,9	156	130	96	14,8	M12	29,3	50,3	22

Fuente: [23]

Capacidad de carga básica dinámica	Capacidad de carga estática	Carga límite de fatiga	Velocidad límite	Masa	Designación del soporte	Designación del rodamiento	Designación adecuada de la tapa lateral	Designación de la unidad
C	C ₀	P _u	r. p. m.	kg	-	-	-	-
kN		kN						
12,7	6,55	0,28	8 500	0,24	FYTBK 504	E2.YET 204	ECY 204	FYTBK 20 FE
14	7,8	0,335	7 000	0,29	FYTBK 505	E2.YET 205	ECY 205	FYTBK 25 FE
19,5	11,2	0,475	6 300	0,45	FYTBK 506	E2.YET 206	ECY 206	FYTBK 30 FE
25,5	15,3	0,655	5 300	0,63	FYTBK 507	E2.YET 207	ECY 207	FYTBK 35 FE

Fuente: [23]

4.7.1. Selección del rodamiento para los ejes

La selección del rodamiento se da de la siguiente manera.

- El número de revoluciones máximo requerido es de 350 rpm.
- Vida útil, según la clasificación del molino es de hasta: $l = 3000$ h
- $F_b =$ Carga Crítica
- Carga Requerida, $C = ?$
- Diámetro interior = 30 mm

- Factor de Rotación = 1.2
- a = 3 para cojinetes de bolas

La carga crítica a soportar es de:

Tabla 4. 14 Tabla de las cargas a ubicar en las chumaceras

Componentes	Piezas	Peso (Kg)	Pesos (N)
Masa de la catalina grande	1	2.4	23.544
Masa de la catalina pequeña	1	0.2225	2.183
Eje de transmisión	1	0.376	3.69
Total			31.417

Por lo que:

$$P = 31.417 N * 1.2 = 37.7 N$$

$$C = 37.7 N \left(\frac{3000 * 350 * 60}{10^6} \right)^{1/3} = 0.15 KN$$

Por lo que se seleccionara el siguiente rodamiento

Tabla 4. 15 Rodamiento

Dimensiones principales			Capacidad de carga		Carga límite de fatiga	Velocidades		Masa	Designación	
d	D	B	dinámica C	estática C ₀	P _u	Velocidad de referencia	Velocidad límite			
mm			kN		kN	rpm		kg	-	
25	37	7	4,36	2,6	0,125	38 000	24 000	0,022	61805	
	42	9	7,02	4,3	0,193	36 000	22 000	0,045	61905	
	47	8	8,06	4,75	0,212	32 000	20 000	0,060	* 16005	
	47	12	11,9	6,55	0,275	32 000	20 000	0,080	* 6005	
	52	9	10,6	6,55	0,28	28 000	18 000	0,078	98205	
	52	15	14,8	7,8	0,335	28 000	18 000	0,13	* 6205	
	52	15	17,8	9,8	0,40	28 000	18 000	0,12	6205 ETN9	
	62	17	23,4	11,6	0,49	24 000	16 000	0,23	* 6305	
	62	17	26	13,4	0,57	24 000	16 000	0,21	6305 ETN9	
	80	21	35,8	19,3	0,82	20 000	13 000	0,53	6405	
	28	58	16	16,8	9,5	0,405	26 000	16 000	0,18	62/28
		68	18	25,1	13,7	0,585	22 000	14 000	0,29	63/28
30	42	7	4,49	2,9	0,146	32 000	20 000	0,027	61806	
	47	9	7,28	4,55	0,212	30 000	19 000	0,051	62706	
	55	9	11,9	7,35	0,31	28 000	17 000	0,085	* 16006	
	55	13	13,8	8,3	0,355	28 000	17 000	0,12	* 6006	
	62	10	15,9	10,2	0,44	22 000	14 000	0,12	98206	
	62	16	20,3	11,2	0,48	24 000	15 000	0,20	* 6206	
	62	16	23,4	12,9	0,54	24 000	15 000	0,19	6206 ETN9	
	72	19	29,6	16	0,67	20 000	13 000	0,35	* 6306	
	72	19	32,5	17,3	0,74	22 000	14 000	0,33	6306 ETN9	
	90	23	43,6	23,6	1,00	18 000	11 000	0,74	6406	

5. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

5.1.Presupuesto

En esta sección, se debe ubicar un análisis económico de los implementos y materiales a utilizar, los cuales se clasifican en dos grupos conocidos como directos e indirectos.

5.2.Costos directos

Los costos de los materiales, equipos y mano de obra a emplear en la construcción del molino de rodillos triturador de grano.

Tabla 5. 1 Costos directos de los materiales

Molino de rodillos triturador de grano			
Elemento	Cantidad	Valor. Unitario (\$)	Total (\$)
Tolva de ingreso			
Plancha de acero de 1200 x 2400 x 3 mm	1	75	75.00
Cuerpo soporte			
Plancha de acero de 1200 x 2400 x 6 mm	1	150	150.00
Tolva de salida			
Plancha de acero de 1200 x 2400 x 3 mm	2.5	75	187.50
Estructura			
Tubo estructural cuadrado de 40 x 40 x 2 mm	2	20.00	40.00
Engranaje			
Engranaje	2	35	70.00
Poleas			
Poleas pequeñas	2	15	30.00
Polea media	1	20	20.00
Polea grande	1	30	30.00
Rodillos			
Rodillo motriz	1	102.50	102.50
Rodillo Conducido	1	102.50	102.50
Chumacera			
Chumacera UCFL	4	22.50	82.00
Motor eléctrico			
Motor WEG	1	250	250.00
Perno			
Perno M10x25	22	0.15	3.30
Tuerca M10	14	0.15	2.10
Banda			
Bandas	2	10.50	21.00
Subtotal			1165.90
IVA 12%			139.91
Total			1305.81

Tabla 5. 2 Detalle de costos directos por mano de obra

Molino de rodillos triturador de grano			
Descripción	Horas	Valor. Unitario (\$)	Total (\$)
Torno	30	8.00	240.00
Fresado	15	12.00	180.00
Soldado	10	8.00	80.00
Cortado	2	5.00	10.00
Doblado	2	3.50	7.00
Taladrado	5	4.00	20.00
Armado	20	7.00	140.00
Total			677.00

5.3. Costos indirectos

En esta sección se ubican los costos por transporte, alimentación, gastos varios, entre otros.

Tabla 5. 3 Detalle de costos indirectos

Molino de rodillos triturador de grano	
Descripción	Total (\$)
Transporte	20.00
Alimentación	30.00
Gastos varios	20.00
Total	70.00

5.4. Presupuesto total

Tabla 5. 4 Presupuesto total

Molino de rodillos triturador de grano	
Descripción	Total (\$)
Costos directos de materiales	1305.81
Costos directos por mano de obra	677.00
Costos indirectos	70.00
Sub Total	2052.81
Imprevistos al 10%	205.28
Total	2258.09

5.5. Impactos

5.5.1. Impacto tecnológico

El diseño del molino de rodillos triturador de granos emplea conocimientos de diseño mecánico, selección de materiales que pueden ubicarse a nivel local o nacional, verificarse el diseño a través del método de elementos finitos, detectando errores o materiales inadecuados antes de construirlo, por lo que aumenta la producción, en un tiempo mínimo, sin tener la necesidad de una demanda mayor de personal.

5.6.Beneficios:

Los beneficios que ofrece el diseño el molino de granos es:

- Diseño adecuado para la trituración de granos en una capacidad de 1 quintal por cada 17 minutos.
- Ahorro de la materia prima, durante la trituración de granos.
- Molido de granos en un menor tiempo, a un tamaño delimitado.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1.Conclusiones

La composición química y física del grano de quinua varía considerablemente dependiendo de varios factores como la diversidad genética, las condiciones de crecimiento, las características del suelo y ecológicas. Además del valor nutricional del grano de quinua, la quinua tiene un gran potencial económico porque se puede utilizar toda la planta.

En plena concordancia con las características del cereal de quinua a ser procesado se determinó a partir de los resultados investigativos que el molino de rodillos es el indicado para lograr un mayor rendimiento y productividad en el procesamiento de la quinua, destacándose del mismo modo sus ventajas tales como un funcionamiento sencillo, fácil mantenimiento y elevada versatilidad.

Los principales componentes son ángulo de separación, donde el $\varnothing=0.425$ mm, del grano, dimensionando a los elementos trituradores, definiendo las poleas a usar, así como los engranajes a emplear que brinde de apoyo para la transmisión de movimiento entre los rodillos, con una potencia de $\frac{1}{2}$ hp a 1750 rpm, donde la correa a utilizar es de tipo A, con materiales existentes en el mercado nacional y local.

Los elementos que componen el molino de rodillos está constituido de tolvas de entrada y salida, motor eléctrico, rodillos trituradores, bocín de apoyo, chumaceras, definidos en un ciclo determinado, generando movimiento por los rodillos los cuales son impulsados por correas.

6.2.Recomendaciones

Es necesario realizar estudios que permitan determinar las características físicas y químicas de la quinua que se consume más en el mercado ecuatoriano de tal manera que se puedan realizar ajustes al molino para que el mismo no pierda su utilidad y sea adaptado a los requerimientos de la población.

Desarrollar investigaciones sistemáticas que permitan la mejora y perfeccionamiento en la elaboración de molinos de rodillos diseñados específicamente para el procesamiento de quinua de forma tal que se potencialice el rendimiento de los mismos y por consecuencia la calidad del producto a ser elaborado.

Se hace imprescindible mantener las dimensiones de cálculo del ángulo de separación, potencia de $\frac{1}{2}$ hp a 1750 rpm y correa de tipo A de tal manera que se garantice el correcto funcionamiento

del molino de rodillos y de esta forma se logre incrementar la trituración de quinua.

Los elementos que componen el molino de rodillos está constituido de tolvas de entrada y salida, motor eléctrico, rodillos trituradores, bocín de apoyo, chumaceras, definidos en un ciclo determinado, generando movimiento por los rodillos los cuales son impulsados por correas.

Es necesario considerar la alta calidad en los elementos que componen el molino tales como tolvas de entrada y salida, motor eléctrico, rodillos trituradores, bocín de apoyo, chumaceras dado que a partir de los mismos se garantiza la seguridad de uso del molino, así como una productividad efectiva y una larga vida útil del molino.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] O. Ramos, Diseño y construcción de un molino triturador de bagazo de caña para la industria de producción de champiñones con capacidad de 600 kilos por hora, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2016.
- [2] F. Ramos y K. Vega, Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de guayusa con una capacidad de 6.5 Quintales por hora, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [3] D. Bermeo, Diseño y construcción de un molino de martillos triturados de granos para granjas avícolas, Latacunga: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, 2014.
- [4] I. Cuadrado y J. Rueda, Diseño y construcción de un molino de martillos, Quito: Universidad San Francisco de Quito, 2009.
- [5] SINAGAP - MAGAP, «Unidad de Almacenamiento Empresa Pública,» de *UNA-EP*, Quito, 2019.
- [6] M. Loubes, Molienda seca y húmeda de arroz en molino planetario. Cinética de la molienda, efecto de las condiciones de molienda en las propiedades funcionales de la harina y del almidón y diseño de mezclas para pastas sin gluten, Buenos Aires: UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES, 2015.
- [7] SIMBIOSIS, «Todo lo que debes saber sobre las harinas,» 12 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.cooperativasimbiosis.com/harinas/#:~:text=La%20molienda%20del%20trigo%20consiste,el%20m%C3%ADnimo%20contenido%20de%20salvado..> [Último acceso: 13 Junio 2020].
- [8] A. Cruz, ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA PROCESADORA DE MAÍZ BLANCO PELADO Y SUS DERIVADOS EN EL CANTÓN SAN JOSÉ DE CHIMBO - PROVINCIA DE BOLÍVAR, Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2015.

- [9] D. Rueda y G. Sánchez, Diseño y construcción de una máquina para acondicionamiento final de chocolate, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [10] R. Mott, Diseño de lementos de máquinas, Naucalpan: PEARSON EDUCACIÓN, 2006.
- [11] C. Salas, Diseño de un molino de rodillos para molienda de granos, destinado al área de alimentos del CESTTA - ESPOCH, Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2012.
- [12] B. Caroiz, «Molinos de Rodillos,» 18 Noviembre 2014. [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/BessyCaroiz/molinos-de-rodillos#:~:text=MOLINOS%20DE%20RODILLO%20Los%20molinos,misma%20dir%20ecci%C3%B3n%20a%20distinta%20velocidad..> [Último acceso: 7 Junio 2020].
- [13] S. Soro, Diseño y cálculo de un reductor de velocidades de engranajes cilíndricos de dientes helicoidales, para un polipasto de uso industrial, con dos hipótesis de cálculo, según el sentido de giro del motor, Valencia: Universitat Politècnica de Valencia, 2016.
- [14] M. Balcazar y J. Guamba, Diseño de un triturador de cacao, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [15] G. Mielles, Diseño de un Procesador para harina de arroz, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2016.
- [16] D. César, Planificación del Mantenimiento de un Molino de Rodillos en una Industria dedicada la Fabricación de Carbonato de Estroncio, Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2013.
- [17] J. Cervantes, «Ingeniería del proceso, enfocada a molienda y peletizado,» 12 Enero 2016. [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/balanceados/articulos/ingenieria-proceso-enfocada-molienda-t33071.htm>. [Último acceso: 7 Junio 2020].
- [18] NTE INEN 3042, HARINA DE QUINUA. REQUISITOS, Quito, 2015.

- [19] M. Mamani, EFECTO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD SOBRE EL COEFICIENTE DE FRICCIÓN ESTÁTICO Y ÁNGULO DE REPOSO DE CUATRO VARIEDADES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) CULTIVADA EN PUNO, Puno: UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, 2015.
- [20] B. Romero, Elaboración y caracterización de una harina de maíz, zoya y zanahoria para la elaboración de una sopa instantánea, Bogotá: UNIVERSIDAD DE LA SALLE , 2006.
- [21] Martin, Transmisiones Sincrónicas, 2018.
- [22] T. Moreira, Diseño de un sistema mecánico de dos etapas, desencapsulador y descascarado de semilla Sacha Inchi, Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2016.
- [23] SKF, Rodamientos Y unidades de rodamientos SKF energéticamente eficientes, EEUU: Grupo SKF 2015, 2015.
- [24] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México D.F.: McGraw-Hill, 2008.
- [25] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- [26] L. Ibarra, Trituración de granos, Quito: Universidad Central del Ecuador, 2018.
- [27] Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, «HIBRIDO INIAP H-553,» INIAP, Quevedo, 2017.
- [28] J. Flores, El maíz ya está listo para la cosecha, Quito: Océano, 2017, p. 6.

ANEXOS

Anexo I Diseño de planos del molino triturador de rodillos



Figura 4. 9 Plano estructura bancada

El gráfico anterior representa de forma detallada la estructura bancada la cual servirá de soporte al molino, para su planificación se tomaron en cuenta las indicaciones, pautas y medidas estándar que permiten un funcionamiento efectivo del molino sin riesgo para sus operadores, es importante señalar que la misma se elaborará con materiales de alta resistencia y calidad.

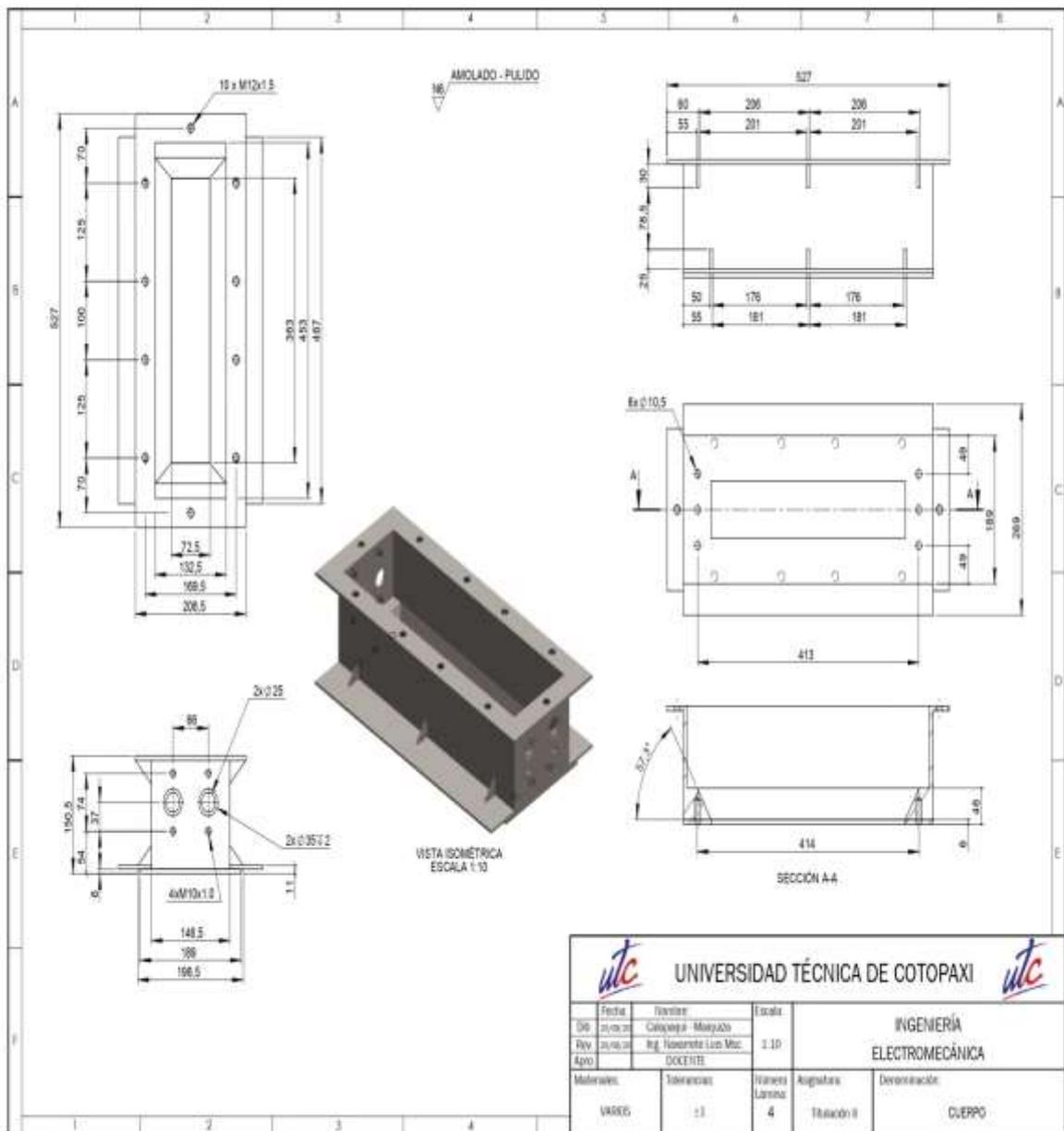


Figura 4. 10 Plano cuerpo

En el plano se puede observar de forma detallada el cuerpo del molino, el cual se elaboró tomándose en cuenta los estándares de calidad considerados para este tipo de maquinaria, para su construcción se proyecta el uso de materiales de elevada calidad y resistencia que garanticen un uso efectivo de la maquinaria.

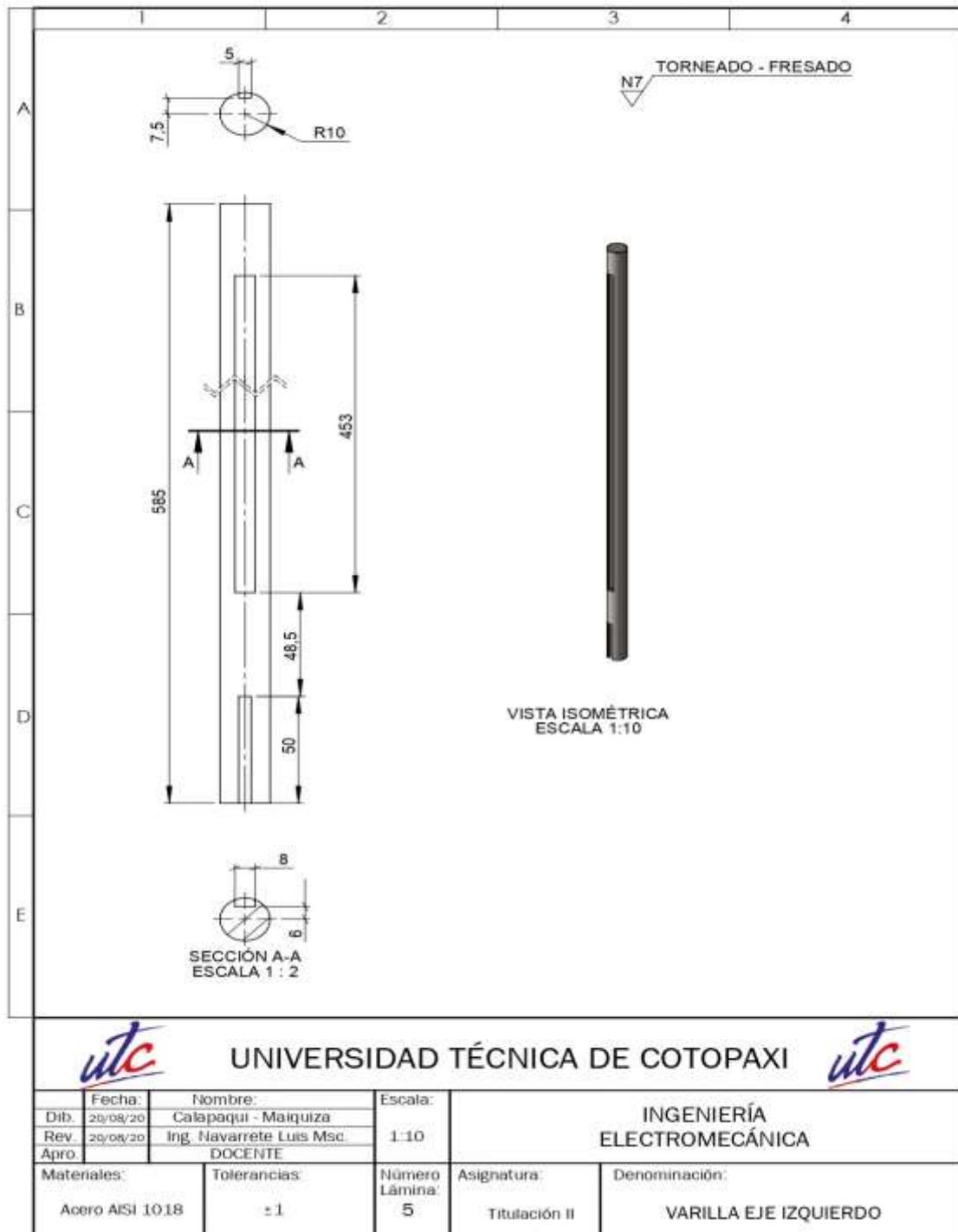


Figura 4. 11 Plano varilla eje izquierdo

La varilla del eje izquierdo queda plasmada de forma detallada en el plano anterior estableciéndose los parámetros y pautas a ser observados en su diseño, de forma tal que se garantice una funcionalidad plena de la maquinaria y al mismo tiempo el cumplimiento de los estándares de seguridad dados para este tipo de elementos.

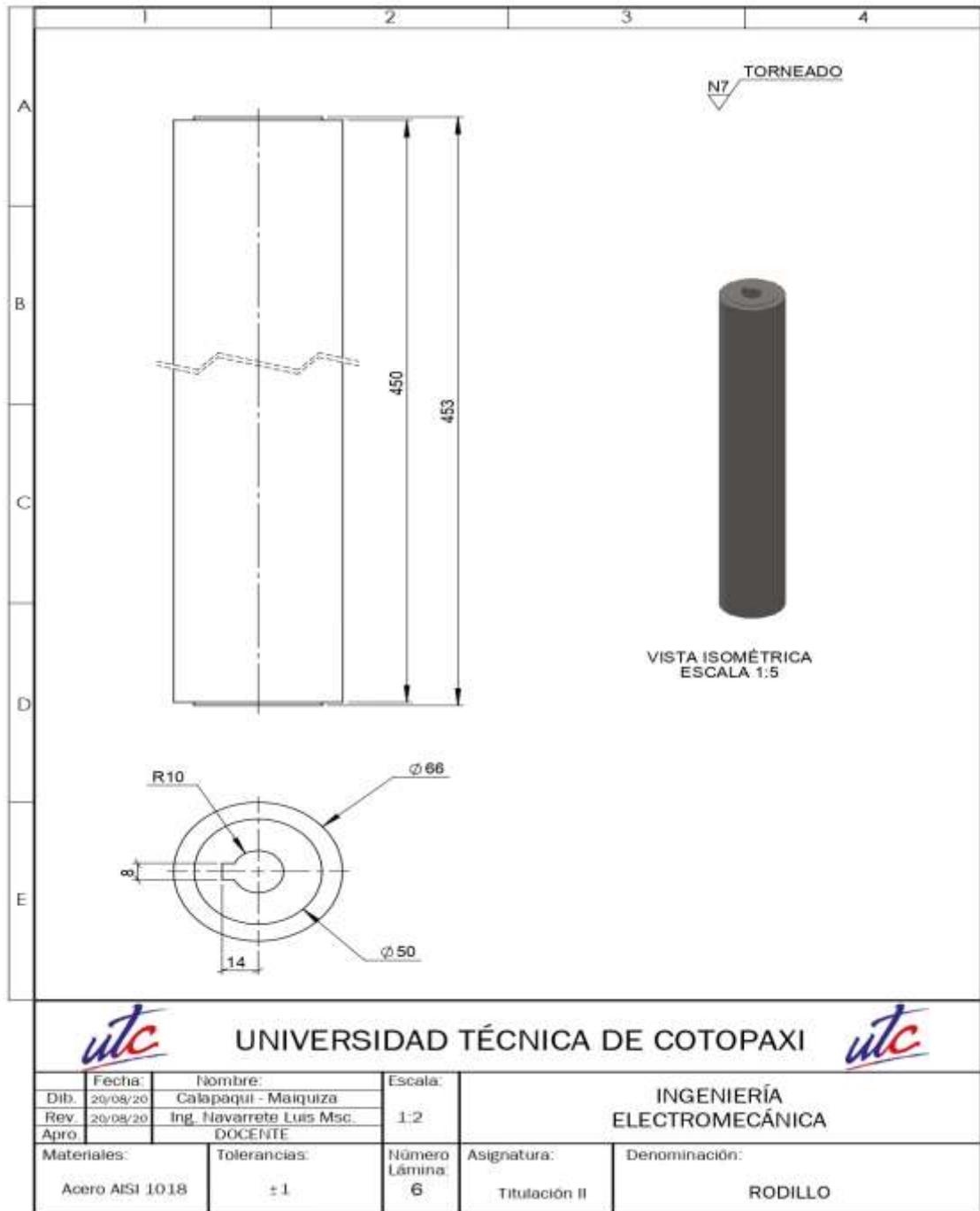


Figura 4. 12 Plano rodillo

El plano detalla las medidas y características del rodillo del molino prestándose una meticulosa atención a su diseño debido a que se revela como uno de los principales componentes del molino, de ahí que los parámetros a ser observados deban ser rigurosamente seguidos tomando en cuenta que es uno de los elementos de la maquinaria que sufrirá mayor desgaste por el uso.

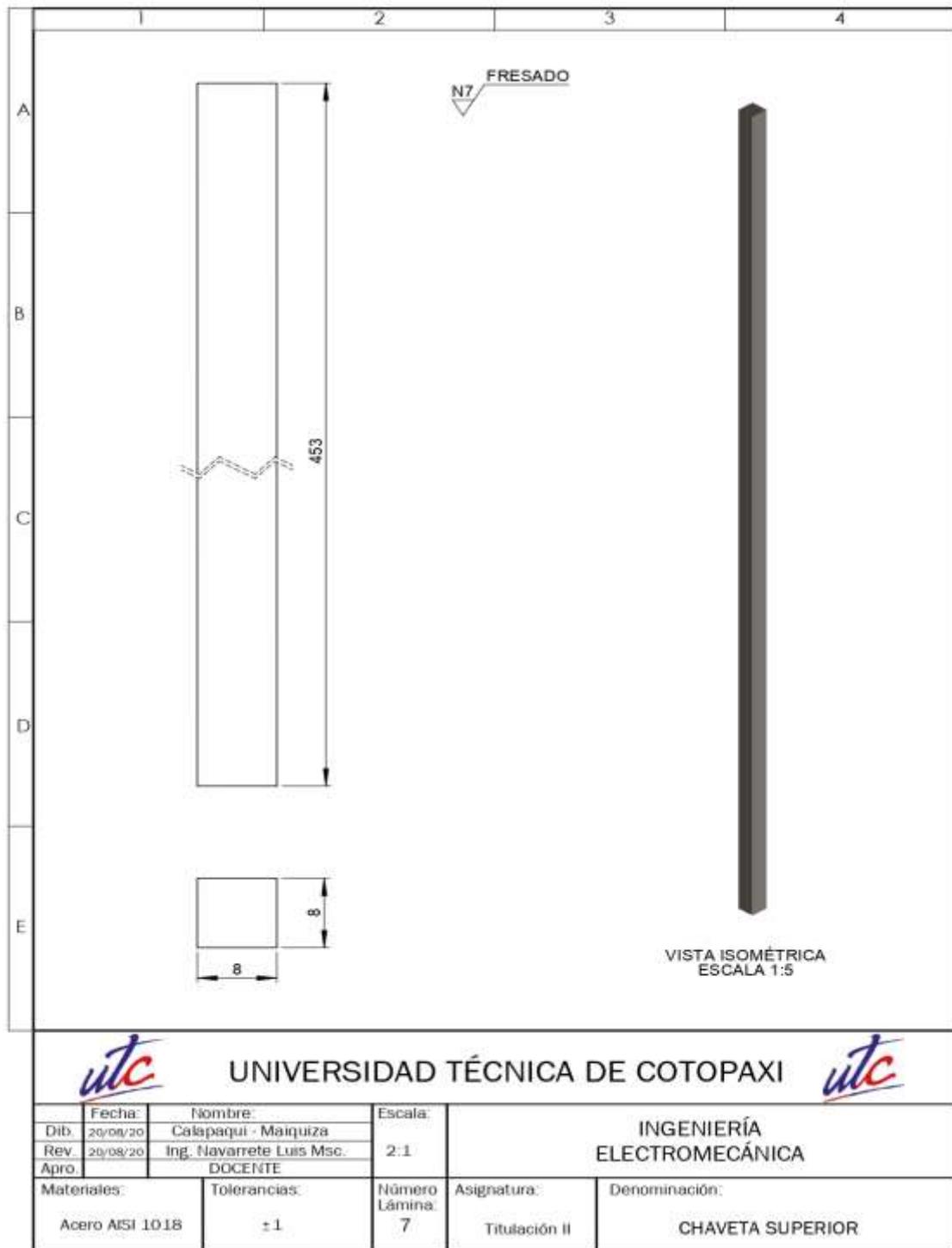


Figura 4. 13 Plano chaveta superior

Se detalla en el plano la chaveta superior considerando para su diseño los requerimientos demandados en particular para el tipo de maquinaria a ser diseñada, es importante tomar en cuenta que dicho elemento será elaborado con materiales de elevada resistencia y calidad.

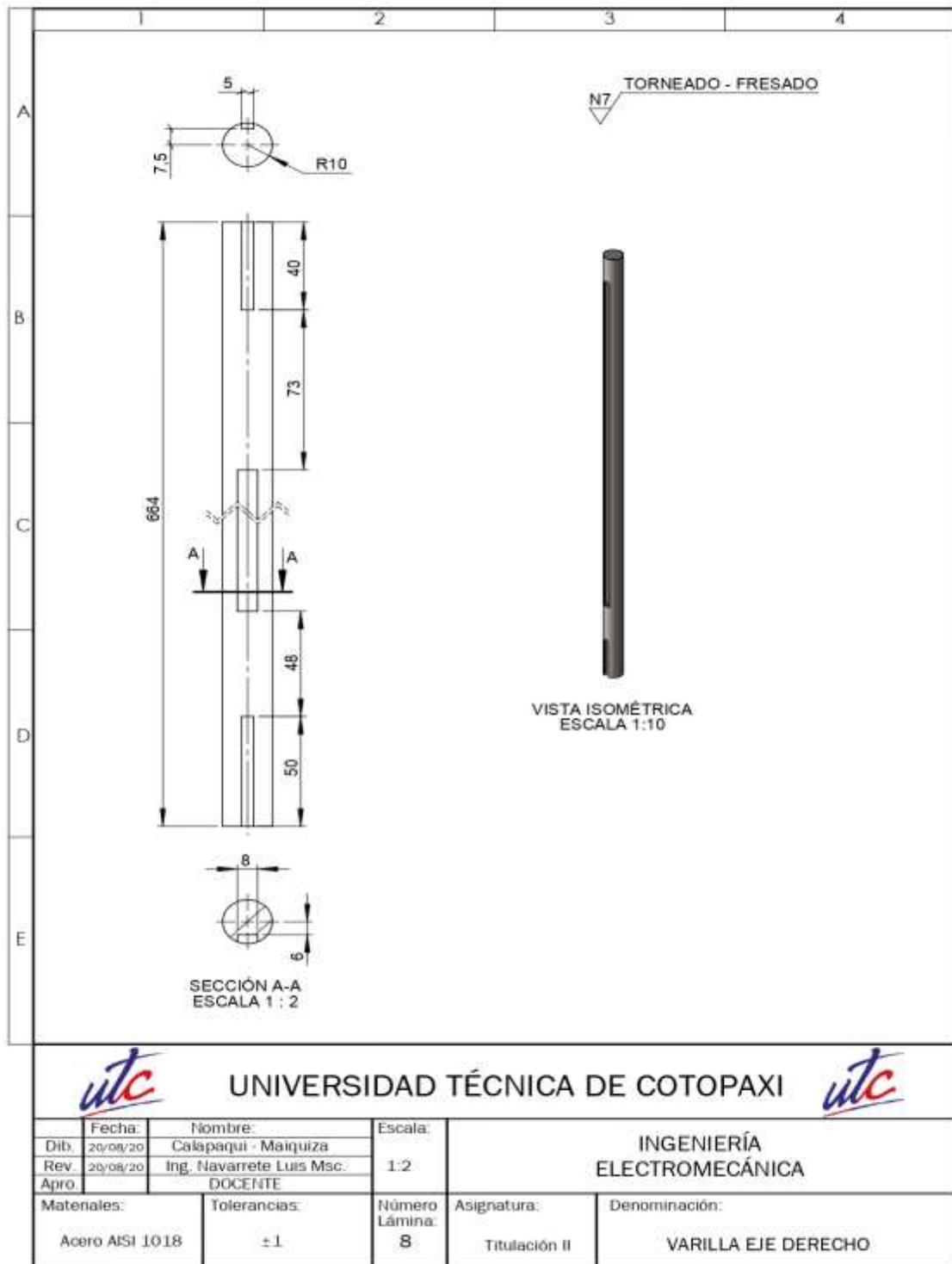


Figura 4. 14 Plano varilla eje derecho

La varilla del eje derecho queda detallada en el plano especificando sus dimensiones de forma tal que sea plenamente concordante su fabricación con el resto de elementos que componen el molino.

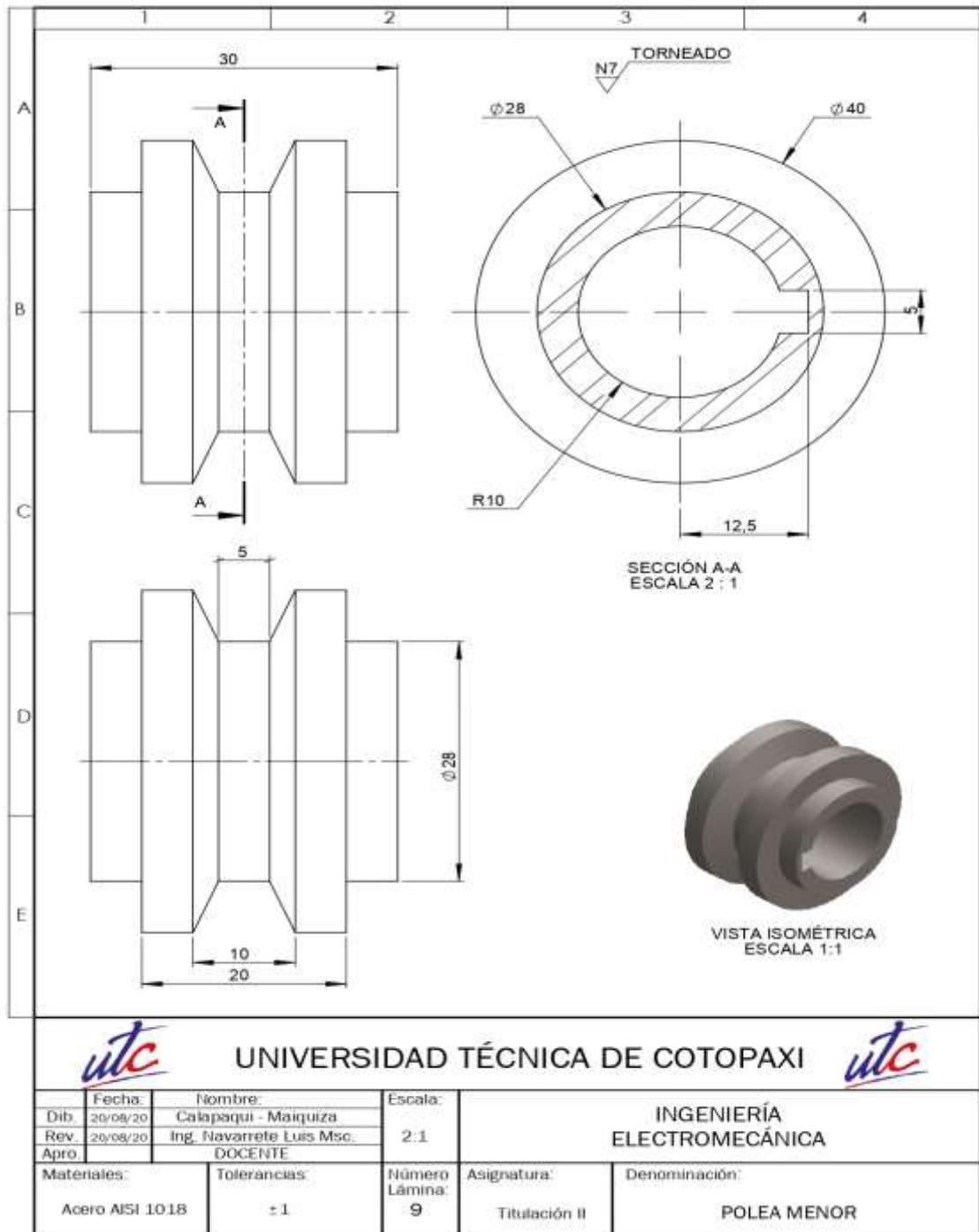


Figura 4. 15 Plano polea menor

Las dimensiones de la polea menor se especifican con claridad en el plano expuesto tomando en cuenta los detalles a ser observados en su planificación con la finalidad de garantizar su plena utilidad y concordancia con el resto de elementos utilizados en la construcción del molino.

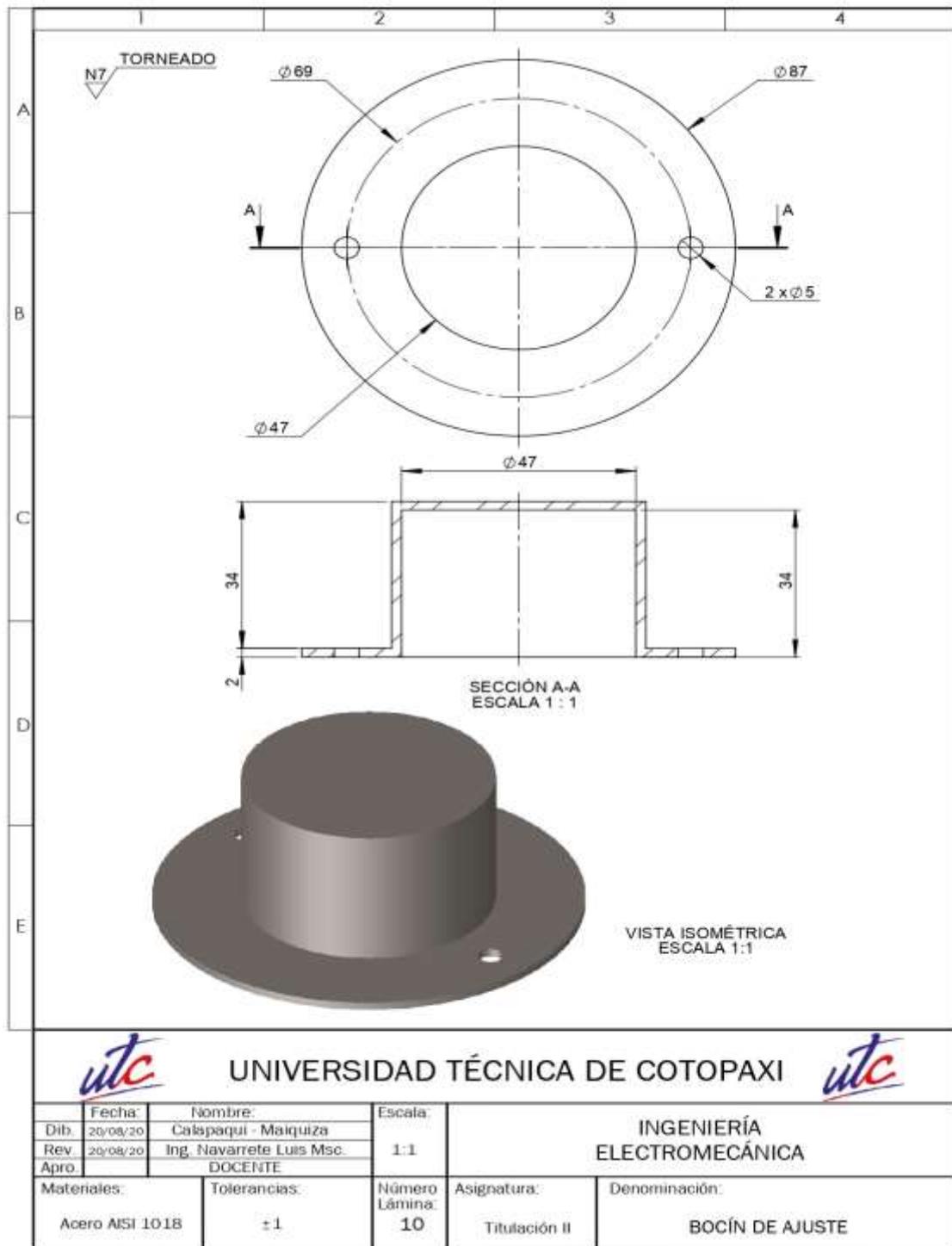


Figura 4. 16 Plano bocín de ajuste

El bocín de ajuste se plasma a detalle en el plano expuesto tomando en consideración las dimensiones a ser observadas con la finalidad de garantizar que el elemento cumpla con las medidas de seguridad proyectadas en la construcción del molino.

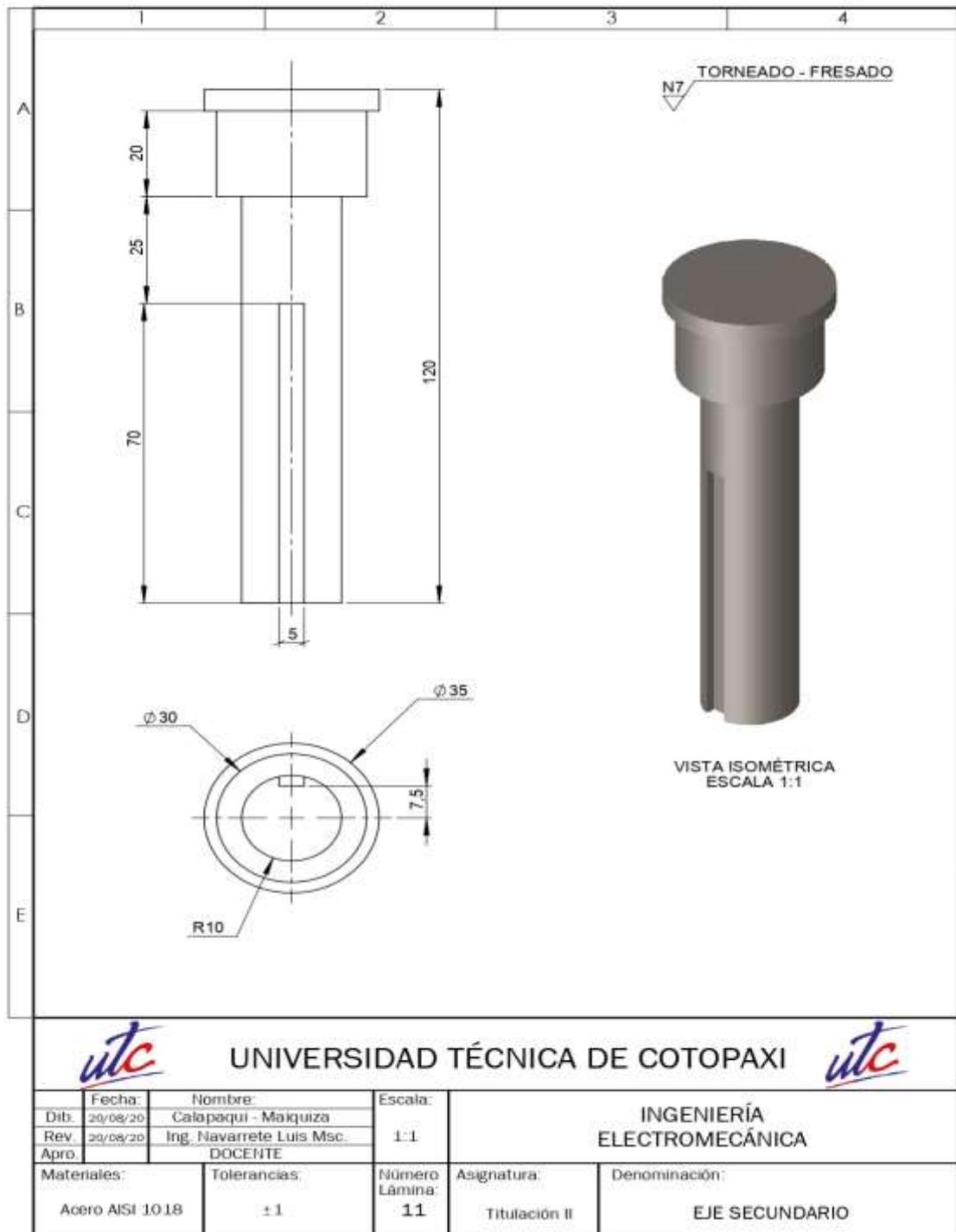


Figura 4. 17 Plano eje secundario

El eje secundario queda expuesto en el plano de tal manera que pueden ser observados con detenimiento las medidas y especificaciones tomadas en cuenta para su elaboración, asegurando de esta forma su correspondencia con el resto de elementos que componen la maquinaria.

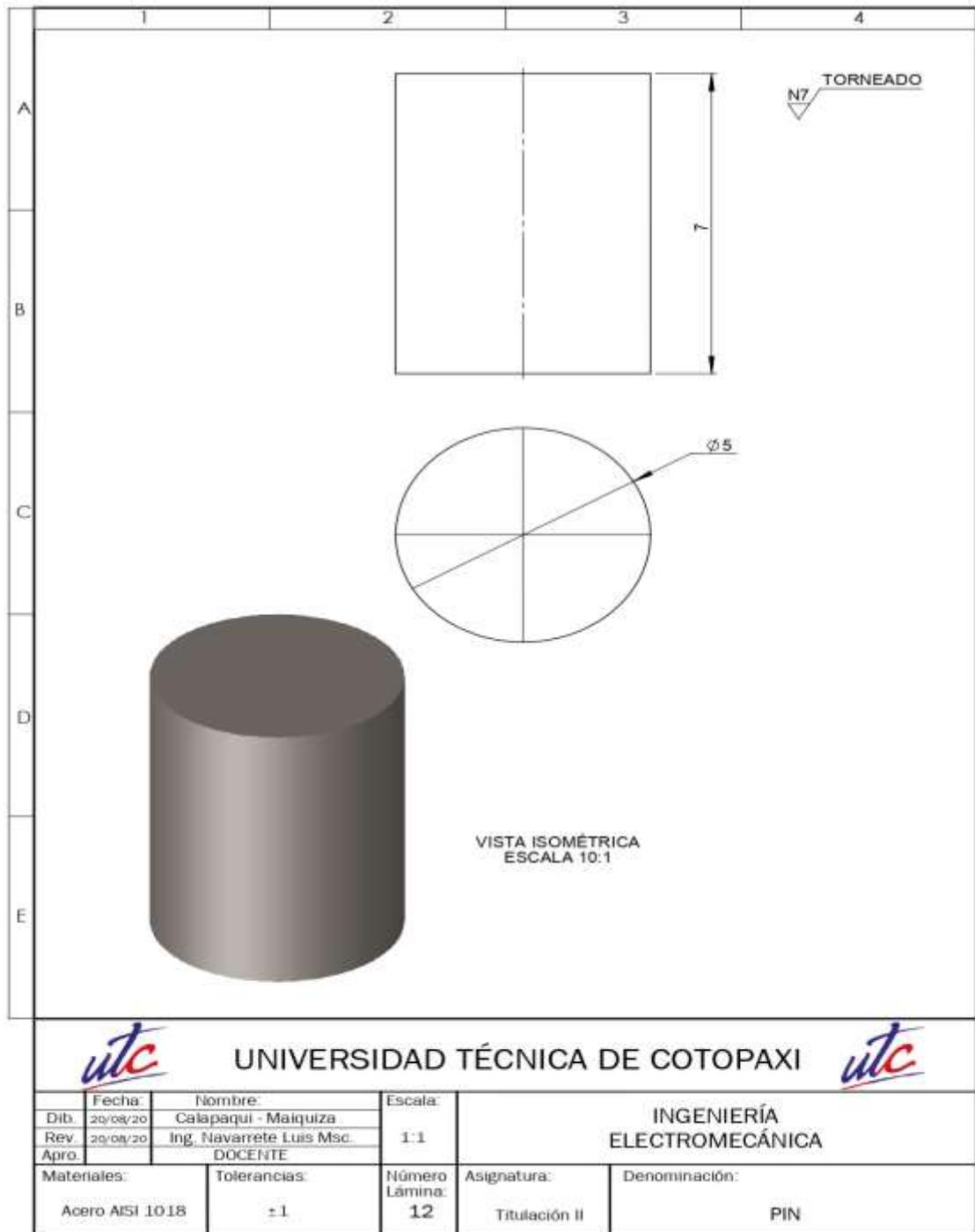


Figura 4. 18 Plano PIN

El pin a ser utilizado en la elaboración del molino se plasma en el plano quedando detalladas las medidas, especificaciones y pautas a ser tomadas en cuenta para garantizar una elaboración efectiva del mismo de forma tal que se logre un elemento con calidad y en concordancia con el resto de partes de la maquinaria.

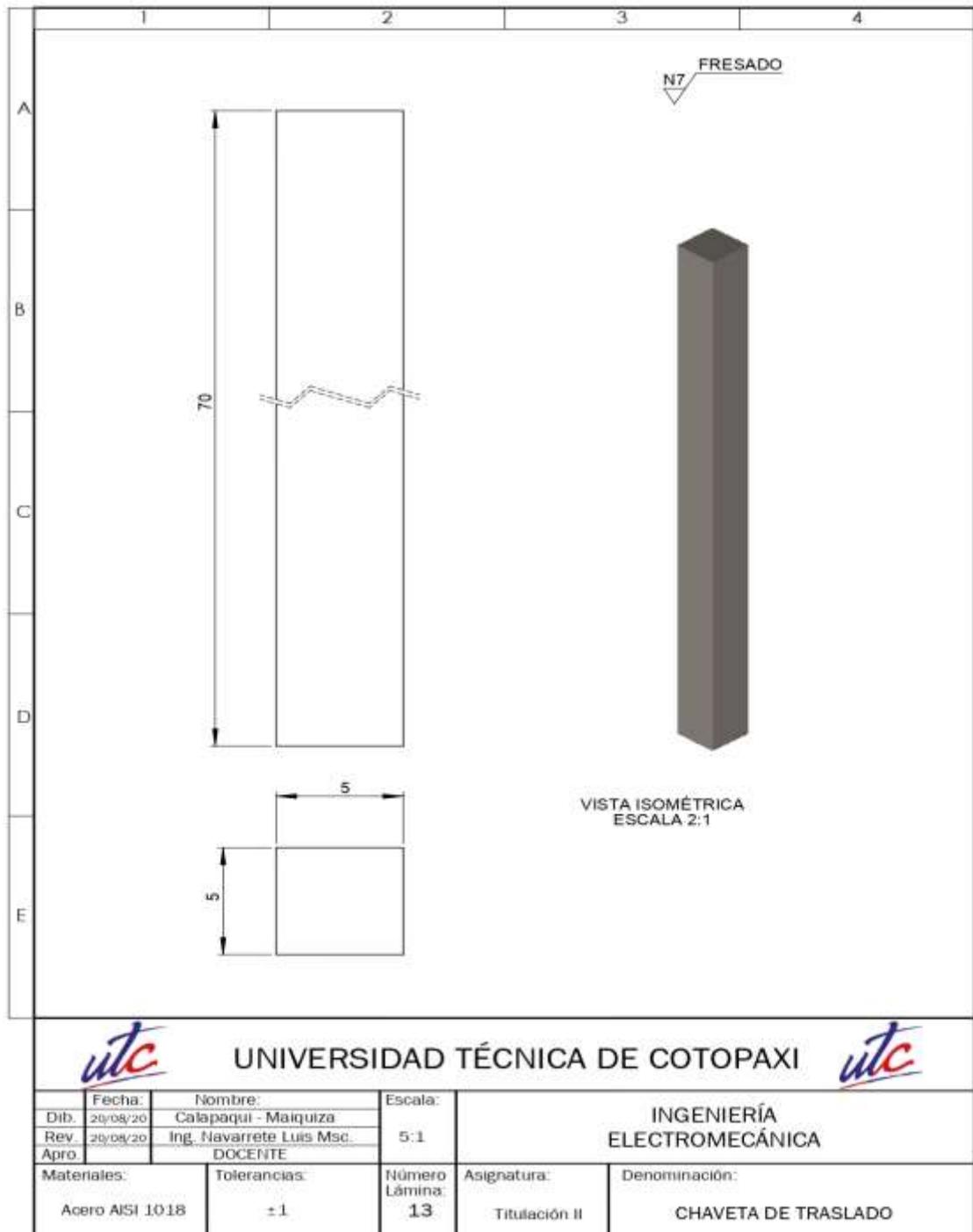


Figura 4. 19 Plano chaveta de traslado

El plano muestra la chaveta de traslado detallando sus medidas, especificaciones y características, es importante destacar que este componente juega un papel de vital importancia en el funcionamiento del molino.

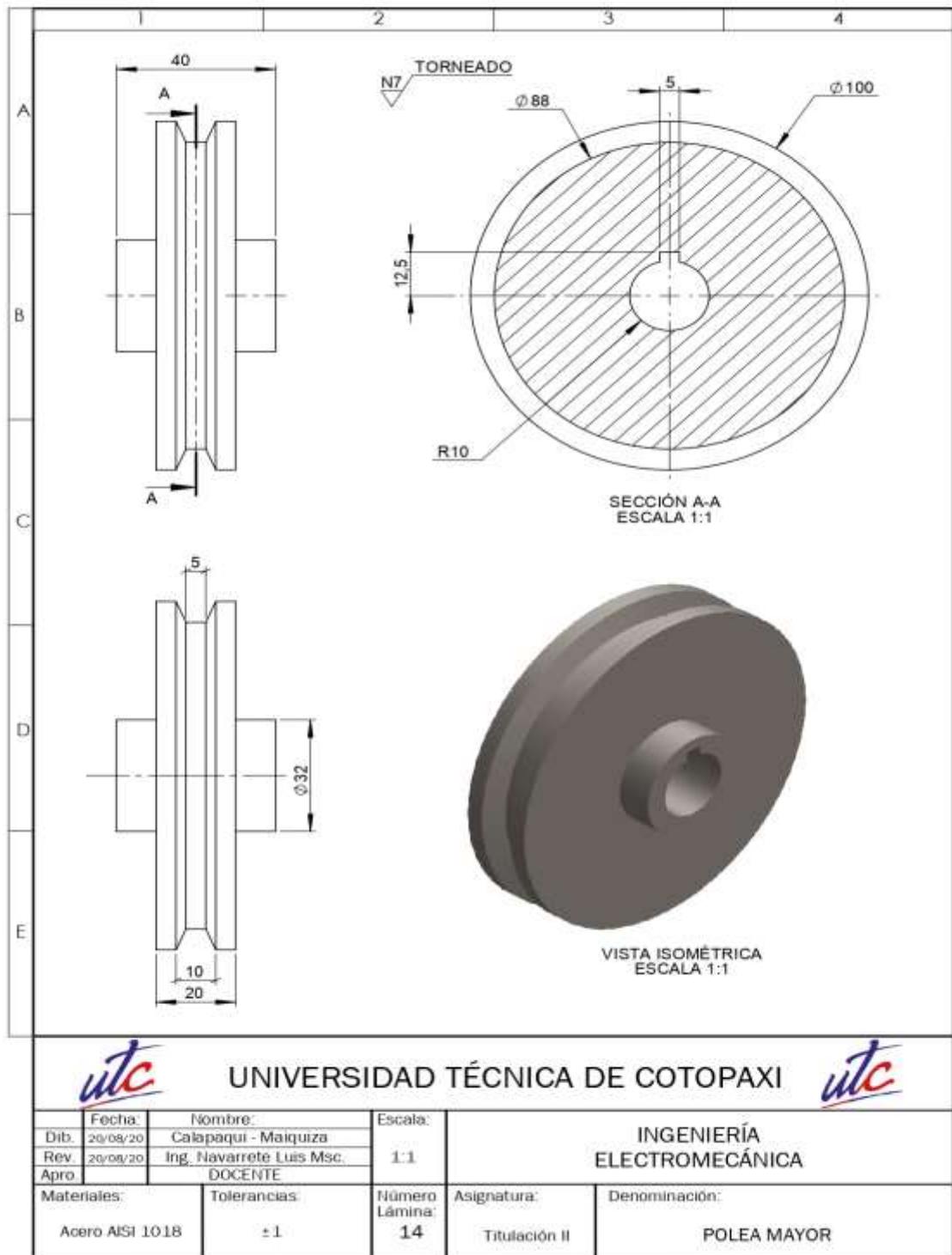


Figura 4. 20 Plano polea mayor

La polea mayor se detalla en el plano, observándose en el mismo con claridad las medidas proyectadas para su elaboración garantizando con su cumplimiento el funcionamiento efectivo del molino.



Figura 4. 21 Plano polea media

La polea media queda detallada en el plano tomando en cuenta para su elaboración las medidas proyectadas en la construcción del molino, siendo importante destacar la importancia de dicho elemento para el funcionamiento del molino.



Figura 4. 22 Plano engranaje

El engranaje se especifica en el plano considerando los parámetros de seguridad necesarios que permitan un correcto funcionamiento de la misma considerando la frecuencia de explotación a la que será sometida.

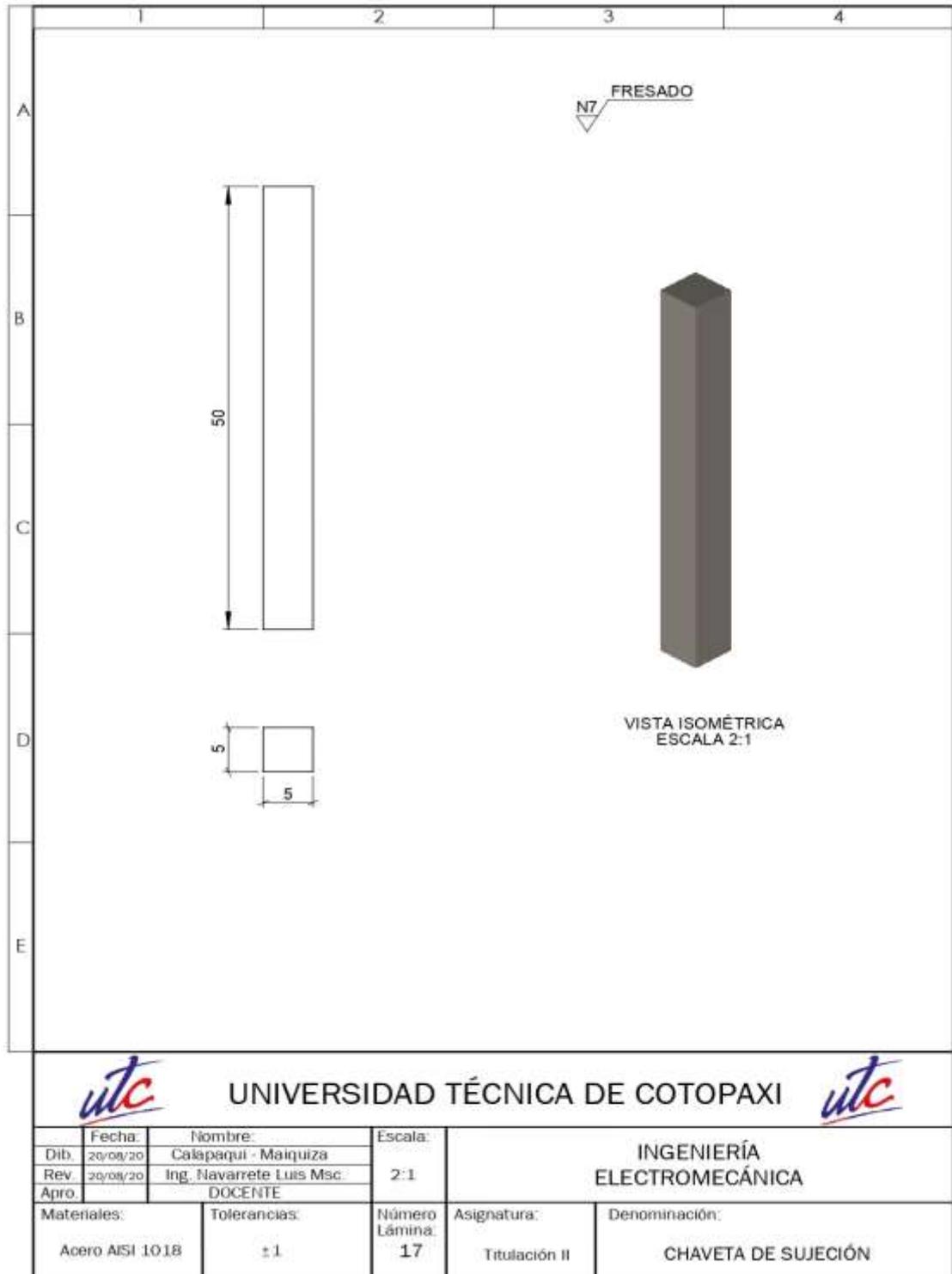


Figura 4. 23 Plano chaveta de sujeción

La chaveta de sujeción queda expuesta en el plano, estableciéndose las dimensiones, características y detalles a ser observados en su construcción de forma tal que se garantice un elemento plenamente en concordancia con el resto de partes que componen el molino.



Figura 4. 24 Plano bocín de apoyo

Las dimensiones y características del bocín de apoyo se establecen en el plano detallando la importancia de dicho elemento para un correcto funcionamiento y explotación del molino.

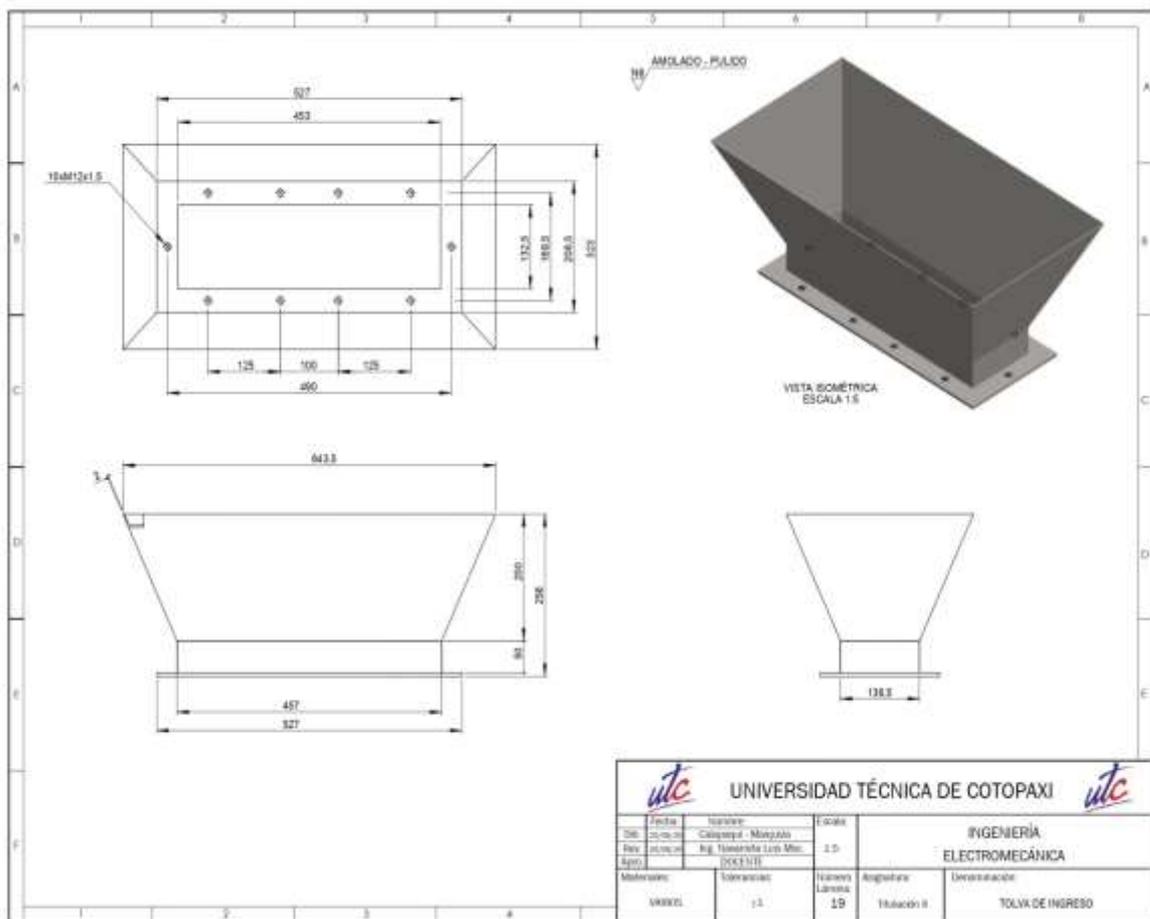


Figura 4. 25 Plano tolva de ingreso

Las dimensiones a ser observadas en la tolva de ingreso se establecen en el plano, debe destacarse que este elemento debe poseer medidas que se ajusten a la actividad que será sometido el molino de forma tal que pueda garantizarse un uso óptimo del mismo.

El diseño se basa en la cantidad de quinua que puede caber en el silo en una configuración, con el tamaño del silo para adaptarse al resto de la máquina, pero no muy largo y puede proporcionar una capacidad de un quintal. El ancho se define según el cuerpo y el largo según el diseño estético correspondiente.

$$A_{base} = 353 * 200 = 706cm^2$$

$$V1 = 706cm^2 * 1,5 cm = 1059cm^2$$

$$V2 = 706cm^2 * 13,75 cm = \frac{9707.5cm^3}{2} = 4853.75cm^3$$

$$V_{total} = 5912. cm^3$$

$$V_{1\text{grano}} = 10 * 7 * 5 = 320\text{mm}^3 = 0.32\text{cm}^3$$

0.32cm^3 (Volumen de grano promedio)

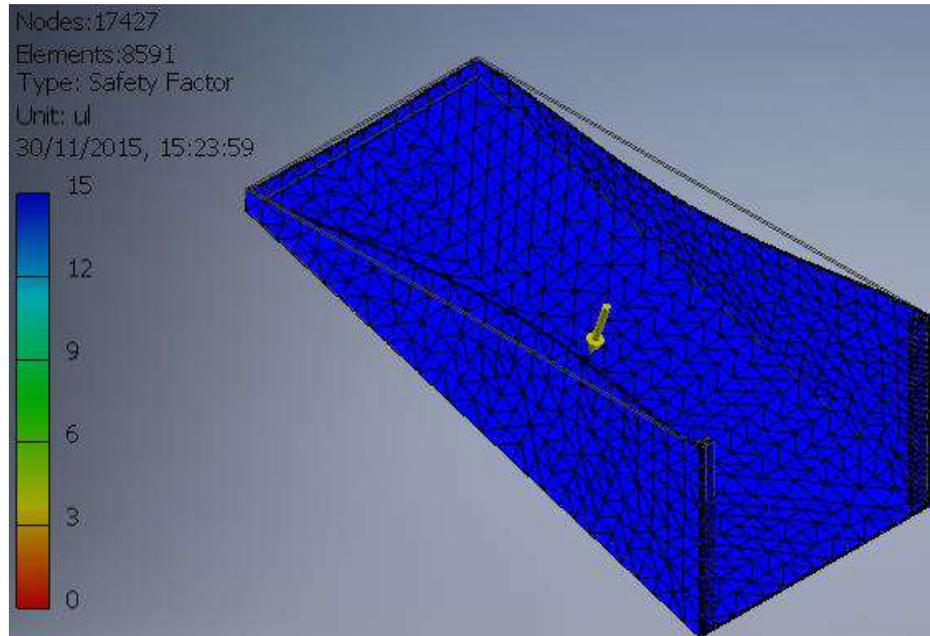


Figura 4. 26 Factor de seguridad adecuado para la tolva de entrada

De acuerdo con el análisis ese determina que el coeficiente de seguridad no posee ninguna deformación o falla.

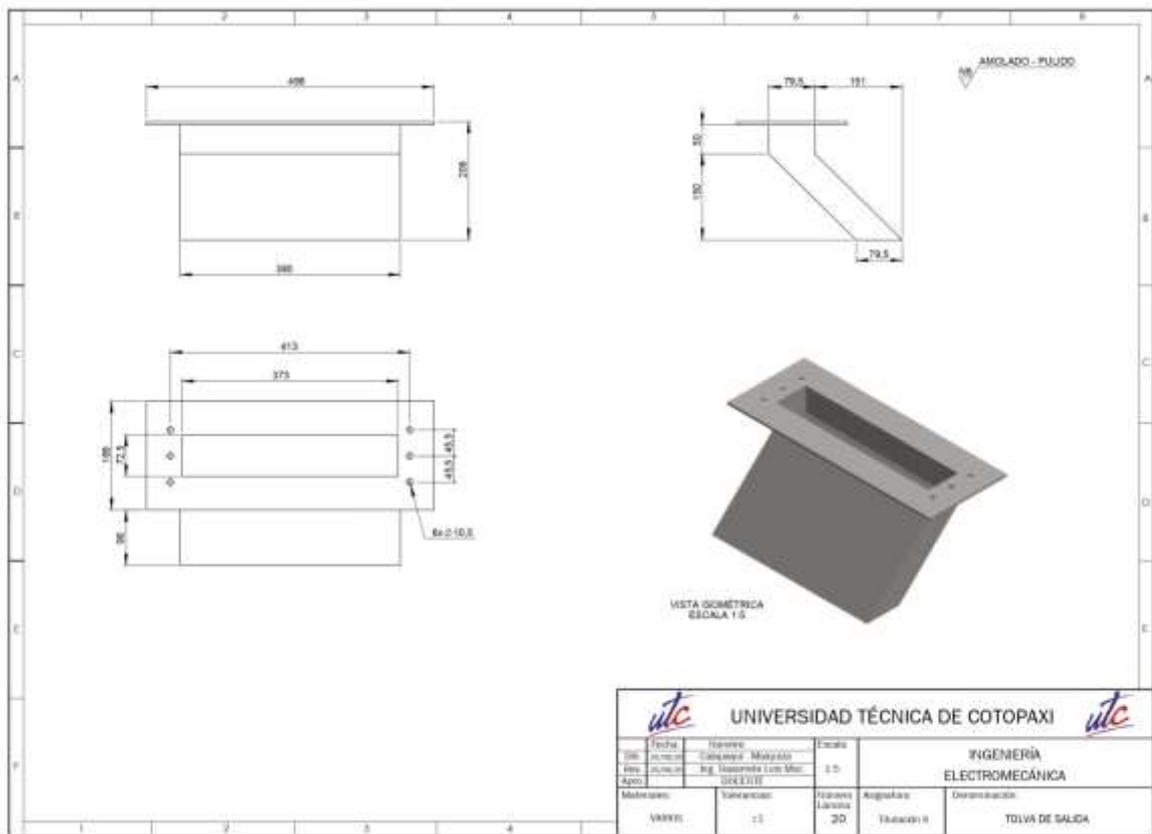


Figura 4. 27 Plano tolva de salida

El diseño de la tolva viene determinado por la carga que tiene que soportar y el número de pernos con los que deberá fijarla a la estructura. La carga consiste en el peso de la carcasa superior, la tolva superior llena con quinua, el peso propio de la tolva de descarga y una cierta cantidad de quinua que ha entrado previamente en la cámara de trituración. El peso total que soportará es 1 quintal de datos, que se obtuvo de la suma de los pesos.

Las dimensiones de la tolva de salida se establecen en el plano destacándose que este elemento debe poseer una amplitud suficiente como para garantizar la salida de los elementos procesados por el molino de tal manera que no exista posibilidad de atasco de los mismos y por consecuencia rupturas o mal funcionamiento del equipo.

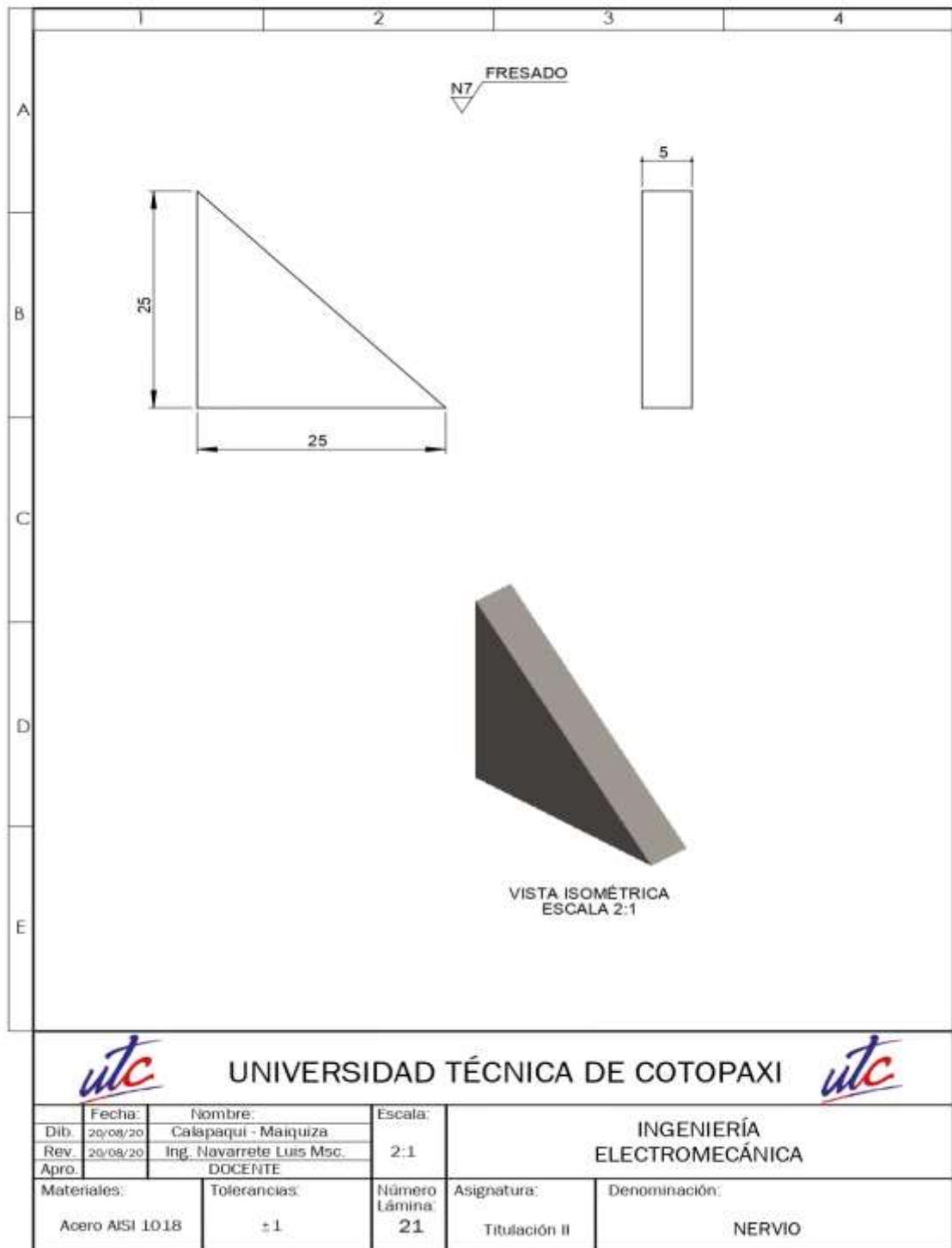


Figura 4. 28 Plano nervio

Las dimensiones del nervio se establecen en el plano, especificándose la importancia de dicho elemento y por ende la necesidad de ser consecuentes con su elaboración a partir de las observaciones aportadas.

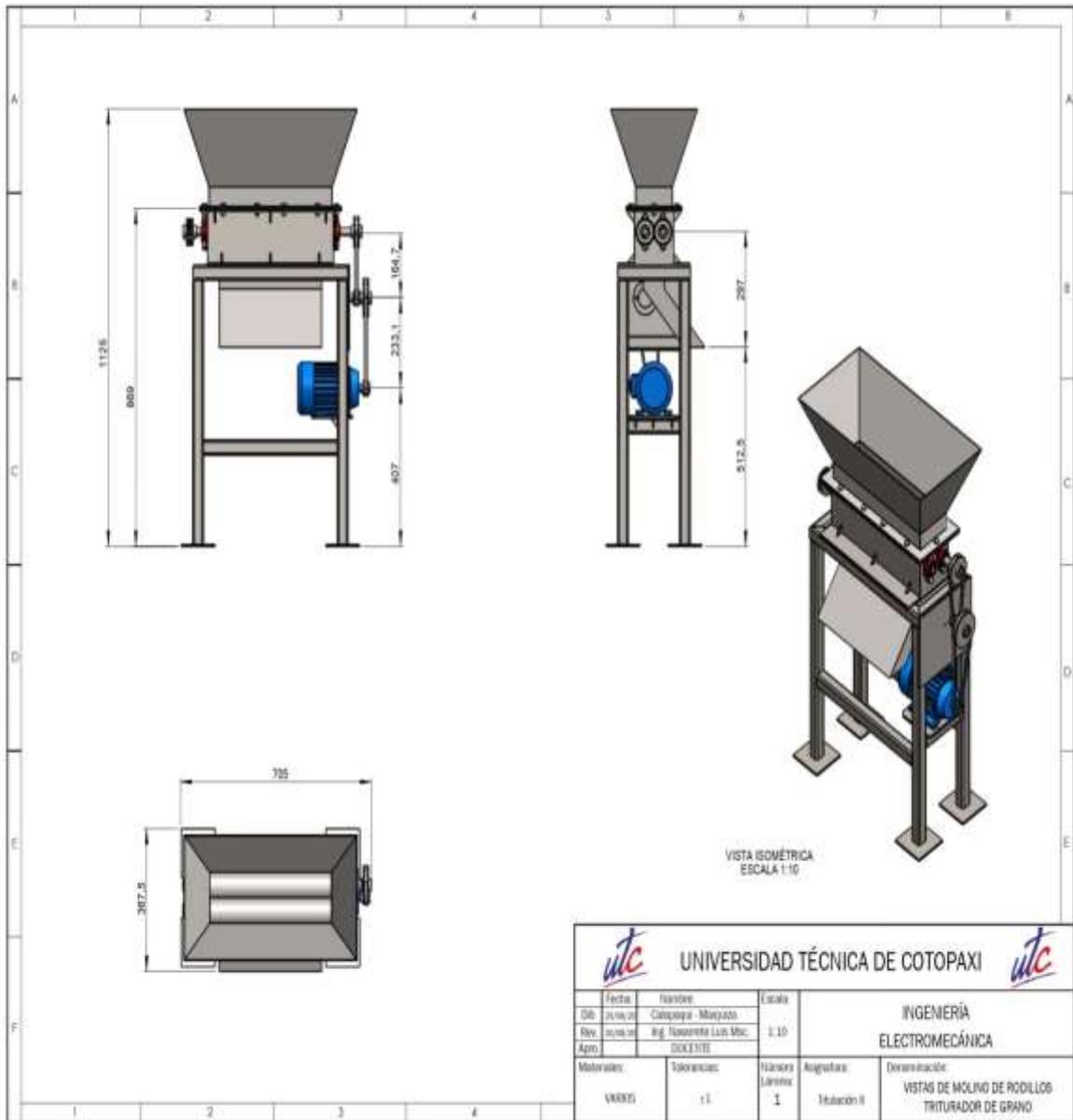


Figura 4. 29 Plano Molino armado

El plano detalla las dimensiones, especificaciones y características del molino, permitiendo de esta forma ilustrar con exactitud los parámetros a ser observados para su elaboración.

Anexo II Validación por el método de elementos finitos FEM

En la siguiente sección se valida el diseño elaborado por el método de elementos finitos, el cual se da mediante el empleo de un software

Validación por el método de elementos finitos del conjunto eje - rodillo derecho

El resultado del análisis por el método de elementos finitos del eje del rodillo derecho es:

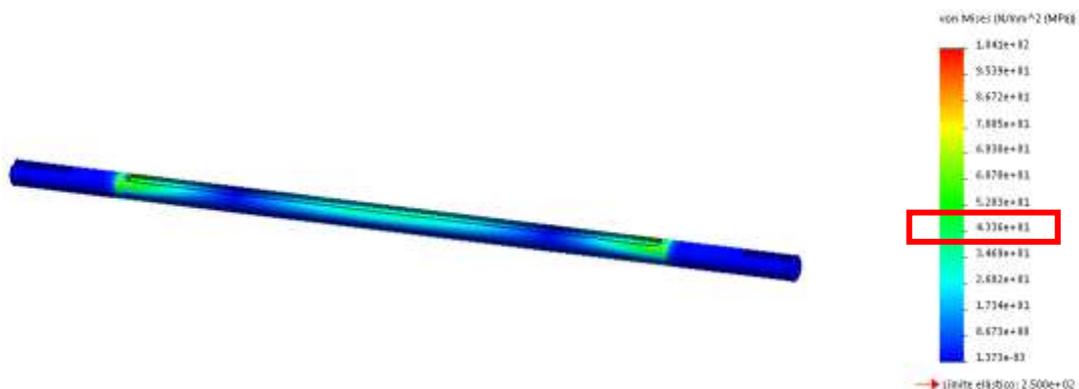


Eje del rodillo derecho

Pág. 3-4

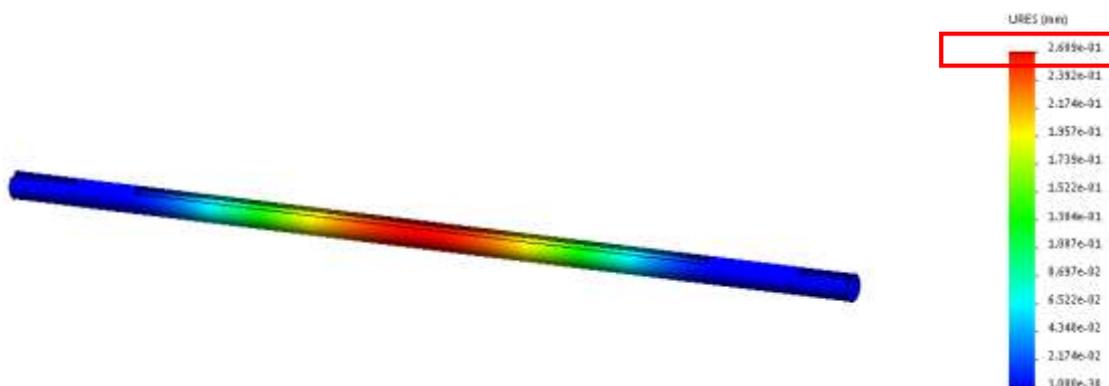
Análisis de Tensiones

Los resultados del análisis de tensiones, en función de la carga delimitadas en la Tabla 5.3, da un valor promedio de esfuerzo de 43.36 MPa y mediante la escala de colores en las zonas extremas y media del eje, da un color celeste y verde, el cual da como aceptable.



Análisis de desplazamiento

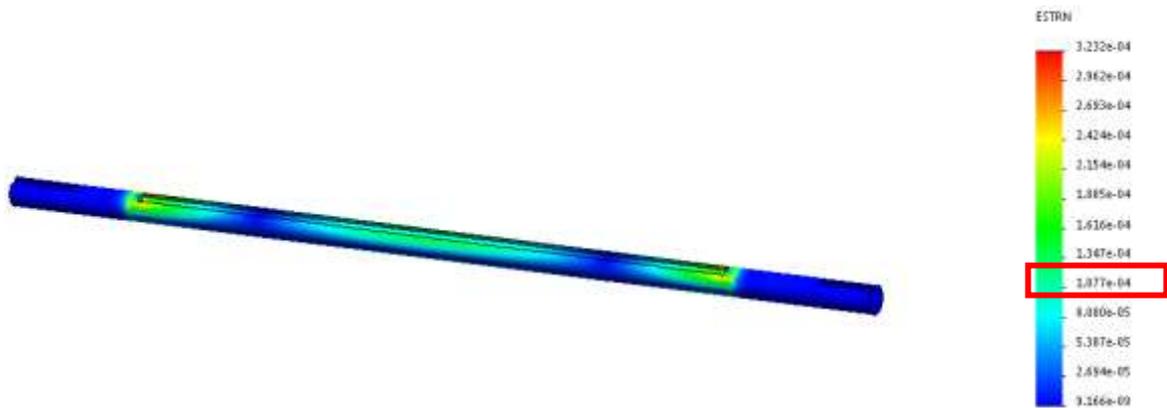
En función del análisis de desplazamientos, genera una deformación máxima de 0.2609 mm, en la parte central del eje del rodillo, dando como válido por ser un valor mínimo despreciable.





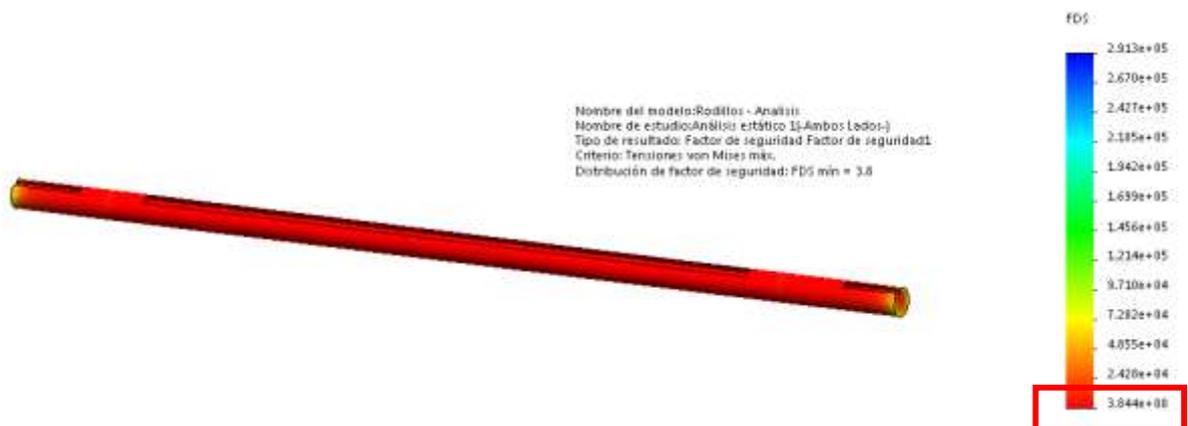
Análisis de Deformaciones Unitarias

En el análisis de deformaciones unitarias, da un valor promedio de 0.0001347 y mediante la escala de colores en las zonas extremas y media del eje, da un color entre celeste y verde, el cual da como aceptable.



Análisis del Factor de Seguridad

En el análisis del Factor de Seguridad (FDS), da una respuesta aceptable, porque el valor mínimo que da es de 3.8, el cual según Robert Mott sugiere que sea empleado, para el diseño de elementos de máquinas, con una incertidumbre máxima eficiente.



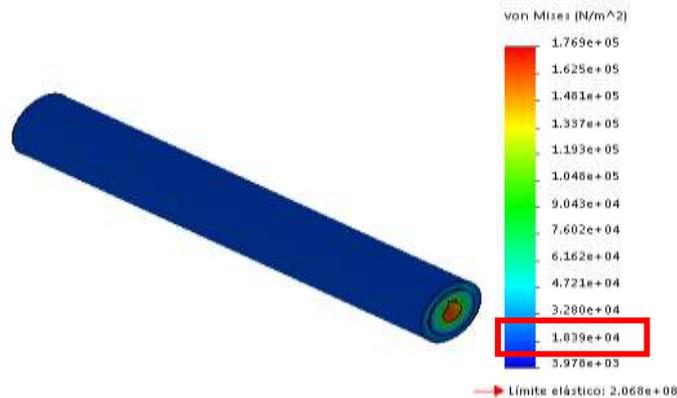


Rodillo

Pág. 3-4

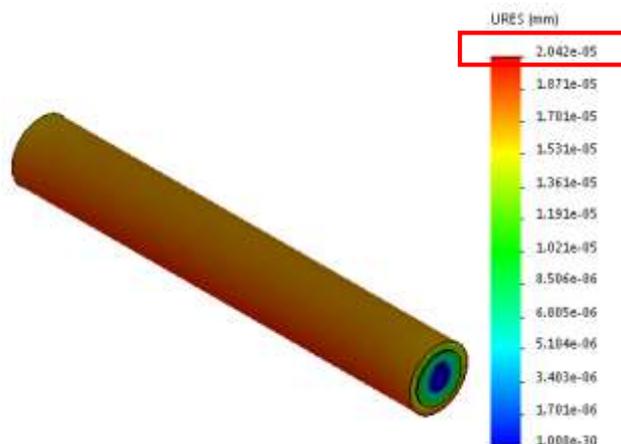
Análisis de Tensiones

Los resultados del análisis de tensiones, en función de las cargas delimitadas en el Anexo VIII, da un valor promedio de esfuerzo de 0.01839 MPa y mediante la escala de colores a lo largo del rodillo, da un color combinado entre celeste y azul, el cual da como aceptable.



Análisis de desplazamiento

En el análisis de desplazamientos, da una deformación máxima de 0.00002042 mm, a lo largo del rodillo, dando como válido por ser un valor mínimo despreciable.



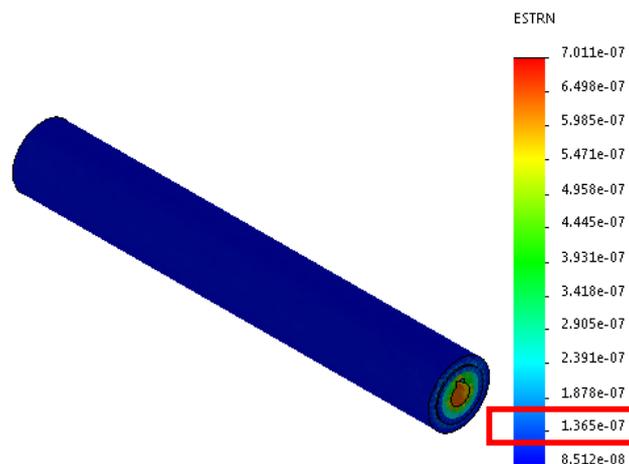


Rodillo

Pág. 4-4

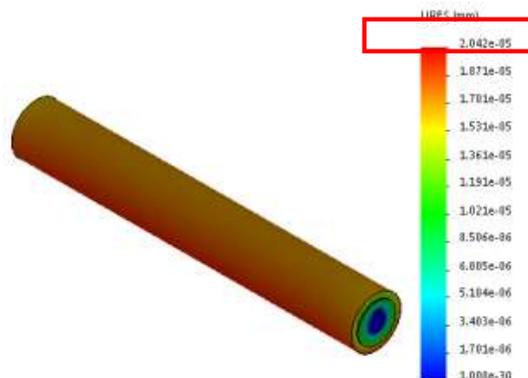
Análisis de Deformaciones Unitarias

En el análisis de deformaciones unitarias, da un valor promedio de 0.00000008512 a lo largo del rodillo, da un color azulado, el cual da como aceptable.



Análisis del Factor de Seguridad

En el análisis del Factor de Seguridad (FDS), da una respuesta aceptable, porque el valor mínimo que da es de 12, en la zona que está en contacto con los ejes, el cual según Robert Mott sugiere que sea empleado, para el diseño de elementos de máquinas, con una incertidumbre máxima eficiente.



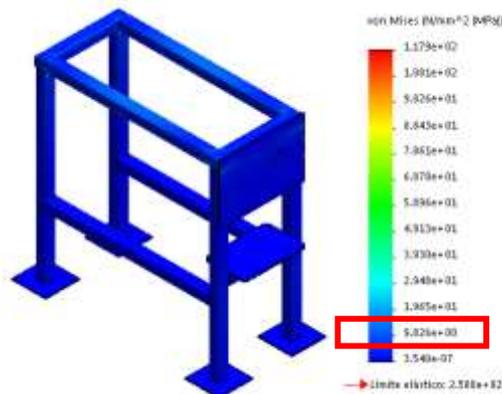


Estructura bancada

Pág. 3-4

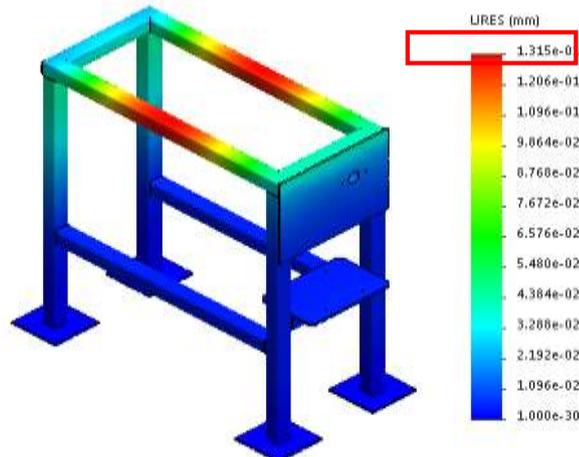
Análisis de Tensiones

En el análisis de tensiones, da un valor promedio de 9.826 MPa y mediante la escala de colores en los parantes superiores, en la zona central, en mayor rango da un color combinado entre azul y celeste, el cual da como aceptable.



Análisis de desplazamiento

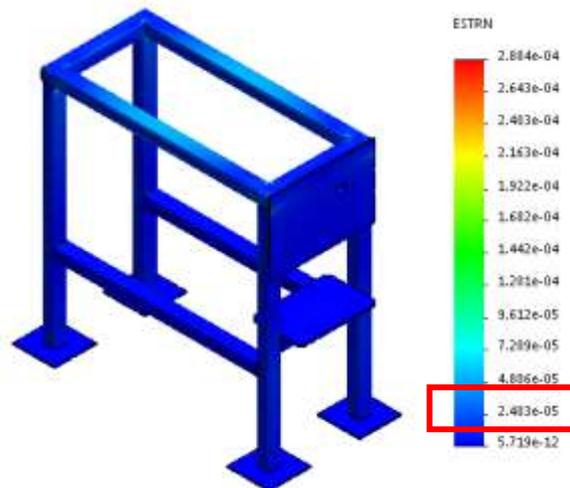
En el análisis de desplazamientos, da una deformación máxima de 0.1315 mm, en los parantes superiores, en la zona central, dando como valido por ser un valor mínimo el cual puede ser despreciable.





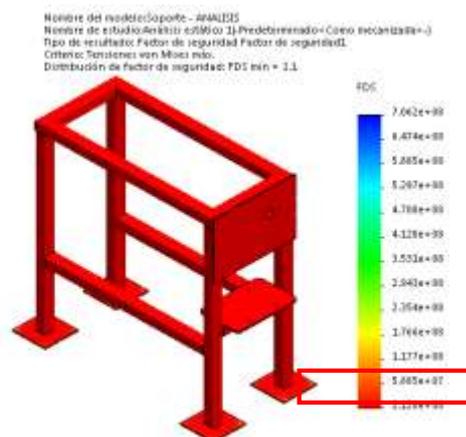
Análisis de Deformaciones Unitarias

En el análisis de deformaciones unitarias, da un valor promedio de 0.00002403 y mediante la escala de colores en los parantes superiores, en la zona central, color combinado entre azul y celeste, el cual da como aceptable



Análisis del Factor de Seguridad

En el análisis del Factor de Seguridad (FDS), es aceptable, por dar un valor mínimo de 2.1, el cual según Robert Mott sugiere que sea empleado, para el diseño de estructuras estáticas, con alto grado de confiabilidad.



Anexo III Acero de transmisión AISI 1018

Acero AISI 1018 (Transmisión)

EQUIVALENCIAS:	
BOHLER:	1018
IBCA:	1018
UDDEHOLM:	--
DIN:	C18
No. Mat.	1.0401

Tipo de aleación:					
C 0.20	Si 0.19	Mn 0.40	Cr -	Mo -	Ni - %
Estado de suministro: Trefilado (pulido) h11					



PROPIEDADES – APLICACIONES

Acero al carbono de mediana resistencia mecánica, buena ductilidad, fácil mecanizado y excelente soldabilidad.

Para la fabricación de partes de maquinaria sometida a bajos esfuerzos como: ejes, pines, bocines, pernos grado 2, tuercas, cuñas, remaches, arandelas y muchas aplicaciones más.

TRATAMIENTO TERMICO	
Normalizado:	910-930°C
Recocido:	860-880°C
Temple:	840-870°C
Dureza	255 HB
Revenido:	150-230°C

PROPIEDADES MECANICAS		
Diámetro mm	Sy (N/mm ²)	Sut (N/mm ²)
-	370	440

Anexo IV Acero Inoxidable AISI 420

Información sobre el Material

[Compra Acero Inoxidable - AISI 420 on-line](#)

Los productos estándar están disponibles en estas formas



Hilo



Hoja



Plancha



Polvo



Vara

Elija una forma de buscar en nuestro catálogo on-line

Select

Propiedades Eléctricas

Resistividad Eléctrica (μOhmcm)	55
Coefficiente de Temperatura (K^{-1})	-

Propiedades Físicas

Densidad (g cm^{-3})	7,8
Punto de Fusión (C)	1450

Propiedades Mecánicas

Alargamiento (%)	>12
Módulo de Elasticidad (GPa)	200
Resistencia a la Tracción (MPa)	860

Anexo V Tubo estructural para la bancada

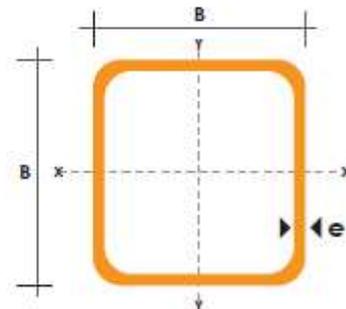
TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales

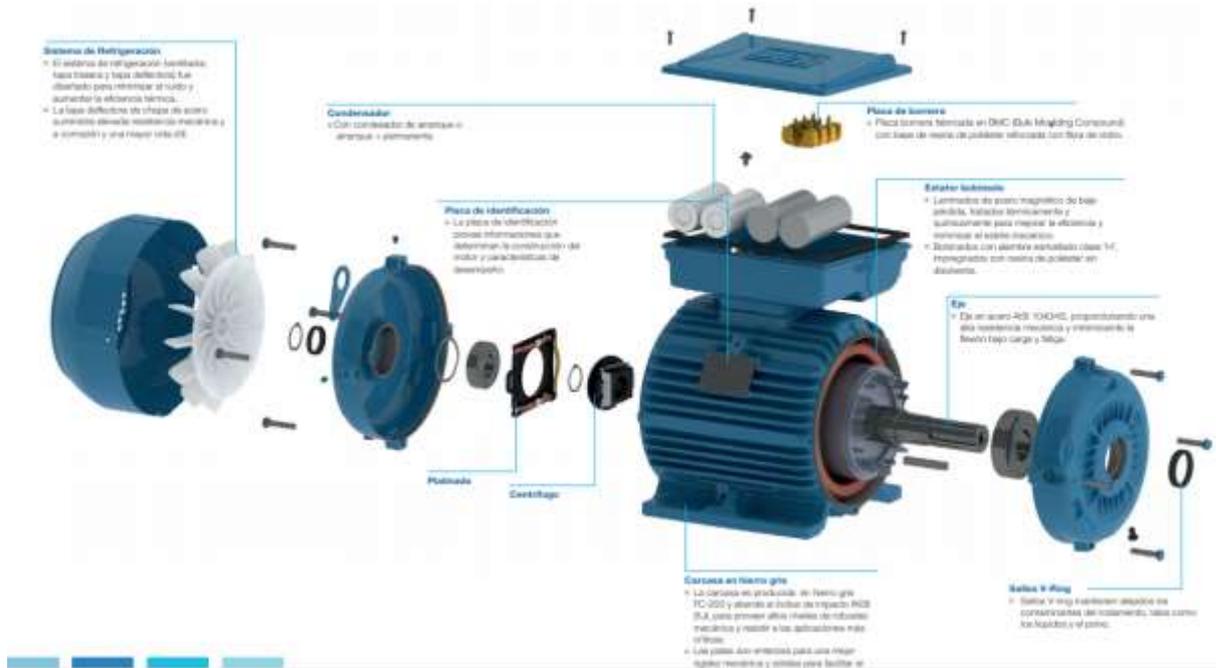
Norma	ASTM A-500
Recubrimiento	Negro o galvanizado
Largo normal	6 mts.
Otros largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 20mm a 100mm
Espesor	Desde 2,0mm a 3,0mm



DIMENSIONES			AREA	EJES X-Xe Y-Y		
A mm	ESPESOR mm	PESO Kg/m	AREA cm ²	I cm ⁴	W cm ³	i cm
20	1,2	0,72	0,90	0,53	0,53	0,77
20	1,5	0,88	1,05	0,58	0,58	0,74
20	2,0	1,15	1,34	0,69	0,69	0,72
25	1,2	0,90	1,14	1,08	0,87	0,97
25	1,5	1,12	1,35	1,21	0,97	0,95
25	2,0	1,47	1,74	1,48	1,18	0,92
30	1,2	1,09	1,38	1,91	1,28	1,18
30	1,5	1,35	1,65	2,19	1,46	1,15
30	2,0	1,78	2,14	2,71	1,81	1,13
40	1,2	1,47	1,80	4,38	2,19	1,25
40	1,5	1,82	2,25	5,48	2,74	1,56
40	2,0	2,41	2,94	6,93	3,46	1,54
40	3,0	3,54	4,44	10,20	5,10	1,52
50	1,5	2,29	2,85	11,06	4,42	1,97
50	2,0	3,03	3,74	14,13	5,65	1,94
50	3,0	4,48	5,61	21,20	8,48	1,91
60	2,0	3,66	3,74	21,26	7,09	2,39
60	3,0	5,42	6,61	35,06	11,69	2,34
75	2,0	4,52	5,74	50,47	13,46	2,97
75	3,0	6,71	8,41	71,54	19,08	2,92
75	4,0	8,59	10,95	89,98	24,00	2,87
100	2,0	6,17	7,74	122,99	24,60	3,99
100	3,0	9,17	11,41	176,95	35,39	3,94
100	4,0	12,13	14,95	226,09	45,22	3,89
100	5,0	14,40	18,36	270,57	54,11	3,84



Anexo VI Motor WEG



W22 Monofásico - Con condensador de arranque o arranque y permanente - 60 Hz

Potencia		Carcasa	Par nominal Tn (kgfm)	Corriente con rotor trabado I/Tn	Par con rotor trabado Tn/Tn	Par Máximo Tb/Tn	Momento de inercia J (kgm²)	Tiempo máximo con rotor trabado (s)	Peso (kg)	Nivel de ruido dB (A)	RPM	% de la potencia nominal						Corriente nominal In (A)	
KW	HP											Rendimiento			Factor de potencia			220 V	440 V
												50	75	100	50	75	100		
II Poles																			
0,12	0,16	63	0,034	5,9	2,0	2,9	0,0002	6	10,0	50	3490	35,8	44,4	49,9	0,52	0,60	0,68	1,61	0,804
0,18	0,25	63	0,050	6,1	2,2	2,8	0,0003	6	10,7	50	3490	42,3	50,8	55,8	0,51	0,61	0,69	2,12	1,06
0,25	0,33	63	0,071	4,6	2,4	2,4	0,0002	6	10,7	50	3440	48,0	55,6	59,0	0,51	0,62	0,72	2,68	1,34
0,37	0,5	71	0,102	7,2	2	3,1	0,0005	7	13,0	60	3520	51,7	59,9	64,2	0,50	0,61	0,72	3,64	1,82
0,55	0,75	80	0,152	7,7	2,1	3	0,0008	10	16,5	65	3525	60,7	69,8	72,8	0,77	0,85	0,91	3,78	1,89
0,75	1	80	0,208	7,0	2,3	2,7	0,0009	9	17,5	65	3520	60,0	68,0	71,0	0,75	0,83	0,88	5,46	2,73
1,1	1,5	90S	0,303	9,1	2,1	2,9	0,0020	9	24,0	69	3535	70,8	77,2	78,8	0,77	0,85	0,89	7,04	3,52
1,5	2	90L	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,81	0,87	0,90	9,76	4,88
2,2	3	100L	0,608	8,7	2,3	3	0,0064	9	37,0	72	3525	72,7	79,2	81,8	0,92	0,95	0,98	12,5	6,25
3	4	112M	0,830	8,0	2,6	2,5	0,0081	6	45,0	72	3520	76,4	81,6	82,1	0,91	0,94	0,95	17,5	8,74
3,7	5	112M	1,02	8,0	2,6	2,5	0,0091	6	47,0	72	3525	80,0	82,3	83,4	0,91	0,96	0,97	20,8	10,4
5,5	7,5	132S	1,52	8,5	2,8	2,9	0,0234	5	69,0	72	3515	73,7	79,7	82,4	0,92	0,95	0,96	31,6	15,8
7,5	10	132M	2,07	8,0	2,2	3,1	0,0223	8	70,0	72	3525	79,9	82,4	83,9	0,83	0,90	0,94	43,2	21,6
9,2	12,5	132M	2,55	8,8	1,9	3	0,0285	7	79,0	72	3515	85,0	87,5	88,3	0,94	0,96	0,97	48,8	24,4
11	15	132M/L	3,04	8,5	2,2	3,5	0,0339	6	92,0	72	3530	83,7	87,2	88,5	0,89	0,94	0,95	59,4	29,7
Carcasas opcionales																			
1,5	2	90S	0,415	8,4	2,1	2,7	0,0022	8	25,0	69	3520	68,4	74,9	77,7	0,81	0,87	0,90	9,76	4,88
2,2	3	90L	0,612	7,5	2	2,1	0,0026	7	27,5	69	3500	72,0	77,0	78,5	0,94	0,95	0,96	13,3	6,63
IV Poles																			
0,12	0,16	63	0,068	5,0	2,3	2,0	0,0007	7	9,8	47	1730	32,5	40,0	44,2	0,50	0,58	0,66	1,87	0,935
0,18	0,25	71	0,101	5,0	2,8	2,1	0,0008	15	12,7	55	1730	49,6	55,2	60,4	0,43	0,51	0,61	2,22	1,11
0,25	0,33	71	0,141	5,0	2,6	2,2	0,0009	18	13,2	55	1725	45,1	51,0	56,2	0,46	0,53	0,64	3,16	1,58
0,37	0,5	80	0,207	6,8	2,1	2,5	0,0030	10	17,8	55	1740	51,7	61,0	66,1	0,76	0,83	0,85	2,89	1,45
0,55	0,75	80	0,308	5,8	2,1	2,2	0,0034	9	18,5	55	1740	54,0	63,5	68,0	0,71	0,81	0,87	4,23	2,12
0,75	1	90S	0,414	8,5	2,3	2,4	0,0055	7	24,0	58	1765	55,8	65,1	70,3	0,82	0,87	0,91	5,32	2,66
1,1	1,5	90L	0,607	9,5	2	2,3	0,0069	6	28,0	58	1765	61,0	69,5	74,0	0,88	0,93	0,95	7,12	3,56
1,5	2	100L	0,837	7,2	2,5	2,2	0,0093	10	37,0	58	1745	66,0	73,0	77,0	0,87	0,90	0,93	9,51	4,76
2,2	3	112M	1,23	7,7	2,9	2,7	0,0156	8	46,0	60	1745	65,0	74,0	77,0	0,79	0,87	0,90	14,4	7,22
3	4	112M	1,68	8,0	2,7	2,4	0,0184	6	49,0	60	1740	69,5	75,0	77,0	0,96	0,97	0,98	18,1	9,04
3,7	5	132S	2,06	7,3	3,4	2,5	0,0329	6	65,0	63	1750	71,0	77,9	80,5	0,84	0,91	0,93	22,5	11,3
5,5	7,5	132M	3,05	7,7	3,2	2,5	0,0457	6	80,0	63	1750	75,6	81,0	83,0	0,88	0,92	0,94	32,0	16,0
7,5	10	132M*	4,20	6,7	2,6	2,4	0,0486	6	82,0	63	1740	77,9	82,5	84,0	0,92	0,94	0,95	42,7	21,3
9,2	12,5	132M*	5,15	6,5	2,2	2,3	0,0543	6	88,0	63	1740	78,0	83,2	84,0	0,85	0,91	0,93	53,6	26,8
Carcasas opcionales																			
0,75	1	80	0,420	7,1	1,7	2,2	0,0030	6	18,0	55	1740	62,3	69,7	72,7	0,73	0,84	0,90	5,22	2,61
0,75	1	90L	0,414	8,5	2,3	2,4	0,0055	7	24,0	58	1765	55,8	65,1	70,3	0,82	0,87	0,91	5,33	2,67
1,5	2	90L	0,835	8,0	1,9	2	0,0066	6	28,0	58	1750	67,5	74,5	77,0	0,96	0,97	0,98	9,04	4,52
2,2	3	100L	1,22	6,8	2	2,5	0,0097	6	40,0	58	1750	70,0	75,0	76,0	0,61	0,70	0,77	17,1	8,55
3,7	5	112M	2,08	8,0	3,4	2,4	0,0183	6	51,0	60	1730	72,0	77,0	78,0	0,82	0,89	0,93	23,2	11,6
3,7	5	132S	2,06	7,3	3,4	2,5	0,0300	6	65,0	63	1750	71,0	77,9	80,5	0,87	0,92	0,94	22,2	11,1

Anexo VII Manual de Mantenimiento

Componente	Descripción	D	S	Q	M
Cuerpo del molino	Evidenciar daños de corrosión				X
	Comprobar el buen estado de apriete de los tornillos			X	
Mesa de Molienda	Revisar daños y desgaste en uniones soldadas			X	
	Revisar el estado de anclaje de los rodillos		X		
Rodillos	Comprobar daños y desgaste en los rodillos		X		
	Comprobar el giro libre de los rodillos	X			
	Comprobar y/o ajustar distancia entre rodillo y mesa de molienda		X		
	Comprobar funcionamiento de los rodillos	X			
Motor	Comprobar el arranque correcto del motor		X		
	Comprobar fijación a bancada		X		
	Engrasar rodamientos		X		
	Comprobar tensiones de banda		X		
Engranajes	Comprobar fallas en los engranajes		X		
Chumaceras	Aceitar las chumaceras			X	
Todo	Limpiar después de utilizar	X			

Abreviatura

D = Cada día

S = Cada semana

Q = Cada quince

M = Cada mes

Anexo IIIII Manual de Operación

La operación de la maquina se inicia:

Conectar la máquina a una fuente de 220 V

Pulsado de la máquina

Dejar actuar la máquina por lo menos 1 minuto antes de iniciar con la introducción del producto

Ubicar el material en la tolva de entrada

No acercase al rotor

No introducir las manos hasta los rodillos

Una vez que se haya finalizado, dejar actuar por 1 minuto, para que finalice el molido.

Esperar unos minutos a que se detenga completamente para proceder a su limpieza.

Anexo IX Datos de engranaje

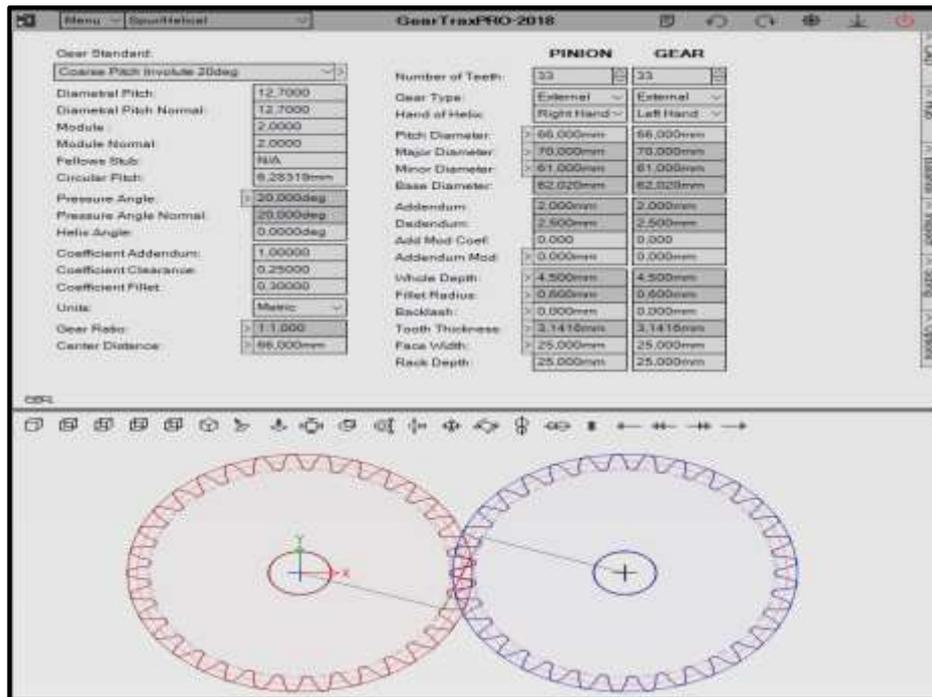


Figura 4. 30 Datos de engranaje