



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES  
PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE  
TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS  
EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. EDWIN VILCA MACHACA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**JULIACA – PERÚ**

**2025**



**UNIVERSIDAD ANDINA**

**NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES  
PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE  
TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS  
EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**

**TESIS PRESENTADA POR:**

**Bach. EDWIN VILCA MACHACA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**APROBADA POR EL JURADO REVISOR:**

**PRESIDENTE**

:   
Mgtr. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA

**PRIMER MIEMBRO**

:   
Dr. BENJAMÍN CHUQUIMAMANI QUINTO

**SEGUNDO MIEMBRO**

:   
Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CÁRDENAS

**ASESOR DE TESIS**

:   
Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA ELECTRICA – P18**



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 336-2025-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 23 de mayo del 2025

**VISTO:** El expediente N° 2025- CU-3161 presentado por el (la) Bachiller: **EDWIN VILCA MACHACA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN.**

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) Bach. **EDWIN VILCA MACHACA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.**

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- \* **Presidente** : Mgtr. WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA
- \* **1er Miembro** : Dr. BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
- \* **2do Miembro** : Mgtr. SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

**ARTICULO SEGUNDO. – RECONOCER** como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN.**

**ARTICULO TERCERO . – APROBAR**, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de el (la) bachiller: **EDWIN VILCA MACHACA**; del informe final de la investigación (tesis) titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista.** de acuerdo al siguiente detalle:

- \* **FECHA** : jueves 29 de mayo del 2025
- \* **HORA** : 9:00 horas
- \* **LUGAR** : Aula 205 - EPIME

**ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIANONTE CALLA  
DECANO (e)  
CIP. 32730

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 590-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 09 de julio del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU - 5569 por el señor (a): **EDWIN VILCA MACHACA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el PROVEIDO - N° 507-2024-UI-FICP-UANCV/J, y la FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS) formato N° 007-2024 del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **EDWIN VILCA MACHACA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Benjamin Chuquimamani Quinto** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 007-2024 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**, Correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **EDWIN VILCA MACHACA**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**, en virtud a los considerandos expuestos.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), M.S.c. **MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

  
  
Dr. MILTON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790

  
  
Dr. Eirain Pazito Sosa  
DIRECTORA  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo  
interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 126-2023-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 27 de diciembre del 2023

**VISTO:** El expediente N° 2023-CU-17895, presentado por el señor (a) **EDWIN VILCA MACHACA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, el PROVEIDO - N° 316-2023-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 009 - 2023 del integrante del comité de investigación **EPIME** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

**CONSIDERANDO:**

Que, el (la) estudiante: **EDWIN VILCA MACHACA**, ha presentado su propuesta de investigación Titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Benjamin Chuquimamani Quinto** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 009-2023 **aprobando** la propuesta de investigación titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el o (la) Bachiller: **EDWIN VILCA MACHACA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), M.S.c. **MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y Cs. PURAS

Dr. MILTHON QUISPE HUANCA  
DECANO  
CIP. 47790



Dr. Elraín Patrillo Sosa  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.  
Archivo 2023  
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA  
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

**RESOLUCIÓN DECANAL N° 1647-2024-D-UI-FICP-UANCV**

Juliaca, 04 de diciembre del 2024

**VISTO:** El expediente N° 2024-CU- 17573, presentado por el señor (a) **EDWIN VILCA MACHACA** solicitando **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACIÓN**, el Proveído del Director de la Unidad de Investigación de la FICP, y la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 126-2023-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 590 -2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

**CONSIDERANDO:**

Que, el señor (a): **EDWIN VILCA MACHACA** ha presentado cambio de asesor de tesis del tema investigación Titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Mecánico Electricista**.

Que, el Director de la Unidad de Investigación de la FICP a tomado conocimiento que el asesor **MSc. MARIO ALEJANDRO RAMOS HERRERA** no tiene vinculo laboral en la facultad de ingenierías y ciencias puras y existiendo la **RESOLUCIÓN DECANAL N° 126-2023-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación de la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN RESOLUCIÓN DECANAL N° 590 -2024-D-UI-FICP-UANCV** Aprobación del **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**.

Estando, a la solicitud del ejecutante y en cumplimiento al reglamento al Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Titulos, con fines de obtención Grados Académicos y Titulos Profesionales; el director de la Unidad de Investigación **Dr. Efraín Parillo Sosa** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió el proveído favorable del cambio de asesor de investigación del tema titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable del Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Titulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R, con fines de obtención de Grados Académicos y Titulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

**RESUELVE:**

**ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR**, el **CAMBIO DE ASESOR DE INVESTIGACION**, designado al señor (a): **EDWIN VILCA MACHACA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista, con el Tema Titulado: **DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA**, se le asigna como:

**ASESOR:** Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**

**ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER** como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a la) docente Ing. **ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**.

**ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER** que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Mecánica Eléctrica** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.

cc.  
Archivo 2024  
Interesado (a)



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
**MILTRON QUISPE HUANCA**  
DECANO  
CIR. 47/90

UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
**Dr. Efraín Parillo Sosa**  
DIRECTOR  
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



## DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENTORNAMIENTOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN

### EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023

#### INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

11%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

#### FUENTES PRIMARIAS


1	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	9%
2	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uancv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
6	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1%
9	www.coursehero.com	



### Metadatos Complementarios UANCV



<b>Título de la tesis</b>	
DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023	
<b>Datos de autor</b>	
Nombres y apellidos	EDWIN VILCA MACHACA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46469590
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0009-0003-8068-7948">https://orcid.org/0009-0003-8068-7948</a>
<b>Datos de asesor</b>	
Nombres y apellidos	ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREON
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02064066
URL de ORCID	<a href="https://orcid.org/0000-0001-8065-6533">https://orcid.org/0000-0001-8065-6533</a>
<b>Datos del jurado</b>	
<b>Presidente del jurado</b>	
Nombres y apellidos	WALTER JACINTO LIZARRAGA ARMAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02393436
<b>Miembro del jurado 1</b>	
Nombres y apellidos	BENJAMIN CHUQUIMAMANI QUINTO
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02406088
<b>Miembro del jurado 2</b>	
Nombres y apellidos	SALVADOR TEODORO VALDIVIA CARDENAS

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02383061
<b>Datos de investigación</b>	
Línea de investigación	Tecnología de Ingeniería Mecánica – P18
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Recursos propios
Ubicación geográfica de la investigación	<p>País: Perú Departamento: Puno Provincia: Puno Distrito: Juliaca</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Latitud: 15°29'34"S</li> <li>- Longitud: 70° 8'5"O</li> </ul>  <p><a href="https://www.google.com/maps/place/Juliaca/@-15.4866714,-70.2059033,23950m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x9167f3e5361625b9:0x2a1629113760cbfc!8m2!3d-15.4996879!4d-70.129653!16zL20vMDJ2N2s5?entry=tту&amp;g_ep=EgoyMDI1MDUyOC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D">https://www.google.com/maps/place/Juliaca/@-15.4866714,-70.2059033,23950m/data=!3m2!1e3!4b1!4m6!3m5!1s0x9167f3e5361625b9:0x2a1629113760cbfc!8m2!3d-15.4996879!4d-70.129653!16zL20vMDJ2N2s5?entry=tту&amp;g_ep=EgoyMDI1MDUyOC4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D</a></p>
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Diciembre 2023 – Mayo 2024
URL de disciplinas OCDE <a href="https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html">https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html</a> - Librería	<p>Ingeniería Mecánica <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.01</a></p> <p>Mecánica Aplicada <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.03.02</a></p>



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN  
Dr. Fritz Willy Maman Apaza



### DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo EDWIN VILCA MACHACA, identificado con DNI Nro. **46469590** en mi condición de egresado de:

- Escuela Profesional**
- Programa de Segunda Especialidad,**
- Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación,  Trabajo Académico denominada:

**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023**

Asesorado por: **Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN**

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.


Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 09 de junio del 2025



Firma del Asesor  
(obligatoria)



Firma del Estudiante  
(obligatoria)



Huella



### **Dedicatoria**

Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mi madre. A Dios, por guiar cada uno de mis pasos, brindándome protección y fortaleza para seguir adelante. A mi madre, quien ha sido un pilar constante en mi vida, velando siempre por mi bienestar y formación. Su confianza incondicional en mi capacidad e inteligencia me ha permitido superar cada desafío sin titubeos. Gracias a su apoyo, hoy soy quien soy. Madre, te amo con todo mi ser.



## **Agradecimientos**

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme guiado y permitido caminar en el sendero de la felicidad hasta este momento. En segundo lugar, expreso mi gratitud a cada miembro de mi familia: a mi madre, Vicentina V. Machaca Huanca, y a mis hermanos, por su constante apoyo y fortaleza incondicional, los cuales han sido fundamentales para llegar a donde estoy hoy. Finalmente, agradezco al M.Sc. Mario A. Ramos Herrera, mi asesor de tesis, por su invaluable guía y acompañamiento a lo largo de este proceso. GRACIAS.



Índice General

**Dedicatoria..... iii**

**Agradecimientos ..... iv**

**Resumen ..... xi**

**Abstract..... xii**

**Introducción ..... xiii**

**CAPITULO I ASPECTOS GENERALES ..... 1**

    1.1. Descripción del problema ..... 1

    1.2. Formulación del problema ..... 2

        1.2.1. Problema principal..... 2

        1.2.2. Problemas específicos ..... 2

    1.3. Justificación ..... 3

    1.4. Objetivos de la investigación ..... 3

        1.4.1. Objetivo General ..... 3

        1.4.2. Objetivos específicos ..... 4

    1.5. Hipótesis ..... 4

        1.5.1. Hipótesis General..... 4

        1.5.2. Hipótesis Específicas ..... 4

    1.6. Operacionalización de variables ..... 5

**CAPITULO II FUNDAMENTOS TEÓRICOS ..... 6**

    2.1. Bases teóricas ..... 6

        2.1.1. Variador de velocidad o Caja de cambios o caja de velocidades..... 6

        2.1.2. Molino de Bolas..... 9

    2.2. Definición de términos ..... 12

        2.2.1. Reductor de velocidad por engranajes..... 12

        2.2.2. MOLINO DE BOLAS ..... 12

        2.2.3. RELACIÓN DE TRANSMISIÓN ..... 12



2.2.4.	PAR DE SALIDA .....	12
2.2.5.	ENGRANAJES RECTOS .....	12
<b>CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>13</b>
3.1.	Métodos de investigación .....	13
3.1.1.	Nivel de la investigación .....	13
3.1.2.	Tipo de la investigación .....	13
3.1.3.	Diseño de la investigación.....	14
3.2.	Ámbito de investigación .....	14
3.3.	Población y muestra .....	14
3.3.1.	Población .....	14
3.3.2.	Muestra .....	14
3.4.	Técnicas e instrumentos de recogida de información .....	15
3.4.1.	Técnicas:.....	15
3.4.2.	Instrumentos, recolección de datos:.....	15
3.5.	Recogida de datos .....	15
<b>CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>		<b>29</b>
4.1.	Presentación .....	29
4.2.	Análisis e interpretación de resultados .....	32
4.2.1.	Reducción inicial .....	32
4.2.2.	Resultados de los cálculos de los engranajes.....	44
4.2.3.	CALCULO DE EJE ROTACIÓN .....	49
4.2.4.	CALCULO DE RODAMIENTOS.....	59
4.2.5.	Resultados de los cálculos de los rodamientos.....	63
4.2.6.	CALCULO DE SINCRONIZADORES.....	66
4.2.7.	Costo de inversión.....	68
4.3.	Discusión de resultados.....	70
<b>Conclusiones.....</b>		<b>74</b>



<b>Recomendaciones.....</b>	<b>75</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>76</b>
<b>Apéndices .....</b>	<b>79</b>
<b>Apéndice 1 Matriz de consistencia.....</b>	<b>79</b>



## Índice de tablas

Tabla 1: Especificaciones comerciales de Molino de Bolas .....	31
Tabla 2: Datos del conjunto de engranajes de la reducción Inicial.....	44
Tabla 3: Datos del conjunto de engranajes de la primera marcha 1ra .....	45
Tabla 4: Datos del conjunto de engranajes de la segunda marcha 2da.....	46
Tabla 5: Datos del conjunto de engranajes de la tercera marcha 3ra .....	47
Tabla 6: Datos del conjunto de engranajes de la reducción Inicial.....	48
Tabla 7: Datos de entrada para el diseño del eje de transmisión.....	50
Tabla 8: Datos del conjunto de engranajes de la reducción Inicial.....	58
Tabla 9: Datos de entrada para el diseño del eje de transmisión.....	60
Tabla 10: Rodamientos de rodillos en los apoyos .....	63
Tabla 11: Rodamientos de ruedas locas para cada marcha .....	64
Tabla 12: Rodamientos de ruedas locas para cada marcha .....	67
Tabla 13. Costo de inversión de los materiales para una post implementación .....	68



Índice de figuras

Figura 1 : Molino de Bolas a intervenir ..... 30

Figura 2 : Variador de velocidad por engranajes..... 31

Figura 3 : Esquema del sistema ..... 32

Figura 4 : Esquema del sistema ..... 32

Figura 5 : Factores de sobrecarga sugeridos,  $K_o$  ..... 33

Figura 6 : Potencia de diseño transmitida ..... 34

Figura 7 : Coeficiente elástico,  $C_p$  ..... 36

Figura 8 : Numero de calidad AGMA recomendados ..... 36

Figura 9 : Factor dinámico,  $K_v$  ..... 37

Figura 10 : Factor J de geometría ..... 37

Figura 11 : Factor I de geometría ..... 38

Figura 12 : Factor de proporción del piñón  $C_{pf}$ ..... 39

Figura 13 : Factor de alineamiento del engranado  $C_{ma}$  ..... 39

Figura 14 : Factor de tamaño sugeridos..... 40

Figura 15 : Factor de espesor de borde ..... 40

Figura 16 : Factor de confiabilidad ..... 41

Figura 17 : Factor por ciclos de esfuerzo,  $Y_n$ ..... 42

Figura 18 : Factor por ciclos de esfuerzo,  $Z_n$  ..... 42

Figura 19 : Engranajes de la reducción inicial en SolidWorks, engranajes (1) y (2) 45

Figura 20 : Engranajes de la primera marcha 1ra en SolidWorks, engranajes (1) y (2)  
..... 46

Figura 21 : Engranajes de la segunda marcha 2da en SolidWorks, engranajes (1) y  
(2)..... 47

Figura 22 : Engranajes de la tercera marcha 3ra en SolidWorks, engranajes (1) y (2)  
..... 48

Figura 23 : Engranajes de la reducción inicial en SolidWorks, engranajes (1) y (2) 49

Figura 24 : Eje intermedio para un reductor de velocidad doble engranes ..... 49

Figura 25 : Eje intermedio para un reductor de velocidad doble engranes ..... 51

Figura 26 : Resistencia a la fatiga  $S_n$ ..... 51

Figura 27 : Factor de tamaño  $C_s$ ..... 52

Figura 28 : Modelo sobre los esfuerzos sobre los engranes ..... 53

Figura 29 : Fuerzas actuantes..... 54



Figura 30 : Fuerzas, reacciones y momentos actuantes en el eje "X" .....	55
Figura 31 : Fuerzas, reacciones y momentos actuantes en el eje "Y" .....	55
Figura 32 : Ejes de rotación de la reducción mecánica por engranajes .....	59
Figura 33 : Estimación del tiempo de funcionamiento de cada marcha .....	61
Figura 34 : Rodamientos SKF de rodillos.....	62
Figura 35 : Rodamiento de rodillos NUP 206 ECP.....	63
Figura 36 : Rodamiento de ruedas locas para cada marcha.....	64
Figura 37 : Rodamiento de ruedas locas para cada marcha.....	67



## Resumen

En el trabajo de tesis tiene como objetivo diseñar un variador de velocidad por engranajes para optimizar la velocidad de trituración en el molino de bolas en la pequeña minera, ello debido a que la pequeña minera enfrenta diversos desafíos operativos que impactan su eficiencia y sostenibilidad. En particular, el proceso de trituración en los molinos de bolas es fundamental para la reducción del tamaño de las partículas de mineral, lo cual es esencial para la liberación de minerales valiosos. Sin embargo, este proceso a menudo sufre de ineficiencias debido a la falta de sistemas adecuados de control de velocidad.

La metodología de la investigación fue de enfoque cuantitativo, de nivel aplicado, tipo (bibliográfico, tecnológico) y diseño no experimental, cuya muestra fue variadores de velocidades mecánicos para los molinos de bolas de la pequeña minera.

Los resultados que se obtuvieron fueron que el sistema de reducción se tuvo 5 instancias, donde la reducción inicial de 5.5" (45 dientes) y 3.3" (30 dientes), primera marcha 7.5" (45 dientes) y 5" (30 dientes), segunda marcha 7.7" (42 dientes) y 5.3" (32 dientes), tercera marcha 7.1" (40 dientes) y 6" (34 dientes), cuarta marcha 7.1" (40 dientes) y 6.4" (36 dientes), mientras que los ejes de rotación estandarizado fueron de 70 mm, los rodamientos se eligieron NUP 206 ECP y NKI 70/35 ECP y los sincronizadores estandarizados fue de 15 mm, y el costo de inversión fue de S/. 5 572.00.

**Palabras Clave:** Variador de velocidad, engranajes, molino de bolas.



## Abstract

In the thesis work, he aims to design a geared variable speed drive to optimize the crushing speed in the ball mill in small-scale mining, because small-scale mining faces various operational challenges that impact its efficiency and sustainability. In particular, the crushing process in ball mills is critical for the reduction of ore particle size, which is essential for the release of valuable minerals. However, this process often suffers from inefficiencies due to the lack of proper speed control systems.

The research methodology was quantitative, applied level, type (bibliographic, technological) and non-experimental design, whose sample was mechanical variable speed drives for small-scale mining ball mills.

The results obtained were that the reduction system was carried out in 5 instances, where the initial reduction of 5.5" (45 teeth) and 3.3" (30 teeth), first gear 7.5" (45 teeth) and 5" (30 teeth), second gear 7.7" (42 teeth) and 5.3" (32 teeth), third gear 7.1" (40 teeth) and 6" (34 teeth), fourth gear 7.1" (40 teeth) and 6.4" (36 teeth), while the standardized rotation axes were 70 mm, the bearings were chosen NUP 206 ECP and NKI 70/35 ECP and the standardized synchronizers were 15 mm, and the investment cost was S/. 5 572.00.

Keywords: Variable speed drive, gears, ball mill



## Introducción

En la industria de la pequeña minera, la eficiencia y la optimización de los procesos son elementos cruciales para garantizar la rentabilidad y la sostenibilidad. Uno de los componentes fundamentales en este contexto es el molino de bolas, una herramienta esencial para la trituración de minerales y la obtención de materiales finos que luego serán sometidos a procesos posteriores. El rendimiento del molino de bolas está directamente relacionado con la velocidad de trituración, la cual puede ser influenciada y mejorada mediante la implementación de sistemas de control de velocidad. En este sentido, el diseño de un variador de velocidad por engranajes se presenta como una solución innovadora y eficiente para optimizar la operación del molino de bolas en la pequeña minera. El presente trabajo de tesis se enfoca en el diseño de un variador de velocidad por engranajes específicamente destinado a mejorar la eficiencia de la trituración en el molino de bolas, considerando las características y necesidades propias de la pequeña minera. Para ello, se llevará a cabo un análisis detallado de los procesos de trituración en el molino de bolas, así como de las tecnologías disponibles para el control de velocidad.

En el capítulo I se abordan los aspectos generales del proyecto, los antecedentes relacionados con la colección y los objetivos de la investigación, centrándose en el diseño metodológico de una mezcladora de concreto móvil.

El capítulo II contiene el marco teórico, donde se explican los conceptos esenciales para el desarrollo del estudio, como el molino de bolas, engranajes, ejes y cajas de cambio, entre otros.

En el capítulo III se describen los métodos de investigación. La metodología es de enfoque cuantitativo, ya que analiza y describe las variables del estudio; además, es tecnológica, puesto que busca resolver el problema planteado mediante alternativas de solución detalladas.

Por último, el capítulo IV presenta el diseño del variador de velocidad, incluyendo cada uno de sus componentes, así como el modelo elaborado utilizando el software SolidWorks.



## CAPITULO I ASPECTOS GENERALES

### 1.1. Descripción del problema

Cuando un operador intenta ajustar la velocidad en sistemas mecánicos como los molinos de bolas, no es posible debido a que el motor eléctrico está conectado directamente al tambor mediante poleas. Es necesario controlar la velocidad para procesar diferentes materiales, especialmente los de alta viscosidad. Sin embargo, el equipo actual no permite un ajuste estable de velocidad. Para manejar esta limitación, se reduce la cantidad de material introducido en el molino y se agrega más agua, algo frecuente en el procesamiento de caolines y arcillas. La velocidad crítica del molino se define cuando la fuerza centrífuga mantiene las bolas y los materiales adheridos a las paredes del tambor, impidiendo su caída y, por lo tanto, limitando la molienda. Estas deficiencias afectan la eficiencia en la extracción de oro e incrementan los costos debido a la inversión en componentes adicionales.

En el Perú, los molinos de bolas son las máquinas más utilizadas en la pequeña minería para extraer minerales preciosos. Se han empleado durante muchos años en plantas que procesan minerales tanto metálicos como no metálicos, con mayor frecuencia en el caso de los primeros. Su propósito principal es reducir el tamaño del material para facilitar los procesos de concentración (como flotación, métodos gravimétricos o magnéticos) o lixiviación (como la cianuración de minerales auríferos). Al momento de la extracción, los minerales pueden presentar diferentes tamaños, lo que influye en el consumo de energía del molino. Es



necesario evitar tamaños de alimentación demasiado grandes o pequeños, ya que esto impacta negativamente en la calidad del producto final y la eficiencia de los procesos subsecuentes. La molienda generalmente se realiza con agua y se agregan reactivos químicos como cal para ajustar el pH, así como depresores como el sulfato de zinc y cianuro, según las características del mineral tratado. Por ello, es fundamental contar con un control adecuado de la velocidad del molino, dependiendo del tamaño y origen del material, lo cual requiere un sistema mecánico que permita ajustar la velocidad del molino de bolas.

En la región de Puno, los pequeños mineros utilizan principalmente molinos de bolas para la extracción de minerales como el oro, lo que convierte a esta máquina en una herramienta esencial. Sin embargo, su eficiencia y rentabilidad se ven afectadas al procesar una amplia variedad de materias primas, ya que esto demanda distintos tipos y tamaños de bolas, así como ajustes en la velocidad de rotación del tambor. Dado que actualmente el molino opera a una sola velocidad, es necesario realizar varias etapas de molienda con diferentes tipos y tamaños de bolas. Este proceso resulta más lento, especialmente al tratar materiales más duros, ya que se requiere más tiempo para lograr el tamaño de partícula deseado. Además, el tiempo de operación prolongado incrementa el consumo energético y, en consecuencia, los costos operativos.

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema principal

¿De qué manera se podrá diseñar un variador de velocidad por engranajes para la optimización de la velocidad de trituración en el molino de bolas en la pequeña minera año 2023?

### 1.2.2. Problemas específicos

#### PE1.

¿Cuáles son las condiciones que entrega el motor y la salida que deberá tener el molino de bolas?

#### PE2.

¿De qué manera modelar de los engranajes para la trituración de material?



## PE3.

¿Cuál es el costo de inversión del variador de velocidad a base de engranajes?

### 1.3. Justificación

El operador contará con una herramienta mecánica que facilitará su labor y permitirá optimizar el proceso de trituración, incrementando así la producción y mejorando la calidad del material procesado. Además, se evitará el desgaste causado por la transmisión mediante fajas, al emplear un sistema de engranajes sólidos que ofrece una mayor durabilidad.

El objetivo es proporcionar mayor seguridad y comodidad durante la molienda de diferentes materiales en el molino de bolas, minimizando la pérdida de material y evitando una sobre molienda que podría afectar negativamente los procesos posteriores.

El desarrollo de este proyecto busca reducir las pérdidas económicas causadas por la sobre molienda de la materia prima y acelerar el proceso, utilizando únicamente un tipo y tamaño de bolas, lo que evitará interrupciones para cambiar las bolas dentro del molino.

Para mejorar la trituración de los materiales, se planea implementar un sistema de reducción de velocidad mediante un diseño de engranajes que permita variar la velocidad del molino de bolas. Este sistema incluirá empaques, platinas y un eje de rotación. Para llevar a cabo este diseño, se deben conocer parámetros como potencia, velocidad, torque y dimensiones del molino de bolas. Finalmente, se desarrollará un modelo 3D de cada componente en el software SOLIDWORKS, con el fin de obtener una visualización completa de la pieza final y analizar su funcionamiento.

### 1.4. Objetivos de la investigación

#### 1.4.1. Objetivo General

Diseñar un variador de velocidad por engranajes para optimizar la velocidad de trituración en el molino de bolas en la pequeña minera.



## 1.4.2. Objetivos específicos

### OE1.

Identificar las condiciones que entrega el motor y la salida que deberá tener el molino de bolas.

### OE2.

Modelar el variador de velocidad por engranajes para la trituración de material.

### OE3.

Determinar el costo de inversión del variador de velocidad mecánico a base de engranajes.

## 1.5. Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis General

Con el diseño de un variador de velocidad por engranajes, se optimizará la velocidad de trituración en el molino de bolas en la pequeña minera.

### 1.5.2. Hipótesis Específicas

#### HE1.

Si se identifica las condiciones que entrega el motor y la salida que deberá tener molino de bolas, se tendrá un diseño más eficiente.

#### HE2.

Si se diseña el variador de velocidad por engranajes, se tendrá una maquina con un mejor desempeño para realizar sus labores de trituración del material.

#### HE3.

Si se determina el costo de inversión del variador de velocidad mecánico, se puede conocer su viabilidad y rentabilidad.



1.6. Operacionalización de variables

Variables de estudio	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala de Medición
<b>Independiente:</b>  Variador de velocidad a base de engranajes	Sistema mecánico encargado del variar la velocidad de salida en relación a la velocidad de entrada.	Mediante la utilización de engranajes rectos, con diferentes tipos de relación permitirá variar la velocidad de salida.	Sistema de engranajes	Velocidades	RPM
				Eje de transmisión	
				Acoples de velocidad	
				Engranajes	
<b>Dependiente:</b>  Molino de bolas	Un molino de bolas cuenta con una carcasa de forma cónica o cilíndrica que gira horizontalmente sobre su eje y está cargada con elementos de molienda, como bolas de acero. Puede procesar materiales de alimentación especialmente frágiles, con tamaños que varían entre 1,5 y 3 cm	Será necesario algunos parámetros como velocidad angular y número estimado de engranajes reales.	Optimización de la velocidad de trituración	Mejor calidad en el proceso de molienda	TIEMPO
				Reducción del tiempo de trituración	



## CAPITULO II

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Bases teóricas

##### 2.1.1. Variador de velocidad o Caja de cambios o caja de velocidades

Las primeras cajas de cambio manuales sincronizadas se introdujeron en la década de 1950, y uno de los primeros vehículos en equiparlas fue el Porsche 356. Para esa época, en Estados Unidos, las transmisiones automáticas ya eran las más populares, dado que este país era el mercado automotriz más grande del mundo. El uso de cajas automáticas estaba tan extendido que muchos fabricantes optaron por no ofrecer versiones con transmisión manual en sus modelos más comunes. La reducción de costos en las cajas automáticas se debió en gran medida a las ventajas de las economías de escala.

Por otro lado, en Europa se continuaba utilizando el sistema de tres pedales. Al principio, las transmisiones automáticas en Europa se limitaban a coches de alta gama y berlinas de lujo, lo que las hacía considerablemente caras. Durante la masificación del uso del automóvil en los años 60, casi todos los coches vendidos en el continente contaban con cajas de cambio manuales. Modelos económicos como el Fiat 500, el Mini y el Seat 600 no consideraban la incorporación de transmisiones automáticas, ya que habrían aumentado significativamente su precio.



### **2.1.1.1. Caja de cambio manuales, mecánicas o síncronas**

Las cajas mecánicas están formadas por una variedad de elementos de tipo estructural, funcional y por componentes como rodamientos, entre otros de naturaleza mecánica. En estos sistemas de transmisión, el cambio de marchas se realiza mediante un mecanismo de accionamiento mecánico, aunque también puede estar automatizado. Las partes sometidas a fricción están lubricadas mediante un baño de aceite contenido en el cárter, y todo el conjunto se encuentra sellado al exterior mediante juntas que garantizan la estanqueidad del sistema.

### **2.1.1.2. Caja de cambio automáticas o hidrománticas**

La caja automática es un sistema diseñado para seleccionar de manera automática la relación de transmisión más adecuada, teniendo en cuenta variables como la potencia del motor, la velocidad del automóvil, la presión ejercida sobre el pedal del acelerador y las condiciones de resistencia durante la marcha. Este mecanismo, de funcionamiento electrohidráulico, se encarga de realizar los cambios de velocidad. En versiones más modernas, esta labor es gestionada por una unidad de control electrónica.

A diferencia de las transmisiones manuales que operan mediante pares de engranajes cilíndricos, las transmisiones automáticas utilizan conjuntos de engranajes epicicloidales, organizados en serie o en paralelo, para obtener las distintas relaciones de transmisión.

### **2.1.1.3. Ejes de rotación**

La caja estará compuesta por cuatro ejes principales:

- ❖ Un eje primario,
- ❖ Dos ejes secundarios,
- ❖ Un eje dedicado a la marcha atrás,
- ❖ Un diferencial.



#### 2.1.1.4. **Árbol primario**

El eje primario, sostenido por la carcasa del embrague y la del sistema de transmisión, se encuentra apoyado en ambas mediante rodamientos de tipo cónico. En este eje se han mecanizado dos conjuntos de engranajes: uno, ubicado en proximidad al embrague, corresponde a la segunda velocidad; el otro sirve tanto para la primera como para la reversa. Además, se instala un piñón doble en el árbol, el cual es solidario y posee dos dentados: uno se emplea para las marchas sexta y cuarta, y el otro para la tercera marcha. En el extremo opuesto al embrague, se encuentra el piñón de la quinta marcha, que una vez ensamblado, también gira solidario con el árbol.

#### 2.1.1.5. **Árbol secundario**

La caja de cambios analizada en este proyecto incorpora dos ejes secundarios: el eje secundario I y el eje secundario II. Ambos están instalados en la carcasa de la transmisión y del embrague mediante rodamientos de tipo cónico. El eje secundario I contiene los engranajes correspondientes a las marchas primera, segunda, tercera y cuarta, mientras que en el eje secundario II se encuentran los engranajes destinados a la quinta, sexta y reversa. Estos engranajes están montados sobre rodamientos de agujas, lo que favorece un movimiento fluido y eficiente.

#### 2.1.1.6. **Eje de marcha atrás**

La reversión del sentido de giro en el eje secundario se consigue a través del eje correspondiente a la marcha atrás, que incorpora dos engranajes fijos: uno en acoplamiento constante con el eje primario y otro que se conecta con el eje secundario. Este eje está montado sobre rodamientos de agujas ubicados en la carcasa del cambio y en la del embrague, lo que proporciona una adecuada estabilidad mecánica y asegura un desempeño suave durante la operación.



## 2.1.1.7. *Engranajes*

La caja de cambios incorpora múltiples dobles ataques, lo que permite disminuir su tamaño, peso e inercias.

- ❖ El engranaje fijo correspondiente a la primera marcha, ubicado en el eje primario, también transmite movimiento al eje de la marcha atrás.
- ❖ El engranaje fijo asignado a la cuarta marcha acciona simultáneamente el engranaje loco correspondiente a la sexta marcha.
- ❖ La corona del diferencial se acopla con ambos ejes secundarios a través de un engranaje fijo montado en cada uno de ellos, permitiendo la transmisión final del movimiento.

## 2.1.2. **Molino de Bolas**

Este equipo es ampliamente utilizado por su facilidad de operación y su versatilidad en diversas aplicaciones. Su carcasa cilíndrica de acero alberga las bolas que, al rotar horizontalmente, trituran o reducen el tamaño del material mediante su contacto. Además, los molinos están equipados con revestimientos reemplazables que prolongan su vida útil. Estos revestimientos pueden diseñarse específicamente para optimizar el movimiento de las bolas, minimizando la pérdida de velocidad por deslizamiento. Las bolas de molienda se fabrican comúnmente en acero forjado, hierro fundido o fundición de hierro, con durezas que van desde 350-450 Brinell para las más blandas, hasta 700 Brinell para las más duras.

### 2.1.2.1. *Partes del molino de bolas*

Los elementos fundamentales de un molino incluyen: la carcasa, el revestimiento, la rejilla, el cuerpo de la trituradora, los dispositivos de carga y descarga, así como el sistema de accionamiento o control.



## **A. Chute de Alimentación**

Es el conducto que conecta con el separador ciclónico y sirve como entrada para la carga desde la correa de alimentación de las bolas.

## **B. Chumaceras**

Funcionan como soporte del molino, siendo la base sobre la cual el molino puede girar.

## **C. Casco del Molino "Shell"**

La estructura de la carcasa ha sido fabricada para soportar impactos y cargas significativas. Principalmente, está compuesta por láminas de acero que han sido soldadas y forjadas, incorporando perforaciones tanto para la extracción del revestimiento como para la instalación de los tornillos que aseguran su fijación. Para conectar los extremos de la estructura, habitualmente se utilizan bridas de acero de gran tamaño, que son soldadas a los bordes de los paneles que conforman la estructura.

## **D. Chaquetas**

Se utilizan con el propósito de proteger la carcasa del molino frente a los impactos ocasionados por las bolas de molienda y el material procesado. Los pernos de fijación están fabricados en acero de alta resistencia a la tracción y se forjan en diferentes geometrías —como cuadrada, hexagonal, rectangular u ovalada—, lo cual optimiza su montaje en el revestimiento de la cavidad de las placas.

## **E. Chute de Descarga**

Es la tubería por donde el mineral en forma de pulpa es descargado rápidamente junto con las bolas.

## **F. Trómel Magnético**

Este componente cumple una función de clasificación, especialmente para los bolos que están expuestos a una carga excesiva. De manera similar, se encarga de los minerales o rocas extremadamente duras que no pueden ser molidas por completo



debido a su gran tamaño de partícula, quedándose atrapados en el trómel.

## **G. Cuerpos Trituradores**

Los cuerpos abrasivos utilizados en el molino generan fuerzas sobre la carga mediante su movimiento rotacional, lo que ocasiona el desgaste del material por mecanismos de abrasión, impacto e incluso, en ciertos casos, corrosión. Para maximizar la eficiencia del proceso, se emplean medios de molienda con alta resistencia al desgaste. Aunque una mayor dureza ofrece mejor durabilidad, es fundamental que estos cuerpos mantengan un equilibrio entre dureza y tenacidad, debido a los impactos frecuentes que ocurren dentro del molino.

## **H. Sistema de Freno Hidráulico**

Los frenos hidráulicos se emplean para detener o mantener el molino en posición estacionaria durante las tareas de mantenimiento.

## **I. Sistema de Transmisión de Potencia**

Este sistema permite transferir energía desde una fuente generadora hacia un equipo o maquinaria receptora. Está constituido por distintos elementos, predominando aquellos de tipo rotatorio. La forma más elemental de transmisión de potencia consiste en la rotación de un eje motriz que transmite movimiento a un eje conducido, permitiendo así la modificación de la velocidad. En el ámbito industrial, estos mecanismos se emplean ampliamente para trasladar energía mecánica desde un componente generador hacia otro que impulsa un dispositivo. La fuente motriz puede estar alimentada por distintas formas de energía, como la eléctrica, hidráulica o mecánica, entre otras.

## **J. Bandas, Correas o Fajas y Poleas**

Este mecanismo está formado por al menos dos poleas: una motriz y una conducida, las cuales se encuentran interconectadas mediante una banda, correa o faja. Su uso principal es en aplicaciones donde los ejes son paralelos y se encuentran a una distancia considerable entre sí.



## 2.2. Definición de términos

### 2.2.1. Reductor de velocidad por engranajes

Es un dispositivo mecánico diseñado para disminuir la velocidad de rotación proveniente de un motor, utilizando engranajes de diferentes tamaños. Esta reducción permite transmitir un mayor par a la maquinaria accionada, en este caso, el molino de bolas, optimizando su rendimiento operativo.

### 2.2.2. MOLINO DE BOLAS

Es una máquina utilizada principalmente en procesos de molienda industrial, compuesta por un tambor giratorio parcialmente lleno de cuerpos moledores (bolas). Su función principal es triturar o pulverizar materiales sólidos mediante impacto y fricción.

### 2.2.3. RELACIÓN DE TRANSMISIÓN

Es el cociente entre las velocidades de rotación de dos engranajes acoplados. En un sistema reductor, este valor determina cuánto se reduce la velocidad del eje de salida respecto al eje de entrada, afectando directamente al torque generado.

### 2.2.4. PAR DE SALIDA

Se refiere a la fuerza de torsión que se transmite desde el reductor hacia el eje del molino de bolas. Un mayor torque es esencial para iniciar y mantener el giro del tambor bajo carga, especialmente cuando se procesa material pesado.

### 2.2.5. ENGRANAJES RECTOS

Son ruedas dentadas con dientes paralelos al eje de rotación. Se utilizan comúnmente en reductores por su eficiencia y capacidad para transmitir potencia entre ejes paralelos, proporcionando una reducción de velocidad efectiva y precisa.



## CAPITULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. Métodos de investigación

El enfoque es científico, tanto inductivo como deductivo, ya que se emplearán técnicas de ensayo y verificación reconocidas por la comunidad científica como válidas, repitiendo el proceso de diseño hasta lograr el modelo final adecuado. Es de tipo cuantitativo, dado que se busca ofrecer una solución alternativa al problema planteado.

#### 3.1.1. Nivel de la investigación

Este proyecto adopta una metodología descriptiva e investigación aplicada, ya que se ha desarrollado utilizando los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación profesional (Fernandez Collado & Baptista Lucio, S.E.).

#### 3.1.2. Tipo de la investigación

En este proyecto se aplicó una investigación práctica que aprovechó conocimientos científicos, tecnológicos y técnicas ya existentes para abordar el problema planteado.

Las modalidades de investigación utilizadas fueron las siguientes:



- Investigación Bibliográfica: Se realizó una revisión exhaustiva en libros, documentos, revistas científicas indexadas, artículos especializados y fuentes digitales con el propósito de fundamentar y ampliar los conceptos y temas relacionados con el desarrollo de la investigación.
- Investigación Tecnológica: Fue fundamental para llevar a cabo un análisis y estudio detallado del problema, con la finalidad de obtener la información necesaria que permita definir un diseño que cumpla con los objetivos planteados.
- Investigación No Experimental: Se centró únicamente en el desarrollo teórico mediante el uso de fórmulas y ecuaciones aplicadas al diseño del sistema.

### **3.1.3. Diseño de la investigación**

Investigación No Experimental debido a que no se desarrolló pruebas más únicamente modelos matemáticos para el diseño y selección de cada parte del sistema.

## **3.2. Ámbito de investigación**

El proyecto está orientado ser implementada en la ciudad de Juliaca durante el 2024, y directamente dirigido al sector minero a pequeña escala.

## **3.3. Población y muestra**

### **3.3.1. Población**

Variadores de velocidades o caja de cambios o caja de velocidades mecánicos para máquinas para los molinos de bolas.

### **3.3.2. Muestra**

Variadores de velocidades mecánicos para los molinos de bolas de la pequeña minera.



## 3.4. Técnicas e instrumentos de recogida de información

### 3.4.1. Técnicas:

- Revisión Bibliográfica
- Observación

### 3.4.2. Instrumentos, recolección de datos:

- Ficha de registro bibliográfica

## 3.5. Recogida de datos

Primero se determinó las necesidades y características del molino de bolas.

Segundo, se realizó iteraciones de diseño de cada componente.

Tercero, se determinó el diseño óptimo para las necesidades.

Cuarto, se realizó modelos 3D en el software SolidWorks

Quinto, se realizó planos generales de diseño



## CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Presentación

El objetivo principal de este proyecto es diseñar e implementar un variador de velocidad por engranajes para optimizar la velocidad de trituración en un molino de bolas utilizado en la pequeña minera. Este diseño permitirá ajustar la velocidad de operación del molino, mejorando la eficiencia del proceso de trituración y reduciendo los costos operativos.

1. **Análisis de Requerimientos:** Identificación de los parámetros de operación y especificaciones técnicas del molino de bolas.
2. **Diseño del Sistema de Engranajes:** Selección de engranajes, ejes y componentes complementarios adecuados para cumplir con los requerimientos de velocidad y par.
3. **Fabricación y Montaje:** Proceso de manufactura de los componentes y ensamblaje del variador de velocidad.
4. **Pruebas y Validación:** Ensayo del variador de velocidad en condiciones operativas para asegurar su funcionamiento óptimo.
5. **Implementación y Monitoreo:** Instalación del sistema en el molino de bolas y monitoreo continuo para garantizar la eficiencia y el rendimiento esperados.

Los datos iniciales fueron para el molino de bolas con las siguientes características:

Figura 1 :

## Molino de Bolas a intervenir



Molino de Tamaños Ø x Long.	CANTIDAD EN TON. x 24Hrs. MINERAL DE DUREZA MEDIA					RPM Molino de Bolas	HP para Arranque	HP Motor
	2" a Malla 35	1" a Malla 48	½" a Malla 65	¼" a Malla 100	⅓" a Malla 200			
3' x 2'	15	11	9	6	-	33	7½	10
3' x 3'	20	16	14	9	-	33	10	15
3' x 4'	25	21	19	12	7	33	12	15
3' x 5'	30	26	24	15	8	33	14	15
3' x 6'	35	31	29	18	9	33	17½	20
3' x 7'	45	41	39	24	11	33	22	25
3' x 8'	50	46	44	27	13	33	24	25
3' x 9'	42	34	30	22	12	28	17	20
4' x 3'	52	44	40	25	14	28	22	25
4' x 4'	63	55	50	31	16	28	28	30
4' x 5'	74	66	61	37	18	28	35	40
4' x 6'	95	87	82	50	22	28	42	50
4' x 8'	116	108	103	62	26	28	49	50
5' x 3'	77	63	55	40	22	26	34	40
5' x 4'	94	80	72	45	25	26	41	50
5' x 5'	112	98	90	56	29	26	48	50
5' x 6'	130	116	110	67	33	26	57	60
5' x 8'	170	156	148	90	40	26	73	75
5' x 10'	210	196	186	113	47	26	88	100
5' x 12'	250	236	224	136	54	26	103	125
6' x 4'	172	150	140	83	40	22	71	75
6' x 5'	210	180	170	100	49	22	87	100
6' x 6'	260	225	210	125	60	22	105	125
6' x 8'	325	275	260	152	75	22	130	150
6' x 10'	390	340	320	185	90	22	150	175
6' x 12'	465	390	375	220	107	22	175	200

Nota: Extraído de <https://www.deltaindustrial.com/productos/p8.php>

- ❖ Potencia máxima : 10 kW – 14 hp a 1800 rpm
- ❖ Peso : 300 - 400 kg
- ❖ Dimensiones de la rola :
  - Largo del tambor : 2.00 m
  - Diámetro de la rola : 1.20 m
  - Volumen de la rola : 2.26 m<sup>3</sup>
  - Espesor de la rola : 1.0 pul
- ❖ Ng : 150 dientes
- ❖ Par máximo : 40 N·m a 4.000 rpm
- ❖ Coeficiente aerodinámico : 0,3

La velocidad de giro del tambor tiene un rango definido y recomendado según la siguiente tabla:

Tabla 1:

Especificaciones comerciales de Molino de Bolas

Modelo	Velocidad (r/min)	Cantidad de llenado de bolas (T)	Tamaño de alimentación (mm)	Granulación de descarga (mm)	Producción (t/h)	Potencia de motor (kW)	Peso (t)
Φ900 × 1.800	38	1,5	≤ 20	0,075-0,89	0,65-2	18,5	3,6
Φ900 × 3.000	38	2,7	≤ 20	0,075-0,89	1,1-3,5	22	4,6
Φ1.200 × 2.400	32	3,8	≤ 25	0,075-0,6	1,5-4,8	45	12,5
Φ1.200 × 3.000	32	5	≤ 25	0,075-0,4	1,6-5	45	12,8
Φ1.200 × 4.500	32	7	≤ 25	0,075-0,4	1,6-5,8	55	13,8
Φ1.500 × 3.000	27	8	≤ 25	0,075-0,4	2-5	90	17
Φ1.500 × 4.500	27	14	≤ 25	0,075-0,4	3-6	110	21
Φ1.500 × 5.700	27	15	≤ 25	0,075-0,4	3,5-6	132	24,7
Φ1.830 × 3.000	24	11	≤ 25	0,075-0,4	4-10	180	28
Φ1.830 × 6.400	24	23	≤ 25	0,075-0,4	6,5-15	210	34
Φ1.830 × 7.000	24	25	≤ 25	0,075-0,4	7,5-17	245	36
Φ2.200 × 5.500	21	30	≤ 25	0,075-0,4	10-22	370	48,5
Φ2.200 × 6.500	21	30	≤ 25	0,075-0,4	14-26	280	52,8
Φ2.200 × 7.500	21	33	≤ 25	0,075-0,4	16-29	380	56
Φ2.200 × 9.500	21	38	≤ 25	0,074-0,4	18-35	475	62

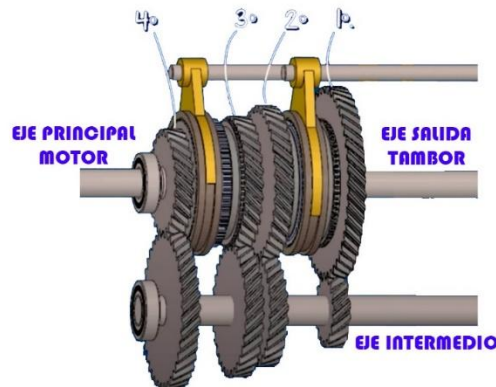
Nota: Extraído de (Blanco, 2020)

- ❖ Velocidad del tambor : 21 rpm a 38 rpm

Figura 2 :

Variador de velocidad por engranajes

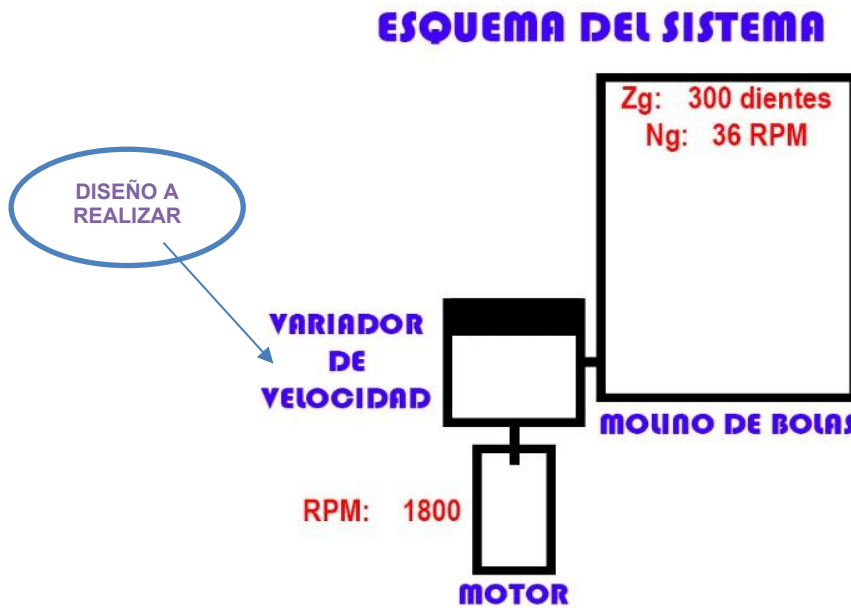
VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES



Nota: Creación propia

La principal variable a considerar es el tamaño de los engranajes. Estos no deben ser excesivamente grandes, ya que esto aumentaría tanto el costo total del sistema como el tamaño necesario de la caja de cambios. Por otro lado, tampoco conviene que sean demasiado pequeños, para evitar inconvenientes como interferencias o desgaste acelerado. Por ello, se ha fijado un mínimo de 14 dientes para los engranajes (Salvador, 2017), por lo que se seleccionará un número de dientes igual a 30.

Esquema del sistema



Nota: Creación propia

Donde:

$n_i$  : Velocidad

$Z_i$  : Numero de dientes

$$n_p * Z_p = n_g * Z_g$$

$$VR = \frac{n_p}{n_g} = \frac{Z_g}{Z_p} \quad (1)$$

$$\frac{n_p}{36} = \frac{300}{30}$$

$$n_p = 360 \text{ RPM}$$

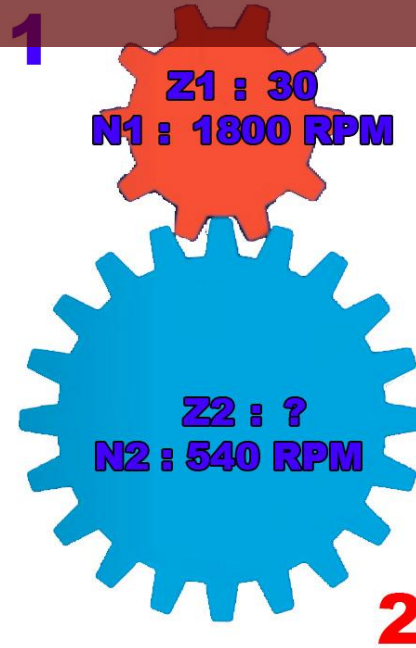
Entonces se tomará en consideración una velocidad de 360 RPM para el engranaje conducido de la primera marcha (1ra) del engranaje conducido.

## 4.2. Análisis e interpretación de resultados

### 4.2.1. Reducción inicial

Figura 4 :

Esquema del sistema



Nota: Creación propia

#### 4.2.1.1. Potencia de diseño

Figura 5 :

Factores de sobrecarga sugeridos,  $K_o$

Fuente de potencia	Máquina impulsada			
	Uniforme	Choque ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75
Choque ligero	1.20	1.40	1.75	2.25
Choque moderado	1.30	1.70	2.00	2.75

Nota: (Mott, 2006)

$$P_{dis} = K_o * P_{motor} \quad (2)$$

$$P_{dis} = 1.75 * 10 \text{ kW} \cong 17.5 \text{ kW}$$

#### 4.2.1.1. Relación de velocidades real

$$VRr = \frac{N1}{N2} \quad (3)$$

$$VRr = \frac{1800}{540} = 3.33$$

## 4.2.1.2. Numero de dientes del engranaje "2"

$$VR = \frac{N1}{N2} = \frac{Z2}{Z1} \quad (4)$$

$$Z2 = 3.33 * 15 = 50 \text{ dientes}$$

## 4.2.1.3. Velocidad de salida real

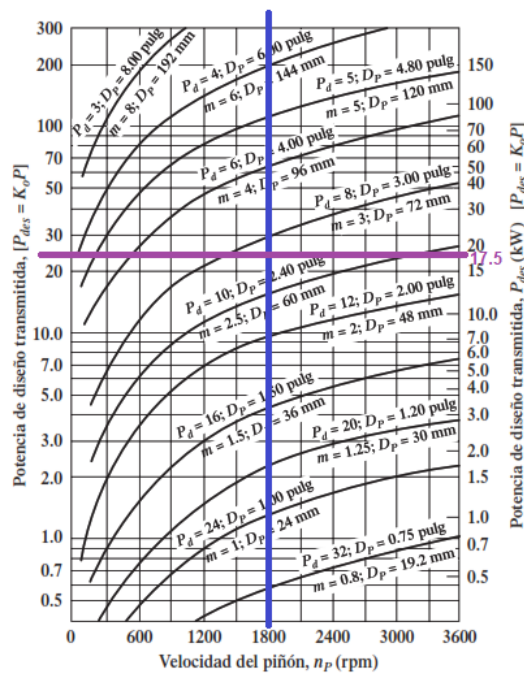
$$N2r = N1 * \left(\frac{N2}{N1}\right) \quad (5)$$

$$N2r = 1800 * \left(\frac{540}{1800}\right) = 540 \text{ RPM}$$

## 4.2.1.4. Diámetros de paso

Figura 6 :

Potencia de diseño transmitida



Nota: (Mott, 2006) pág. 409

Para una velocidad del piñón de 1800 revoluciones por minuto y una potencia diseñada de 17.5 kW, se recomienda un paso diametral cercano a  $P_d = 9$ .

$$D2 = \frac{Z2}{P_d} \quad (6)$$

$$D2 = \frac{50}{9} = 5.5 \text{ pulg}$$



$$D1 = \frac{Z1}{Pd} \quad (7)$$

$$D1 = \frac{30}{9} = 3.3 \text{ pulg}$$

#### 4.2.1.5. Distancia entre centros

$$C = \frac{Z2 + Z1}{2 * Pd} \quad (8)$$

$$C = \frac{50 + 30}{2 * 9} = 4.4 \text{ pulg}$$

#### 4.2.1.6. Velocidad de la línea de paso

$$vt = \pi * D1 * \frac{N1}{12} \quad (9)$$

$$vt = \frac{\pi * 3.3 * 1800}{12} = 1555 \text{ pies/min}$$

#### 4.2.1.7. Carga transmitida

$$Wt = 33000 * \frac{Pot (hp)}{vt} \quad (10)$$

$$Wt = 33000 * \frac{13.4}{1555} = 284.4 \text{ lb} \cong 129 \text{ kg}$$

#### 4.2.1.8. Ancho de cara del piñón y engrane

$$\frac{8}{Pd} < F < \frac{16}{Pd} \quad (11)$$

Límite inferior:

$$\frac{8}{Pd} = \frac{8}{9} = 0.9$$

Límite superior:



$$\frac{16}{Pd} = \frac{16}{9} = 1.8$$

Valor nominal.

$$F = \frac{12}{Pd} = \frac{12}{9} = 1.3, \text{Valor sugerido}$$

**4.2.1.9. Material de los engranes y coeficiente elástico**

Figura 7 :

Coeficiente elástico, Cp

Material del piñón	Módulo de elasticidad, $E_p$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa)	Material y módulo de elasticidad $E_g$ , lb/pulg <sup>2</sup> (MPa), del engrane					
		Acero $30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	Hierro maleable $25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro nodular $24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	Hierro colado $22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	Bronce de aluminio $17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	Bronce de estaño $16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )
Acero	$30 \times 10^6$ ( $2 \times 10^5$ )	2300 (191)	2180 (181)	2160 (179)	2100 (174)	1950 (162)	1900 (158)
Hierro maleable	$25 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2180 (181)	2090 (174)	2070 (172)	2020 (168)	1900 (158)	1850 (154)
Hierro nodular	$24 \times 10^6$ ( $1.7 \times 10^5$ )	2160 (179)	2070 (172)	2050 (170)	2000 (166)	1880 (156)	1830 (152)
Hierro colado	$22 \times 10^6$ ( $1.5 \times 10^5$ )	2100 (174)	2020 (168)	2000 (166)	1960 (163)	1850 (154)	1800 (149)
Bronce de aluminio	$17.5 \times 10^6$ ( $1.2 \times 10^5$ )	1950 (162)	1900 (158)	1880 (156)	1850 (154)	1750 (145)	1700 (141)
Bronce de estaño	$16 \times 10^6$ ( $1.1 \times 10^5$ )	1900 (158)	1850 (154)	1830 (152)	1800 (149)	1700 (141)	1650 (137)

Nota: (Mott, 2006)

Para el piñón se asignará como material, Acero con un valor de coeficiente de elasticidad de 2300.

**4.2.1.10. Numero de calidad y factor dinámico**

Figura 8 :

Numero de calidad AGMA recomendados

Aplicación	Número de calidad	Aplicación	Número de calidad
Accionamiento de tambor mezclador de cemento	3-5	Taladro pequeño	7-9
Horno de cemento	5-6	Lavadora de ropa	8-10
Impulsores de laminadoras de acero	5-6	Prensa de impresión	9-11
Cosechadora de granos	5-7	Mecanismo de cómputo	10-11
Grúas	5-7	Transmisión automotriz	10-11
Prensas de punzonado	5-7	Accionamiento de antena de radar	10-12
Transportador de mina	5-7	Accionamiento de propulsión marina	10-12
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8	Accionamiento de motor de avión	10-13
Mecanismo de medidores de gas	7-9	Giroscopio	12-14

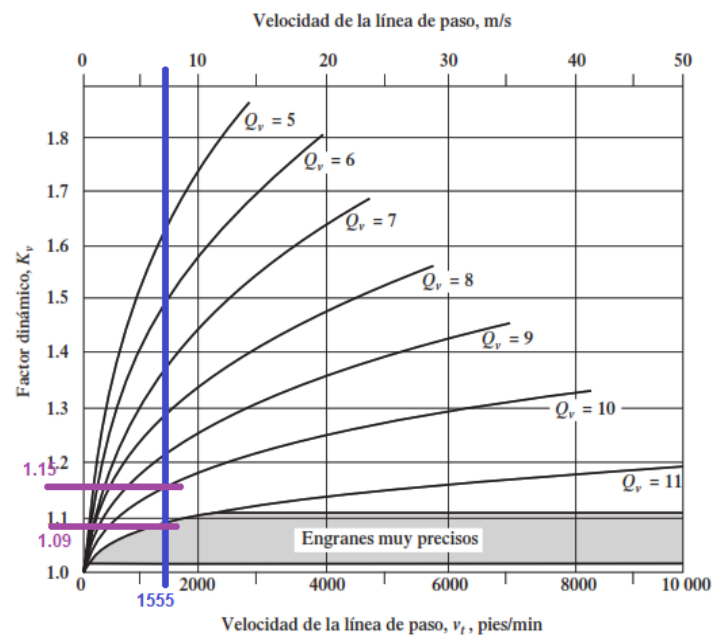
Accionamientos de máquinas herramienta y de otros sistemas mecánicos de alta calidad		
Velocidad de la línea de paso (pies/min)	Número de calidad	Velocidad de la línea de paso de paso
0-800	6-8	0-4
800-2000	8-10	4-11
2000-4000	10-12	11-22
Más de 4000	12-14	Más de 22

Nota: (Mott, 2006) pág. 378

El número de calidad  $Q_v = 10$  a  $11$ .

Figura 9 :

Factor dinámico,  $K_v$



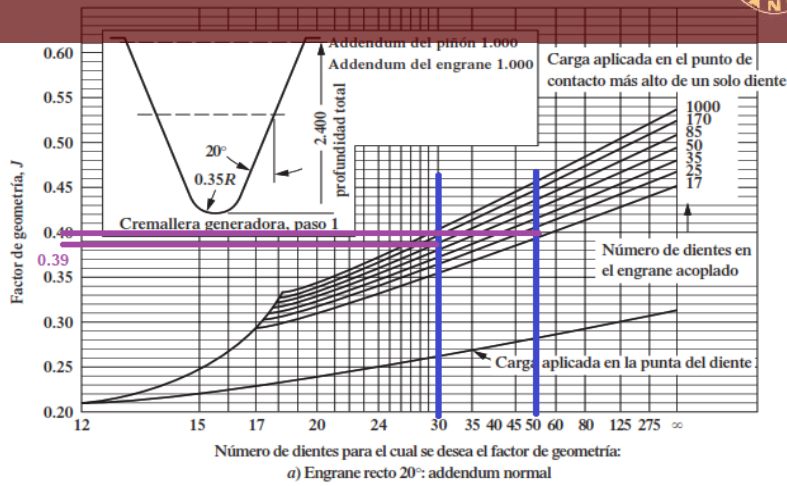
Nota: (Mott, 2006) pág. 393

El factor dinámico  $K_v = 1.09 - 1.15$

#### 4.2.1.11. Factores geométricos

Figura 10 :

Factor J de geometría

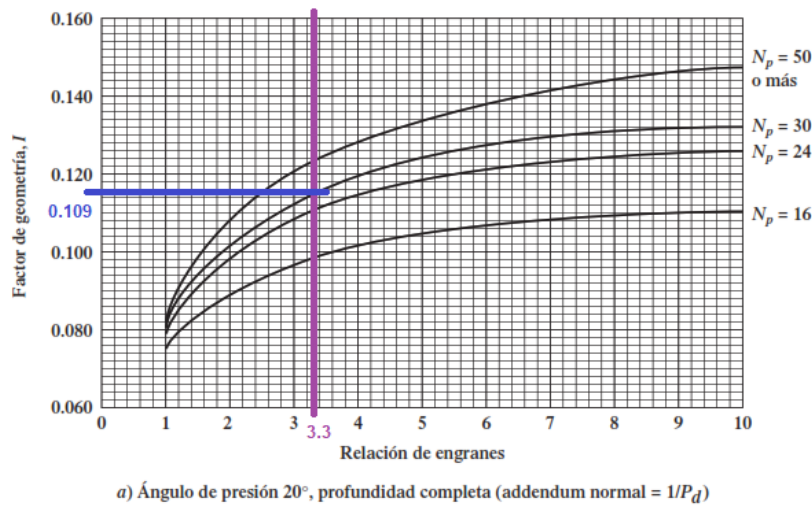


Nota: (Mott, 2006) pág. 387

Para el piñón con 10 dientes, el factor  $J_2$  es 0.4, mientras que para el engranaje de 129 dientes, el factor  $J_1$  es 0.39.

Figura 11 :

Factor I de geometría



Nota: (Mott, 2006) pág. 402

Para una relación de 1.3 y  $Z_2 = 32$ , se tendrá extrapolando un factor  $I = 0.109$

#### 4.2.1.12. Factores de distribución de carga

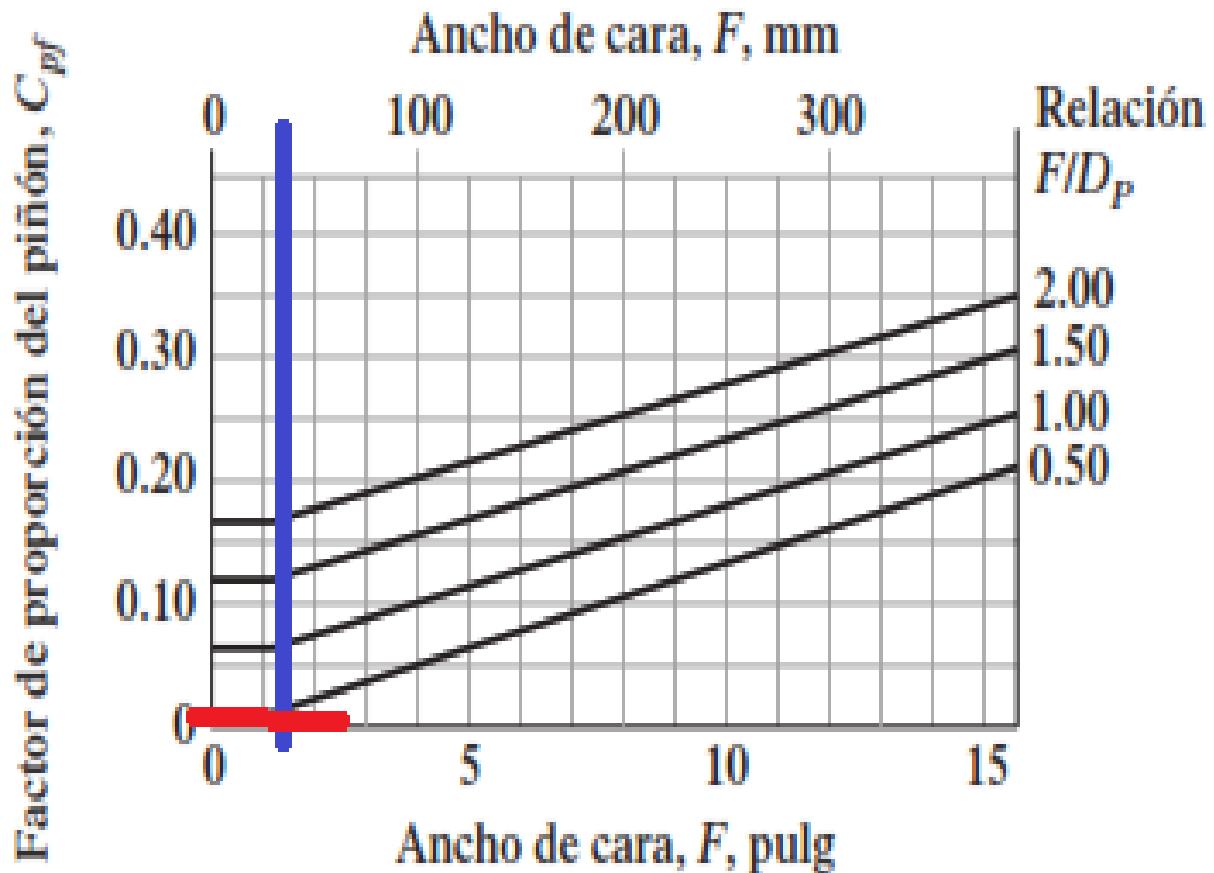
$$km = 1 + C_{pf} + C_{ma} \tag{12}$$

Donde:

- $C_{pf}$  : Factor de proporción del piñón
- $C_{ma}$  : Factor por alineamiento de engranado
- $F$  : 1.3 pulg
- $D_1$  : 3.3 pulg
- $F/D_p$  : 0.4

Figura 12 :

Factor de proporción del piñón  $C_{pf}$

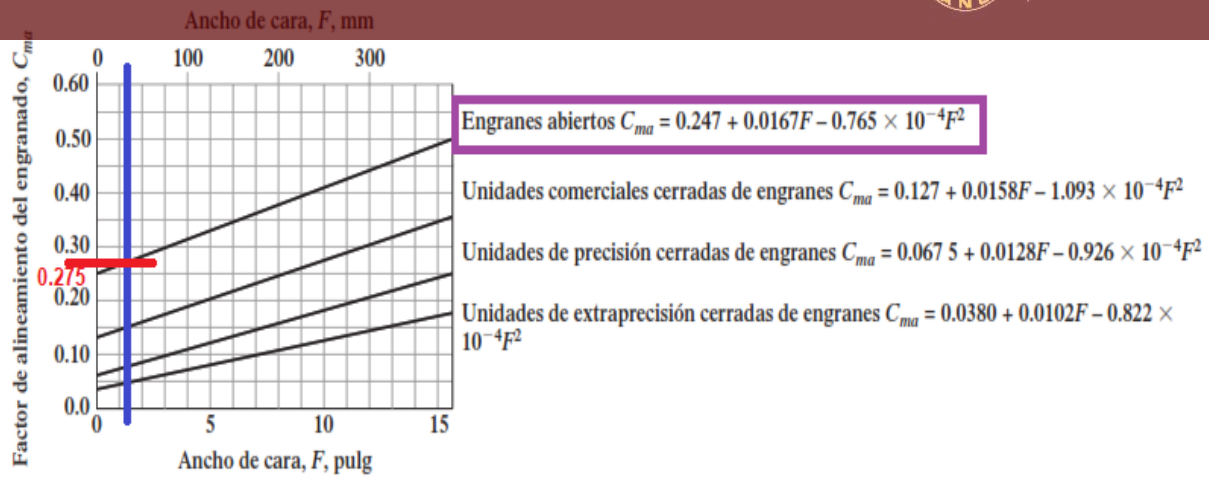


Nota: (Mott, 2006) pág. 391

El factor de proporción del piñón  $C_{pf} = 0.01$

Figura 13 :

Factor de alineamiento del engranado  $C_{ma}$



Nota: (Mott, 2006) pág. 391

El factor de alineamiento del engranado  $C_{ma} = 0.275$

$$k_m = 1 + 0.01 + 0.275 = 1.285$$

#### 4.2.1.13. Factor de tamaño

Figura 14 :

Factor de tamaño sugeridos

Paso diametral, $P_d$	Módulo métrico, $m$	Factor de tamaño, $K_s$
$\geq 5$	$\leq 5$	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

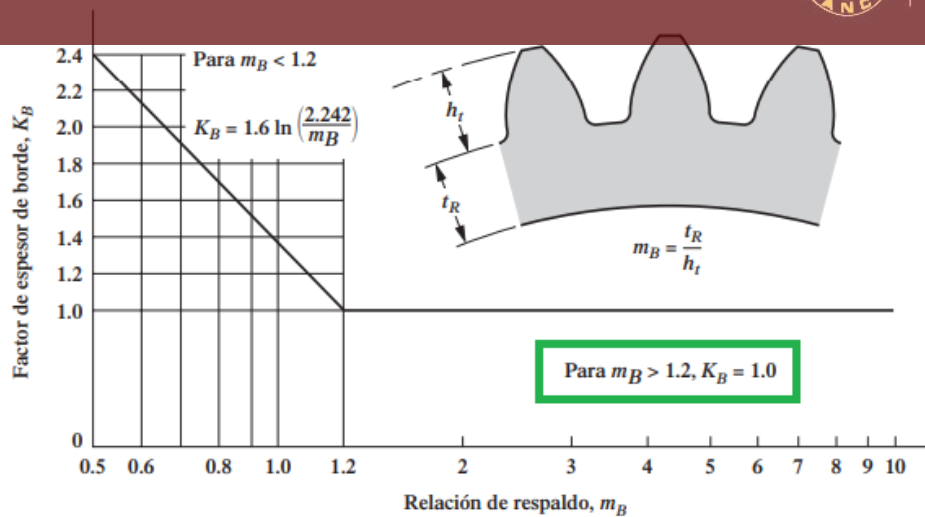
Nota: (Mott, 2006)

El factor de tamaño  $k_s = 1$ .

#### 4.2.1.14. Factor de espesor de borde

Figura 15 :

Factor de espesor de borde



Nota: (Mott, 2006) pág. 392

El factor de espesor de borde  $k_b = 1$

#### 4.2.1.15. Factor de servicio

Según el libro (Mott, 2006) El valor comúnmente utilizado oscila entre 1 y 1.5, dependiendo del nivel de incertidumbre (p. 411). En este caso específico, se optará por un factor de seguridad (FS) de 1.

#### 4.2.1.16. Factor de relación de durezas

Según el libro de (Mott, 2006) para el engranaje, si corresponde, se sugiere emplear un valor inicial de  $CH = 1.00$  en las primeras etapas, hasta que se definan claramente los materiales. Luego, este valor de  $CH$  podrá ser ajustado si se detectan diferencias notables en la dureza entre el piñón y el engranaje (p. 411). En nuestro proyecto, se adoptará un valor de  $CH = 1$ .

#### 4.2.1.17. Factor de confiabilidad

Figura 16 :

Factor de confiabilidad

Confiabilidad	$K_R$
0.90, una falla en 10	0.85
0.99, una falla en 100	1.00
0.999, una falla en 1000	1.25
0.9999, una falla en 10 000	1.50

Nota: (Mott, 2006)

El factor de tamaño  $k_r = 1$

#### 4.2.1.18. Vida de diseño

➤ Vida útil : 3000 horas, (Mott, 2006)

$$N_{c2} = 60 * V_{util} * N_2 \quad (13)$$

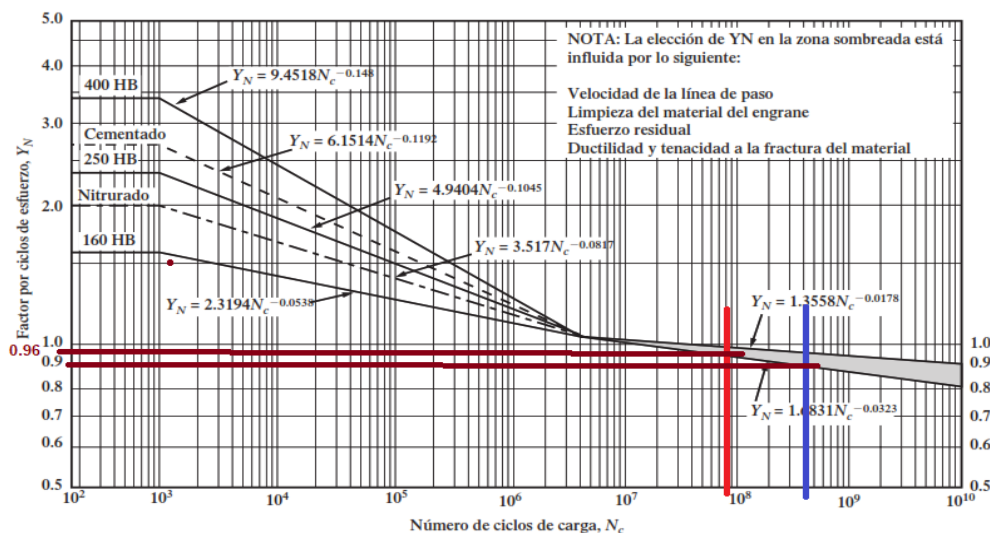
$$N_{c2} = 60 * 3000 * 540 = 9.7 \times 10^7 \text{ ciclos}$$

$$N_{c1} = 60 * V_{util} * N_1 \quad (14)$$

$$N_{c1} = 60 * 3000 * 1800 = 3.2 \times 10^8 \text{ ciclos}$$

Figura 17 :

Factor por ciclos de esfuerzo,  $Y_n$

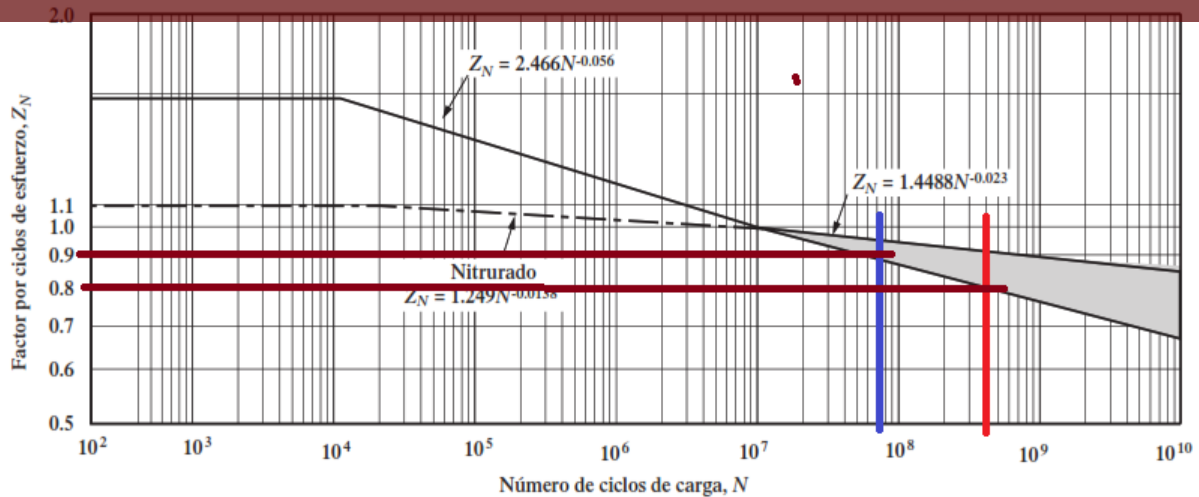


Nota: (Mott, 2006) pág. 395

El factor de esfuerzo del piñón será de  $Y_{n2} = 0.96$  y el factor de esfuerzo del engrane será de  $Y_{n1} = 0.9$ .

Figura 18 :

Factor por ciclos de esfuerzo,  $Z_n$



Nota: (Mott, 2006) pág. 403

El factor de carga aplicado al piñón será  $Z_{n2} = 0.9$ , mientras que para el engranaje se utilizará un factor de carga  $Z_{n1} = 0.8$ .

#### 4.2.1.19. Esfuerzos flexionantes

$$St2 = \frac{Wt * Pd}{F * J1} * K_o * K_s * K_m * K_b * K_v \quad (15)$$

$$St2 = \frac{284.4 * 9}{1.3 * 0.39} * 1.75 * 1 * 1.285 * 1 * 1.15 = 13056 \text{ psi}$$

$$St1 = St2 * \left(\frac{J1}{J2}\right) \quad (16)$$

$$St1 = 13056 * \left(\frac{0.39}{0.40}\right) = 12730 \text{ psi}$$

#### 4.2.1.20. Ajuste de los esfuerzos flexionantes

$$Sat1 > St1 * \frac{Kr * SF}{Yn1} \quad (17)$$

$$Sat1 > 12730 * \frac{1 * 1}{0.9} = 14144 \text{ psi}$$

$$Sat2 > St2 * \frac{Kr * SF}{Yn2} \quad (18)$$

$$Sat2 > 13056 * \frac{1 * 1}{0.96} = 13600 \text{ psi}$$



$$Sc = Cp * \sqrt{\frac{Wt * Ko * Ks * Km * kv}{F * D1 * I}} \tag{19}$$

$$Sc = 2300 * \sqrt{\frac{284.4 * 1.75 * 1 * 1.285 * 1.15}{1.3 * 3.3 * 0.109}} = 91216 \text{ psi}$$

### 4.2.1.22. Ajuste los esfuerzos de contacto en los engranes

$$Sac1 > Sc1 * \frac{Kr * SF}{Zn1} \tag{20}$$

$$Sac1 > 91216 * \frac{1 * 1}{0.8} = 114020 \text{ psi}$$

$$Sac2 > Sc2 * \frac{Kr * SF}{Zn2 * Ch} \tag{21}$$

$$Sac2 > 91216 * \frac{1 * 1}{0.9 * 1} = 101351 \text{ psi}$$

## 4.2.2. Resultados de los cálculos de los engranajes

### 4.2.2.1. Reducción inicial

Tabla 2:

Datos del conjunto de engranajes de la reducción Inicial

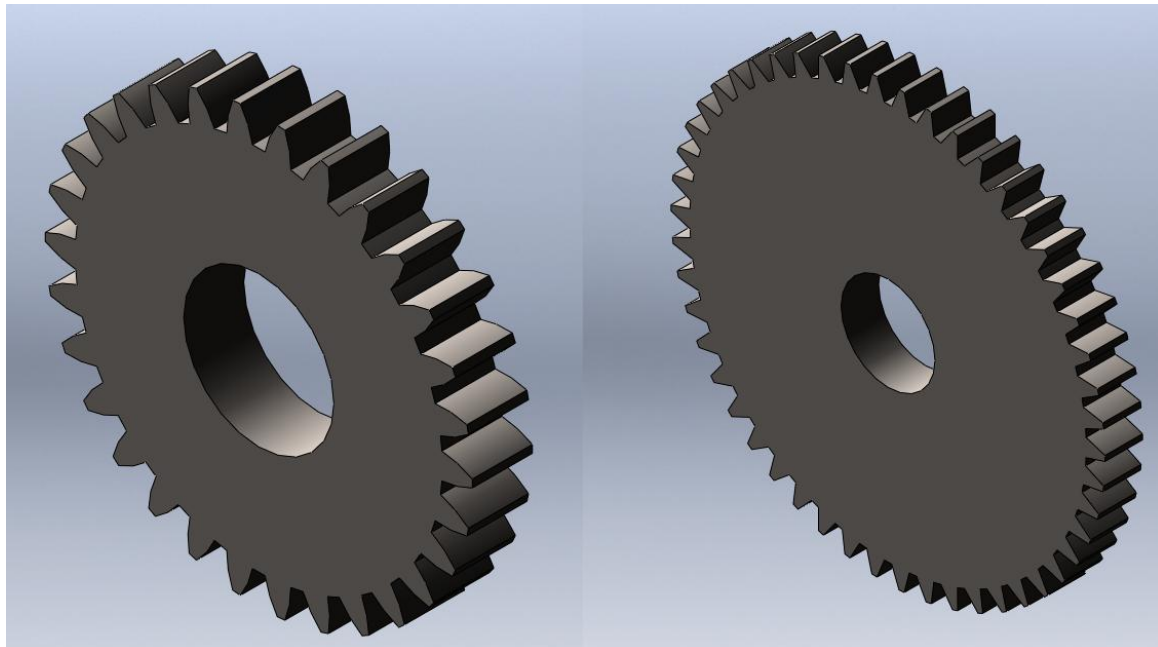
Datos de Entrada			
Descripción	Engranaje "1"	Engranaje "2"	Unidades

Potencia del Motor	17.5 (23.5)		kW (hp)
Angulo de presión	20		grados
<b>Primera Marcha "1"</b>			
Velocidad entrada (N)	1800	540	RPM
Diámetro (D)	4	8	pulgadas
Numero de dientes (Z)	15	50	

Nota: Obtenido de(Mott, 2006)

Figura 19 :

Engranajes de la reducción inicial en SolidWorks, engranajes (1) y (2)



Nota: Creación propia

#### 4.2.2.2. Primera marcha 1ra

Tabla 3:

Datos del conjunto de engranajes de la primera marcha 1ra

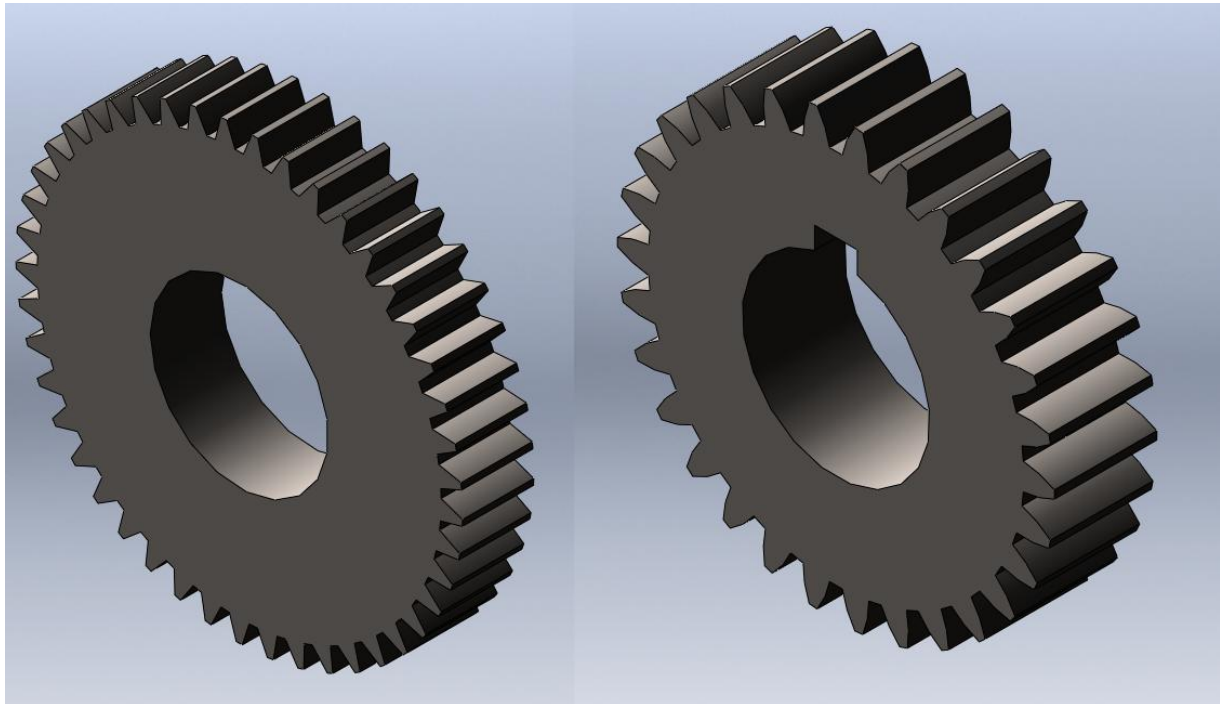
Datos de Entrada			
Descripción	Engranaje "1"	Engranaje "2"	Unidades
Potencia del Motor	17.5 (23.5)		kW (hp)
Angulo de presión	20		grados
<b>Primera Marcha "1"</b>			

Velocidad entrada (N)	360	540	RPM
Diámetro (D)	7.5	5	pulgadas
Numero de dientes (Z)	45	30	

Nota: Obtenido de(Mott, 2006)

Figura 20 :

Engranajes de la primera marcha 1ra en SolidWorks, engranajes (1) y (2)



Nota: Creación propia

### 4.2.2.3. Segunda marcha 2da

Tabla 4:

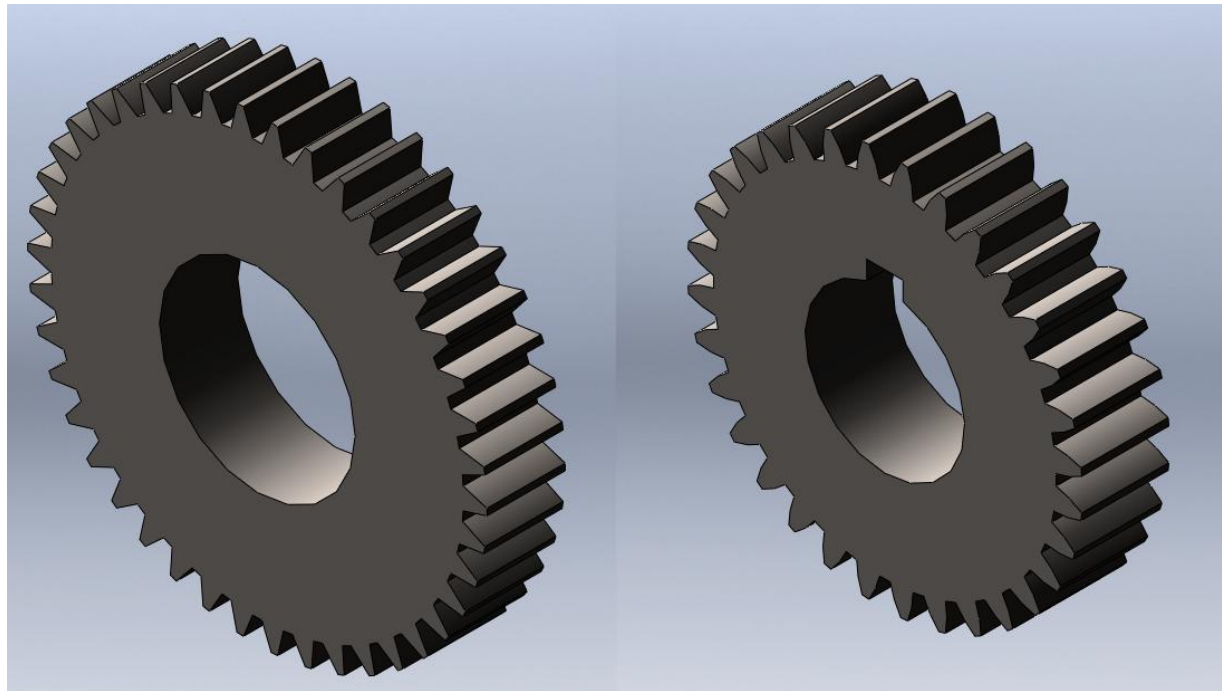
Datos del conjunto de engranajes de la segunda marcha 2da

Datos de Entrada			
Descripción	Engranaje "1"	Engranaje "2"	Unidades
Potencia del Motor	17.5 (23.5)		kW (hp)
Angulo de presión	20		grados
Segunda Marcha "2"			
Velocidad entrada (N)	415	540	RPM
Diámetro (D)	7.7	5.3	pulgadas

Nota: Obtenido de(Mott, 2006)

Figura 21 :

Engranajes de la segunda marcha 2da en SolidWorks, engranajes (1) y (2)



Nota: Creación propia

#### 4.2.2.4. Tercera marcha 3ra

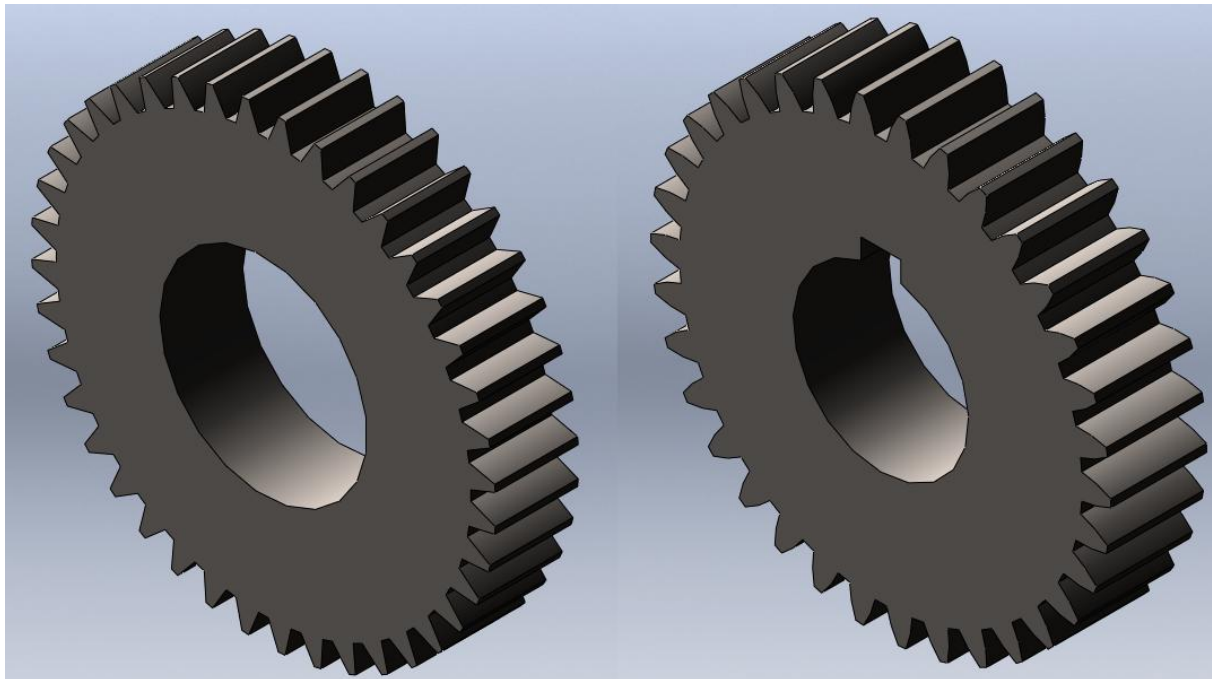
Tabla 5:

Datos del conjunto de engranajes de la tercera marcha 3ra

Datos de Entrada			
Descripción	Engranaje "1"	Engranaje "2"	Unidades
Potencia del Motor	17.5 (23.5)		kW (hp)
Angulo de presión	20		grados
Tercera Marcha "3"			
Velocidad entrada (N)	450	540	RPM
Diámetro (D)	7.1	6	pulgadas
Numero de dientes (Z)	40	34	

Figura 22 :

Engranajes de la tercera marcha 3ra en SolidWorks, engranajes (1) y (2)



Nota: Creación propia

#### 4.2.2.5. Cuarta marcha 4ta

Tabla 6:

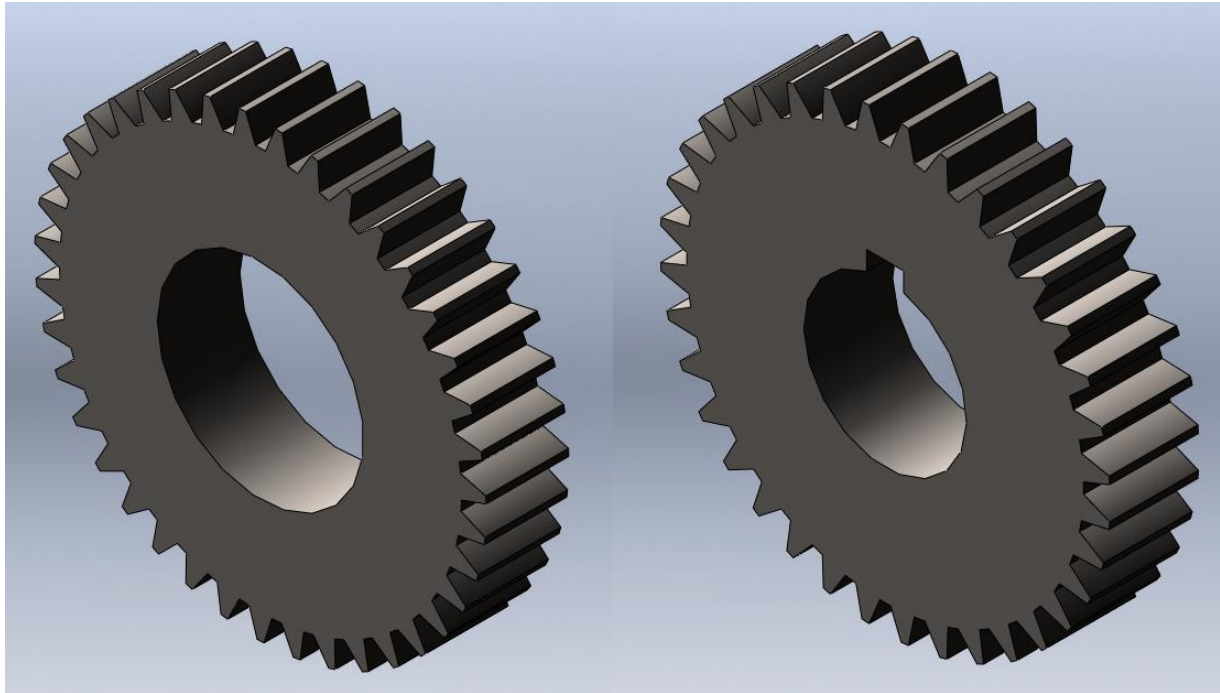
Datos del conjunto de engranajes de la reducción Inicial

Datos de Entrada			
Descripción	Engranaje "1"	Engranaje "2"	Unidades
Potencia del Motor	17.5 (23.5)		kW (hp)
Angulo de presión	20		grados
Cuarta Marcha "4"			
Velocidad entrada (N)	490	540	RPM
Diámetro (D)	7.1	6.4	pulgadas
Numero de dientes (Z)	40	36	



Figura 23 :

Engranajes de la reducción inicial en SolidWorks, engranajes (1) y (2)

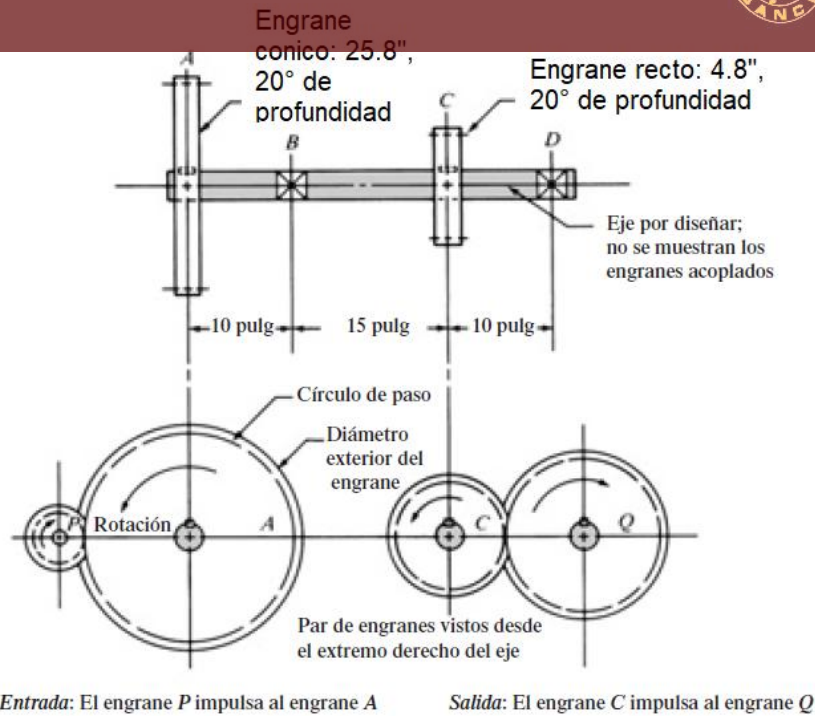


Nota: Creación propia

### 4.2.3. CALCULO DE EJE ROTACIÓN

Figura 24 :

Eje intermedio



Nota: Extraído de (Mott, 2006)

Tabla 7:

Datos de entrada para el diseño del eje de transmisión

Datos de Entrada			
Descripción	Engranaje "1"	Engranaje "2"	Unidades
Potencia del Motor	17.5 (23.5)		kW (hp)
Angulo de presión	20		grados
Reducción Inicial			
Velocidad entrada (N)	1800	540	RPM
Diámetro (D)	3.3	5.5	pulgadas
Numero de dientes (Z)	30	50	
Primera Marcha "1"			
Velocidad entrada (N)	360	540	RPM
Diámetro (D)	7.5	5	pulgadas
Numero de dientes (Z)	45	30	
Segunda Marcha "2"			
Velocidad entrada (N)	415	540	RPM
Diámetro (D)	7.7	5.3	pulgadas
Numero de dientes (Z)	42	32	
Tercera Marcha "3"			
Velocidad entrada (N)	450	540	RPM
Diámetro (D)	7.1	6	pulgadas
Numero de dientes (Z)	40	34	
Cuarta Marcha "4"			
Velocidad entrada (N)	490	540	RPM
Diámetro (D)	7.1	6.4	pulgadas

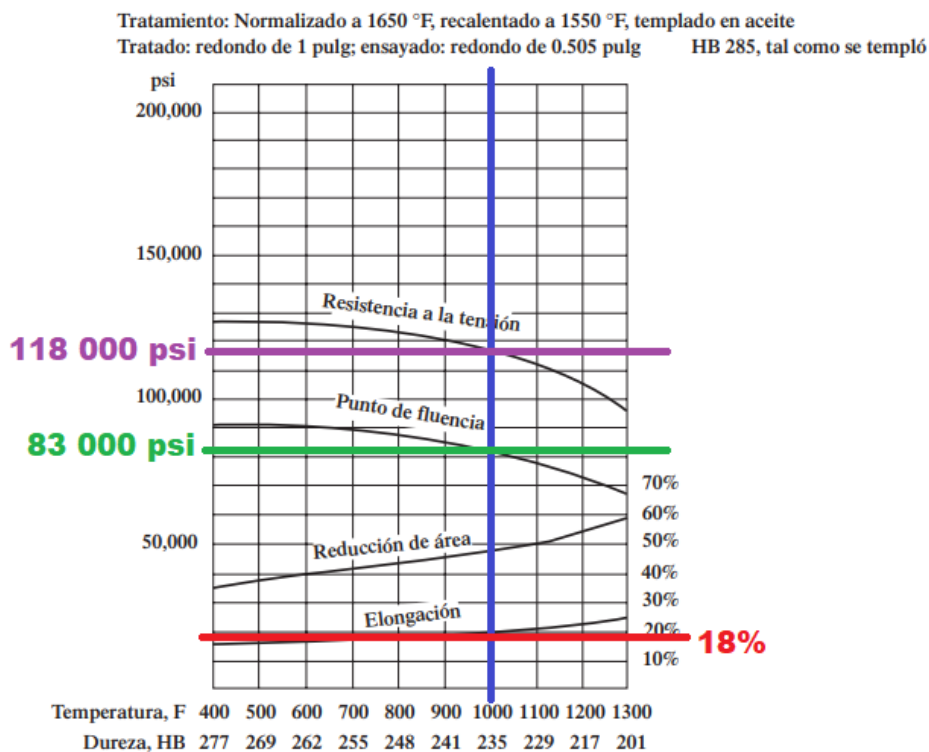
Nota: Obtenido de(Mott, 2006)

### 4.2.3.1. *Propiedades del material*

Se preseleccionará una Acero AISI 1144 OQT 1000

Figura 25 :

Eje intermedio para un reductor de velocidad doble engranes

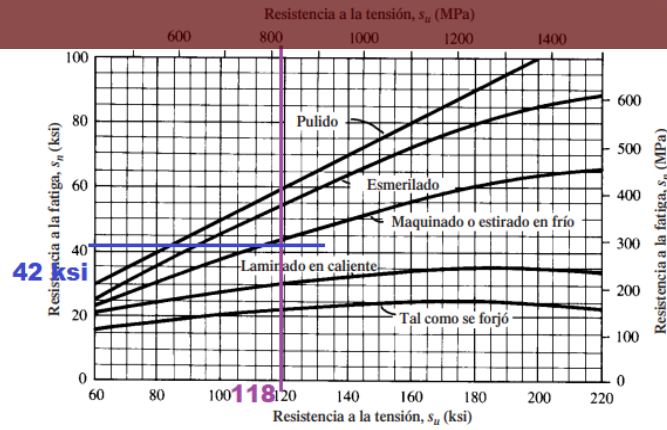


Nota: Obtenido de(Mott, 2006)

Considerando:  $S_y = 83000$  psi,  $W_u = 118\ 000$  psi ó 118 ksi, porcentaje de elongación igual a 18%.

Figura 26 :

Resistencia a la fatiga  $S_n$



Nota: Obtenido de(Mott, 2006)

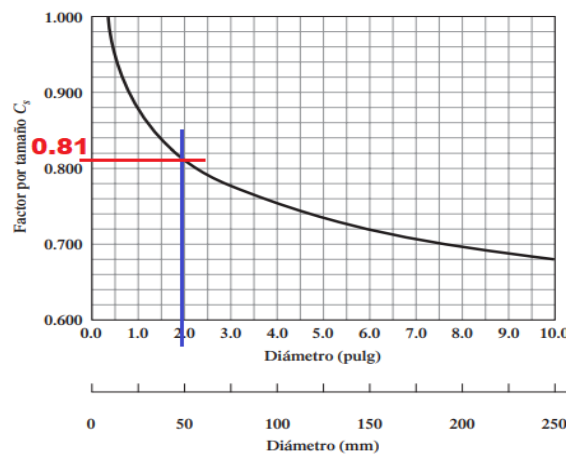
Considerando que  $W_u = 118,000$  psi (o 118 ksi), la resistencia a la fatiga se tiene como  $S_n = 42$  ksi (o 42,000 psi).

#### 4.2.3.2. Factor de tamaño del eje

Se debe de considerar una estimado del diámetro del eje, se tomará un estimado de 2".

Figura 27 :

Factor de tamaño  $C_s$



Nota: Obtenido de(Mott, 2006)

Considerando que  $Deje = 2"$ , se tomará en cuenta un factor de tamaño  $C_s = 0.81$ .

### 4.2.3.3. Factor de confiabilidad

De acuerdo con lo establecido en el manual de diseño, el cálculo debe efectuarse considerando un nivel de confiabilidad del 99%. Por ello, se adoptará un factor de confiabilidad  $C_r$  igual a 0.81 (p. 548).

### 4.2.3.4. Resistencia a la fatiga modificada

$$S'_n = S_n * C_s * C_r \quad (22)$$

$$S'_n = 42000 * 0.81 * 0.81 = 27\,556 \text{ psi}$$

### 4.2.3.5. Factor de seguridad

Para contemplar un diseño óptimo (Mott, 2006) recomienda un factor de seguridad  $N = 2$  (p. 548).

### 4.2.3.6. Par torsional ejercida a un diente del engranaje

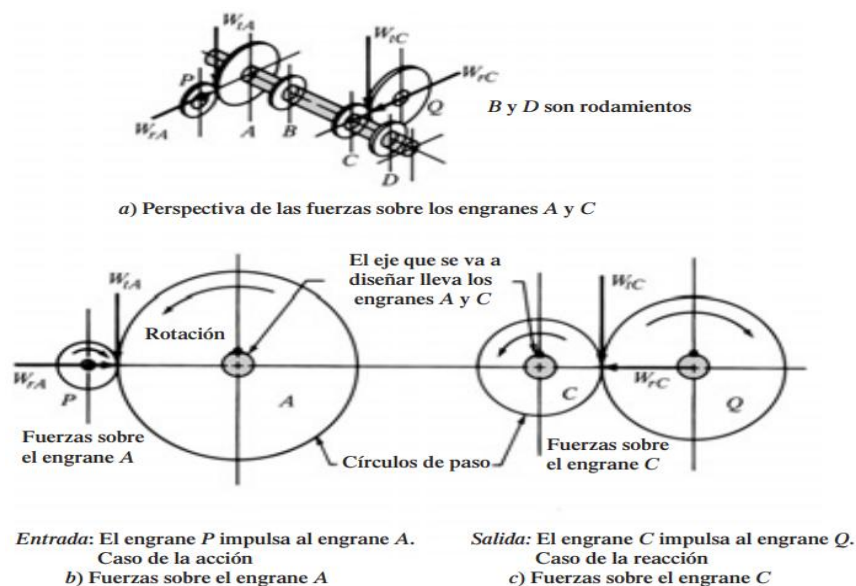
$$T = 63000 * \frac{P}{N^2} \quad (23)$$

$$T = 63000 * \frac{23.5}{540} = 2742 \text{ lb} - \text{pulg}$$

### 4.2.3.1. Fuerzas sobre los engranes

Figura 28 :

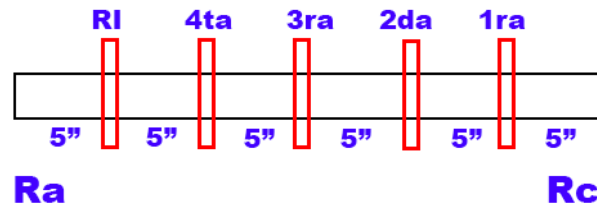
Modelo sobre los esfuerzos sobre los engranes



Nota: Obtenido de (Mott, 2006)



Fuerzas actuantes



Nota: Creación propia

**Fuerza tangencial:**

$$Wt = \frac{T}{\frac{\text{Diametro de paso}}{2}} \quad (24)$$

**Fuerza radial:**

$$Wr = Wt * \tan\phi \quad (25)$$

Entonces:

**Fuerzas en la etapa de reducción primaria:**

$$Wt(ri) = \frac{T(ri)}{\frac{D(ri)}{2}} = \frac{2742}{\frac{5.5}{2}} = 997 \text{ lb} \downarrow$$

$$Wr(ri) = Wtri * \tan(\phi) = 997 * \tan(20^\circ) = 363 \text{ lb} \rightarrow$$

**Fuerzas de la primera marcha 1ra:**

$$Wt(1) = \frac{T(1)}{\frac{D(1)}{2}} = \frac{2742}{\frac{5}{2}} = 1097 \text{ lb} \uparrow$$

$$Wr(1) = Wt(1) * \tan(\phi) = 1097 * \tan(20^\circ) = 400 \text{ lb} \leftarrow$$

**Fuerzas de la segunda marcha 2da:**

$$Wt(2) = \frac{T(2)}{\frac{D(2)}{2}} = \frac{2742}{\frac{5.3}{2}} = 1035 \text{ lb} \uparrow$$

$$Wr(2) = Wt(2) * \tan(\phi) = 1035 * \tan(20^\circ) = 377 \text{ lb} \leftarrow$$

$$Wt(3) = \frac{T(3)}{\frac{D(3)}{2}} = \frac{2742}{\frac{6}{2}} = 914 \text{ lb } \uparrow$$

$$Wr(3) = Wt(3) * \tan(\phi) = 914 * \tan(20^\circ) = 333 \text{ lb } \leftarrow$$

### Fuerzas de la cuarta marcha 4ta:

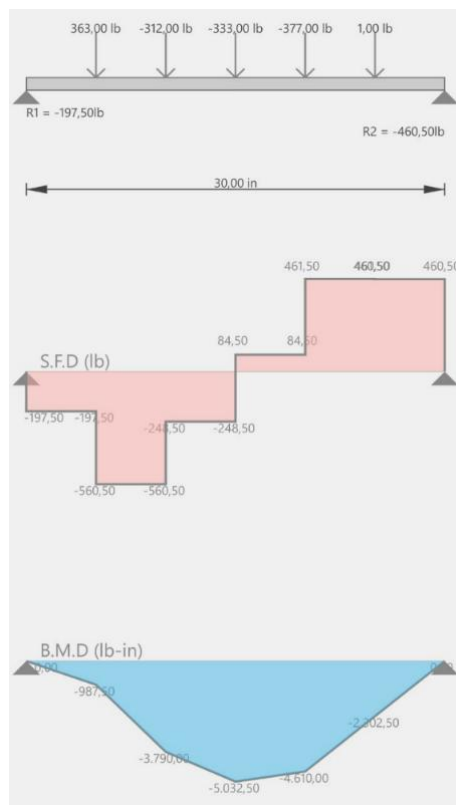
$$Wt(4) = \frac{T(4)}{\frac{D(4)}{2}} = \frac{2742}{\frac{6.4}{2}} = 857 \text{ lb } \uparrow$$

$$Wr(4) = Wt(4) * \tan(\phi) = 857 * \tan(20^\circ) = 312 \text{ lb } \leftarrow$$

#### 4.2.3.1. Fuerzas sobre el eje

Figura 30 :

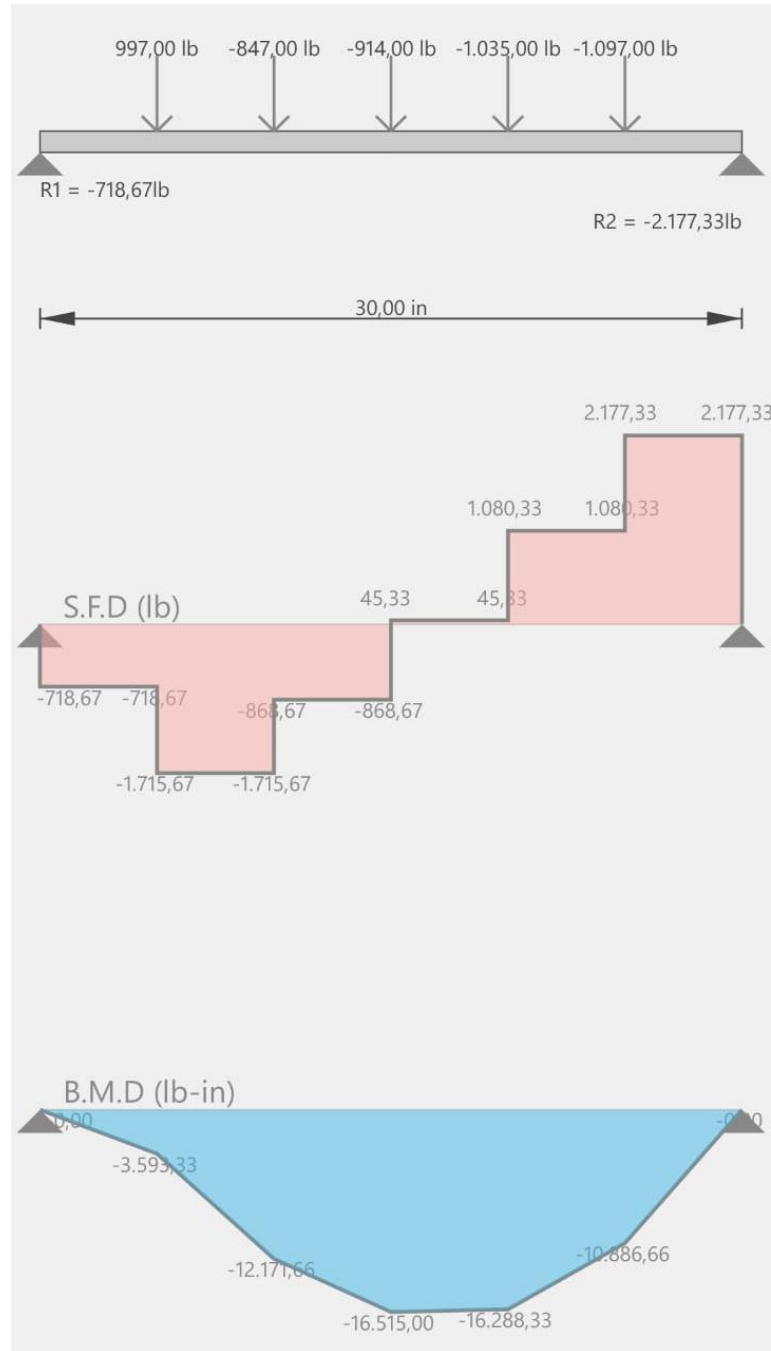
Fuerzas, reacciones y momentos actuantes en el eje "X"



Nota: Obtenido de la aplicación "A Beam Lite"

Figura 31 :

Fuerzas, reacciones y momentos actuantes en el eje "Y"



Nota: Obtenido de la aplicación "A Beam Lite"

#### 4.2.3.1. Diámetro del eje por puntos

Para el punto A:

$$D(A) = \left[ \frac{32N}{\pi} * \sqrt{\frac{3}{4} * \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (26)$$

$$D(A) = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\frac{3}{4} * \left( \frac{2742}{83000} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.84 \text{ pulg}$$

Para el punto "4ta":

$$M(4) = \sqrt{Mbx^2 + Mby^2} \quad (27)$$

$$M(4) = \sqrt{987.5^2 + 3593.3^2} = 1004 \text{ lb - pulg}$$

$kt = 1.5$  (Chaflan bien redondeado)

$$D(4) = \left[ \frac{32N}{\pi} * \sqrt{\left( \frac{Kt * M(4)}{S'n} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (28)$$

$$D(4) = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left( \frac{1.5 * 1004}{27556} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left( \frac{2742}{83000} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1.1 \text{ pulg}$$

Para el punto "3ra":

$$M(3) = \sqrt{Mbx^2 + Mby^2} \quad (29)$$

$$M(3) = \sqrt{5033^2 + 16515^2} = 17265 \text{ lb - pulg}$$

$kt = 1.5$  (Chaflan bien redondeado)

$$D(3) = \left[ \frac{32N}{\pi} * \sqrt{\left( \frac{Kt * M(3)}{S'n} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (30)$$

$$D(3) = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left( \frac{1.5 * 17265}{27556} \right)^2 + \frac{3}{4} * \left( \frac{2742}{83000} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 2.7 \text{ pulg}$$

Para el punto "2da":

$$M(2) = \sqrt{Mbx^2 + Mby^2} \quad (31)$$

$$M(2) = \sqrt{4610^2 + 16288.3^2} = 17265 \text{ lb - pulg}$$



$$D(2) = \left[ \frac{32N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{Kt * M(3)}{S'n}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{Sy}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \tag{32}$$

$$D(2) = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{1.5 * 16288.3}{27556}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{2742}{83000}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 2.6 \text{ pulg}$$

Para el punto "1ra":

$$M(1) = \sqrt{Mbx^2 + Mby^2} \tag{33}$$

$$M(1) = \sqrt{2302.5^2 + 10887^2} = 11128 \text{ lb - pulg}$$

$kt = 1.5$  (Chaflan bien redondeado)

$$D(1) = \left[ \frac{32N}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{Kt * M(3)}{S'n}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{T}{Sy}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \tag{34}$$

$$D(1) = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left(\frac{1.5 * 11128}{27556}\right)^2 + \frac{3}{4} * \left(\frac{2742}{83000}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 2.3 \text{ pulg}$$

Para el punto B:

$$D(B) = \left[ \frac{32N}{\pi} * \sqrt{\frac{3}{4} * \left(\frac{T}{Sy}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \tag{35}$$

$$D(B) = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\frac{3}{4} * \left(\frac{2742}{83000}\right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 0.84 \text{ pulg}$$

Tabla 8:

Datos del conjunto de engranajes de la reducción Inicial

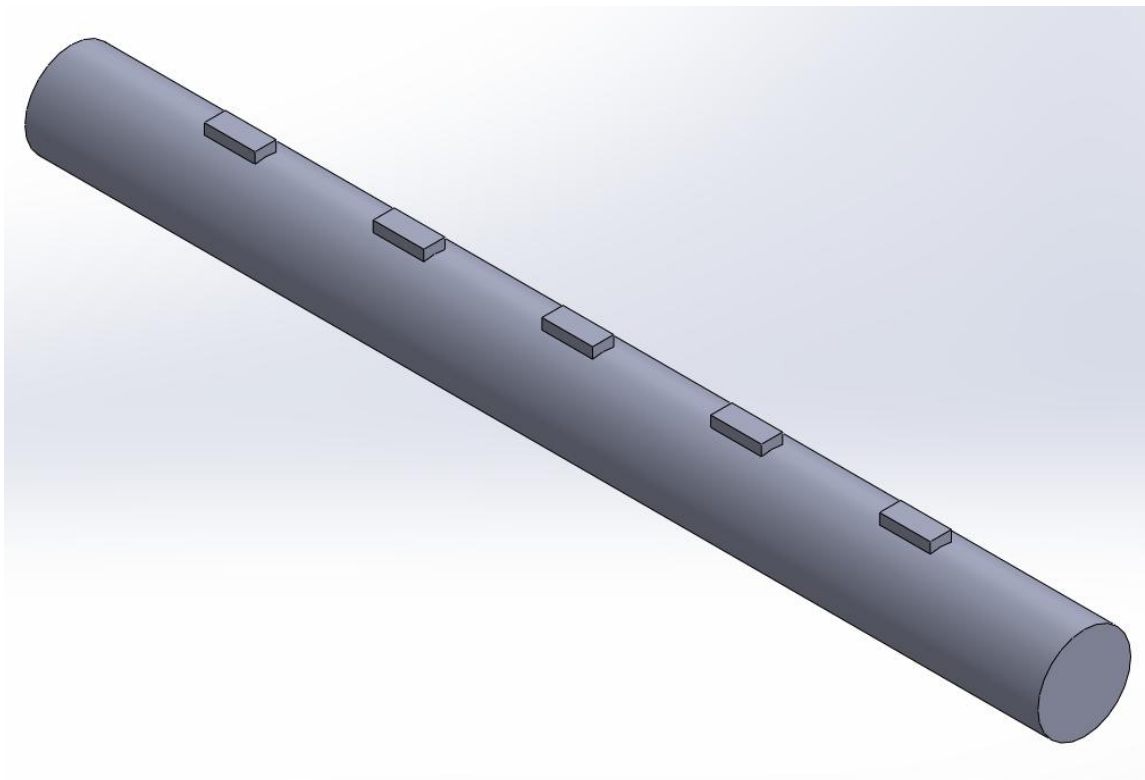
Descripción	Valor	Unidad
-------------	-------	--------

Diámetro en apoyo A	0.84	pulg
Diámetro 4ta marcha	1.1	pulg
Diámetro 3ra marcha	2.7	pulg
Diámetro 2da marcha	2.6	pulg
Diámetro 1ra marcha	2.3	pulg
Diámetro en apoyo B	0.84	pulg
Diámetro unificado	2.7 (70)	Pulg (mm)
Material	AISI 1144 OQT 1000	

Nota: Obtenido de(Mott, 2006)

Figura 32 :

Ejes de rotación de la reducción mecánica por engranajes



Nota: Creación propia

#### 4.2.4. CALCULO DE RODAMIENTOS

##### 4.2.4.1. RODAMIENTOS DE RODILLOS EN LOS APOYOS

Las cargas determinadas en la sección anterior, en los puntos Ra, Rl, 1ra, 2da, 3ra, 4ta y Rb, son fuerzas que se aplican a los rodamientos,



los cuales funcionan como soportes para los ejes. Estos rodamientos están expuestos tanto a cargas axiales como radiales.

Tabla 9:

Datos de entrada para el diseño del eje de transmisión

Marcha	Carga Axial (lb)	Carga Radial (lb)
RI	977	363
1ra	1097	400
2da	1035	377
3ra	914	333
4ta	857	312

Nota: Creación propia

4.2.4.1.1. Rodamiento en el apoyo A y B

Debido a las especificaciones del diseño del eje intermediario, este estará soportado por un rodamiento de rodillos cilíndricos en el apoyo A, donde solo se presenta carga radial. En el apoyo B, se empleará un rodamiento de bolas, ya que en esta ubicación se experimentan tanto cargas radiales como axiales.

$$F_{eq} = \sqrt{\frac{F_{r1}^3 * t_1}{100} + \frac{F_1^3 * t_1}{100} + \frac{F_{r2}^3 * t_2}{100} + \frac{F_2^3 * t_2}{100} + \frac{F_{r3}^3 * t_3}{100} + \frac{F_3^3 * t_3}{100} + \dots}$$

Donde:

*F<sub>eq</sub>*: Carga equivalente.

*F<sub>i</sub>*: Fuerza equivalente aplicada en cada marcha.

*t<sub>i</sub>*: Porcentaje de uso de cada marcha respecto al total.

Para determinar la fuerza equivalente en cada marcha, se utilizará la siguiente fórmula:

$$F_i = (X \cdot V \cdot F_{radial} + Y \cdot F_{axial}) \cdot n$$

Donde:

*n*: Coeficiente de seguridad, el cual se empleará con un valor de 1.2.

*X*, *V* y *Y*: Coeficientes específicos para cada rodamiento, que se obtienen del catálogo de SKF (Salvador, 2017). Estos serán detallados en cada caso particular.

En el caso del apoyo A, donde solo existe carga radial, se considera

que  $F_a = 0$  y  $V = 1$ . Por lo tanto, las cargas resultantes son las siguientes.

$$F_{r1} = 1 * 1 * 363 * 1.2 = 435.6 \text{ lb} \cong 4.2 \text{ kN}$$

$$F_{r2} = 1 * 1 * 400 * 1.2 = 480 \text{ lb} \cong 4.7 \text{ kN}$$

$$F_{r3} = 1 * 1 * 377 * 1.2 = 452.4 \text{ lb} \cong 4.4 \text{ kN}$$

$$F_{r4} = 1 * 1 * 333 * 1.2 = 400 \text{ lb} \cong 3.9 \text{ kN}$$

$$F_{r5} = 1 * 1 * 312 * 1.2 = 374.4 \text{ lb} \cong 3.7 \text{ kN}$$

Figura 33 :

Estimación del tiempo de funcionamiento

Marcha	Porcentaje de tiempo en uso	Tiempo de uso
	[%]	[h]
1ª	5	157
2ª	15	469
3ª	25	782
4ª	35	1094
5ª	20	625
6ª	15	469
Marcha atrás	1	32

Nota: Obtenido del trabajo de (Salvador, 2017)

A continuación, se obtiene la carga equivalente total para el rodamiento A utilizando la expresión:

$$F_{eq} = \sqrt{\frac{4.2^3 * 100}{100} + \frac{4.7^3 * 5}{100} + \frac{4.4^3 * 15}{100} + \frac{3.9^3 * 25}{100} + \frac{3.7^3 * 35}{100}} = 5 \text{ kN}$$

La duración estimada de la caja de cambios es de 3,125 horas. Para calcular el total de revoluciones que realiza el rodamiento, es necesario determinar el valor de L, el cual se obtiene al multiplicar las horas de operación por las revoluciones por minuto (RPM) que el rodamiento efectúa durante ese periodo:

$$N_{c2} = L_a = 9.7 * 10^7 \text{ revoluciones}$$

El valor L10 es el valor de la vida útil corregido estadísticamente

para una probabilidad de fallo del 10%. Para calcularlo, se utilizará la siguiente expresión:

$$L_{10} = \frac{L_a}{(0.02 + 4.439 * (\ln \frac{1}{R})^{\frac{1}{1.483}})}$$

Así, para el rodamiento A y una probabilidad de fallo del 10%:

$$L_{10} = \frac{9.7 \times 10^7}{(0.02 + 4.439 * (\ln \frac{1}{0.9})^{\frac{1}{1.483}})} = 9.8 \times 10^7$$

Finalmente, es indispensable determinar la capacidad de carga del rodamiento, para lo cual se aplica la fórmula establecida en la norma UNE 18113:

$$C_a = F_e q_a * (L_{10} a)^{\frac{1}{a}}$$

Donde  $a=3$  para rodamientos de bolas y  $a=10/3$  para rodamientos de rodillos. Así:

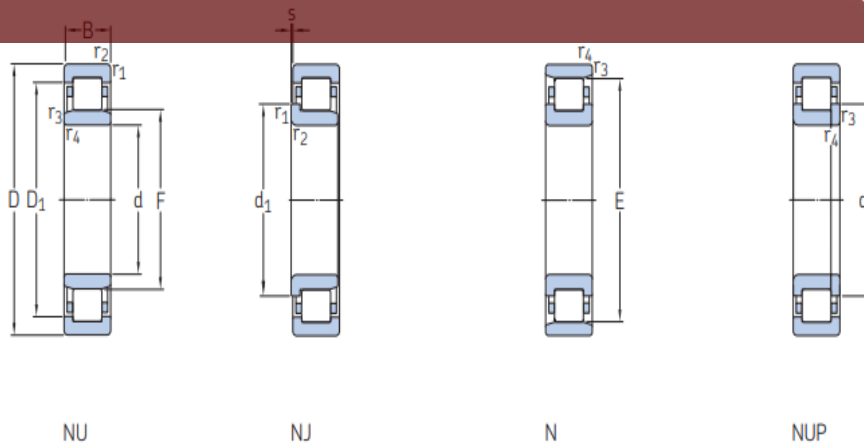
$$C_a = 5000 * (98)^{\frac{3}{10}} = 19785 \text{ N}$$

Con el valor calculado de la capacidad de carga dinámica básica (CCC) y tras consultar el catálogo de rodamientos SKF, para un diámetro de agujero de 70 mm (que corresponde al diámetro de la toma constante), se selecciona como adecuado el rodamiento modelo NUP 206 ECP. A continuación, se detallan las características principales de este rodamiento:

- ❖ CCC (capacidad de carga dinámica): 56.1 kN
- ❖ DDD (diámetro exterior): 110 mm
- ❖ ddd (diámetro interior): 70 mm

Figura 34 :

Rodamientos SKF de rodillos



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga $P_u$	Velocidades nominales		Masa	Designaciones	
d	D	B	dinámica C	estática $C_0$		Velocidad de referencia	Velocidad límite		Rodamiento con jaula estándar	Jaula estándar alternativa <sup>1)</sup>
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-	
65 cont.	140	33	212	196	25,5	5 300	6 000	2,35	▶ NUP 313 ECP	J, M, ML, PH
	140	48	285	290	38	5 300	6 000	3,2	▶ NU 2313 ECP	ML, PH
	140	48	285	290	38	5 300	6 000	3,35	▶ NJ 2313 ECP	ML, PH
	140	48	285	290	38	5 300	6 000	3,45	▶ NUP 2313 ECP	ML, PH
	160	37	183	190	24	4 800	5 600	3,55	▶ NU 413	-
	160	37	183	190	24	4 800	5 600	3,65	▶ NJ 413	-
70	110	20	56,1	67	8	7 000	11 000	0,7	▶ NU 1014 ML	-
	110	20	76,5	93	12	7 000	7 000	0,61	▶ NU 1014 ECP	-
	125	24	137	137	18	6 000	6 300	1,1	▶ N 214 ECP	M

Nota: Obtenido del catálogo de (SKF, 2022) pág. 528

#### 4.2.5. Resultados de los cálculos de los rodamientos

Tabla 10:

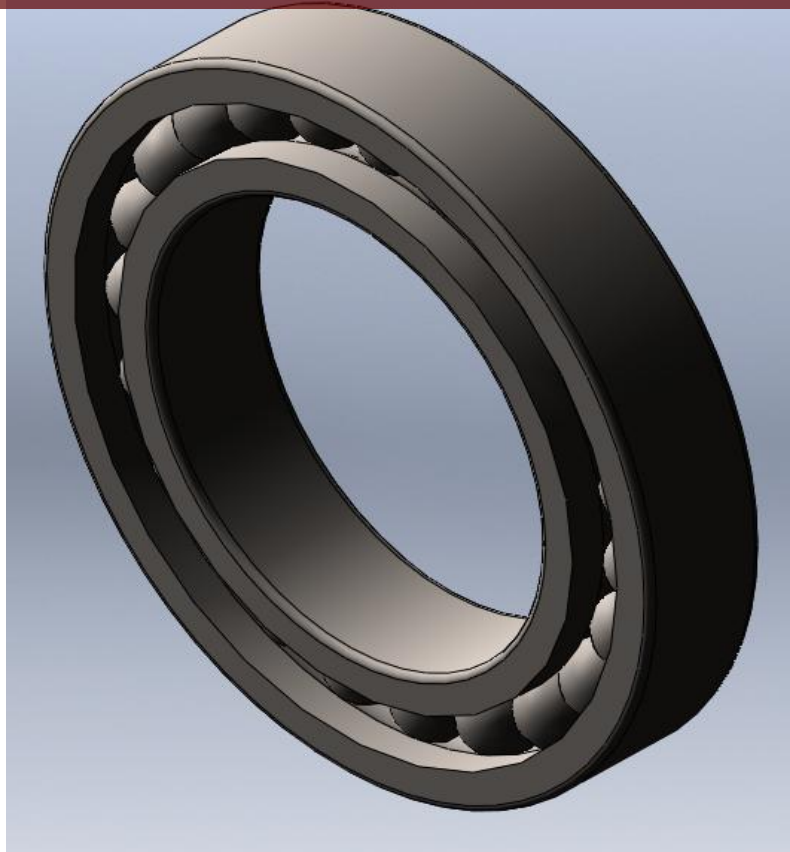
Rodamientos de rodillos en los apoyos

Descripción	Valor	Unidad
Rodamiento en apoyo A	NUP 206 ECP	D=110 mm / d=70 mm
Rodamiento en apoyo B	NUP 206 ECP	D=110 mm / d=70 mm

Nota: Creación propia

Figura 35 :

Rodamiento de rodillos NUP 206 ECP



Nota: Creación propia

#### 4.2.5.1. *Por marcha*

Tabla 11:

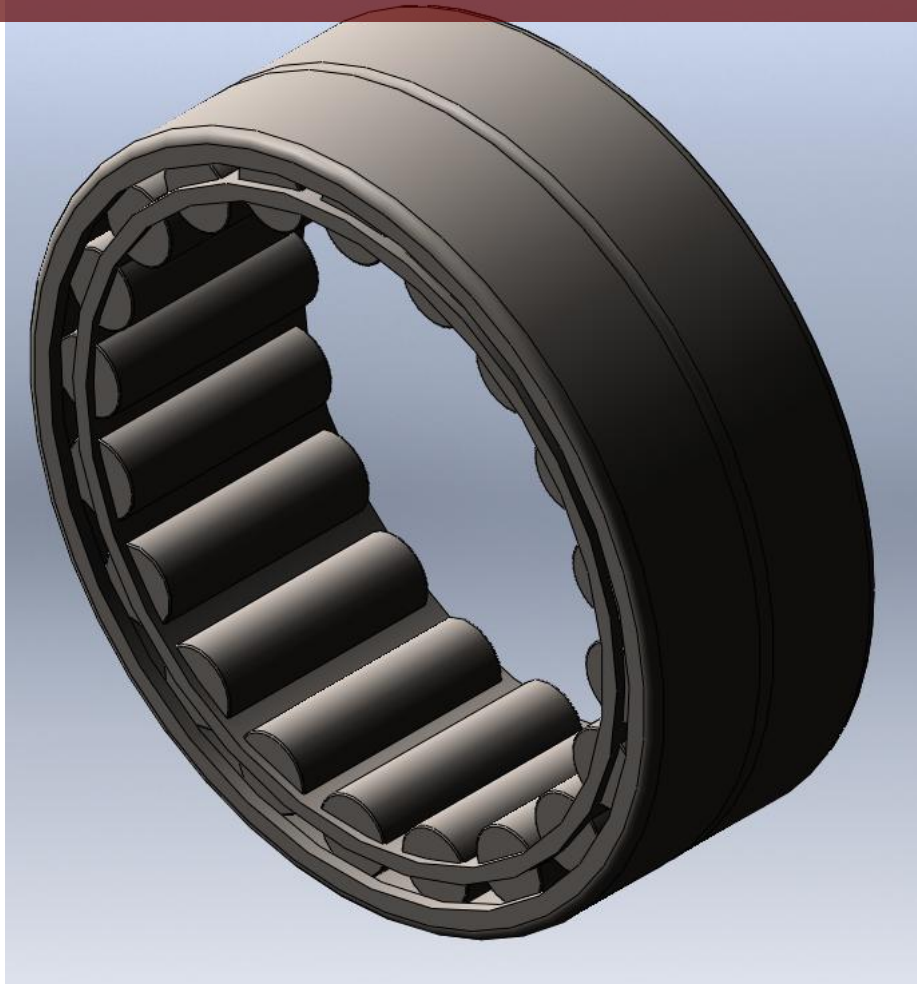
Rodamientos de ruedas locas para cada marcha

Descripción	Valor	Unidad
Rodamiento RI	NKI 70/35 ECP	D= 95 mm / d= 70 mm
Rodamiento 1ra marcha	NKI 70/35 ECP	D= 95 mm / d= 70 mm
Rodamiento 2da marcha	NKI 70/35 ECP	D= 95 mm / d= 70 mm
Rodamiento 3ra marcha	NKI 70/35 ECP	D= 95 mm / d= 70 mm
Rodamiento 4ta marcha	NKI 70/35 ECP	D= 95 mm / d= 70 mm

Nota: Creación propia

Figura 36 :

Rodamiento de ruedas locas para cada marcha



Nota: Creación propia



## 4.2.6. CALCULO DE SINCRONIZADORES

Los elementos que conforman el sincronizador se encuentran instalados en el eje secundario, posicionados en las zonas estriadas asignadas a cada componente. La longitud mínima necesaria para el estriado se puede establecer siguiendo la norma DIN 5480. La fórmula empleada para calcular este valor es la siguiente.

$$L_{estriado} = \frac{F_t}{h * P * Z} * K$$

**Lestriado:** Es la longitud mínima del estriado donde se monta la estructura del sincronizador.

FT: Representa la fuerza tangencial aplicada en el borde del eje.

h: Es la altura de los dientes del estriado, que en este caso es de 2 mm.

P: Corresponde a la presión en los flancos de los dientes; para estriados convencionales, este valor es de 85 N/mm<sup>2</sup>.

Z: Indica la cantidad de dientes que posee el estriado.

K: Es un factor de soporte, y para estriados normales con montaje preciso, se toma como 1.3.

El primer paso consiste en definir una geometría inicial para el estriado y verificar que satisfaga las condiciones para cada marcha.

Para facilitar los cálculos, se considerará un diámetro constante del eje, el cual se establece como un valor promedio de todas las secciones del eje secundario, es decir,  $d = 70 \text{ mm}$ .

Partiendo de un módulo inicial  $m = 1.5$  y un diámetro exterior igual al del eje, se puede calcular, según la normativa, la longitud mínima requerida para el estriado:

$$m = 1.5; P = 85 \frac{N}{mm^2}; de = 70 \text{ mm}$$

$$di = de - 2 * m = 70 - 2 * 1.5 = 67 \text{ mm}$$

$$Z = 30$$

A continuación, una vez determinada la geometría del estriado, se procede a comprobar su longitud para cada sincronizador.

### 4.2.6.1. Sincronizador de la 4ta Marcha

$$Ft = \frac{Mtorsor}{Reje} = \frac{M4ta - y}{Reje}; M = 12172 \text{ lb} - \text{in} = 1375 \text{ N} * m$$

$$Ft = \frac{1375 \text{ N} * m}{\frac{0.07}{2}} = 39286 \text{ N}$$

$$Lestriado = \frac{39286 \text{ N}}{2 * 85 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 30} * 1.3 = 10 \text{ mm}$$

Tabla 12:

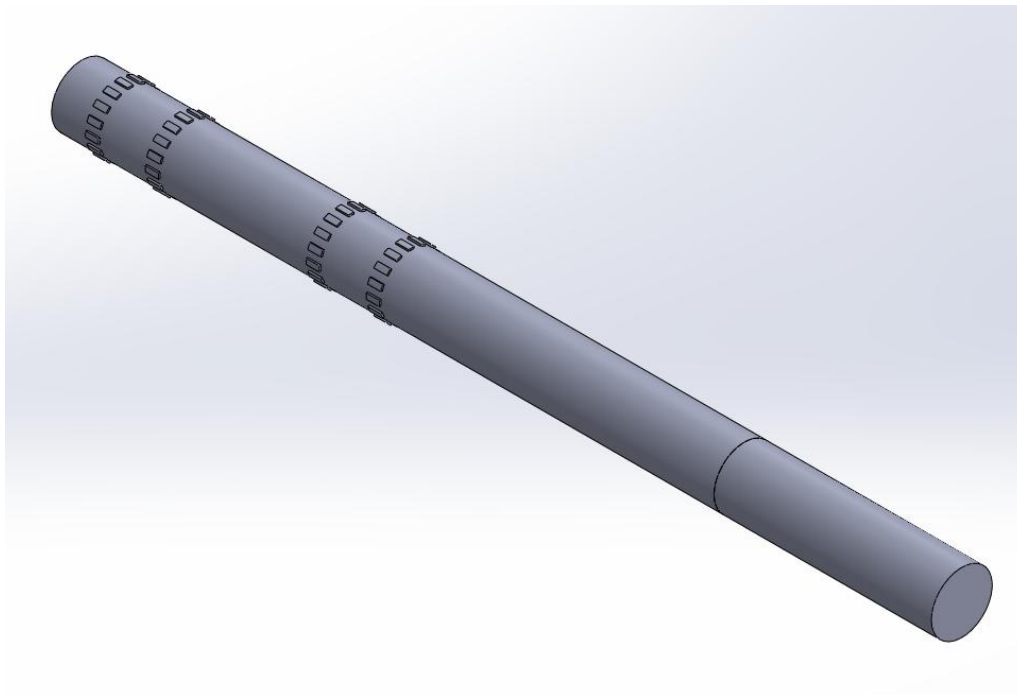
Rodamientos de ruedas locas para cada marcha

Descripción	Valor	Unidad
Sincronizador de la 4ta marcha	10	mm
Sincronizador de la 3ra marcha	14	mm
Sincronizador de la 2da marcha	13	mm
Sincronizador de la 1ra marcha	9	mm
Sincronizador unificado	15	mm

Nota: Creación propia

Figura 37 :

Rodamiento de ruedas locas para cada marcha



Nota: Creación propia



Tabla 13. Costo de inversión de los materiales para una post implementación

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT.	P. UNITARIO	P. TOTAL
<b>MATERIALES</b>				
<b>ENGRANAJES</b>				
1	Engranaje de reduccion inicial	1	S/ 800.00	S/ 800.00
2	Piñon de 4ta marcha	1	S/ 600.00	S/ 600.00
3	Piñon de 3ra marcha	1	S/ 500.00	S/ 500.00
4	Piñon de 2da marcha	1	S/ 400.00	S/ 400.00
5	Piñon de 1ra marcha	1	S/ 300.00	S/ 300.00
6	Engranaje de 4ta marcha	1	S/ 400.00	S/ 400.00
7	Engranaje de 3ra marcha	1	S/ 300.00	S/ 300.00
8	Engranaje de 2da marcha	1	S/ 200.00	S/ 200.00
9	Engranaje de 1ra marcha	1	S/ 100.00	S/ 100.00
<b>EJES</b>				
1	Eje intermedio	1	S/ 250.00	S/ 250.00
2	Eje de salida	1	S/ 200.00	S/ 200.00
3	Eje de cambio	2	S/ 50.00	S/ 100.00
<b>COMPLEMENTOS</b>				
1	Manga de sincronización	2	S/ 150.00	S/ 300.00
2	Rodamiento de rodillos	4	S/ 88.00	S/ 352.00
3	Buje de sincronización	4	S/ 95.00	S/ 380.00
4	Sincronizador	2	S/ 100.00	S/ 200.00
5	Horquilla de cambio	2	S/ 95.00	S/ 190.00
<b>TOTAL</b>				<b>S/ 5,572.00</b>

El cuadro de costos presentado detalla los elementos necesarios para la implementación de un variador de velocidad por engranajes en un molino de bolas utilizado en la pequeña minería. Este dispositivo permitirá optimizar la velocidad de trituración, lo cual es crucial para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en el proceso minero. A continuación, se detalla cada ítem del cuadro y se justifica su inclusión:

### MATERIALES

#### 1. ENGRANAJES:

Engranaje de reducción inicial (1 unidad, S/ 800.00): Este engranaje es crucial para iniciar el proceso de reducción de velocidad, transfiriendo la energía desde el motor al sistema de engranajes. Su precio refleja la calidad y precisión necesarias para soportar las cargas iniciales.



Piñones de 4ta, 3ra, 2da y 1ra marcha (1 unidad cada uno):

4ta marcha (S/ 600.00)

3ra marcha (S/ 500.00)

2da marcha (S/ 400.00)

1ra marcha (S/ 300.00)

Los piñones son responsables de cambiar la relación de transmisión. Los precios varían según el tamaño y la precisión requerida para cada etapa de reducción de velocidad.

Engranajes de 4ta, 3ra, 2da y 1ra marcha (1 unidad cada uno):

4ta marcha (S/ 400.00)

3ra marcha (S/ 300.00)

2da marcha (S/ 200.00)

1ra marcha (S/ 100.00)

Estos engranajes trabajan conjuntamente con los piñones para lograr la reducción de velocidad necesaria en cada etapa.

## 2. EJES:

Eje intermedio (1 unidad, S/ 250.00): Conecta los engranajes y transmite la energía a través del sistema.

Eje de salida (1 unidad, S/ 200.00): Recoge la energía final reducida y la transfiere al molino de bolas.

Ejes de cambio (2 unidades, S/ 50.00 cada uno, total S/ 100.00): Facilitan el cambio de engranajes y la transición entre diferentes marchas.

## 3. COMPLEMENTOS:



Manga de sincronización (2 unidades, S/ 150.00 cada una, total S/ 300.00): Garantiza

la sincronización precisa de los engranajes durante los cambios de velocidad.

Rodamientos de rodillos (4 unidades, S/ 88.00 cada uno, total S/ 352.00): Permiten la rotación suave de los ejes y engranajes, minimizando la fricción y el desgaste.

Bujes de sincronización (4 unidades, S/ 95.00 cada uno, total S/ 380.00): Facilitan el movimiento suave y preciso de las mangas de sincronización.

Sincronizador (2 unidades, S/ 100.00 cada uno, total S/ 200.00): Coordina el cambio de marchas, asegurando una transición suave entre diferentes velocidades.

Horquilla de cambio (2 unidades, S/ 95.00 cada una, total S/ 190.00): Actúa como mecanismo de selección para los cambios de marcha.

TOTAL: S/ 5,572.00

## JUSTIFICACIÓN DEL PRESUPUESTO:

**Calidad y Durabilidad:** Los componentes seleccionados son de alta calidad para garantizar la durabilidad y el rendimiento eficiente del variador de velocidad, esencial en la operación continua de la pequeña minera.

**Precisión en la Reducción de Velocidad:** La precisión de los engranajes y piñones es crucial para lograr la optimización deseada en la velocidad de trituración, lo cual justifica los costos de los componentes especializados.

**Eficiencia Operativa:** Invertir en materiales y componentes adecuados reducirá el tiempo de inactividad y los costos de mantenimiento a largo plazo, mejorando la eficiencia operativa general del molino de bolas.

### 4.3. Discusión de resultados

En el presente trabajo se diseñó el variador de velocidad por medio de engranajes de dientes rectos, ejes de rotación, rodamientos, sincronizadores, y bujes de sincronización la cual tiene la capacidad de cuatro marchas con diferentes velocidades de forma manual, se identificó que el motor tiene una potencia de 10 kW a 1800 rpm con un torque de 40 N-m y la salida del tambor del molino de bolas está a 30 – 42 rpm, con 150 dientes en su engranaje, con un peso de 200 kg y de 930 x 460 x 760 mm.



donde se obtuvieron como resultados que el sistema de reducción se tuvo 5

instancias, donde la reducción inicial de 5.5" (45 dientes) y 3.3" (30 dientes), primera marcha 7.5" (45 dientes) y 5" (30 dientes), segunda marcha 7.7" (42 dientes) y 5.3" (32 dientes), tercera marcha 7.1" (40 dientes) y 6" (34 dientes), cuarta marcha 7.1" (40 dientes) y 6.4" (36 dientes), mientras que los ejes de rotación estandarizado fueron de 70 mm, los rodamientos se eligieron NUP 206 ECP y NKI 70/35 ECP y los sincronizadores estandarizados fue de 15 mm, y el costo de inversión fue de S/. 5 572.00 .

En el trabajo de (Barazas, 2020) el estudio titulado "Diseño de una caja de cambios manual secuencial, análisis de soluciones constructivas" tuvo como finalidad diseñar los elementos principales de una caja de cambios con accionamiento manual secuencial. Entre los resultados más relevantes se encontró que la distancia entre los ejes es de 148.5 mm, con diámetros aproximados de 40 mm para los ejes, mientras que los engranajes presentan diámetros que oscilan entre 88 mm y 198 mm. Finalmente, se concluyó que los engranajes fueron dimensionados siguiendo el método de la AGMA, con el objetivo de reducir su ancho, lo que permite disminuir los esfuerzos de flexión en los ejes y, a su vez, las dimensiones totales de la caja.

En la tesis de ( Chombo, 2015) la investigación titulada "Rediseño del engranaje de primera de la caja de cambios para asegurar la confiabilidad del bus modelo Citizen de origen chino" inició con la identificación de los problemas y quejas frecuentes reportados por los usuarios del bus modelo Citizen II. Mediante la aplicación de teoría y análisis de confiabilidad, se efectuó un estudio de fallas en 10 unidades, cada una sometida a 500 horas de operación, alcanzando resultados fiables después de 5000 horas de pruebas acumuladas. Además, se evaluó la relación de transmisión en cajas de cambios de 5 y 6 velocidades. Se constató que, aunque la caja de 6 velocidades ofrece más cambios, la velocidad angular de cada marcha es menor, lo que conlleva a una reducción en la velocidad angular del eje de salida. Por tanto, el análisis de la velocidad lineal indicó que, en la primera marcha, la caja de 5 velocidades presenta una mayor velocidad lineal al conservar la velocidad angular del cigüeñal del motor. En síntesis, la velocidad



lineal está determinada por las relaciones de transmisión de la caja de cambios.

En el trabajo de investigación de (Ortiz, 2019) el El proyecto denominado "Diseño de una caja de cambios de seis marchas" se enfocó en la elaboración de una caja de seis velocidades, concretamente el modelo VAG 02M, que se utiliza en vehículos como el Volkswagen Golf y el Scirocco. Este diseño se basó en el modelo original de Volkswagen sin realizar alteraciones estructurales, dado que el objetivo principal fue estudiar su comportamiento y resistencia, más que optimizar o mejorar sus características. Durante el desarrollo del proyecto, se utilizaron herramientas de diseño asistido por computadora (CAD), lo que permitió a los investigadores adquirir experiencia en este entorno y manejar con mayor soltura utilidades como Toolbox de SolidWorks. Gracias a esta herramienta, los autores pudieron modificar y cargar los componentes de manera más ágil y eficiente.

En la tesis de grado de (Navarro, 2021) el proyecto denominado "Diseño de un reductor de velocidad de 1 a 100 rpm con relación de velocidades variables utilizando un software de programación" exploró distintas soluciones para abordar el problema de diseño, lo que permitió desarrollar una propuesta adecuada. Se efectuaron cálculos detallados de los elementos críticos basándose en las especificaciones generales del diseño. El reductor concebido es capaz de operar con reducciones de velocidad de 0.64 y 0.36 en avance, y de -0.57 en retroceso, alcanzando un torque máximo de 1221 Nm. La validación del modelo se realizó mediante SIMSCAPE, confirmando su correcto funcionamiento cinemático. Luego, se procedió a seleccionar componentes estándar y a preparar los planos de fabricación. Finalmente, se efectuó un análisis financiero que mostró un Valor Actual Neto (VAN) de S/. 2,159.07, una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 15 % y un Retorno de Inversión (ROI) en 5.53 meses, concluyendo que el diseño es viable desde el punto de vista económico.

En el trabajo de (Chipana, 2017) el proyecto denominado "Diseño de un reductor de velocidad para optimizar el proceso de secado en una planta procesadora de alimentos de trucha" se enfocó en disminuir la velocidad de



salida y aumentar el par tursor de un motor eléctrico de 2 hp y 1750 RPM hasta 58 RPM, con el objetivo de mejorar el transporte y secado del alimento. Se estableció que para transportar 375.58 kilogramos por metro lineal en un segundo se requiere un motor de 2 hp, 1750 RPM y un par tursor de 8.136 N-m. Al ajustar la velocidad a 58 RPM y aumentar el par tursor a 245.6 N-m, se alcanzan las condiciones necesarias para el proceso de transporte y secado del alimento de trucha. En conclusión, el sistema de transmisión mecánica diseñado cumple con las demandas industriales, garantizando un transporte eficiente y limpio, y mejorando el proceso de secado previo al envasado.



- PRIMERA** :Se diseño el variador de velocidad por medio de engranajes de dientes rectos, ejes de rotación, rodamientos, sincronizadores, y bujes de sincronización la cual tiene la capacidad de cuatro marchas con diferentes velocidades de forma manual.
- SEGUNDA** :Se identifico que el motor tiene una potencia de 10 kW a 1800 rpm con un torque de 40 N-m y la salida del tambor del molino de bolas está a 30 – 42 rpm, con 150 dientes en su engranaje, con un peso de 200 kg y de 930 x 460 x 760 mm.
- TERCERA** :El modelo final fue elaborado mediante el software SolidWorks, cuyas características fueron reducción inicial de 5.5" (45 dientes) y 3.3" (30 dientes), primera marcha 7.5" (45 dientes) y 5" (30 dientes), segunda marcha 7.7" (42 dientes) y 5.3" (32 dientes), tercera marcha 7.1" (40 dientes) y 6" (34 dientes), cuarta marcha 7.1" (40 dientes) y 6.4" (36 dientes), mientras que los ejes de rotación estandarizado fueron de 70 mm, los rodamientos se eligieron NUP 206 ECP y NKI 70/35 ECP y los sincronizadores estandarizados fue de 15 mm.
- CUARTA** :La inversión para la elaboración del variador de velocidad por engranajes es de S/. 5 572.00 para todo su conjunto de componentes.



- PRIMERA** : Sugiere la posibilidad de realizar ajustes adicionales al diseño del variador de velocidad por engranajes en función de futuros avances tecnológicos o necesidades específicas de la industria minera.
- SEGUNDA** : Recomienda la realización de pruebas piloto o la implementación de prototipos en operaciones mineras reales para evaluar la eficacia y la eficiencia del variador de velocidad en condiciones de trabajo reales.
- TERCERA** : Sugiere programas de capacitación para operadores y técnicos mineros sobre el uso adecuado y el mantenimiento del variador de velocidad, lo que puede ayudar a maximizar su rendimiento y prolongar su vida útil.
- CUARTA** : Propón realizar un seguimiento continuo del impacto del variador de velocidad en términos de eficiencia energética, reducción de costos operativos y mitigación de impactos ambientales, con el fin de evaluar su contribución a largo plazo a la sostenibilidad de la industria minera.



- Arias Valencia, S., & Peñaranda, F. (Setiembre de 2015). La investigación eticamente reflexionada. *Scielo*, 33(3).
- Barazas, J. (2020). *Diseño de una caja de cambios manual secuencial, analisis de soluciones constructivas*. Almeria: Universidad de Almeria. Recuperado el 10 de 12 de 2023, de file:///C:/Users/User/Downloads/BARAZAS%20LOPEZ,%20JUAN%20FRANCISCO%20(1).pdf
- Cancapa, R. (2018). *Contaminacion ambiental en la ciudad de Juliaca*. Juliaca: Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez. Recuperado el 29 de 10 de 2023, de <https://www.monografias.com/trabajos106/contaminacion-ambiental-ciudad-juliaca/contaminacion-ambiental-ciudad-juliaca>
- Carrasco, L. (2018). *Sistema de monitoreo y telegestión del consumo eléctrico en cargas residenciales basado en una arquitectura IoT*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Recuperado el 29 de 10 de 23, de file:///C:/Users/User/Downloads/Tesis\_%20t1486ec.pdf
- Chipana, E. (2017). *Diseño de un reductor de velocidad para mejorar el proceso de secado en una planta de alimentos de trucha*. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Recuperado el 25 de 12 de 2023, de [http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/4011/Chipana\\_Valdivia\\_Edwin.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14082/4011/Chipana_Valdivia_Edwin.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Chombo, L. (2015). *Rediseño del engranaje de primera de la caja de cambio para garantizar la fiabilidad del bus modelo Citizen de procedencia China*. Lima: Universidad Tecnológica del Perú. Recuperado el 10 de 12 de 2023, de [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/705/Lincoln%20Chombo\\_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional\\_Titulo%20Profesional\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/705/Lincoln%20Chombo_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, P. (S.E.). *Metodología de la Investigación*. MEXICO D.F.: MC GRAW HILL EDUCATION.



Universidad Continental.

Hernandez Sampieri, R., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6TA ed.). (M. A. Toledo Castellanos, Ed.) C. D. Mexico: Mc Graw Hill Education.

Maker Store. (30 de 10 de 2023). *Maker Store*. Obtenido de Maker Store: <https://maker-store.es/>

Monje, A. (2011). *Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa*. Colombia: Universidad Sur colombiana.

Mott, R. (2006). *Diseño de elementos de maquinas* (Cuarta ed.). Mexico, Naulcalpan: Pearson Educacion. Recuperado el 24 de Agosto de 2023, de <https://es.scribd.com/document/222885319/Diseno-de-Elementos-de-Maquinas-Mott>

Muñoz, L. (2014). *Diseño de un medidor de consumo de energía eléctrica en redes industriales domésticas, basado en adquisición y digitalización de señales para el monitoreo y análisis de la calidad de energía*. Lima: Universidad de San Martín de Porres. Recuperado el 29 de 10 de 2023, de [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/3231/munoz\\_clj.pdf?sequence=1&isAllowed=y](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/3231/munoz_clj.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Navarro, J. (2021). *Diseño de un reductor de velocidad de 1 a 100 rpm con relación de velocidades variables utilizando un software de programación*. Pimentel: Universidad Señor de Sipan. Recuperado el 25 de 12 de 2023, de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/9517/Navarro%20V%C3%A1squez%20Jos%C3%A9%20Eusebio.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

NayLamp. (30 de 10 de 2023). *NayLamp*. Obtenido de NayLamp: <https://naylampmechatronics.com/>

Ortiz, P. (2019). *Diseño de una caja de cambios de seis marchas*. Atacama: Universidad de Atacama. Recuperado el 10 de 12 de 2023, de



Pelaez, E., & Jimenez, P. (2023). *Diseño de un sistema de medicion y monitoreo del consumo de energia por circuitos en el hogar, mediante tecnologia de comunicacion por linea de Potencia*. Cuenca: Universidad del Azuay. Recuperado el 30 de 10 de 2023, de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7930/1/13668.pdf

Salvador, D. (2017). *Calculo y diseño del sistema de transmision de un vehiculo*. Leganes: Universidad Carlo III de Madrid. Recuperado el 25 de 2 de 2024

SDielect. (30 de 10 de 2023). *SDielect*. Obtenido de SDielect: <https://ssdielect.com/>

SKF. (2022). *Rodamiento SKF*. SKF. Recuperado el 7 de 3 de 2024, de [https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf\\_preview\\_medium/0901d19680416953\\_pdf\\_preview\\_medium.pdf](https://cdn.skfmediahub.skf.com/api/public/0901d19680416953/pdf_preview_medium/0901d19680416953_pdf_preview_medium.pdf)

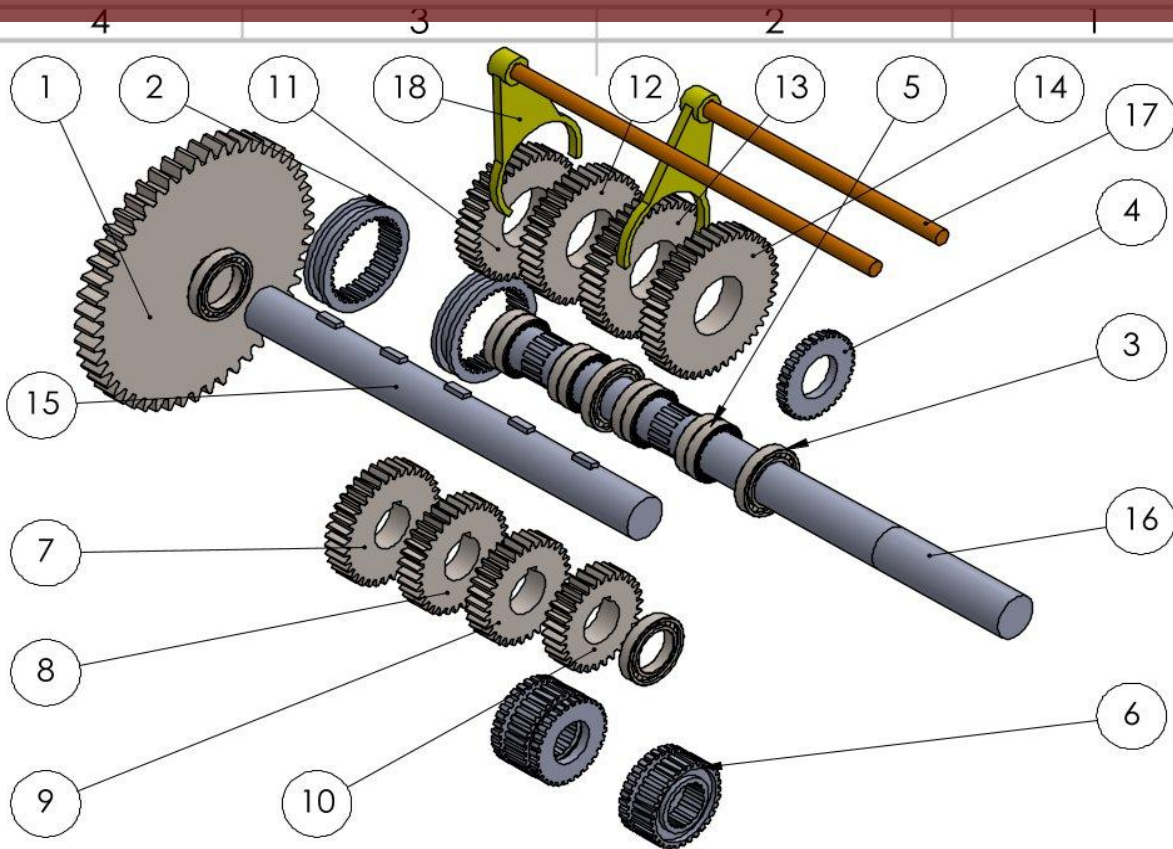


### Apéndice 1 Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	JUSTIFICACIÓN	VARIABLES	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
<p><b>Problema General</b> ¿De qué manera se podrá diseñar un variador de velocidad por engranajes para la optimización de la velocidad de trituración en el molino de bolas en la pequeña minera año 2023?</p> <p><b>Problemas Específicos</b> ¿Cuáles son las condiciones que entrega el motor y la salida que deberá tener el molino de bolas? ¿Cuál es el diseño y modelo de los engranajes para la trituración de material? ¿Cuál es el costo de inversión del variador de velocidad a base de engranajes?</p>	<p><b>Objetivos General</b> Diseñar un variador de velocidad por engranajes para optimizar la velocidad de trituración en el molino de bolas en la pequeña minera.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b> Identificar las condiciones que entrega el motor y la salida que deberá tener el molino de bolas. Modelar el variador de velocidad por engranajes para la trituración de material. Determinar el costo de inversión del variador de velocidad a base de engranajes.</p>	<p>El operador tendrá una herramienta mecánica para facilitar su trabajo y poder optimizar el proceso de trituración y así aumentar su producción, como también mejorando la calidad del material procesado y evitando un desgaste mecánico por transmisión por faja, al poner como sistema de transmisión engranajes sólidos con mayor tiempo de vida útil. Se pretende dar una mayor confianza y confort al momento de realizar la molienda de diversos materiales dentro del molino de bolas, esto evitando la pérdida de material o una sobre molienda que repercutiría al momento de su post procesado.</p>	<p><b>Variable Independiente</b> Variador de velocidad a base de engranajes</p> <p><b>Variable Dependiente</b> Molino de bolas</p>	<p><b>Hipótesis General</b> Con el diseño de un variador de velocidad por engranajes, se optimizará la velocidad de trituración en el molino de bolas en la pequeña minera.</p> <p><b>Hipótesis específicas</b> Si se identifica las condiciones que entrega el motor y la salida que deberá tener molino de bolas, se tendrá un diseño más eficiente. Si se diseña el variador de velocidad por engranajes, se tendrá una maquina con un mejor desempeño para realizar sus labores de trituración del material. Si se determina el costo de inversión del variador de velocidad mecánico, se puede conocer su viabilidad y rentabilidad</p>	<p><b>TIPO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Tecnológico</li> </ul> <p><b>ENFOQUE:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Cuantitativo</li> </ul> <p><b>NIVEL:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Aplicada</li> </ul> <p><b>DISEÑO:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ No Experimental</li> </ul>



## Apéndice 2 Planos



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	ENGRANAJE DE REDUCCION INICIAL	1
2	MANGA DE SINCRONIZACION	2
3	RODAMIENTO DE RODILLOS	4
4	BUJE DE SINCRONIZACION	4
5	SISTEMA DE TRANSMISION	4
6	SISTEMA DE SINCRONIZACION	2
7	PIÑON DE 4TA MARCHA	1
8	PIÑON DE 3RA MARCHA	1
9	PIÑON DE 2DA MARCHA	1
10	PIÑON DE 1RA MARCHA	1
11	ENGRANAJE DE 4TA MARCHA	1
12	ENGRANAJE DE 3RA MARCHA	1
13	ENGRANAJE DE 2DA MARCHA	1
14	ENGRANAJE DE 1RA MARCHA	1
15	EJE INTERMEDIO	1
16	EJE DE SALIDA	1
17	EJE DE CAMBIO	2
18	HORQUILLA DE CAMBIO	2

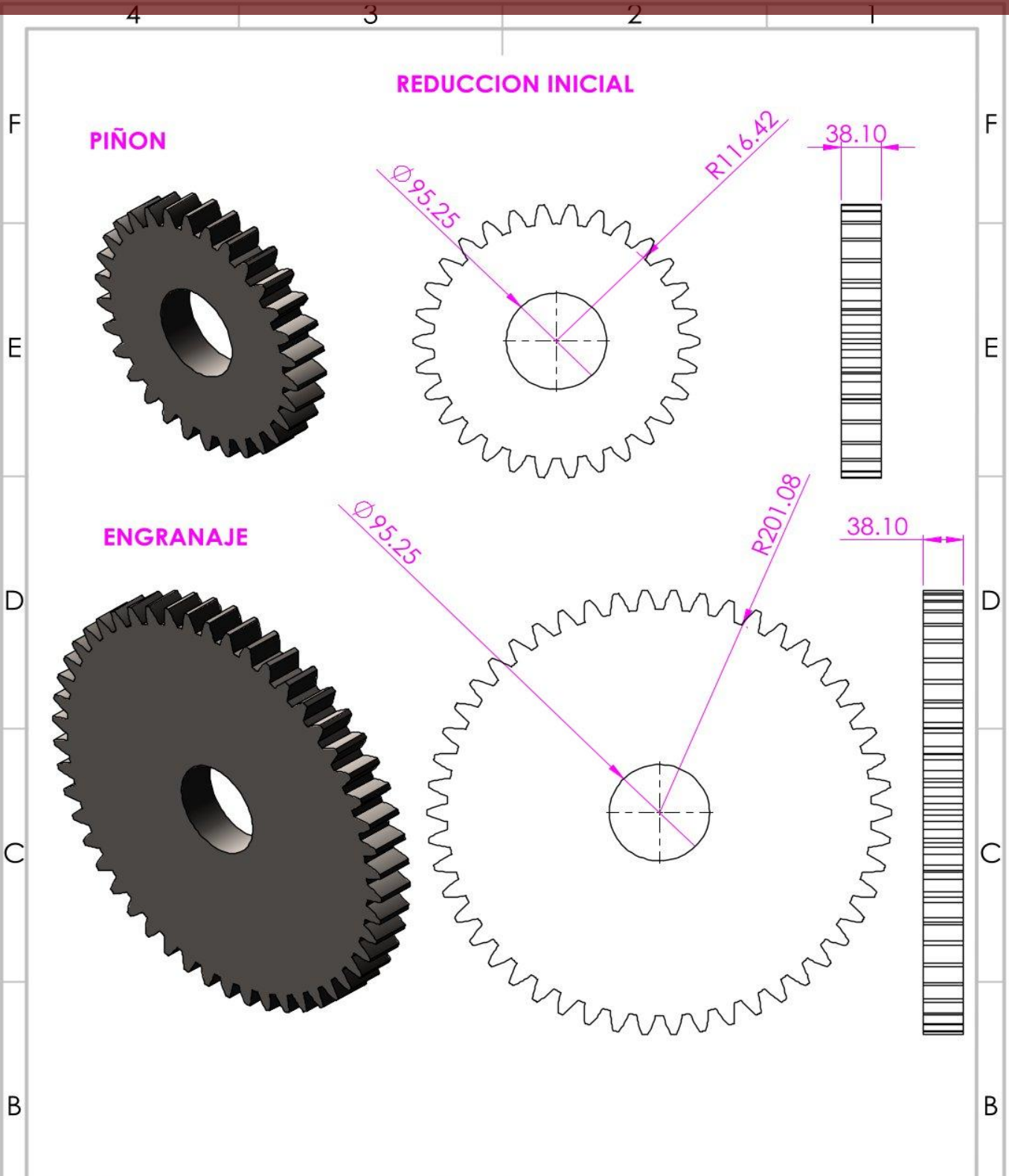


UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELAZQUES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CAP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AÑO 2023**

A	ELABORADO POR:	<b>EDWIN VILCA MACHACA</b>		NOMBRE DEL PLANO:			
	REVISADO POR:	JURADO CALIFICADOR		VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES			
	ESCALA:	S/E	FECHA:	Mayo - 2024	VISTA:	SOFTWARE:	SOLIDWORKS
				Nº DE PLANO:	UNIDAD:	mm	

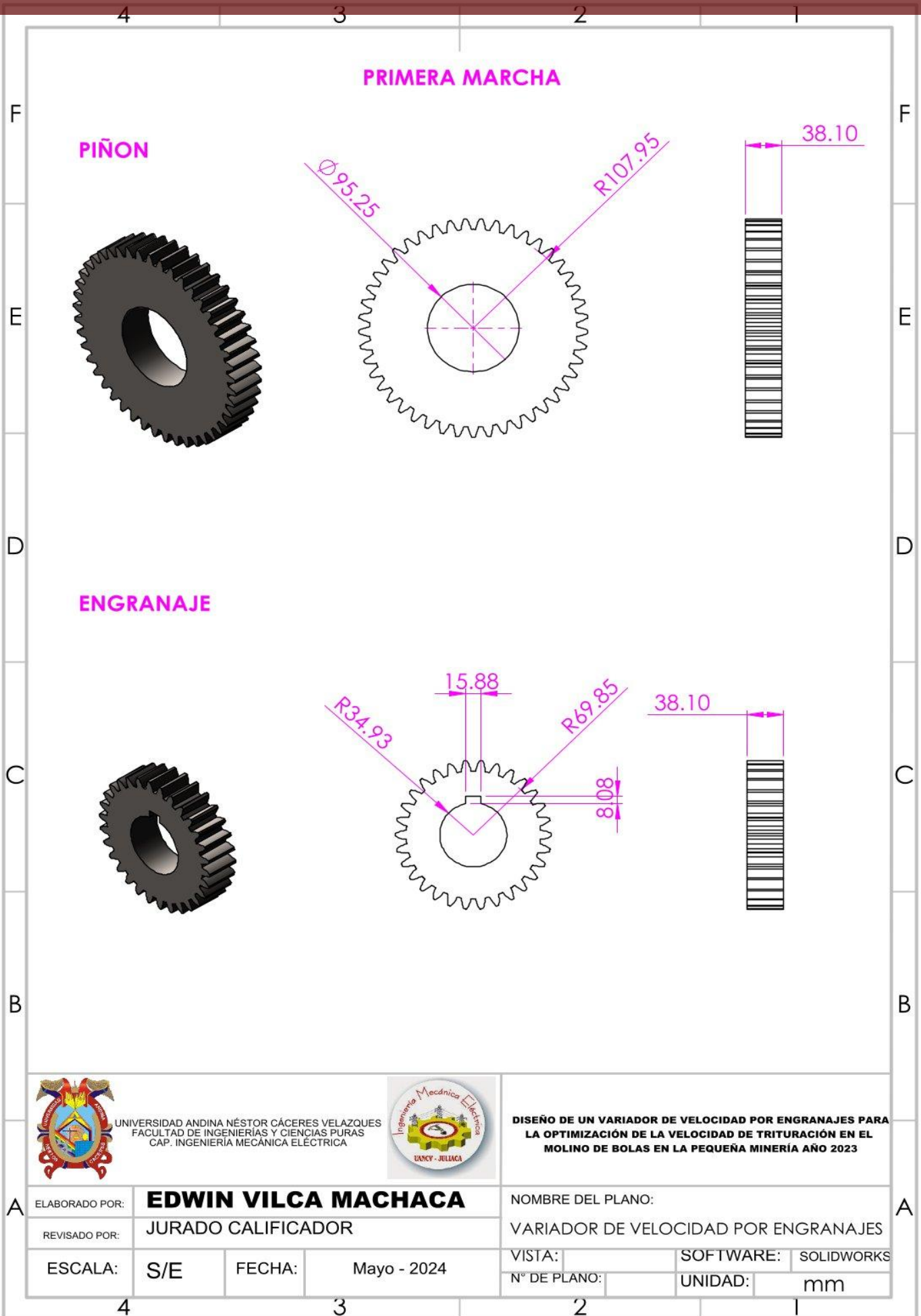


UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELAZQUES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CAP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AÑO 2023**

A	ELABORADO POR: <b>EDWIN VILCA MACHACA</b>		NOMBRE DEL PLANO:		A
	REVISADO POR: JURADO CALIFICADOR		VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES		
	ESCALA: S/E	FECHA: Mayo - 2024	VISTA:	SOFTWARE: SOLIDWORKS	
			N° DE PLANO:	UNIDAD: mm	



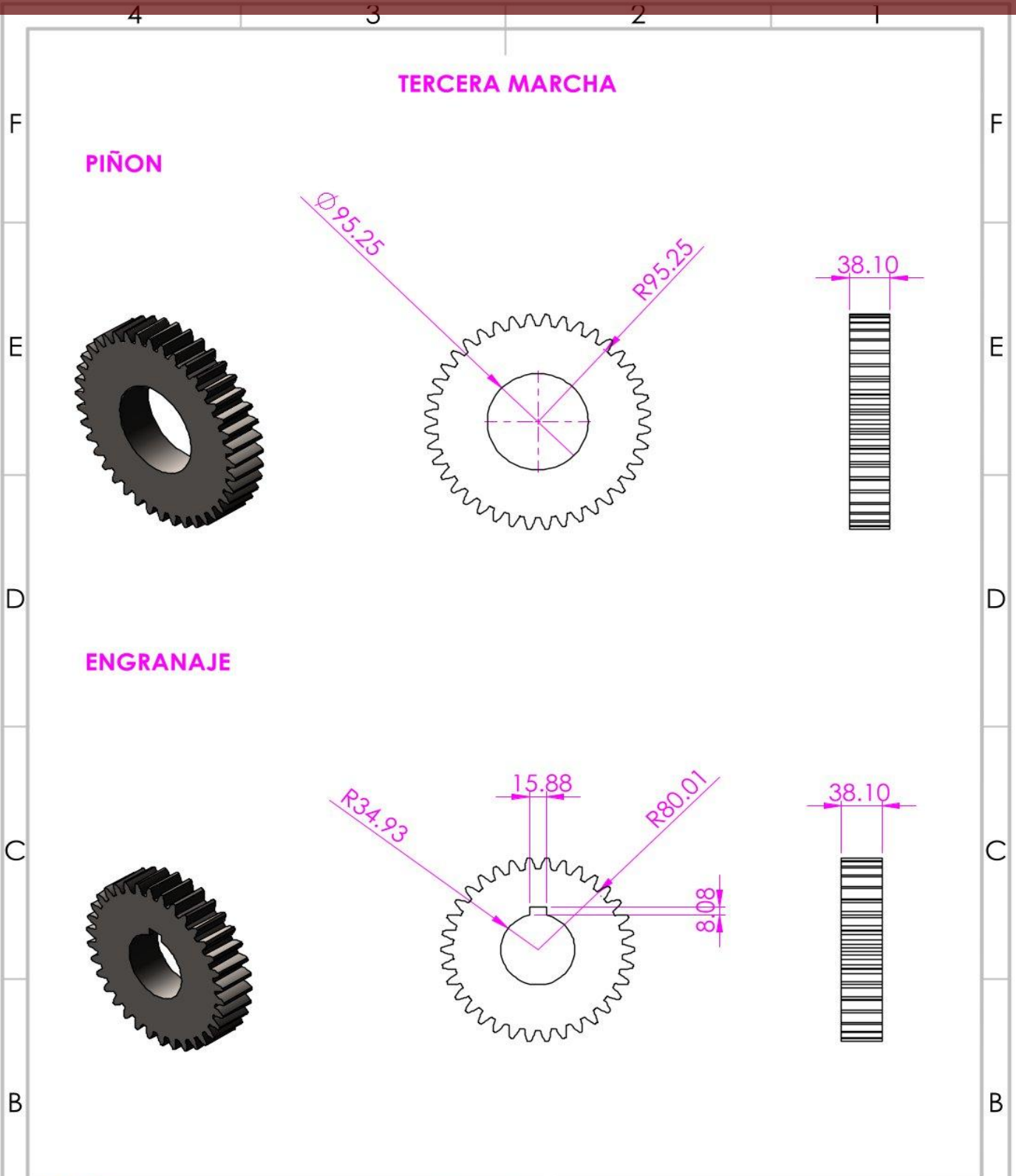
UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELAZQUES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CAP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AÑO 2023

A	ELABORADO POR:	<b>EDWIN VILCA MACHACA</b>		NOMBRE DEL PLANO:	VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES			A
	REVISADO POR:	JURADO CALIFICADOR		VISTA:	SOFTWARE:	SOLIDWORKS		
	ESCALA:	S/E	FECHA:	Mayo - 2024	N° DE PLANO:	UNIDAD:	mm	





UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELAZQUES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CAP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

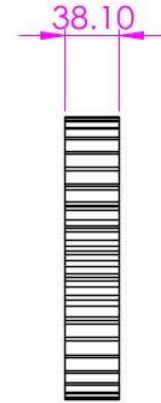
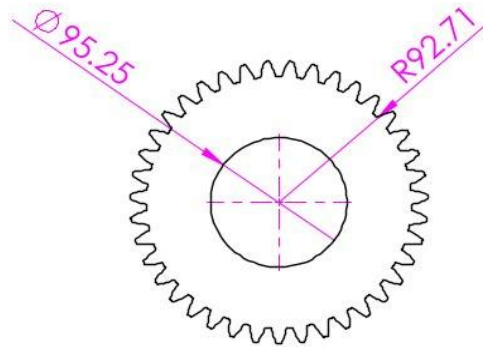


**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AÑO 2023**

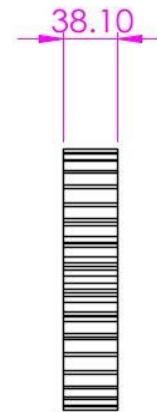
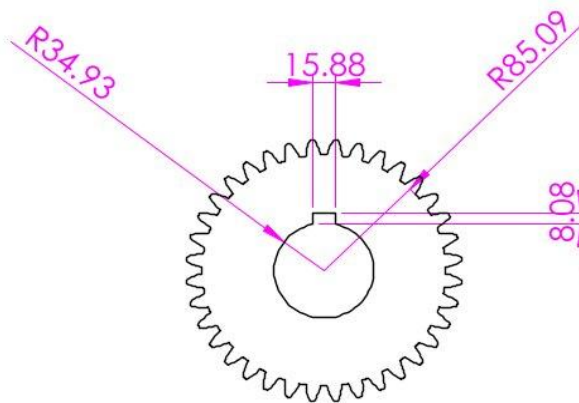
<b>ELABORADO POR:</b>	<b>EDWIN VILCA MACHACA</b>	<b>NOMBRE DEL PLANO:</b>		
<b>REVISADO POR:</b>	JURADO CALIFICADOR	VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES		
<b>ESCALA:</b>	S/E	<b>FECHA:</b>	Mayo - 2024	<b>VISTA:</b>
				SOFTWARE: SOLIDWORKS
				<b>N° DE PLANO:</b>
				UNIDAD: mm

## CUARTA MARCHA

### PIÑÓN



### ENGRANAJE



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELAZQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CAP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AÑO 2023**

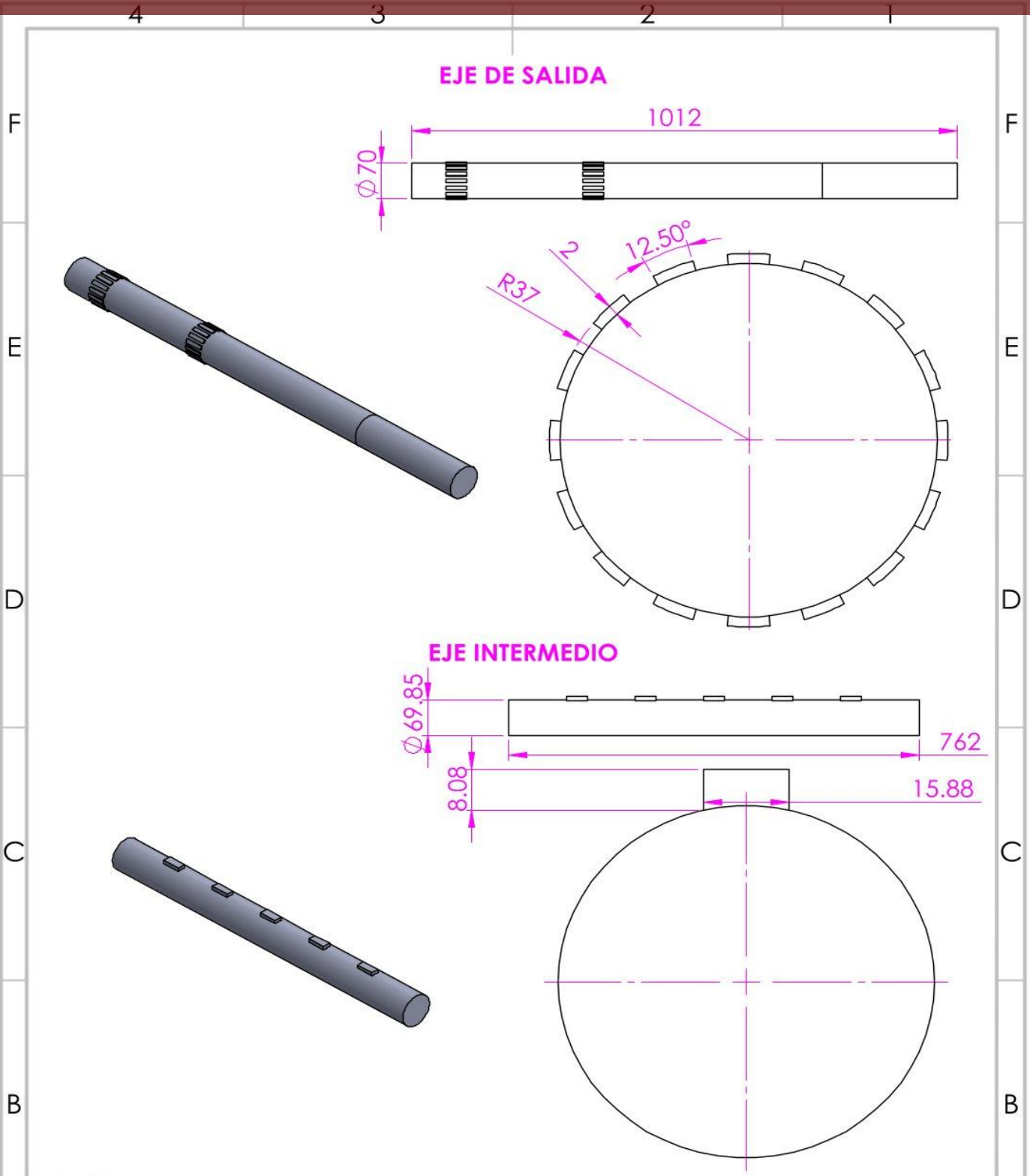
A	ELABORADO POR:	<b>EDWIN VILCA MACHACA</b>		NOMBRE DEL PLANO:				A
	REVISADO POR:	JURADO CALIFICADOR		VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES				
	ESCALA:	S/E	FECHA:	Mayo - 2024	VISTA:	SOFTWARE:	SOLIDWORKS	
				N° DE PLANO:	UNIDAD:	mm		

4

3

2

1

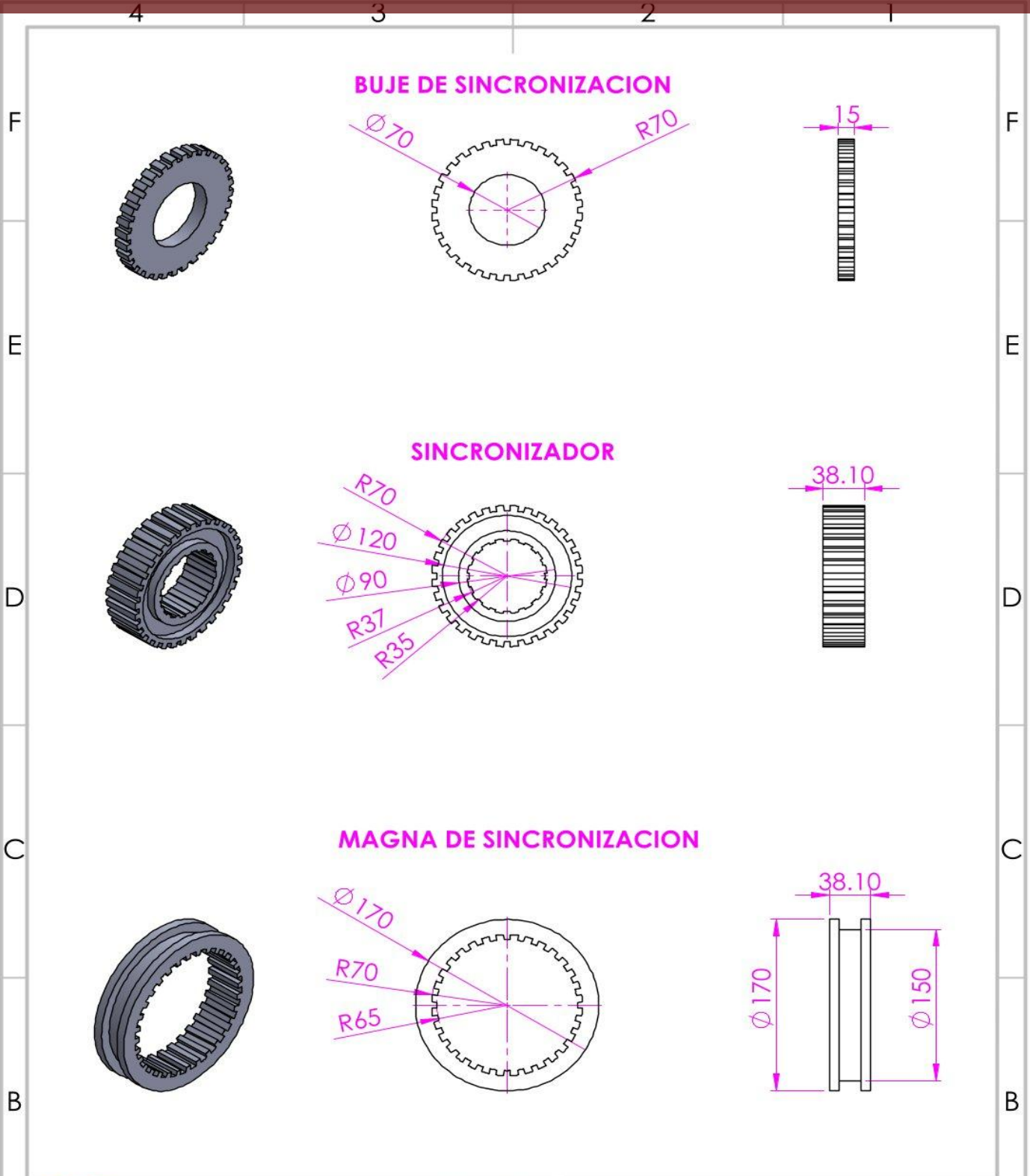


UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELAZQUES  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CAP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AÑO 2023**

A	ELABORADO POR: <b>EDWIN VILCA MACHACA</b>		NOMBRE DEL PLANO:		A
	REVISADO POR: JURADO CALIFICADOR		VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES		
	ESCALA: S/E	FECHA: Mayo - 2024	VISTA:	SOFTWARE: SOLIDWORKS	
			N° DE PLANO:	UNIDAD: mm	



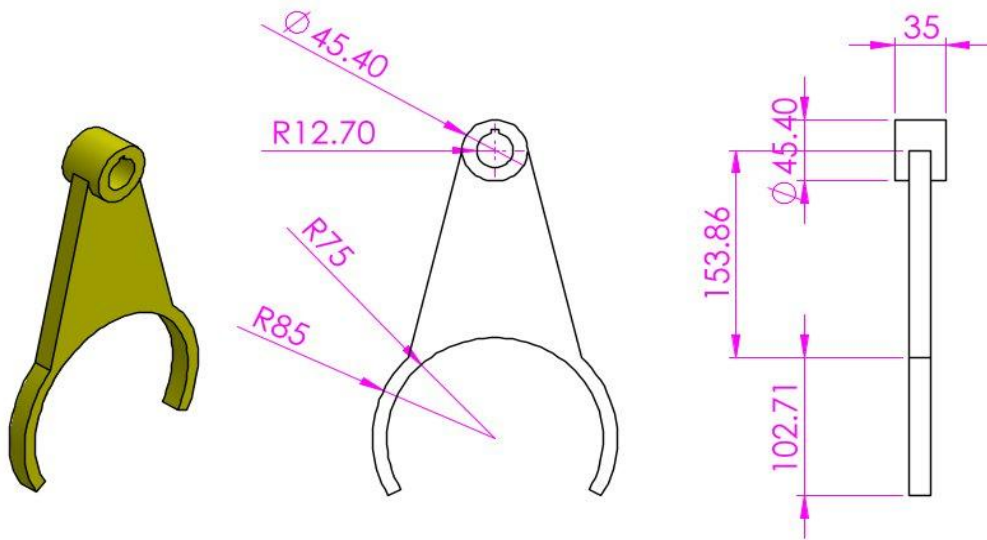
UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELAZQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CAP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



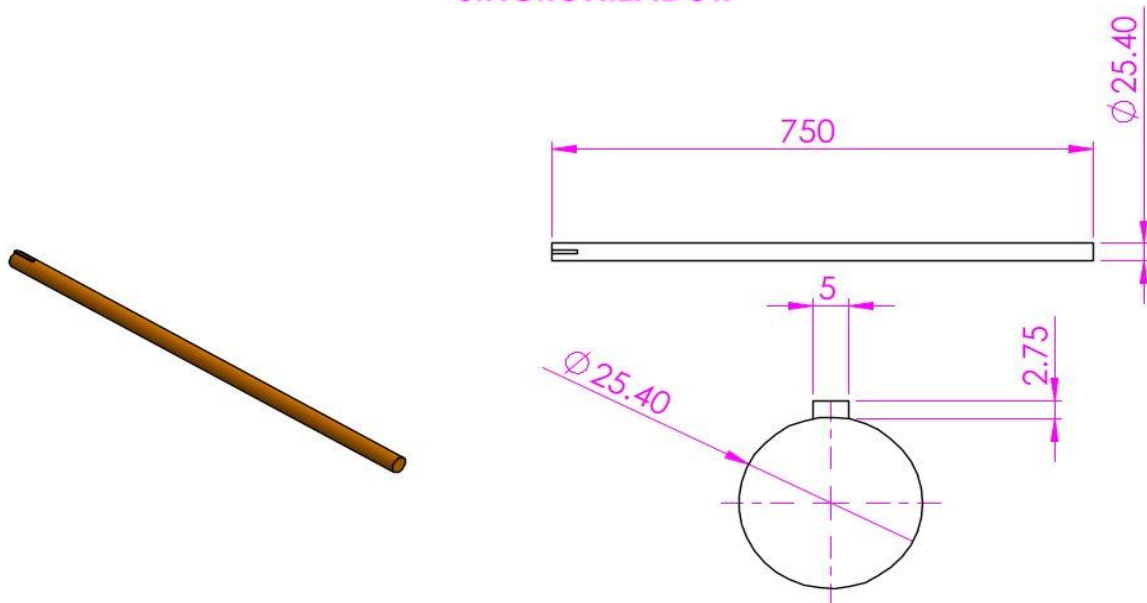
**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AÑO 2023**

A	ELABORADO POR: <b>EDWIN VILCA MACHACA</b>		NOMBRE DEL PLANO:		A
	REVISADO POR: JURADO CALIFICADOR		VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES		
	ESCALA: S/E	FECHA: Mayo - 2024	VISTA:	SOFTWARE: SOLIDWORKS	
			N° DE PLANO:	UNIDAD: mm	

## BUJE DE SINCRONIZACION



## SINCRONIZADOR



UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELAZQUEZ  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS  
CAP. INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERÍA AÑO 2023**

A	ELABORADO POR: <b>EDWIN VILCA MACHACA</b>		NOMBRE DEL PLANO:		A
	REVISADO POR: JURADO CALIFICADOR		VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES		
	ESCALA: S/E	FECHA: Mayo - 2024	VISTA:	SOFTWARE: SOLIDWORKS	
			N° DE PLANO:	UNIDAD: mm	



### INSTRUMENTO

#### Ficha Técnica de Evaluación del Diseño del Variador de Velocidad por Engranajes

Finalidad: Recoger apreciaciones técnicas de profesionales expertos para validar el diseño propuesto y su viabilidad operativa.

Dirigido a: Ingenieros mecánicos eléctricos, ingenieros de mantenimiento o profesionales técnicos con experiencia en transmisión de potencia.

#### Datos generales:

Institución / Empresa: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

#### Parte I: Evaluación Técnica del Diseño (Lista de Cotejo)

Nº	Criterios a Evaluar	Cumple	No Cumple	Observaciones
1	El diseño considera adecuadamente los parámetros del motor (potencia, torque, RPM)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
2	La selección de engranajes es coherente con las velocidades requeridas del molino	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
3	El diseño garantiza una reducción progresiva de velocidad sin pérdidas significativas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
4	Los materiales seleccionados (acero AISI 1144, rodamientos SKF) son adecuados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
5	La modelación en SolidWorks representa correctamente las condiciones operativas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
6	El diseño permite el mantenimiento adecuado y el acceso a los componentes clave	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
7	La propuesta presenta un equilibrio costo-beneficio aceptable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
8	Se considera el factor de seguridad en el diseño de engranajes y ejes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
9	Se evaluó correctamente la vida útil de los rodamientos utilizados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
10	El diseño es aplicable a otras plantas similares de pequeña minería	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	



## Parte II: Valoración Global

1. En una escala de 1 a 5, califique el nivel de innovación técnica del diseño:

1 (Muy bajo)  2  3  4  5 (Muy alto)

2. ¿Considera que este diseño es viable para ser implementado en la pequeña minería?

Sí  No

Justifique brevemente su respuesta:

.....

3. Sugerencias o recomendaciones adicionales:

.....



### VALIDACION DE INSTRUMENTO

UNIVERSIDAD ANDINA NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

FICHA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

#### JUICIO DE EXPERTOS

I. REFERENCIAS:

- a. Experto/Nombres : CARLOS FROILAN QUINTO VALENCIA
- b. Especialidad : Ing. Mecánico electricista
- c. Cargo Actual : DOCENTE UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
- d. Grado académico : Magister

II. TITULO DE MI TESIS: DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023

III. AUTOR DEL INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN: EDWIN VILCA MACHACA

IV. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

(1 = Deficiente; 2 = Regular; 3 = Buena; 4 = Muy buena; 5 = Excelente)

INDICADORES	CRITERIOS	DEFICIENTE	REGULAR	BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE
1. Claridad	Está redactado con lenguaje apropiado					X
2. Objetividad	Está expresado en capacidades observables					X
3. Actualidad	Está adecuado al avance de la ciencia					X
4. Organización	Existe una organización lógica de los ítems y las variables				X	
5. Suficiencia	Valora las dimensiones en cantidad y calidad suficientes					X
6. Intencionalidad	Esta adecuada para cumplir los objetivos de la investigación					X
7. Consistencia	Está basado en aspectos teóricos y científicos					X
8. Coherencia	Entre las dimensiones, indicadores e ítems				X	
9. Metodología	Responde al propósito de la investigación					X
10. Pertinencia	Es útil y adecuado para la investigación					X

Coefficiente de valoración porcentual. C = Total/50

V. OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES

.....

VI. RESOLUCIÓN DEL EXPERTO

Aprobado (C>75%=0.75)

Desaprobado (C<75%=0.75)

LUGAR Y FECHA: Juliaca, 29 de octubre del 2024

Bach. EDWIN VILCA MACHACA



*Carlos Froilan Quinto Valencia*  
Carlos Froilan Quinto Valencia  
ING. MECANICO ELECTRICISTA  
CIP. 270763

FIRMA DEL EXPERTO

DNI 4497557



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital [X]

Fecha de entrega: 09/06/2025

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: EDWIN VILCA MACHACA

Dirección: Av. LAMPA Nro. 351

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 46469590

Teléfono: 973542956 email: winterselcangri@gmail.com

Nombres y Apellidos:

Dirección:

DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°:

Teléfono: email:

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

Título o Grado Académico a optar: INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

Asesor: Ing. ADWAR RANULFO SANCHEZ CARREÓN

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación [ ] Tesis [X] Trabajo de Suficiencia Profesional [ ] Trabajo Académico [ ]

Título: DISEÑO DE UN VARIADOR DE VELOCIDAD POR ENGRANAJES PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRITURACIÓN EN EL MOLINO DE BOLAS EN LA PEQUEÑA MINERA AÑO 2023

Palabras claves, (3 a 5 términos): Variador de velocidad, engranajes, molino de bolas.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV 1,2?

1

1 Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

2 Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

Bachiller  Titulo  2da Especialidad  Maestría  Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

**Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.**

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina “Néstor Cáceres Velásquez” consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

**Autorizo su publicación (marque con una X)**

- Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): \_\_\_\_\_
- No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

**¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?**

**Sí:** significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

**No:** significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- Sí autorizo
- No autorizo



**Jurisdicción de su Licencia**

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción “internacional” o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción “internacional” emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción “internacional” goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

Internacional

Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA – P18

Firma de Autor



huella digital

Juliaca 09 de junio del 2025

Fecha