

**UNIVERSIDAD MAYOR REAL Y PONTIFICIA DE SAN
FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
MECA-ELECTRÓNICAS**

INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA



**INVESTIGACIÓN Y ESTUDIO DEL DISEÑO DE UNA CAJA
MULTIPLICADORA DE VELOCIDADES, QUE SE ACOPLE A UNA
BOMBA CENTRÍFUGA PARA EL BOMBEO DE AGUA EN LA
PROVINCIA SUD LÍPEZ-POTOSÍ**

POSTULANTE: ELVIS BLADIMIR CHOQUE HUAYTA

“Trabajo presentado para obtener el título de licenciado en Ingeniería Electromecánica, otorgado, por la Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca”

SUCRE – BOLIVIA

2024

CESIÓN DE DERECHOS

Presentado este trabajo como requisito previo a la obtención del Diplomado en Diseño Mecánico Industrial- Versión 1- Virtual de la Universidad Mayor Real Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.

Cedo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación a partir de la fecha de defensa de grado, pudiendo, por lo tanto, la Universidad utilizar y usar este documento por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en formato virtual, electrónico, digital u óptico, como usos en red local y en internet.

En señal de aceptación suscribo este documento, una vez se ha aceptado el trabajo de monografía.

Elvis Bladimir Choque Huayta

C.I: 8568494 BO-P

DEDICATORIA

A DIÓS:

Por ser la luz que guía en mi camino al diario vivir

A MIS PADRES:

Por su amor y paciencia apoyo. Siendo pilares fundamentales aliento e inspiración para esta investigación

AGRADECIMIENTOS

A la universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca:

Por abrirme sus puertas para mi profesionalización.

A la carrera de ing. Electromecánica:

Por permitirme ser un profesional al servicio de la sociedad.

A los docentes del DIPLOMADO EN DISEÑO MECANICO INDUSTRIAL V-1 DE LA UMRPSFXCH

RESUMEN

El presente trabajo de mi monografía es la investigación y estudio de un sistema de bombeo de agua para la provincia Sud Lipez por la falta y carencia del servicio de energía eléctrica. Inicialmente se realizó el seleccionado de una bomba centrífuga que cumpla con el caudal y la altura necesarios para suministrar de agua a la provincia Sud Lipez. Una vez seleccionada la bomba, se investigó el desarrollo del diseño de la caja multiplicadora de velocidades que se acople a nuestra bomba centrífuga según a sus características para su funcionamiento eficaz.

Se tomo en cuenta el consumo para una persona de 100 litros de agua al día Según la OMS, y los datos del Censo 2012 INE de 220 habitantes en esta región, haciendo una proyección de 220 habitantes, alcanzando una demanda de agua al día de 22000 litros, una de las alternativas y solución del sistema de bombeo de agua fue la investigación y desarrollo del diseño de la caja multiplicadora de velocidades acoplada a una bomba centrífuga accionada de forma manual por una persona.

Mi proyecto pretende aportar una solución a la falta de energía eléctrica por tanto mi propuesta será un sistema de bombeo de agua , que tendrá dos sistemas incluidos los cuales son el sistema hidráulico y el sistema de energía (accionamiento manual por manivela) para lograr las revoluciones por minutos (RPM), sabiendo que estas bombas centrífugas trabajan a más de 1000 rpm.

Proponiendo usar para la caja multiplicadora unos engranajes rectos ya que son más resistentes, también buscar una bomba que cumpla la demanda de volumen diario de 22000 litros con el fin de satisfacer las necesidades de los comunarios de la provincia de Sud Lipez.

Dejando también para los próximos investigadores se pueda considerar la implementación en la misma caja multiplicadora unos volantes de inercia para ayudar a la eficiencia de giro de los engranajes, ayudando a mejorar la eficiencia del sistema.

Se realizó el diseño del prototipo de la caja de velocidades, utilizando el software de Diseño Mecánico "AUTODESK INVENTOR".

INDICE TEMÁTICO

CAPITULO I	1
1. INTRODUCCION	¡Error! Marcador no definido.
1.1. ANTECEDENTES:	2
1.2. PROBLEMÁTICA	4
1.2.1. Formulación del Problema	4
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.3.1. Justificación tecnológica	5
1.3.2. Justificación social	5
1.3.3. Justificación económica	6
1.4. METODOLOGÍA	6
1.4.1. Métodos	7
1.4.2. Técnicas e instrumentos	7
1.5. OBJETIVOS	8
1.5.1. Objetivo General	8
1.5.2. Objetivos Específicos	8
CAPITULO II	9
2. DESARROLLO	9
2.1. MARCO CONTEXTUAL	9
2.1.1. Ubicación geográfica de la provincia Sud Lípez-Potosí	9
2.1.2. Determinación de los requerimientos y necesidades	10
2.1.2.1. Acceso al agua en la provincia de Sud Lípez:	10
2.1.2.2. Profundidad y Tipo de Pozos	11
2.1.2.3. Recursos Disponibles	12
2.1.2.4. Limitaciones energéticas y económicas:	12
2.1.3. Análisis y métodos tecnológicos actuales	13
2.1.3.1. Análisis de consumo de Agua por persona	13
2.1.3.2. Métodos tecnológicos actuales para la extracción de agua en Sud Lípez	15
2.1.4. Capacidad de bombeo requerido	16
2.2. MARCO TEÓRICO	17
2.2.1. Métodos de extracción de agua de pozo	17
2.2.1.1. Métodos manuales de extracción de agua	18
2.2.1.1.1. Extracción manual con balde y cuerda	18
2.2.1.1.2. Bombeo manual con bomba de embolo	19
2.2.1.1.3. Bombeo manual con bomba de cuerda o mecate	20

2.2.1.2. Métodos mecanizados de extracción de agua	21
2.2.1.2.1. Bombeo solar	21
2.2.1.2.2. Bombeo eólico-solar (hibrido)	22
2.2.1.2.3. Bombeo con motor de combustión interna (gasolina)	23
2.2.1.2.4. Bombeo con motor eléctrico	24
2.2.2. Clasificación de bombas de baja, alta revolución, para extracción de agua de pozos	25
2.2.2.1. Ventajas y desventajas	26
2.2.2.2. Según las posibilidades de accionamiento de una bomba	28
2.2.3. Matriz de Selección	30
2.2.3.1. Alternativas de Diseño	30
2.2.4. Proceso de extracción de agua.....	31
2.2.4.1. Bomba centrífuga a través de una caja multiplicadora de velocidades:.....	31
2.2.5. Componentes del sistema extracción de agua.....	31
2.2.5.1. Caja multiplicadora de velocidades.....	32
2.2.5.2. Bomba centrífuga	32
2.2.5.3. Tubos o cañerías de succión y descarga PVC.....	33
2.2.6. Mecanismo de multiplicación de velocidades.....	33
2.2.6.1. Relación de velocidad.....	34
2.3. INFORMACION Y DATOS OBTENIDOS	35
2.3.1. Requerimiento de agua potable en la provincia Sud Lipez.....	35
2.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	36
2.5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO	37
2.5.1. Elementos de la caja multiplicadora.....	37
2.5.1.1. Carcasa	37
2.5.1.2. Engranajes	38
2.5.1.2.1. Tipos de engranajes	38
2.5.1.2.2. Normas de diseño para ruedas dentadas (engranajes)	40
2.5.1.3. Ejes	41
2.5.1.4. Rodamientos y retenes	42
2.5.2. Determinación de parámetros de diseño.....	42
2.5.2.1. Caudal y volumen de agua necesario	42
2.5.2.2. Características de la bomba centrífuga de 0.75 Hp	44
2.5.2.2.1. Especificaciones de la bomba centrífuga.....	44
2.5.2.2.2. Curvas Características de bombas centrífugas:.....	44
2.5.2.2.3. Dimensionamiento y características de la bomba NGA 2:.....	46
2.5.2.3. Diseño de engranajes	47

2.5.2.3.1. Relación de transmisión	47
2.5.2.3.2. Software MDESING	48
2.5.2.3.3. Determinación de dimensiones de los engranajes mediante software MDESING	48
2.5.2.3.4. Selección de materiales para los engranajes (Engrane-Piñón)	52
2.5.2.3.4.1. Primera etapa (Engrane-Piñón)	52
2.5.2.3.4.2. Segunda etapa (Engrane-Piñón)	52
2.5.2.3.4.3. Tercera etapa (Engrane-Piñón)	53
2.5.2.3.5. Selección de material y dimensionamiento de los ejes	54
CAPITULO III	55
3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	55
3.1. CONCLUSIONES	55
3.2. RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	
ANEXOS	
ANEXO A: CARACTERISTICAS GENERALES DEL EQUIPO	
ANEXO B: PLANOS DE DISEÑO DEL EQUIPO	
ANEXO C: COSTOS DE FABRICACIÓN	
ANEXO D: DETALLES DE LOS DATOS Y PROCESMIENTOS UTILIZADOS	

INDICE DE FIGURAS

Figura 2-1: Mapa político y Departamental	9
Figura2-2: Departamento de Potosí-Provincias	10
Figura 2-3: Bomba de cuerda.....	11
Figura2-4: Tipos de pozos para extraer agua subterránea	11
Figura 2-5: Componentes de un pozo común.....	15
Figura 2-6: Bomba de jarra manual.....	15
Figura 2-7: Bomba de cuerda o mecate	16
Figura 2-8: Bomba de agua solar.....	16
Figura 2-9: Bomba de cubo y cuerdas.....	18
Figura 2-10: Bomba de embolo manual	19
Figura 2-11: Esquema de una bomba de cuerda	20
Figura 2-12: Bombeo de agua solar	22
Figura 2-13: Bombas hidráulicas mediante energía eólica-solar (hibrida).....	23
Figura 2-14: Bombas motor de combustión	24
Figura 2-15: Bomba de agua centrifuga	24
Figura 2-16: Bombas de desplazamiento positivo	25
Figura 2-17: Bomba sumergible	25
Tigura 2-18: Clasificación de las bombas hidráulicas.....	26
Figura 2-19: Clasificación de bombas de acuerdo con la dirección del flujo	32
Figura 2-20: Relación de velocidad de engranajes	35
Figura 2-21: Engranajes ejes paralelos	39
Figura 2-22: Engranajes ejes concurrentes	39
Figura 2-23: Engranajes de ejes no concurrentes	40
Figura 2-24: Curvas y datos de una bomba centrifuga.....	45
Figura 2-25: Dimensionamiento y Característica de una bomba centrifuga.....	46
Figura 2-26: Esquema de engranajes	47
Figura 2-27: Diseño del eje de entrada y sus secciones críticas.....	54

INDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Ingreso familiar por Año	12
Tabla 2-2: Consumo de agua por persona en la provincia Sud Lipez	14
Tabla 2-3: Población San Pablo de Lipez	17
Tabla 2-4: Comparación de las propiedades generales de las bombas.....	28
Tabla 2-5: Matriz de Selección	30
Tabla 2-6: Analisis y resultados	30
Tabla 2-7: Población San Pablo de Lipez	42
Tabla 2-8: Consumo de agua por persona en la provincia Sud Lipez.....	43
Tabla 2-9: Etiqueta de especificaciones de la bomba.....	46
Tabla 2-10: Relación de transmisión.....	47
Tabla 2-11: Datos obtenidos de la Primera etapa	48
Tabla 2-12: Datos obtenidos de la Segunda etapa	49
Tabla 2-13: Datos obtenidos de la Tercera etapa	50
Tabla 2-14: Valores de diámetros calculados (Piñón-Engrane).....	51
Tabla 2-15: Datos obtenidos mediante todos los cálculos	54
Tabla 2-16: Selección de rodamientos	54

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de monografía se basa en la investigación y estudio de un Diseño de una Caja Multiplicadora de Velocidades, para que se acople a una Bomba Centrífuga para el Bombeo de Agua en la Provincia Sud Lipez – Potosí, por la extensión y la población dispersa de la provincia Sud Lipez hay comunidades que aún no tienen el servicio de energía eléctrica y por ende el suministro y disponibilidad del agua que es vital para la vida y la comunidad. Ante esta situación y que la falta del servicio de energía eléctrica no sea un impedimento para que la comunidad tenga agua disponible en sus domicilios, y si, se pueda lograr este requerimiento de abastecimiento de agua, es implementando, un multiplicador de velocidad impulsado por el hombre que tenga las mismas prestaciones del motor eléctrico, para la bomba hidráulica en revoluciones por minuto del sistema hidráulico para la extracción de agua.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en muchas regiones del mundo, el acceso al agua potable sigue siendo un desafío crucial. Especialmente en áreas rurales y comunidades remotas donde la falta de acceso regular a la energía eléctrica evita que estos aun en la actualidad no cuenten con bombas hidráulicas para la extracción de agua.

En la región de Sud Lipez actualmente, el agua sigue siendo extraída manualmente, debido a la escasez de bombas de agua u otras tecnologías de extracción más avanzadas, Según el informe "Desarrollo Local Integral de Sud Lipez" (noviembre 2013), lo que ha llevado a que la mayoría de las comunidades continúen extrayendo agua de los pozos utilizando métodos tradicionales, como el uso de baldes y otros recipientes. Esta falta de acceso a tecnologías más avanzadas de extracción de agua resalta la necesidad de desarrollar soluciones innovadoras y sostenibles para mejorar el acceso al agua en estas comunidades.

Torres Rivero (2016) señala en su trabajo de fin de grado Diseño de una caja reductora de velocidades. “La función de las cajas reductoras y multiplicadoras son dispositivos mecánicos utilizados para variar la velocidad y el torque a nuestro requerimiento, aprovechando además las ventajas mecánicas que presentan, el diseño de una caja multiplicadora nos permitirá y facilitará el movimiento rotativo de la bomba centrífuga así logrando las revoluciones que requiere esta bomba centrífuga”.

1.1.ANTECEDENTES:

Investigación y estudio de un Diseño de una Caja Multiplicadora de Velocidades es la propuesta del estudio de la presente monografía, complementándose con el cálculo del sistema hidráulico, por tanto, el sistema de bombeo de agua está conformado por un sistema hidráulico y un sistema mecánico que debe desarrollarse simultáneamente en ese orden.

Según la INE (Instituto Nacional de Estadística), Sud Lípez es una provincia ubicada en el departamento de Potosí, Bolivia. Esta región enfrenta desafíos relacionados con el acceso al agua debido a su geografía y condiciones climáticas. Un alto porcentaje de hogares carece de acceso a agua potable segura, lo que afecta la salud y el bienestar de la población local, la escasez de agua es un problema común en áreas áridas y semiáridas como Sud Lípez.

En la provincia de Sud Lipez el bombeo de agua manual ha sido durante mucho tiempo una práctica común debido a la falta de acceso a la electricidad en la región, el bombeo de agua se lo realiza de forma manual, esto requiere un esfuerzo físico considerable por parte de los pobladores, especialmente cuando se trata de extraer grandes cantidades de agua, esto puede provocar lesiones a largo plazo. Además, este método de extracción puede ser demasiado peligroso para los niños y adultos mayores.

Con el avance de la tecnología hoy en día podemos encontrar bombas centrífugas que actualmente son las más utilizadas para bombear fluidos incomprensibles (líquidos), estas bombas generalmente son accionadas o impulsadas por un motor eléctrico. Sin embargo, instalar una bomba centrífuga accionada por un motor

eléctrico para extraer agua no es posible, ya que las comunidades de la provincia Sud Lipez del departamento de Potosí no cuentan con el suministro de energía eléctrica, lo cual podría solucionarse, con la instalación de paneles solares fotovoltaicos, para suministrar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de la bomba, sin embargo, las comunidades, no cuentan con los recursos económicos para adquirir e instalar paneles fotovoltaicos. Es en este sentido que, en el presente proyecto, se llevará adelante el estudio de diseño de una caja multiplicadora de velocidades que se acople al eje de la bomba centrífuga.

La velocidad específica de las bombas centrífugas se define este como el número de revoluciones de una bomba de ejecución dinámica y geoméricamente semejante, se puede hablar de bomba centrífuga radial, cuando N_s (velocidad específica) está en el rango de 500 a 3000 rpm aproximadamente; de flujo mixto con N_s (velocidad específica) en el rango de 4000 a 5000 rpm y axial cuando N_s (velocidad específica) va de 10000 a 15000 rpm o más.

Borrero Restrepo A. (1995). Bombas Centrífugas. Trabajo de Grado. (Pag,14).

Según Santiago Cornejo.(2019), las cajas multiplicadoras de velocidades han encontrado aplicaciones en diversos sectores industriales con el objetivo de incrementar el rendimiento y la capacidad de sistemas mecánicos. Aunque su uso en sistemas de bombeo de agua es relativamente reciente, se ha demostrado que tienen un gran potencial para mejorar la eficiencia en el bombeo manual, especialmente en áreas donde no hay acceso a energía eléctrica. La caja multiplicadora de velocidades es un conjunto mecánico que permite aumentar la velocidad de rotación de un eje de entrada a un eje de salida con una velocidad mayor través de un conjunto de engranajes, en el contexto de sistemas de bombeo de agua, estas cajas multiplicadoras se utilizan para adaptar la velocidad de un motor o una manivela a las necesidades específicas de una bomba centrífuga.

Según ABEL Pump Technology (9 de mayo de 2023). En general las bombas centrífugas alcanzan eficiencias entre un 20% y un 80%. Por otra parte, las bombas manuales antiguas eran menos eficientes en comparación con las centrífugas, su eficiencia dependía de la fuerza aplicada manualmente y la geometría del diseño. En términos de eficiencia, las bombas manuales antiguas generalmente tenían un rendimiento inferior al 20%.

1.2. PROBLEMÁTICA

Abastecimiento de agua para consumo y falta de energía eléctrica.

La provincia de Sud Lípez y en otras comunidades rurales, enfrentan problemas en el abastecimiento de agua potable, en cuanto al acceso de servicios básicos según al censo de 2012 se evidencio que el 52,52% de las viviendas no cuentan con el acceso al agua potable según datos del Instituto Nacional de Estadística (INE).

Una de las principales problemáticas ante la falta de energía eléctrica para el funcionamiento de la bomba centrífuga será el sistema de energía (accionamiento manual por una persona), sabiendo que una persona no lograría generar las revoluciones que estas bombas requieren ya que estas trabajan a más de 1000 revoluciones por minutos (rpm) y por esta razón se optó por la investigación del diseño de la Caja Multiplicadora de Velocidades que logre adaptarse y acoplarse a la bomba centrífuga, la cual facilitará el sistema de energía (accionamiento manual por manivela) de la bomba centrífuga, logrando obtener la velocidad de giro (revoluciones por minuto, rpm) que esta bomba requiere para su funcionamiento y así poder extraer agua del pozo.

1.2.1. Formulación del Problema

¿Es posible dar solución al suministro de agua ante la falta de energía eléctrica en la provincia Sud Lípez mediante la investigación y estudio del diseño de una caja multiplicadora de velocidades, que se acople a una bomba centrífuga para el bombeo de agua?

1.3. JUSTIFICACIÓN

Remplazar el sistema de bombeo eléctrico de agua por un sistema de bombeo mecánico mediante una caja multiplicadora de velocidades, accionada por una biela – manivela impulsada por la fuerza humana acoplada al eje de la bomba centrífuga.

1.3.1. Justificación tecnológica

- **Aplicativo:** realizar un proyecto que beneficie a la sociedad, realizamos un proyecto aplicativo donde aplicamos los conocimientos adquiridos en ingeniería al servicio de la sociedad.
- **Funcionamiento con otro tipo de energía ante la falta de energía eléctrica, cuál será la caja multiplicadora de velocidades:** La caja multiplicadora de velocidades trabajará con un sistema de energía de accionamiento manual por una manivela que será impulsado por una persona así pudiendo extraer agua sin depender de la infraestructura eléctrica.
- **Adaptabilidad:** teniendo y logrando conseguir un sistema de bombeo de agua compuesta por el sistema hidráulico y el sistema de energía (accionamiento por una manivela) lograremos el bombeo de agua.

1.3.2. Justificación social

- **Acceso al Agua Potable:** El diseño de la caja multiplicadora de velocidades ofrecerá un acceso más fácil al bombeo de agua potable al reducir la carga física sobre los usuarios (comunarios) durante el bombeo.
- **Mejora en la calidad de vida:** Al implementar este sistema de bombeo, el acceso al agua limpia será más consistente y fácil. Esto no solo mejorará la salud y el bienestar de los residentes, sino que también hará que las tareas diarias, como la preparación de alimentos y la higiene personal, sean más convenientes.
- **Reducción de la fatiga y esfuerzo humano:** La implementación de la caja multiplicadora manual tiene como objetivo reducir significativamente la carga física asociada con los sistemas manuales tradicionales. Esto tiene un impacto directo en el bienestar de los habitantes locales, al disminuir la fatiga y el esfuerzo requerido para acceder al agua.

- **Participación y empoderamiento comunitario:** Mediante el uso de tecnologías manuales, estamos promoviendo la participación y el empoderamiento dentro de la comunidad local.

1.3.3. Justificación económica

- **Ahorro económico:** Nuestra investigación y estudio de diseño nos permite ahorrar en el costo que sería significativamente más reducido en comparación a una empresa de servicios de agua llegando a una tarifa de menor en metro cubico, lo que resultaría en ahorros importantes para las comunidades locales. Estos ahorros pueden ser reinvertidos en la comunidad para continuar mejorando el sistema de bombeo de agua. Una de las mejoras planificadas incluye la incorporación de paneles solares para el sistema de bombeo de agua.
- **Oportunidades:** se me da la oportunidad de realizar un proyecto aplicativo donde apporto con mis conocimientos adquiridos en mi formación a la provincia de Sud Lipez lugar al que pertenezco, y también por otra parte poder ayudar a la gente para que tengan una vida mejor facilitándoles el acceso al agua y también contribuir a su desarrollo.
- **Aumento de la Productividad y la Capacidad Laboral:** Al facilitar un acceso más eficiente y constante al agua, se mejora la productividad laboral lo que contribuye a un aumento en la capacidad laboral y a un mejor desempeño económico y una mejora en la calidad de vida comunarios.

1.4. METODOLOGÍA

El tipo de metodología de investigación utilizada en la presente monografía fue, la investigación Metódica, la Investigación Aplicada y la Investigación y Exposición Descriptiva. La investigación metódica me permitirá seguir un proceso estructurado y sistemático en el desarrollo del diseño. La investigación aplicada, tiene como objetivo aplicar el proceso de la Academia de enseñanza – aprendizaje a la solución de problemas de nuestra sociedad con el aporte de proyectos aplicados. La

investigación descriptiva, fue para transcribir y documentar la síntesis en la monografía. Con esta combinación de metodologías, busco lograr una solución completa y adecuada para el tema de monografía que tiene por objetivo mejorar el acceso al agua en la región.

Así también la investigación y el desarrollo orientada al diseño de la caja multiplicadora de velocidades se hará con el uso de programas: MDESING (diseño de engranajes), CAD (Diseño Asistido por Computadora) para optimizar el proceso de diseño y seguimiento para garantizar la precisión y eficiencia del diseño.

1.4.1. Métodos

- **Investigación y determinación de Requisitos:** Se realizará una investigación para comprender las necesidades y condiciones específicas relacionada con sistemas de bombeo de agua en áreas rurales de Sud López en términos de suministro de agua y disponibilidad de recursos para su adquisición.
- **Revisión exhaustiva de bibliografía existente:** Recopilación de información relevante de diversas fuentes sobre el funcionamiento y diseño de este tipo máquinas (cajas multiplicadoras de velocidades) con el fin de sustentar lo propuesto en el documento.
- **Diseño de un modelaje y simulación:** Se creará un modelo virtual detallado de la caja multiplicadora y se integrará con el modelo de la bomba centrífuga en el programa CAD (Diseño asistido por computadora).

1.4.2. Técnicas e instrumentos

- **Software Inventor:** se utilizará este software que ofrecen herramientas para el diseño y análisis de componentes mecánicos como diseño de engranajes. obteniendo datos específicos sobre el diseño y el rendimiento de sus componentes mecánicos.
- **Software de evaluación de costos Excel:** Se realizará un análisis con esta herramienta para realizar la evaluación de costos asociados con el proyecto. Empleando hojas de cálculos para organizar los datos

financieros pertinentes, cálculos de costos de materiales, mano de obra y otros gastos relacionados.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Desarrollar el estudio de un diseño de una caja multiplicadora de velocidades que se adaptade y acople al eje de una bomba centrífuga, lograr que este sistema de bombeo de agua trabaje con un sistema de energía (accionamiento manual por una biela – manivela), para las comunidades de la provincia de Sud Lípez-Potosí

1.5.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar la bomba hidráulica adecuada para el sistema de bombeo de agua que cumpla con las características del sistema hidráulico, en Potencia (hp), Velocidad expresada en revoluciones por minuto (rpm), Altura manométrica (H_m), Caudal (Q), rendimiento (η)
- Investigar y estudiar el diseño de una caja multiplicadora de velocidades para que cumpla los requerimientos del sistema hidráulico.
- Evaluar, diseñar y cumplir con las necesidades actuales de la provincia de Sud Lípez en cuanto al acceso al agua potable, considerando las limitaciones energéticas y económicas, para el diseño de la caja multiplicadora de velocidades.
- Diseñar y modelar haciendo uso de los programas CAD (Diseño asistido por computadora), para comprobar su resultado de la caja multiplicadora manual asegurando que el diseño cumpla la funcionalidad requerida para el bombeo de agua en la provincia de Sud Lípez.
- Realizar un estudio económico del diseño de una caja multiplicadora de velocidades para el bombeo de agua en la provincia de Sud Lípez

2. DESARROLLO

2.1. MARCO CONTEXTUAL

Mi marco contextual se centra en la investigación y estudio de un diseño de una caja de aumento de velocidades que se acople a una bomba centrífuga, destinada al sistema de bombeo de agua mecanizado en la provincia de Sud Lipez-Potosí, ante la situación de falta del servicio de energía eléctrica. Mejorando satisfacer las necesidades específicas de los habitantes en términos de acceso al agua potable.

2.1.1. Ubicación geográfica de la provincia Sud Lipez-Potosí



Figura 2-1: Mapa político y Departamental

Fuente: <https://uyuni.hypotheses.org/111>



Figura 2-2: Departamento de Potosí-Provincias
Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bolivia_department_of_potosi.png

2.1.2. Determinación de los requerimientos y necesidades

2.1.2.1. Acceso al agua en la provincia de Sud Lipez:

Según al estudio realizado por la INE (Instituto Nacional de Estadística), Sud Lipez Continúa enfrentando dificultades económicas como hace un siglo atrás, pese a ser una de las provincias más extensas en cuanto territorio del departamento de Potosí. La provincia de Sud Lipez tiene una superficie de 22255 km², a pesar de ser una provincia más extensa de Potosí, tiene una menor densidad de población que alcanza el 0.19 habitantes por km², en cuanto al acceso de servicios básicos según al censo de 2012 se evidencio que el 52,52% de las viviendas no cuentan con agua potable.

INE (Instituto Nacional de Estadística). (2024). Estudio sobre Sud Lipez. Agencia De Noticias Fides, A1-A2.

En la actualidad esta región cuenta con pocas bombas de cuerda, por lo que la extracción de agua en forma manual sigue siendo una práctica común en estas áreas rurales. Esta práctica implica el uso de métodos simples, como sacar el agua mediante un balde y una cuerda donde estos pozos son a cielo abierto.

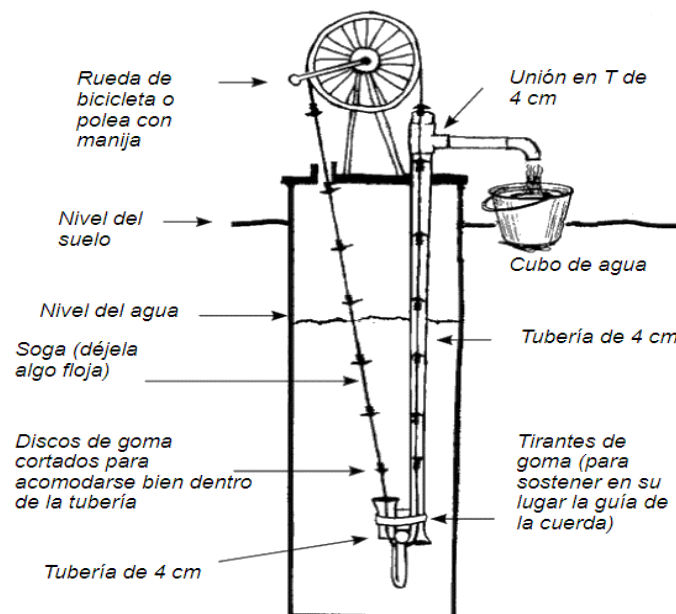


Figura 2-3: Bomba de cuerda

Fuente: <https://cec.vcn.bc.ca/mpfc/modules/wat-ros.htm>

2.1.2.2. Profundidad y Tipo de Pozos

Evaluar la profundidad y el tipo de pozos disponibles en las zonas rurales donde se implementará el sistema de bombeo. Esto influirá en el diseño de la caja multiplicadora y la selección de la bomba.

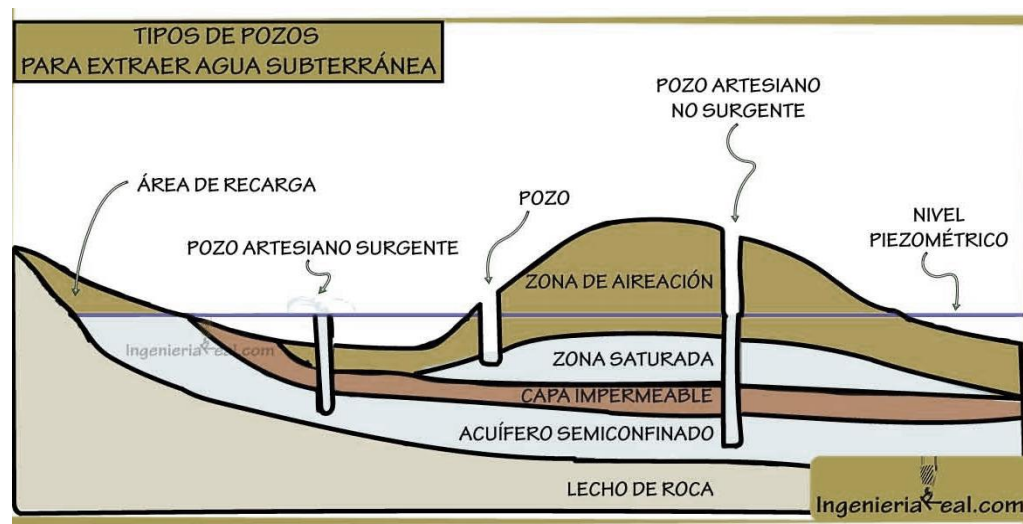


Figura 2-4: Tipos de pozos para extraer agua subterránea

Fuente: <https://ingenieriareal.com/wp-content/uploads/2015/01/Tipos-de-pozos.jpg>

2.1.2.3. Recursos Disponibles

Analizar los recursos disponibles en las comunidades rurales, como mano de obra, materiales de construcción y acceso a tecnología, que puedan influir en el diseño y la implementación del sistema de bombeo de agua.

Según (Plan de Desarrollo Municipal), Los ingresos económicos de las familias del municipio provienen de la comercialización de ganado camélido y sus derivados; siendo posible el ingreso de otras actividades económicas como la minería, turismo y poca producción agrícola quinua especialmente. En el siguiente cuadro se muestra un ingreso promedio familiar, según las características de la producción agropecuaria tipo tradicional y sistema de vida de la mayoría de sus pobladores.

Tabla 2-1: Ingreso familiar por Año

Producto/año	Unidad	Cantidad	Precio unitario Bs.	Precio total Bs.
Pecuaría				
Llamas	Cabezas	7	330	2310
Ovino	Cabezas	2	120	240
Cabras	Cabezas	2	100	200
Otros				
Oro	Gramos	1	120	120
Emigración				4500
Otros				
Total, ingreso anual en Bs.				7370
Ingresos mensuales en Bs.				615

Fuente: Plan de desarrollo municipal de Sud Lipez. Elaboracion con base al autodiagnostico.

Siguiendo el mismo procedimiento de cálculo, se estima que los ingresos familiares del sector ascienden a aproximadamente 7370 bolivianos al año.

Plan de Desarrollo Municipal. Provincia N. Lipez, Tercera Sección San Pablo de Lipez. (2024). Medicus Mundi.

2.1.2.4. Limitaciones energéticas y económicas:

En un artículo publicado por Radio Fides (11 de julio de 2019), 21 comunidades de la provincia Sud Lipez del departamento de Potosí, no cuentan con energía eléctrica ni combustible, los pobladores cocinan a leña y trasladan de manera ilegal gasolina y gas de Uyuni para abastecerse, denuncian falta de caminos a diferencia de países vecinos como Chile y Argentina que cuentan con asfalto. La autoridad

indígena, Víctor Paucar, dijo que en 2006-2007 aprobaron un proyecto de electrificación para Sud Lipez, las autoridades se comprometieron a entregar la obra en 2015, pero hasta la fecha el pedido quedó solo en papeles, exigen atención inmediata de los tres niveles de Gobierno.

En los recursos económicos el indicador de pobreza en nuestro país (INE) es el porcentaje de hogares que no cubren las necesidades básicas, es decir que sus necesidades básicas están Insatisfechas “NBI”, de acuerdo con este indicador, en el municipio de San Pablo de Lipez y localidad de Bolivia, capital de la provincia Sud Lipez ha existido un aumento ya que en 1992 registraba 99,1% a 99,8% en el 2001. Parámetro que indica que el porcentaje de hogares que viven en el distrito no cubren sus necesidades básicas, a pesar de que cuentan con servicios de agua de fuentes subterráneas, como pozos, en lugar de tener acceso a sistemas de distribución que les proporcionen agua, carecen de saneamiento básico, inadecuados niveles de educación, ineficiente atención en salud, etc.

Plan de Desarrollo Municipal. Provincia N. Lipez, Tercera Sección San Pablo de Lipez. (2024). Medicus Mundi.

2.1.3. Análisis y métodos tecnológicos actuales

2.1.3.1. Análisis de consumo de Agua por persona

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), en el altiplano, el consumo de agua por persona tiende a ser menor que en áreas con climas más cálidos debido a las condiciones ambientales y a los hábitos de consumo:

- **Altiplano:** En promedio, una persona en el altiplano de Bolivia puede consumir alrededor de 50 a 100 litros de agua por día para actividades como beber, cocinar, limpieza personal y limpieza del hogar. Sin embargo, al igual que en el valle, este número puede variar según los factores específicos de cada persona y de la comunidad.
- **Valle:** En el valle, la cantidad de agua que una persona consume diariamente suele ser de aproximadamente 100 a 150 litros. Esto se debe a que, en esta región, el clima tiende a ser más seco, lo que hace que la gente necesite más agua para mantenerse hidratada y para

actividades como la limpieza. La disponibilidad de agua en esta región puede ser un factor, ya que en algunas áreas del valle puede haber más acceso a fuentes de agua.

- **Trópico:** En el trópico el consumo de agua es mayor y esto se debe principalmente a las condiciones climáticas. En estas regiones, las temperaturas suelen ser más altas y el clima es más húmedo, lo que puede llevar a una mayor pérdida de líquidos corporales a través del sudor. Como resultado, las personas en el trópico tienden a necesitar más agua para mantenerse hidratadas y para compensar esta pérdida de líquidos. Además, en el trópico es común que las actividades agrícolas sean una parte importante de la economía y el sustento de las personas. El riego de cultivos en estas condiciones climáticas puede requerir grandes cantidades de agua, lo que contribuye al mayor consumo.

Organización Mundial de la Salud (OMS). Agua, saneamiento e higiene en entornos de atención de salud.

Tabla 2-2: Consumo de agua por persona en la provincia Sud Lipez

Consumo de agua en las actividades diarias	Consumo de mi hogar (Litros)	Consumo diario (Litros)
Baño y aseo personal	Frecuencia de uso: 1 veces al día consumo de agua por uso: 40 L	40
Lavado de dientes	Frecuencia de uso: 3 veces al día consumo de agua por uso: 0,20 L	0,60
Lavado de manos	Frecuencia de uso: 14 veces al día consumo de agua por uso: 0,5 L	3,5
Fregadero	Limpieza de utensilios de cocina Frecuencia de uso: 2 veces al día Consumo de agua por uso: 7L	14
Cocina	Agua empleada para bebida y elaboración de comidas al día: 10 L	10
Limpieza de suelos	Frecuencia de uso: cada 2 días Consumo de agua por uso: 7 L	14
TOTAL		82,1 litros

Fuente: Carpio Molina Jorge.(2007). Agua y recurso hídrico en el Sudoeste de Potosí. Fomade.

2.1.3.2. Métodos tecnológicos actuales para la extracción de agua en Sud Lípez

En la región de Sud Lípez Potosí-Bolivia, donde las condiciones geográficas y climáticas pueden ser muy difíciles, las familias campesinas han desarrollado diversos métodos para extraer agua de sus pozos:

- **Balde y cuerda:** Este método tradicional implica el uso de un balde atado a una cuerda que se sumerge en el pozo para extraer agua. La cuerda se enrolla alrededor de un tambor o una polea para levantar el agua.

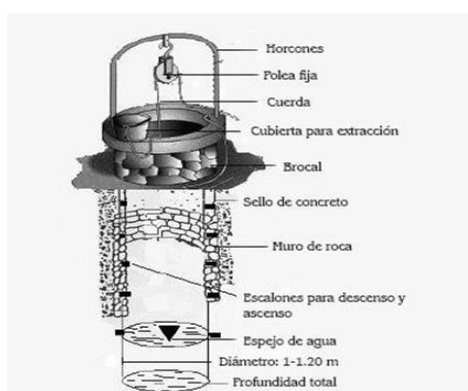


Figura 2-5: componentes de un pozo común

Fuente: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-45572013000100011

- **Bombas manuales:** Las bombas manuales son dispositivos que se accionan manualmente para extraer agua del pozo. Pueden ser bombas de émbolo, bombas de cuerda o mecate (bomba de cuerda y tubo de agua), estas bombas se operan girando una manivela o un mango.

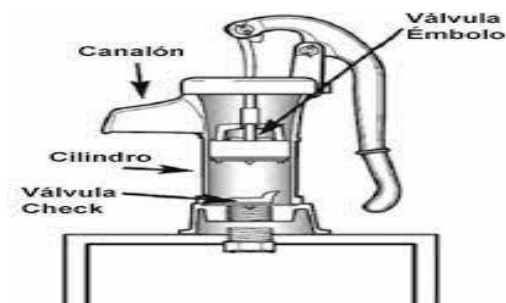


Figura 2-6: Bomba de jarra manual

Fuente: https://evans.com.mx/media/manuales/Mp_BombaJarra_Puyon_70080139.pdf

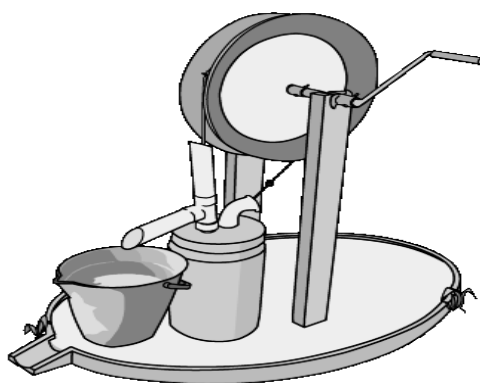


Figura 2-7: Bomba de cuerda o mecate

Fuente: <https://www.yunta.org/ariru/ccap/bros/brosint.html>

- **Bombas de energía solar:** Con el avance de la tecnología, las bombas de agua alimentadas por energía solar se han vuelto más accesibles en algunas áreas rurales. Estas bombas utilizan paneles solares para generar energía eléctrica y extraer agua del pozo.

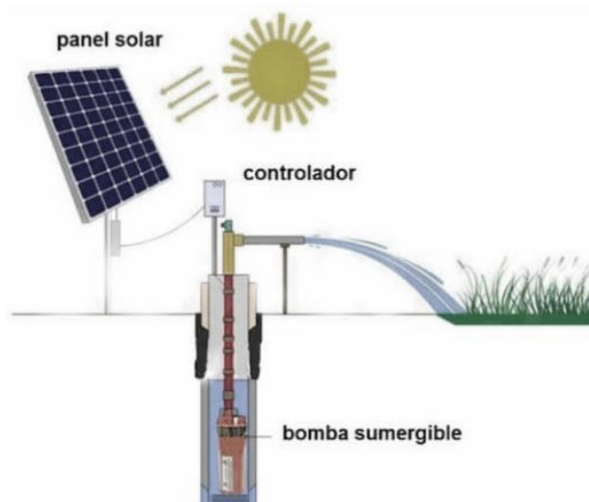


Figura 2-8: Bomba de agua solar

Fuente: <https://enercitysa.com/blog/bomba-de-agua-solar-ecuador/>

2.1.4. Capacidad de bombeo requerido

Según los datos del **Censo INE 2012**, la población del municipio San Pablo de Lipez perteneciente a la provincia de Sud Lipez, ha aumentado en más de un tercio en las últimas dos décadas:

Tabla 2-3: Población San Pablo de Lipez

Año	Habitantes (municipio)	Habitantes (Localidades)
1992	2412	157
2001	2523	221
2012	3371	212

Fuente: Censo boliviano de 1992, Censo boliviano de 2001, Censo boliviano de 2012.

Tomando como dato un consumo promedio de 100 litros por persona al día, para una comunidad de 212 personas en un área altiplánica, el consumo diario total de agua podría estar en el rango de 21,200 litros. En estas comunidades, el consumo real de agua puede variar según el consumo de las familias.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Métodos de extracción de agua de pozo

Los métodos de extracción de agua de pozo pueden variar en función de factores como la profundidad del pozo, la cantidad de agua requerida y la disponibilidad de energía. Entre los métodos de extracción de agua más usuales se encuentran:

- **Bombeo Manual:** El bombeo manual por fuerza humana es un sistema activo, que requiere de la fuerza del ser humano para elevar y extraer agua de un punto bajo a uno elevado. Se puede utilizar con agua superficial, subterránea y depósitos a sistemas de distribución. Los dispositivos de bombeo son fáciles de instalar, operar y capaces de levantar agua en cantidades adecuadas para comunidades pequeñas y proporcionan un acceso más rápido y fácil al agua.
Mario Bruni (seecon). (2018). Tecnologías de abastecimiento de agua. Bombeo de agua manual.
- **Bombeo Mecanizado:** Los sistemas de bombeo mecanizados son dispositivos para elevar y extraer agua de un punto bajo a uno elevado, de agua superficial, subterránea o de depósitos a sistemas de distribución. Este tipo de bombas pueden ser impulsadas por varias fuentes de energía (electricidad, solar, combustibles, eólica y animal). Este tipo de tecnología requiere de conocimientos técnicos para definir

el tipo de instalación, operación y mantenimiento, así como de recursos económicos

Mario Bruni (seecon). (2018). Tecnologías de abastecimiento de agua. Bombeo de agua Motorizado.

2.2.1.1. Métodos manuales de extracción de agua

Los métodos manuales de extracción de agua son aquellos en los que la fuerza humana se utiliza directamente para extraer el agua de un pozo, incluyen el uso de un balde o cubo atado a una cuerda, bombas manuales que utilizan esfuerzo humano para bombear agua. Estos métodos suelen ser utilizados en áreas rurales o remotas donde no hay acceso a fuentes de energía eléctrica o mecánica.

2.2.1.1.1. Extracción manual con balde y cuerda

El sistema de estas bombas está basado en un cubo vacío o una bolsa que se baja a un pozo mediante una cuerda, elevándolo lleno de agua posteriormente. Aunque es uno de los sistemas más antiguos empleados por la humanidad en el abastecimiento de agua, hoy en día, dado las diferencias en muchas partes del planeta en cuanto a desarrollo, acceso al agua y acceso a la tecnología, existen regiones donde se sigue utilizando este sistema.

Sin embargo, es una instalación que implica muchos riesgos de contaminación del agua del pozo debido al contacto del cubo con los usuarios y que, en ocasiones, no se protege adecuadamente la parte superior del pozo.

Calderón Navas F. (2021). Bombas Manual tipo Vergnet. Trabajo de Fin Grado. Pag,67.



Figura 2-9: extracción de cubo y cuerdas

Fuente: <https://www.alamy.com/stock-photo/pail-of-water.html?sortBy=relevant>

La extracción de agua manual con balde o cubeta puede proporcionar agua para el consumo básico de una familia promedio de aproximadamente 4 a 6 personas, dependiendo de sus necesidades diarias de agua. Esto puede variar según la disponibilidad y calidad del agua en el pozo

2.2.1.1.2. Bombeo manual con bomba de embolo

Según el trabajo de grado Christian Daniel Polo Castaño (2014), bomba de embolo, tienen uno o varios compartimentos fijos, pero de volumen variable, por la acción de un émbolo o de una membrana. En estas máquinas, el movimiento del fluido es discontinuo y los procesos de carga y descarga se realizan mediante válvulas que abren y cierran alternativamente.

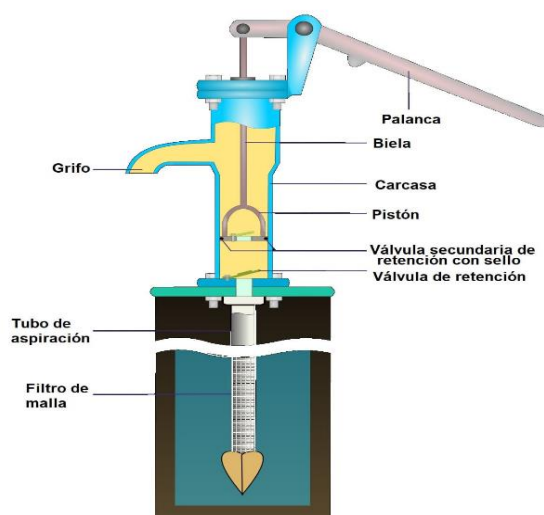


Figura 2-10: Bomba de embolo

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Bomba_manual#/media/Archivo:Studnia_abisynska_-_abisynka.svg

Este tipo de bomba para pozos se utiliza principalmente a escala familiar o en pequeñas comunidades de entre 50 y 100 personas. Es barata, de fácil mantenimiento y la más utilizada en todo el mundo (sobre todo en la India, en Bangladés [donde hay 6 millones] y en África).

- **Fabricantes:** son numerosos, ya que este tipo de bomba ha pasado a ser de ámbito público.
- **Altura máxima de aspiración:** 7 m.

- **Caudal:** limitado, aunque suficiente para proporcionar al menos 20 litros de agua por familia.
- **Características específicas:** la apariencia y los materiales utilizados dependen mucho de la disponibilidad local (a menudo se utilizan fundición, cobre y PVC).
- **Precio aproximado:** entre 60 y 100 euros.
- **Coste de mantenimiento:** despreciable.

Bombas aspirantes de pistón emergido. Wikiwater. (2012). Mejores soluciones para un acceso a agua sana y a saneamiento por el comité internacional de organización. Ficha Técnica.

2.2.1.1.3. Bombeo manual con bomba de cuerda o mecate

Básicamente, la bomba de sogas consta de una rueda, una soga a la que se fijan a intervalos regulares pistones o arandelas de caucho, un tubo de PVC y un cabezal de guía colocado en el fondo del pozo. La soga, de una sola pieza, es arrastrada desde la parte superior de la estructura y hasta el fondo del pozo por una rueda que suele accionarse manualmente a través de una manivela, pero que puede ser desplazada también por un motor, un motor eólico, una bicicleta, etc.

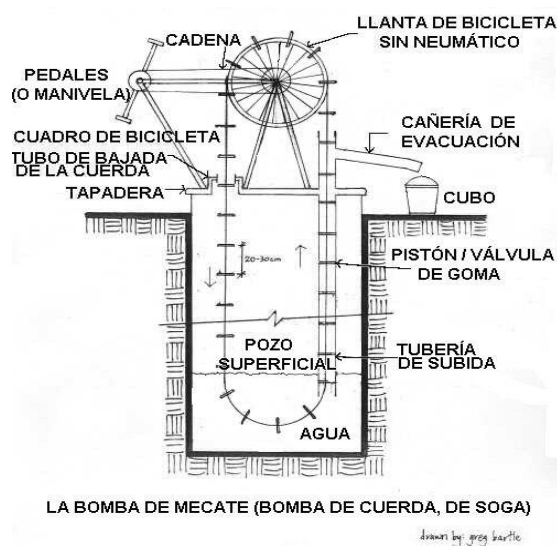


Figura 2-11: Esquema de una bomba de cuerda

Fuente: <https://www.pinterest.es/pin/103793966400500486/>

La bomba es sencilla de manejar y no requiere demasiada fuerza por parte del usuario. Tanto niños como mujeres pueden utilizarla con facilidad. Es ideal para 2 o 3 familias que vivan en comunidad, pero también puede abastecer a un grupo de unas 100 personas, e incluso, tomando ciertas precauciones, del doble; su caudal, de unos 40 litros por minuto, puede incrementarse hasta un centenar de litros mediante motorización, Dependiendo la disponibilidad y calidad del agua en el pozo.

Las bombas de sog. Wikiwater. (2012). Mejores soluciones para un acceso a agua sana y a saneamiento por el comité internacional de organización. Ficha Técnica.

2.2.1.2. Métodos mecanizados de extracción de agua

El método mecanizado de extracción de agua es un proceso mediante el cual se utiliza maquinaria o equipos especializados para extraer agua de un pozo u otra fuente subterránea. Este proceso es comúnmente utilizado en áreas donde se requiere un suministro constante de agua para uso doméstico, agrícola, industrial o municipal.

El método mecanizado puede implicar el uso de bombas eléctricas, bombas de combustión interna, bombas hidráulicas o bombas accionadas por energía solar o eólica y una menor dependencia de la fuerza humana.

2.2.1.2.1. Bombeo solar

Según Vicente Vernia López. (2018), el bombeo solar es una aplicación especial de los generadores solares fotovoltaicos, donde se emplea la energía del Sol para alimentar una bomba o grupo de bombeo de agua para riego de cultivos, ganadería o para consumo de agua potable, especialmente en zonas aisladas donde muchas veces el acceso a la red eléctrica es complicado.

Vicente Vernia López. (2018). Bombeo Solar. Tecnología Fotovoltaica. (Máster en Eficiencia Energética y Sostenibilidad). Pag, 2.

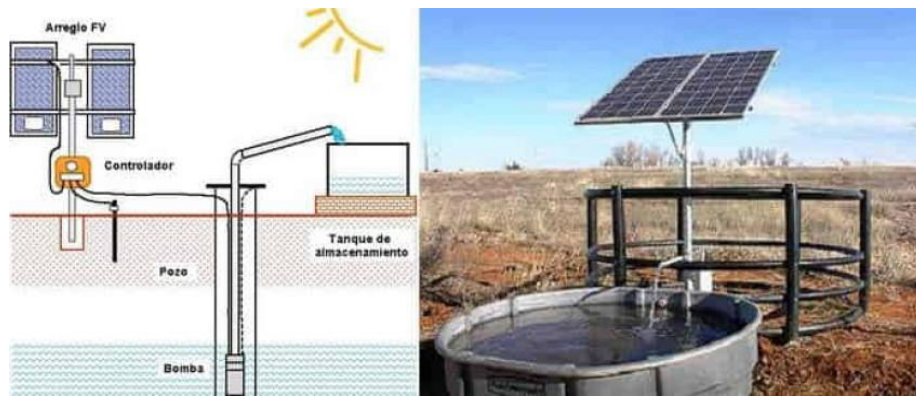


Figura 2-12: Bombeo de agua solar

Fuente: <https://cdn.autosolar.es/425482/conversions/8b0dca3b357fce94cf1b8a6c08994ea-thumb.jpg>

Una bomba de agua alimentada por energía solar podría abastecer a comunidades pequeñas o rurales, en función de sus necesidades específicas. Dado que estas comunidades suelen tener una población limitada.

2.2.1.2.2. Bombeo eólico-solar (híbrido)

De la misma forma podemos utilizar un equipo de bombeo eólico-solar para conseguir agua potable, siendo la solución más adecuada en aquellas viviendas rurales aisladas de la red que están situadas en lugares donde climatología es adversa, con vientos constantes. Unos mini aerogeneradores producen energía eléctrica a una tensión de 12 o 24 voltios en corriente continua. Esta electricidad es consumida por una bomba, también en corriente continua, que bombea el agua desde el fondo del pozo a un depósito con una cierta altura. Allí se almacena el agua para su posterior distribución.

El bombeo eólico-solar puede abastecer de agua a comunidades, especialmente en áreas donde el viento es constante y confiable al igual que el sol. La capacidad de abastecimiento dependerá de factores como la velocidad del viento, el tamaño del molino y la demanda de agua de la comunidad.

Bombas hidráulicas mediante Energía Eólica. (2014). Soliclíma Energía Solar.

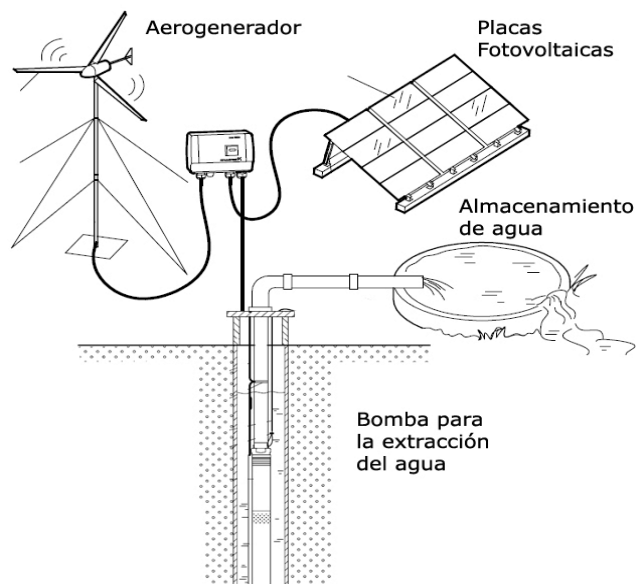


Figura 2-13: Bombas hidráulicas mediante energía
Fuente: <https://www.soliclima.es/bombas-hidraulicas-con-energia-eolica>

2.2.1.2.3. Bombeo con motor de combustión interna (gasolina)

Un motor de combustión interna es un tipo de motor térmico que obtiene energía del proceso de ignición del combustible. Este proceso transforma la energía química del combustible en energía mecánica, que permite el movimiento de esta bomba de alta eficiencia, bomba centrífuga (Caracol) con succión frontal, impulsor cerrado y sello mecánico, roscadas o bridadas; para acoplamiento directo con transmisión universal, a motores de gasolina o diésel.

Al ser acopladas y accionadas por un motor de combustión interna, dichas bombas están fabricadas para diferentes aplicaciones como sacar agua de un río, una presa, un lago, un canal y son ideales para el riego agrícola, trasvase entre depósitos o cisternas. La bomba centrífugas han demostrado tener un mejor rendimiento y aplicación en la industria, en la construcción y en la agricultura. Este tipo de motobombas trabajan utilizando la fuerza de un motor de combustión interna.



Figura 2-14: Bombas motor de combustión

Fuente: <https://corporativomejorada.mx/Portfolio/bombas-motor-de-combustion/>

2.2.1.2.4. Bombeo con motor eléctrico

Este tipo de equipos funciona de manera sencilla. El agua es succionada por el tubo de entrada de la bomba, es impulsada por el motor que genera un campo magnético gracias a los imanes y las bobinas, consiguiendo que el impulsor gire continuamente. Mientras el rotor gira, el líquido que alimenta la bomba se mueve. Los álabes del impulsor centrífugo tienen la tarea de impulsar el fluido desde la entrada a la salida del rodete. Rodete o impulsor, el cual gira, solidario con el eje de la máquina, y consta de un cierto número de álabes que imparten energía al fluido en forma de energía cinética y energía de presión, La función de los álabes del rotor mediante la fuerza centrífuga transmite mayor velocidad y presión al fluido.

Existen diversos tipos de bombas de agua eléctricas, como las centrífugas, las de desplazamiento positivo y las sumergibles, cada una con sus propias características y aplicaciones específicas:

➤ **Bomba centrífuga:**



Figura 2-15: Bomba de agua centrífuga

Fuente: https://www.bombasy servicios.com.ar/documentos/3/319_bomba-centrifuga-min.png

➤ **Bomba de desplazamiento positivo:**

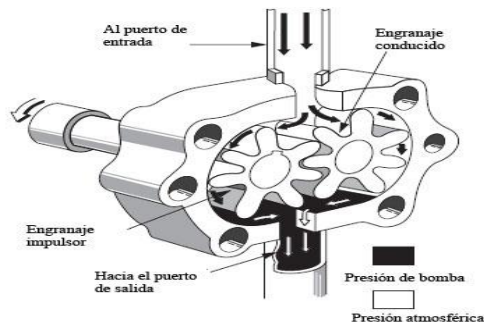


Figura 2-16: Bombas de desplazamiento positivo

Fuente: <https://tecnologiark4.blogspot.com/2015/09/bomba-desplazamiento-positivo-la-bomba.html>

➤ **Bombas sumergibles:**

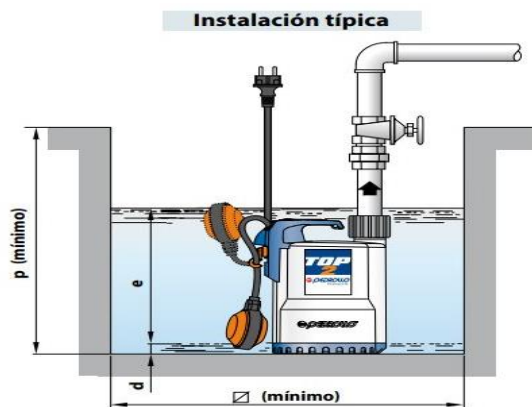


Figura 2-17: Bomba sumergible

Fuente: <https://mecadelcaribe.com/bomba-sumergible-drenaje-de-0-5-hp-pedrollo/>

Una de sus grandes ventajas son sus múltiples aplicaciones debido a que las bombas eléctricas pueden usarse en una gran variedad de ámbitos y de sectores como para agricultura, suministro de agua potable, agotamiento y drenaje de pozos, alimentación de calderas, eliminación de aguas residuales o para piscinas.

Funcionamiento de una Bomba Eléctrica. (2014). Electrobombas Jávea, Tecnologías del agua.

2.2.2. Clasificación de bombas de baja, alta revolución, para extracción de agua de pozos

Las bombas de agua utilizadas para la extracción de agua de pozos según a sus revoluciones se clasifican en:

- **Extracción de agua de un pozo a baja revolución:** Se pueden utilizar varios tipos de bombas de desplazamiento positivo (volumétricas) que son adecuadas para aplicaciones de pozos a pocas profundidades.
- **Extracción de agua de un pozo a altas revoluciones:** Las bombas dinámicas (Centrifugas) suelen ser más adecuadas debido a su capacidad para generar presión a partir de la energía cinética del fluido en movimiento.

Según Víctor Yepes Piqueras (Doctor Ingeniero de Caminos). (2016). Las bombas se pueden clasificar atendiendo a diversos criterios. En la figura siguiente se establece la clasificación habitual de las bombas atendiendo a su forma de trabajo.

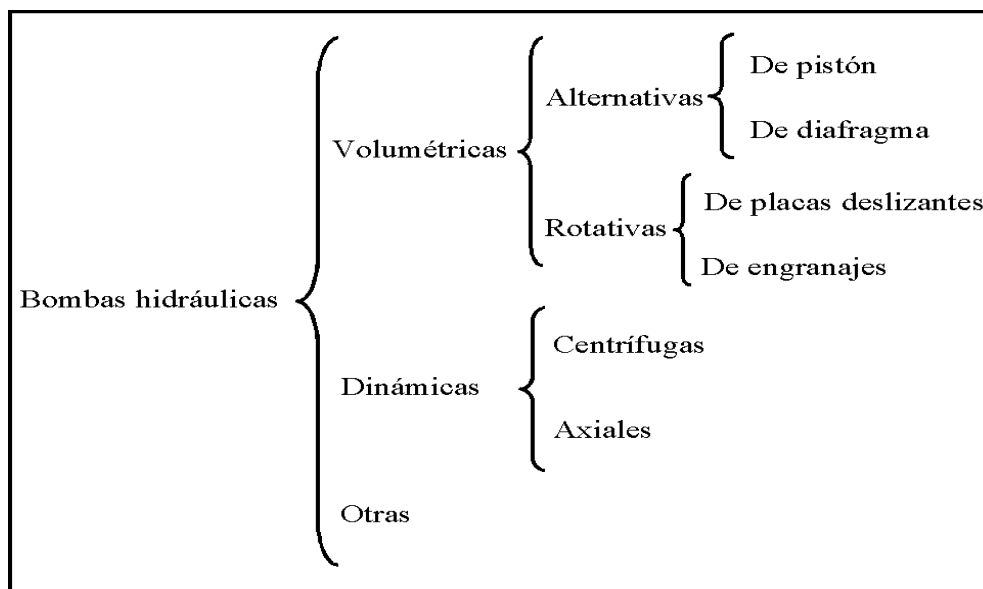


Figura 2-18: Clasificación de las bombas hidráulicas

Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/files/2016/04/Figura.png>

2.2.2.1. Ventajas y desventajas

Ventajas de las bombas de desplazamiento positivo (Volumétricas):

- El caudal depende escasamente de la altura de elevación; ideales, por tanto, para bombas de inyección y dosificadoras.
- Apropriadas para presiones altas y máximas; solo se requiere una etapa.
- Adecuadas para viscosidad alta (pastas).
- Caudal ajustable con gran exactitud y reproducibilidad mediante carrera y número de carreras

- Posibilidad de transporte cíclico
- Ideales para bajos números de revoluciones de funcionamiento
- En las bombas oscilantes es posible el funcionamiento neumático, hidráulico o electromagnético.

Desventajas e Inconvenientes de las bombas de desplazamiento positivo (Volumétricas):

- El principio de funcionamiento no incluye ningún límite de presión, por tanto, se requiere una válvula de seguridad o limitadora de presión.
- En las bombas de desplazamiento positivo, el funcionamiento libre de vibraciones es posible solamente con un equilibrio de masas complejo.
- Las bombas de desplazamiento positivo son poco apropiadas para números de revoluciones altos.
- En las bombas de desplazamiento positivo se requiere caudal pulsante, así como un amortiguador de pulsaciones.
- En algunos tipos de construcción complicados, montaje propenso a averías con válvulas.
- Mayor número de piezas de desgaste que en las bombas centrífugas.

Ventajas de las bombas Dinámicas (Centrífugas):

- No tienen órganos articulados y los mecanismos de acoplamiento son muy sencillos.
- Para una operación definida, el gasto es constante y no se requiere dispositivo regulador.
- Se adaptan con facilidad a muchas circunstancias.
- El peso es muy pequeño y dimensiones reducidas.
- El mantenimiento y pieza de recambio reducidos.
- Coste ajustado.
- La incorporación de variadores de velocidad permite mayor eficiencia.
- Los sistemas de bombeo completos son suministrados según las necesidades.

Desventajas e Inconvenientes de las bombas Dinámicas (Centrífugas):

- Pueden experimentar cavitación si no se diseñan u operan correctamente, lo que puede dañar la bomba y reducir su eficiencia.

- No son ideales para aplicaciones de alta presión, ya que su diseño está más orientado a la capacidad que a la presión.
- Las bombas centrífugas generalmente requieren una velocidad constante de operación, lo que puede ser un desafío en ciertas aplicaciones.
- En general, las bombas centrífugas no son autocebantes, lo que significa que necesitan estar llenas de líquido antes de arrancar, a diferencia de algunas bombas de desplazamiento positivo que pueden aspirar líquido y auto cebarse.
- Tienen una menor capacidad de succión limitada en comparación con algunas bombas de desplazamiento positivo, lo que puede ser un factor limitante en ciertas aplicaciones.

Tabla 2-4: Comparación de las propiedades generales de las bombas

Parámetro	Bombas desplazamiento positivo	Bombas Dinámicas
Altura de elevación	Media y alta	Baja y media
Capacidad (gasto)	Poco	Medio y grande
Auto succión	Buena	Falta (con excepción de bombas especiales de auto succión)
Velocidad (giros)	Baja	Media y alta
Peso de maquina por capacidad	Grande	Pequeño
Capacidad para transportar líquidos con partículas solidas	Limitada	Buena
Costos de mantenimiento	Altos	Bajos
Ruido producido	Mayor	Menor
Costo de maquina por unidad de potencia	Alto	Bajo
Tiempo de trabajo sin mantenimiento	Corto	Largo

Fuente: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2016/04/04/clasificacion-de-las-bombas-hidraulicas/>

2.2.2.2. Según las posibilidades de accionamiento de una bomba

- a) Accionamiento por motores eléctricos:** Este tipo de accionamiento es común en aplicaciones industriales y comerciales. Estos motores pueden alimentarse directamente de la corriente suministrada por la red eléctrica. Dentro de este grupo, el motor de inducción es el de uso más común, siendo adecuado para casi todos los tipos de bombas que se encuentran en la práctica.

- b) Accionamiento por motor de combustión interna:** En algunas aplicaciones donde no hay acceso a energía eléctrica, las bombas hidráulicas pueden ser accionadas por motores de combustión interna, como motores diésel o de gasolina.

El accionamiento de una bomba de agua mediante un motor de combustión interna implica gastos significativos debido al consumo de combustible, como ser gasolina o diésel, no solo requieren combustible para operar, sino que también necesitan un mantenimiento regular, como cambios de aceite, filtros y reparaciones de piezas desgastadas. Estos costos de operación y mantenimiento pueden acumularse rápidamente, haciendo que el uso continuo del motor sea costoso.

- c) Accionamiento manual:** Se refiere al proceso mediante el cual un dispositivo o máquina es operado directamente por la fuerza física de un operador humano, sin la necesidad de utilizar energía eléctrica, hidráulica o de otro tipo.

Tipos de accionamiento manual:

- **Accionamiento manual directo:** Este tipo de accionamiento implica que el operador de la bomba actúe directamente sobre la bomba hidráulica mediante una palanca, manivela u otro mecanismo manual. El operador aplica la fuerza necesaria para accionar la bomba sin utilizar ningún otro componente intermedio.
- **Accionamiento manual mediante caja multiplicadora de velocidades:** En este caso, el accionamiento manual se realiza a través de una caja multiplicadora de velocidades. El operador acciona la caja multiplicadora de velocidades mediante una palanca, manivela u otro mecanismo manual, y la caja a su vez transmite la energía al eje de la bomba, multiplicando la fuerza aplicada y facilitando el accionamiento de la bomba. Este tipo de accionamiento puede proporcionar una mayor potencia de salida que el accionamiento manual directo.

2.2.3. Matriz de Selección

2.2.3.1. Alternativas de Diseño

- **Diseño 1:** Caja multiplicadora con engranajes rectos.
- **Diseño 2:** Caja multiplicadora con engranajes helicoidales.
- **Diseño 3:** Caja multiplicadora con engranajes cónicos.

Tabla 2-5: Matriz de Selección

Alternativa	Costo	Eficiencia del sistema	Durabilidad	Facilidad de Fabricación	Compatibilidad con la bomba	Puntuación total
	20%	25%	15%	15%	25%	
Diseño 1	50%	50%	50%	80%	50%	54,5%
Diseño 2	60%	80%	60%	50%	80%	68,5%
Diseño 3	80%	70%	80%	60%	70%	72%

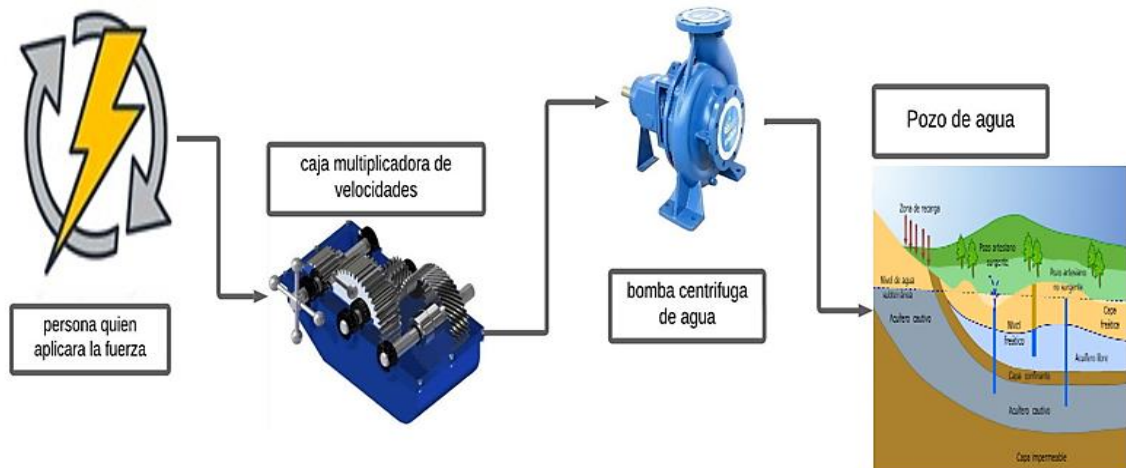
Fuente: <https://www.termiser.com/engranajes-caracteristicas/>

Tabla 2-6: Análisis de resultados

Alternativa	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
	Caja multiplicadora con Engranajes Rectos	Caja multiplicadora con Engranajes Helicoidales	Caja multiplicadora con Engranajes Cónicos
Costo	Moderado, debido a la simplicidad de los engranajes rectos.	Moderado, los engranajes helicoidales son más costosos de fabricar.	Más alto, debido a la complejidad de los engranajes cónicos.
Eficiencia del Sistema	Adecuada, pero los engranajes rectos generan más ruido y calor, lo que puede afectar la bomba.	Alta, gracias a un mejor contacto entre los dientes de los engranajes.	Alta, adecuada para aplicaciones que requieren cambios de dirección de la fuerza.
Durabilidad	Media, debido al desgaste más rápido de los engranajes.	Alta, debido a una distribución de carga más uniforme.	Alta, soporta altas cargas y tiene buena vida útil.
Facilidad de Fabricación	Alta, ya que los engranajes rectos son fáciles de fabricar y ensamblar.	Moderada, ya que requiere maquinaria más avanzada para su fabricación.	Media, requiere precisión en el ensamblaje.
Compatibilidad con la Bomba	Moderada, puede generar vibraciones adicionales.	Alta, menos vibraciones y operación más suave.	Alta, buen acoplamiento con la bomba centrífuga.

Fuente: <https://www.termiser.com/engranajes-caracteristicas/>

2.2.4. Proceso de extracción de agua



2.2.4.1. Bomba centrífuga a través de una caja multiplicadora de velocidades:

Una bomba centrífuga es un dispositivo que utiliza la fuerza centrífuga generada por un impulsor giratorio para aumentar la presión y mover líquidos, como agua u otros fluidos.

Por otro lado, una caja multiplicadora de velocidades es un mecanismo que permite aumentar la velocidad de rotación de un eje de entrada y transmitir esa energía a un eje de salida donde se conectara al eje del rodete de la bomba centrífuga con una velocidad mayor, lo que permite que la bomba funcione de manera eficaz y que pueda adaptarse a las diferentes condiciones de operación.

2.2.5. Componentes del sistema extracción de agua

Los componentes necesarios para este sistema de extracción de agua mediante la caja multiplicadora de velocidades, accionada manualmente son los siguientes:

- Caja multiplicadora de velocidades
- Bomba centrífuga
- Tubos o cañerías de succión y descarga PVC

los componentes adicionales podrían llegar a variar según las especificaciones y requisitos del diseño.

2.2.5.1. Caja multiplicadora de velocidades

un multiplicador de velocidad es un sistema de transmisión caracterizado porque su velocidad de salida es mayor que la de entrada. Es un sistema opuesto al reductor de velocidad, más habitual en la industria.

(José Lorenzo Niño Hernández), una caja multiplicadora está formada por los engranajes (Rectos) y los Ejes de las etapas, por otro lado, están los elementos secundarios como las chavetas y anillos de retención normalizados.

En nuestro diseño para lograr los 1750 rpm que la bomba centrífuga requiere, implementaremos un sistema de 3 etapas de engranajes, aumentando la velocidad del eje de salida.

2.2.5.2. Bomba centrífuga

Una bomba centrífuga es un dispositivo mecánico, también denominada bomba rotodinámica, cuyo objetivo es convertir la energía en velocidad y posteriormente en energía a presión

La clasificación de las bombas centrífugas de acuerdo con la dirección del flujo respecto al impulsor, las bombas pueden ser clasificadas en: bombas de Flujo radial, mezclado o axial.

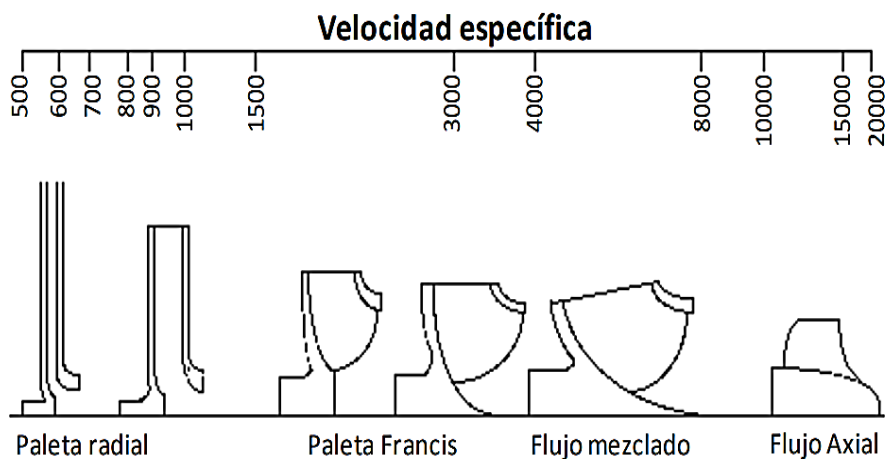


Figura 2-19: Clasificación de bombas centrífugas de acuerdo con la dirección del flujo

Fuente: <https://ftransp.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/10/iii-bombas-centrc3adfugas1.pdf>

- **Bomba centrífuga de flujo radial:** Es eficiente en aplicaciones de baja viscosidad y es conocida por su capacidad para manejar grandes volúmenes de líquidos, trabaja con una velocidad específica de un rango de 500 a 5000 rpm aproximadamente.
- **Bomba centrífuga de flujo axial:** Es ideal para aplicaciones de alta capacidad con baja altura de elevación, como en sistemas de riego agrícola, trabaja con una velocidad específica de un rango de 5000 a 10000 rpm aproximadamente.
- **Bomba centrífuga de flujo mixto:** Se utiliza comúnmente en aplicaciones donde se requiere un rendimiento versátil. trabaja con una velocidad específica de un rango de 10000 a 15000 rpm aproximadamente.

2.2.5.3. Tubos o cañerías de succión y descarga PVC

Tenemos las tuberías de PVC son una opción común y ampliamente utilizada para sistemas de bombeo de agua debido a su durabilidad, resistencia a la corrosión, bajo costo y facilidad de instalación.

2.2.6. Mecanismo de multiplicación de velocidades

Según Claudia Olvera Gutiérrez .(junio 2020) , La relación de fuerza y velocidad que se establece entre los engranes se define en función de la cantidad de dientes que tenga cada engrane, o bien, en función de la velocidad de giro de cada engrane, dada en revoluciones por minuto. Esta relación permite conformar mecanismos multiplicadores de velocidad o mecanismos reductores de velocidad.

un multiplicador de velocidad es un sistema de transmisión caracterizado porque su velocidad de salida es mayor que la de entrada. Es un sistema opuesto al reductor de velocidad, más habitual en la industria.

Las principales ventajas son:

- **Aumento de la potencia de salida:** La caja multiplicadora de velocidades permite aumentar la velocidad de rotación en el eje de salida en relación con el eje de entrada, lo que resulta en una mayor potencia de salida.
- **Menor desgaste de los componentes:** Al reducir el torque necesario en el eje de salida, se reduce el desgaste de los componentes de la máquina, como los cojinetes y los engranajes, lo que puede prolongar la vida útil de la máquina.
- **Mayor rendimiento de transmisión de potencia:** Al reducir el torque necesario en el eje de salida, se puede lograr una transmisión de potencia más eficaz, ya que se minimizan las pérdidas por fricción en los componentes de la máquina.

Las principales desventajas e inconvenientes son:

- **Costo inicial:** Las cajas multiplicadoras de velocidades suelen ser más costosas que otros tipos de sistemas de transmisión debido a la complejidad de su diseño y fabricación.
- **Mayor complejidad:** La presencia de múltiples engranajes y componentes móviles aumenta la complejidad de la caja multiplicadora, lo que puede requerir un mantenimiento más frecuente y complicado.
- **Espacio adicional requerido:** Debido a su diseño y tamaño, una caja multiplicadora de velocidades puede requerir más espacio que otros tipos de sistemas de transmisión, lo que puede ser una limitación en aplicaciones donde el espacio es crítico.

2.2.6.1. Relación de velocidad

La relación de velocidades (VR), tal como se define en el texto de Mott, R.L. (2004), se define como la relación de la velocidad angular del engrane de entrada a la del engrane de salida, para un solo par de engranes.

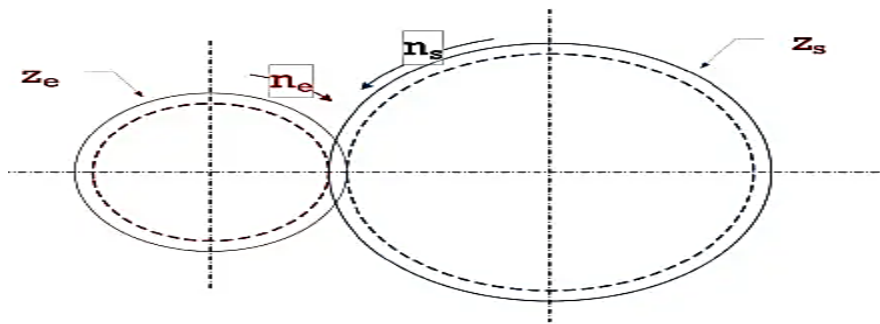


Figura 2-20: Relación de velocidad de engranajes

Fuente: <https://es.scribd.com/document/413793232/engran-es-u4>

La mayor parte de las transmisiones con engranes son reductores de velocidad; esto es, su velocidad de salida es menor que su velocidad de entrada. Entonces, su relación de velocidades es mayor que 1. Si se desea tener un incrementador de velocidad, entonces VR es menor que 1. Observe que no todos los libros y artículos usan la misma definición de la relación de velocidad. Algunos la definen como la relación de velocidad de salida entre la entrada, que es el inverso de nuestra definición. Se cree que es más cómodo usar VR mayor que 1 con los reductores, esto es en la mayoría de los casos.

Mott, R. L. (2004). Máquinas: Mecanismos y Elementos de Máquinas (4ta ed.). Prentice Hall. (Pág. 322,323).

2.3. INFORMACION Y DATOS OBTENIDOS

2.3.1. Requerimiento de agua potable en la provincia Sud Lipez

Las observaciones sobre calidad de agua, de fuentes para abastecimiento a la población dispersa del departamento de Potosí, están basadas principalmente en apreciaciones en cuanto a propiedades organolépticas del agua. Las aguas de río por su condición de mayor exposición son más sujetas a contaminación, situaciones similares fueron detectadas en la provincia N. Chichas donde los ríos Tumusla y Cotagaita son contaminadas a partir de las minas de Porko y Quechisla. Las aguas del río San Juan del Oro son también de calidad observable a su paso por las provincias Sud Chichas, M. Omiste y Sud Lipez, situación atribuida también a la actividad minera. Otros ríos que presentan problemas de contaminación en la provincia Sud Chichas son los ríos Oploca y Almona. Con relación a la calidad del

agua a ser explotada a partir de pozos, pudo verificarse que un 75% de los pozos inventariados en el departamento de Potosí tiene agua de buena calidad.

Claire Pereira. (noviembre de 1991). Estudio de Recursos Hídricos para el Suministro de Agua Potable a la Población dispersa del departamento de Potosí. Proyecto Yacupaj. (Pág. 65).

2.4. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de información de una caja multiplicadora de velocidades accionada manualmente se constituirá en el proceso ordenado de recolección, organización, interpretación y aplicación de datos específicos relacionados con dicha caja multiplicadora. Este proceso involucrará la evaluación detallada de aspectos como el diseño estructural de la caja, su desempeño operativo, costos asociados, para su implementación en la provincia Sud Lípez y áreas rurales similares para la extracción y suministro de agua.

La caja multiplicadora de velocidades se comprende como alternativa para el sistema de energía (accionamiento manual por manivela) de nuestro sistema de bombeo de agua, permitiendo tener un acceso más efectivo de los recursos hídricos disponibles.

Cumpliendo las siguientes funciones:

- **Adaptabilidad:** Compatible con una variedad de bombas centrífugas para adaptarse a diferentes sistemas de bombeo.
- **Velocidad requerida:** garantizar que la velocidad de salida coincida con las especificaciones de la bomba centrífuga, que opera a 1750 Rpm.
- **Robustez y Durabilidad:** Construcción resistente para soportar condiciones climáticas adversas y operación continua.
- **Mantenimiento Simplificado:** Accesibilidad a componentes clave para facilitar inspecciones y reparaciones.
- **Funcionamiento independiente a la energía eléctrica:** Al ser accionada manualmente no requiere de la energía eléctrica u otras fuentes de energía externas, nuestra caja multiplicadora ofrece una

solución para el bombeo de agua en estas regiones donde la infraestructura eléctrica es escasa o inexistente.

2.5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO

Se realizará el “Diseño de Caja Multiplicadora de Velocidades Accionada Manualmente” para el bombeo de agua mediante una bomba centrífuga bajo las siguientes consideraciones:

- **Relación de Multiplicación de Velocidad Adecuada:** Asegurando de que la relación de multiplicación de velocidad de nuestra caja multiplicadora esté calculada de manera precisa para garantizar que el giro de salida pueda alcanzar la velocidad necesaria para lograr el caudal requerido por la bomba centrífuga.
- **Accionamiento manual:** Viendo la falta de disponibilidad de recursos energéticos en esta región, optamos por un enfoque que permitirá que la caja multiplicadora sea accionada manualmente por una persona.
- **Rendimiento Optimizado:** trabajo de manera óptima y efectiva, asegurando que la energía manual aplicada se convierta en la potencia necesaria para impulsar la bomba centrífuga. Logrando que nuestro sistema funcione de la mejor manera en el bombeo de agua en la provincia de Sud Lipez obteniendo la mejor ventaja posible.

2.5.1. Elementos de la caja multiplicadora

2.5.1.1. Carcasa

La carcasa es la estructura externa que protege y encierra a los componentes internos ya sean engranajes, ejes y rodamientos y soportes. Fabricado de acero fundido, esta carcasa es lo suficientemente fuerte como para evitar que los engranajes de transmisión se desalineen.

2.5.1.2. Engranajes

Según Duque Ramírez Pablo A. (octubre del 2017). Las ruedas dentadas transmiten movimientos y momentos. Si éstas son talladas o generadas correctamente y luego montadas dentro de las tolerancias especificadas se obtendrá una transmisión uniforme, por el contrario, si las ruedas dentadas fueron mecanizadas de forma defectuosa, al encontrarse en movimiento provocarán fuertes ruidos, trabajarán con golpeteo, se desgastarán prematuramente, se presenta socavamiento, etc.

Cuando una rueda dentada, o engrane, se encuentra acoplada a otra rueda dentada hablamos de un engranaje, aunque generalmente se usa indistintamente el término engranaje o engrane para referirse a una sola rueda dentada. Si una rueda dentada se acopla a un engranaje, entonces hablamos de un tren de engranajes. En un engranaje a la rueda dentada de mayor tamaño se le conoce como corona y a la de menor tamaño piñón. En las cajas reductoras de velocidades el piñón es el elemento motriz y la corona el impulsado.

2.5.1.2.1. Tipos de engranajes

Una forma de clasificar las ruedas dentadas y los engranajes es de acuerdo con la disposición espacial que presentan los ejes geométricos de rotación. De esta forma es posible clasificarlas en:

- Ejes paralelos
- Ejes que se cortan (concurrentes)
- Ejes que no se cortan ni son paralelos (no concurrentes).

A continuación, se detalla cada uno de los grupos:

Ejes paralelos: Conectan ejes paralelos y pueden transferir altas cantidades de potencia con alta eficiencia. Los engranajes rectos y helicoidales son los dos principales tipos:

- Engranajes Rectos; externos e internos
- Engranajes Helicoidales; externos e internos
- Engranajes Doble Hélice; externos e internos

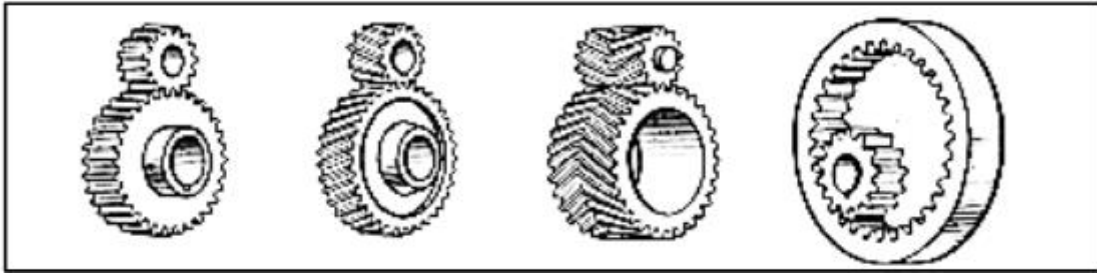


Figura 2-21: Engranajes ejes paralelos.

Fuente: Cálculo de engranajes cilíndricos.

Los engranajes de ejes paralelos de dentado recto:

- Generalmente presentan la opción más económica.
- Generan ruidos y vibraciones, debido al contacto brusco y a todo el ancho del diente.

Los engranajes de ejes paralelos de dentado helicoidal:

- Son más silenciosos que los de dentado recto debido al contacto gradual entre los dientes.
- Permiten velocidades más elevadas que los de dentado recto.
- Debido al dentado helicoidal existe una componente axial en la fuerza transmitida. Esta componente se anula en los engranajes de doble dentado helicoidal.

Ejes concurrentes: Utilizan ruedas dentadas cónicas con dentado recto o helicoidal. La proyección de los ejes se corta en ángulos que pueden diferir de 90° . Su característica principal es el redireccionamiento del par, por ejemplo, entre equipos motrices montados de forma horizontal y equipos conducidos montados de forma vertical. Los principales tipos son:

- Engranajes Cónicos; rectos, Zerol, espiral.
- Engranajes de Cara.
- Engranajes de diente Ahusado.

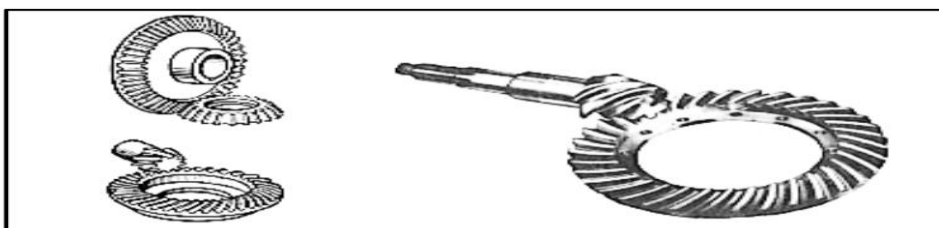


Figura 2-22: Engranajes ejes concurrentes.

Fuente: Cálculo de engranajes cilíndricos

Generalmente son más silenciosos que los engranajes de ejes paralelos también permiten velocidades más elevadas, pero una menor potencia transmitida.

Ejes no concurrentes: Son complejos en cuanto a geometría y fabricación en comparación otros engranajes, por lo que el precio de fabricación es mayor. Proporcionan relaciones de reducción más altas que los engranajes anteriores, pero su capacidad de soporte de carga es baja, su presión de contacto es alta y la tasa de desgaste es alta también. Sólo se recomiendan para aplicaciones con carga ligera.

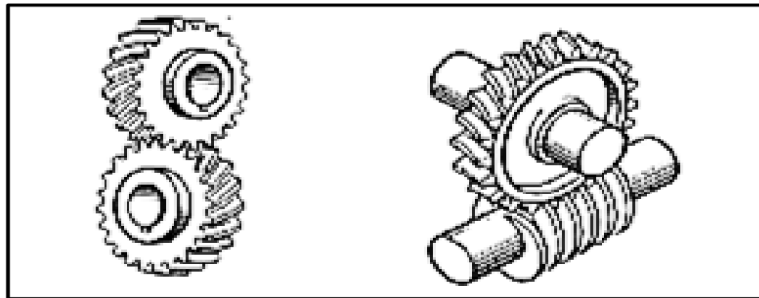


Figura 2-23: Engranajes de ejes no concurrentes.

Fuente: cálculo de engranajes cilíndricos.

Los cuales se tiene:

- Engranajes Helicoidales con ejes que se cruzan.
- Sinfín-corona.

Duque Ramírez Pablo A. (octubre 2017). Guía Técnica Para el Diseño y Cálculo de Engranajes Para Reductores de Velocidad. Trabajo de Titulación. Pag,11.

2.5.1.2.2. Normas de diseño para ruedas dentadas (engranajes)

El objetivo de las normas de diseño de ruedas dentadas es asegurar intercambiabilidad entre los elementos fabricados y establecer métodos de cálculo que garanticen una vida útil mínima bajo ciertas condiciones de trabajo establecidas. Se han normado, principalmente, las nomenclaturas, las geometrías de diversos tipos de engranajes y los métodos de verificación de capacidad de carga para condiciones de resistencia a los esfuerzos de contacto (picadura) y resistencia a las tensiones en la base del diente (flexión). Las organizaciones que destacan por la cantidad de normas publicadas y su relevancia a nivel mundial son AGMA, ISO y DIN.

- **Normas AGMA:** La AGMA (American Gear Manufacturers Association), en español, Asociación Americana de Fabricantes de Engranajes, es una asociación de empresas, consultores y académicos con interés directo en el diseño, fabricación y utilización de engranajes, acoplamientos, órganos de transmisión de potencia y equipos relacionados. AGMA está acreditada por la American National Standards Institute (ANSI) para escribir todos los estándares de Estados Unidos respecto a ruedas dentadas.
- **Normas ISO:** ISO (International Organization for Standardization) es una organización independiente, no gubernamental compuesta por miembros de los organismos nacionales de normalización de 166 países. La gestión de la labor técnica está a cargo de la Junta de Gestión Técnica. creado en 1947, año de fundación de ISO, es el dedicado a la Normalización en el campo de engranajes, incluyendo terminología, dimensiones nominales, tolerancias, y herramientas para la fabricación y control.
- **Normas DIN:** DIN, Deutsches Institut für Normung o Instituto Alemán de Normalización, en español, es una asociación sin fines de lucro, creada en 1917, tiene por objetivo fomentar, organizar y dirigir actividades de normalización a través de procedimientos sistemáticos y transparentes para el beneficio de la sociedad en su conjunto. El 90% de las normas de trabajo ya realizado por DIN son de carácter internacional. Las normas DIN 3990 relacionadas con engranajes fueron de grandes importancias para la aprobación de la vigente Norma ISO 6336.

Duque Ramírez Pablo A. (octubre 2017). Guía Técnica Para el Diseño y Cálculo de Engranajes Para Reductores de Velocidad. Trabajo de Titulación. Pag,13.

2.5.1.3. Ejes

Un eje es un componente mecánico destinado para guiar el movimiento de rotación de una pieza o de un conjunto de piezas, los ejes suelen girar sobre su eje longitudinal y pueden estar conectados a engranajes, poleas u otros elementos para transmitir el movimiento de una parte a otra. Los ejes pueden estar hechos de diversos materiales, como acero, aluminio o fibra de carbono, dependiendo de la aplicación y las necesidades de resistencia y durabilidad.

2.5.1.4. Rodamientos y retenes

los rodamientos y retenes son componentes comunes en muchas máquinas y sistemas mecánicos. Tienen funciones distintas pero complementarias:

- **Rodamientos:** Es la denominación que se le da a un elemento rotativo, que reduce la fricción entre un eje y las piezas conectadas a este sistema que sirve de apoyo y facilita su funcionamiento. Los rodamientos están diseñados para permitir el giro suave y eficaz de ejes, ejes de transmisión, ruedas y otras partes móviles.
- **Reten (sellos o juntas de estanqueidad):** Son elementos que se utilizan para evitar que líquidos o gases escapen o entren en una máquina o sistema. Se colocan generalmente en los ejes de las máquinas para evitar fugas de aceite, grasa u otros fluidos lubricantes, o para evitar la entrada de contaminantes como polvo y suciedad.

2.5.2. Determinación de parámetros de diseño

2.5.2.1. Caudal y volumen de agua necesario

- **Cálculo del Caudal Requerido:** Según la OMS, en el altiplano, el consumo de agua por persona tiende a ser menor que en áreas con climas más cálidos debido a las condiciones ambientales y a los hábitos de consumo. En promedio, una persona en el altiplano de Bolivia puede consumir alrededor de 50 a 100 litros de agua por día para actividades como beber, cocinar, limpieza personal y limpieza del hogar. Sin embargo, al igual que en el valle, este número puede variar según los factores específicos de cada persona y de la comunidad.

Tabla 2-7: Población San Pablo de Lipez

Año	Habitantes (municipio)	Habitantes (Localidades)
1992	2412	157
2001	2523	221
2012	3371	212

Fuente: Censo boliviano de 1992, Censo boliviano de 2001, Censo boliviano de 2012.

Tabla 2-8: Consumo de agua por persona en la provincia Sud Lipez

Consumo de agua en actividades diarias	Consumo de mi hogar (Litros)	Consumo diario (Litros)
Baño y aseo personal	Frecuencia de uso: 1 veces al día consumo de agua por uso: 40 litros	40
Lavado de dientes	Frecuencia de uso: 3 veces al día consumo de agua por uso: 0,50 litros	1,50
Lavado de manos	Frecuencia de uso: 7 veces al día consumo de agua por uso: 0,5 litros	3,5
Fregadero	Limpieza de utensilios de cocina Frecuencia de uso: 2 veces al día Consumo de agua por uso: 7 litros	14
Cocina	Agua para beber y elaboración de alimentos por día: 10 litros	10
Limpieza de suelos	Frecuencia de uso: cada 2 días Consumo de agua por uso: 7 litros	14
TOTAL		83 litros

Fuente: Carpio Molina Jorge.(2007). Agua y recurso hidrico en el Sudoeste de Potosi.

- **Consumo diario:** Los habitantes de la comunidad migran por falta de trabajo, la falta de agua es otro motivo, la demanda diaria de agua para la comunidad, se realizó tomando en cuenta el dato de requerimiento diario establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) cada persona necesita 100 litros de agua al día, la demanda diaria de la comunidad será 22000 litros.

$$V_{diario} = 220 \text{ personas} * 100 \frac{\text{litros}}{\text{persona}} = 22000 \text{ litros} = 22 \text{ m}^3$$

- **Tiempo de Operación:** Con los datos de requerimiento diario de agua para la comunidad hace falta un volumen de 22000 litros/día, con la bomba centrífuga seleccionada nos suministrará un caudal de 200 litros/min, ya, podemos determinar el tiempo de operación para cubrir la demanda diaria de agua para la comunidad, aproximadamente son 2 horas de bombeo.

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{22000 \text{ lts}}{200 \frac{\text{lts}}{\text{min}}} = 110 \text{ min} \approx 2 \text{ horas}$$

- **Volumen mensual:**

$$V_{mes} = 22 \text{ m}^3 * 30 \text{ dias} = 660 \text{ m}^3$$

- **Comparación de costo mensual:** Comparación de costos para suministrar 660 m³ de agua a la comunidad con la tarifa de 12 Bs/m³ de la empresa de servicio de agua en una ciudad.

$$Costo_{mes} = 660 \text{ m}^3 * 12 \frac{Bs}{m^3} = 7920 Bs$$

2.5.2.2. Características de la bomba centrífuga de 0.75 Hp

Del cálculo del sistema hidráulico, se determinó, las características de la bomba centrífuga, cuyo requerimiento debe ser:

- Potencia: 0.75 hp, (559 Watts).
- Velocidad de la Bomba: 1750 rpm.

2.5.2.2.1. Especificaciones de la bomba centrífuga

Empleando una bomba centrífuga de marca Pedrollo **NGA 2B** de potencia 0.75 hp monofásica 220 V, 50 Hz, para el diseño de la caja multiplicadora de velocidades, se tomará las siguientes características de la bomba centrífuga:

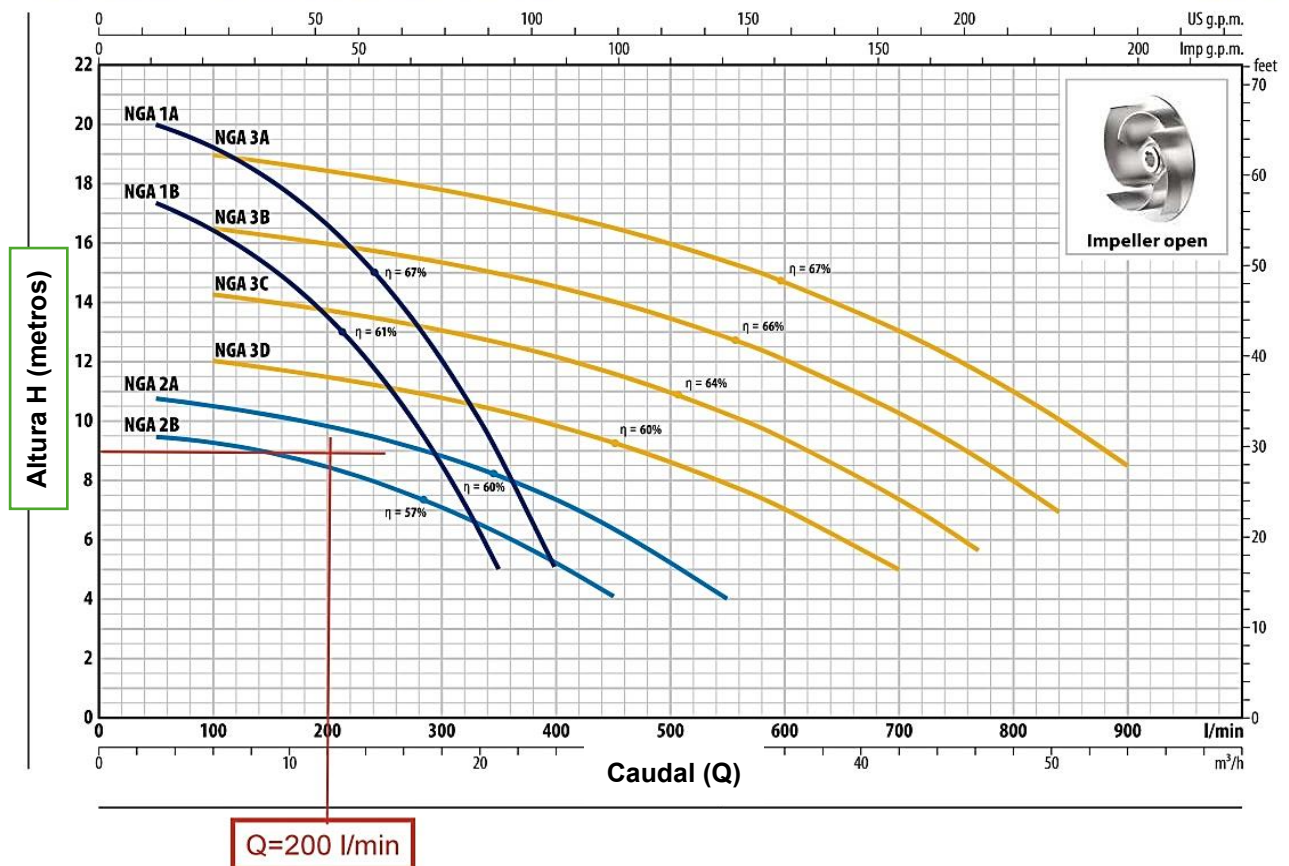
- Potencia nominal del motor: 0.75 HP.
- Caudal: 200 litros/min
- Altura manométrica total: 8.00 m (sobredimensionado 8.50 m)
- Altura de succión: 3.20 m
- Altura de impulsión: 3.80 m
- Altura de pérdidas: 1 m (fricción tuberías de aspiración e impulsión)
- Revoluciones por minuto: 1750 rpm
- Diámetro del eje de bomba para el acoplamiento a la caja: 14 mm
- Diámetro tubería de aspiración e impulsión: 40 mm

2.5.2.2.2. Curvas Características de bombas centrífugas:

La Curva Características de Bomba Hidráulicas representan la relación única de Caudal – Altura, con datos de Q = 200 l/min y H_m = 8.00 m, seleccionamos la bomba centrífuga para el sistema hidráulico, recurrimos al catálogo del fabricante para luego dirigirnos a los gráficos de las curvas características de donde seleccionamos la bomba hidráulica, normalizada por el fabricante.

CURVAS Y DATOS DE RENDIMIENTO – HS =0 m

50 Hz



TYPE		POWER (P ₂)		1~3~	Q	m³/h											
Single-phase	Three-phase	kW	HP			0	3	6	9	12	15	18	21	24			
NGAm 1B	NGA 1B	0.55	0.75	IE2 IE3	H metres	18	17.4	16.4	15.2	13.5	11.3	8.7	5				
NGAm 1A	NGA 1A	0.75	1			20.5	20	19.3	18	16.6	14.7	12	9	5			

TYPE		POWER (P ₂)		1~3~	Q	m³/h													
Single-phase	Three-phase	kW	HP			0	3	6	12	18	24	27	33	42	46	51	54		
NGAm 2B	NGA 2B	0.55	0.75	IE2 IE3	H metres	9.5	9.4	9.3	8.4	7	5.2	4							
NGAm 2A	NGA 2A	0.75	1			11	10.8	10.5	9.8	8.8	7.4	6.4	4						
NGAm 3D	NGA 3D	1.1	1.5			12.5	–	12	11.5	10.8	9.8	9.3	7.8	5					
NGAm 3C	NGA 3C	1.5	2			14.8	–	14.4	13.8	13.1	12.2	11.7	10.3	7.4	5.7				
NGAm 3B	NGA 3B	1.8	2.5			17	–	16.5	16	15.3	14.5	14	12.8	10.3	8.8	7			
NGAm 3A	NGA 3A	2.2	3			19.5	–	19	18.4	17.8	17	16.5	15.4	13	11.5	10	8.5		

Figura 2-24: Curvas características de la bomba centrífuga

Fuente: Cast-iron centrifugal pumps with open impeller

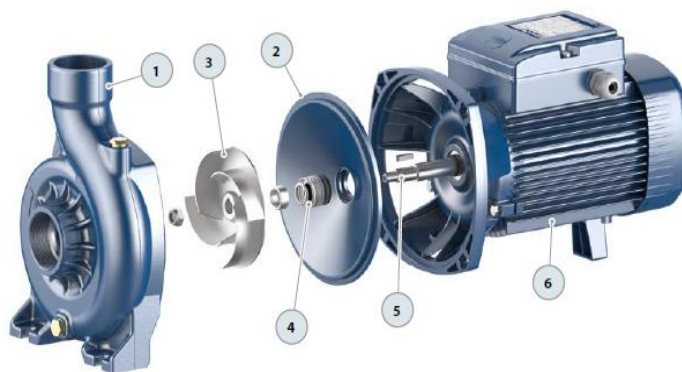
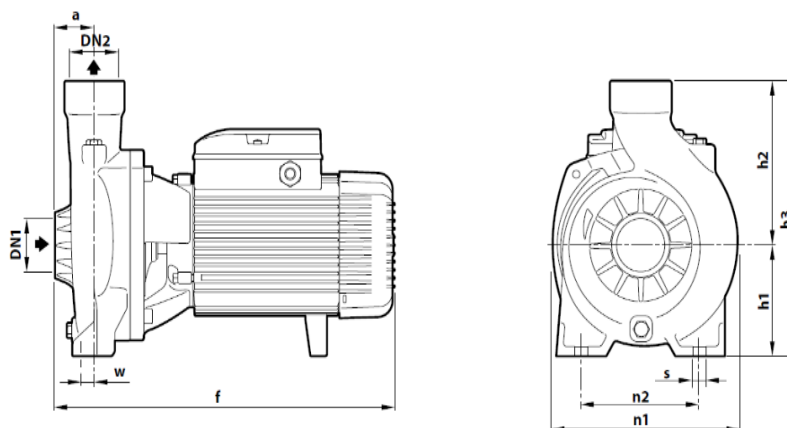


Tabla 2-9: Etiqueta de especificaciones de la bomba

Materiales y componentes de la bomba centrífuga				
1	Cuerpo de bomba	Hierro fundido JL 250 con tratamiento de cataforesis con puertos roscados ISO 228/1		
2	Cubierta	Hierro fundido JL 200 para NGA3 AISI 304 acero inoxidable para NGA1 y NGA2		
3	Impulsor	impulsor en AISI 316 acero inoxidable (a partir de enero de 2024)		
4	Sello mecánico	Bomba de agua NGA1 y 2	Sello AR-14	Eje Ø 14 mm
5	Eje	Acero inoxidable AISI 431 Ø 14 mm		
		Materiales Cerámica / Grafito / NBR		

Fuente: Cast-iron centrifugal pumps with open impeller

2.5.2.2.3. Dimensionamiento y características de la bomba NGA 2:



WITH THREADED PORTS

TYPE		PORTS		DIMENSIONS mm										kg	
Single-phase	Three-phase	DN1	DN2	a	f	h1	h2	h3	n1	n2	w	s		1~	3~
NGAm 1B	NGA 1B	1½"	1½"	40	299	92	135	227	190	160	6	11		12.6	12.6
NGAm 1A	NGA 1A													12.7	12.6
NGAm 2B	NGA 2B			32										12.7	12.6
NGAm 2A	NGA 2A													12.7	12.6
NGAm 3D	NGA 3D	2"	2"	48	387	120	178	298	217	140	18	11.5		22.0	21.2
NGAm 3C	NGA 3C													22.9	22.9
NGAm 3B	NGA 3B				407									25.4	25.5
NGAm 3A	NGA 3A													25.5	25.5

Figura 2-25: Dimensionamientos

Fuente: Cast-iron centrifugal pumps with open impeller

2.5.2.3. Diseño de engranajes

2.5.2.3.1. Relación de transmisión

Según Mott, R. L. (2004). Diseño de elementos de máquinas. (Pág,323). Si se desea tener un incrementador de velocidad (multiplicador de velocidad), nuestra relación de transmisión (VR) tiene que ser menor a 1.

El diseño de la caja multiplicadora contara con 3 etapas de relación de transmisión. Cada etapa utilizara engranajes rectos para aumentar gradualmente la velocidad de giro de la entrada hasta alcanzar los 1750 RPM en la salida. utilizando una de potencia de entrada proporcionada por una persona normal, estimada en 1 HP mediante una palanca de manivela conectada a la 1ra etapa de relación de transmisión. Teniendo estos datos obtenemos la siguiente tabla:

Tabla 2-10: Relación de transmisión

Etapas	Velocidad n (rpm)	Relación de transmisión (VR)	Nº de dientes Piñón	Nº de dientes Engrane
1ra	100 - 200	0.5	23	46
2da	200 – 526,31	0.38	22	57
3ra	526,31 - 1754	0.3	24	79

Fuente: Diseño de Elementos de Máquinas - Robert Mott

Esquema de engranajes de la caja de con 3 etapas:

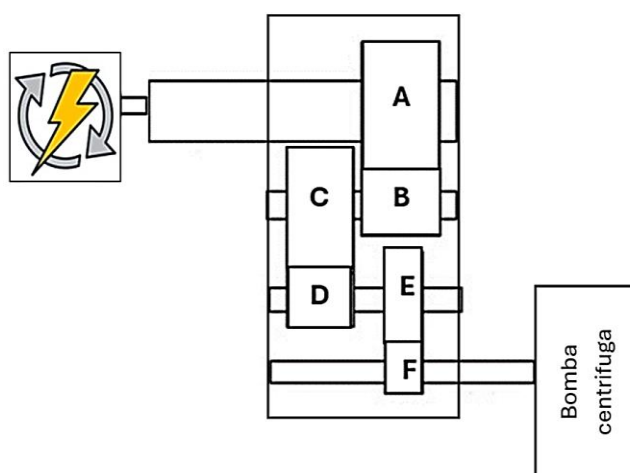


Figura 2-26: Esquema de engranajes

Fuente: Elaboracion propia

2.5.2.3.2. Software MDESING

MDESIGN mechanical le permite diseñar, comprobar, optimizar y documentar los elementos más importantes de la máquina de forma profesional y eficiente. El amplio espectro abarca desde los elementos de la máquina, desde la técnica de conexión, la técnica de accionamiento y la técnica de muelles hasta la mecánica. Esto incluye: Ejes y soportes, Conexiones eje-cubo, Pernos y pasadores, Conexiones de pernos, Engranajes, Transmisión por correa y cadena, Rodillos y cojinetes lisos, Muelles elásticos, Juntas adhesivas y soldadas, Tecnología lineal, Hidráulica y sellos.

Todos los cálculos en MDESIGN se basan en normas, directrices y directivas nacionales e internacionales reconocidas (DIN, ISO, VDI, FKM, AGMA, DNV, etc.).

2.5.2.3.3. Determinación de dimensiones de los engranajes mediante software MDESING

Se presentan los datos calculados y detallados de los engranajes que forman parte de la caja multiplicadora de velocidades. Tomando en cuenta los datos de entrada en las 3 etapas de nuestra caja.

Tabla 2-11: Datos obtenidos de la Primera etapa

DATOS DE ENTRADA: 1ra etapa (Piñón- Engrane)			
Engranaje recto			
Ángulo de presión	20°		
Paso diametral	Pd =	8	
Anchura de la cara	F =	1.5	in
Potencia transmitida	P =	1	hp
Velocidad de rotación del piñón	np =	200	rpm
Número de dientes de piñón	Np =	23	
Velocidad de salida deseada	ng =	100	rpm
Vida útil del diseño	L =	20000	h
Aplicación de engranajes	Engranaje abierto		
Coefficiente elástico	Cp =	2300	
Factor de sobrecarga	Ko =	1	
Factor de seguridad	SF =	1	
Factor de relación de dureza	Ch =	1	
Factor de fiabilidad	Kr =	1.25	
DATOS DE SALIDA: 1ra etapa (Piñón- Engrane)			
Velocidad de salida real	Ng =	100.000	rpm
Número real de dientes de engranaje	Ng =	46	
Relación de transmisión	mg =	2.000	

Número de calidad	Qv =	7.000	
PARAMETROS DE GEOMETRIA			
		Piñón	Engrane
Diámetro de paso	D =	2.875 in	5.750 in
Diámetro exterior	Do =	3.125 in	6.000 in
Diámetros de raíz	Dr =	2.563 in	5.438 in
Diámetro del círculo base	Db =	2.702 in	5.403 in
Paso circular	P =	0.393 in	
Profundidad total	ht =	0.281 in	
Profundidad de trabajo	hk =	0.250 in	
Grosor del diente	T =	0.196 in	
Distancia entre ejes	C =	4.313 in	
		Piñón	Engrane
Factor de geometría de flexión	J =	0.352	0.403
Factor de geometría de picadura	I =	0.098	
FACTORES DE FUERZA Y VELOCIDAD			
Velocidad de la línea de paso	Vt =	150.535 ft/min	
Fuerza tangencial	Wt =	175.304 lbf	
Fuerza normal	Wn =	186.555 lbf	
Fuerza radial	Wr =	63.806 lbf	
		Piñón	Engrane
Tensión de flexión esperada	St	3937.0 psi	3436.4 psi
Estrés de contacto esperado	Sc	56928.2 psi	56928.2 psi
Número de tensión de flexión admisible	Sat	5117.3 psi	4411.9 psi
Número de tensión de contacto permitido	Sac	76555.0 psi	75344.2 psi
		Piñón	Engrane
Grade 1 (Grado de Dureza)		180.0 HB	180.0 HB
Grade 2 (Grado de Dureza)		180.0 HB	180.0 HB

Fuente: <https://www.mdesign.de/en/software/solutions/>

Tabla 2-12: Datos obtenidos de la Segunda etapa

DATOS DE ENTRADA: 2da etapa (Piñón- Engrane)			
Engranaje recto			
Ángulo de presión		20°	
Paso diametral	Pd =	8	
Anchura de la cara	F =	1.5	in
Potencia transmitida	P =	1	hp
Velocidad de rotación del piñón	np =	526.31	rpm
Número de dientes de piñón	Np =	22	
Velocidad de salida deseada	ng =	200	rpm
Vida útil del diseño	L =	20000	h
Aplicación de engranajes		Engranaje abierto	
Coefficiente elástico	Cp =	2300	
Factor de sobrecarga	Ko =	1	
Factor de seguridad	SF =	1	
Factor de relación de dureza	Ch =	1	
Factor de fiabilidad	Kr =	1.25	
DATOS DE SALIDA: 2da etapa (Piñón- Engrane)			
Velocidad de salida real	Ng =	203.13	rpm

Número real de dientes de engranaje	Ng =	57	
Relación de transmisión	mg =	2.591	
Número de calidad	Qv =	8.000	
PARAMETROS DE GEOMETRIA			
		Piñón	Engrane
Diámetro de paso	D =	2.750 in	7.125 in
Diámetro exterior	Do =	3.000 in	7.375 in
Diámetros de raíz	Dr =	2.438 in	6.813 in
Diámetro del círculo base	Db =	2.584 in	6.695 in
Paso circular	P =	0.393 in	
Profundidad total	ht =	0.281 in	
Profundidad de trabajo	hk =	0.250 in	
Grosor del diente	T =	0.196 in	
Distancia entre ejes	C =	4.938 in	
		Piñón	Engrane
Factor de geometría de flexión	J =	0.349	0.422
Factor de geometría de picadura	I =	0.103	
FACTORES DE FUERZA Y VELOCIDAD			
Velocidad de la línea de paso	Vt =	378.916 ft/min	
Fuerza tangencial	Wt =	69.644 lbf	
Fuerza normal	Wn =	74.114 lbf	
Fuerza radial	Wr =	25.348 lbf	
		Piñón	Engrane
Tensión de flexión esperada	St	1623.0 psi	1342.6 psi
Estrés de contacto esperado	Sc	36379.4 psi	36379.4 psi
Número de tensión de flexión admisible	Sat	2146.3 psi	1745.7 psi
Número de tensión de contacto permitido	Sac	50022.7 psi	48939.3 psi
		Piñón	Engrane
Grade 1 (Grado de Dureza)		180.0 HB	180.0 HB
Grade 2 (Grado de Dureza)		180.0 HB	180.0 HB

Fuente: <https://www.mdesign.de/en/software/solutions/>

Tabla 2-13: Datos obtenidos de la Tercera etapa

DATOS DE ENTRADA: 3ra etapa (Piñón- Engrane)			
Engranaje recto			
Ángulo de presión		20°	
Paso diametral	Pd =	12	
Anchura de la cara	F =	1	in
Potencia transmitida	P =	1	hp
Velocidad de rotación del piñón	np =	1754.36	rpm
Número de dientes de piñón	Np =	24	
Velocidad de salida deseada	ng =	526.31	rpm
Vida útil del diseño	L =	20000	h
Aplicación de engranajes		Engranaje abierto	
Coeficiente elástico	Cp =	2300	
Factor de sobrecarga	Ko =	1	
Factor de seguridad	SF =	1	
Factor de relación de dureza	Ch =	1	
Factor de fiabilidad	Kr =	1.25	

DATOS DE SALIDA: 3ra etapa (Piñón- Engrane)			
Velocidad de salida real	Ng =	532.97	rpm
Número real de dientes de engranaje	Ng =	79	
Relación de transmisión	mg =	3.29	
Número de calidad	Qv =	10.00	
PARAMETROS DE GEOMETRIA			
		Piñón	Engrane
Diámetro de paso	D =	2.000 in	6.583 in
Diámetro exterior	Do =	2.167 in	6.750 in
Diámetros de raíz	Dr =	1.792 in	6.375 in
Diámetro del círculo base	Db =	1.879 in	6.186 in
Paso circular	P =	0.262 in	
Profundidad total	ht =	0.188 in	
Profundidad de trabajo	hk =	0.167 in	
Grosor del diente	T =	0.131 in	
Distancia entre ejes	C =	4.292 in	
		Piñón	Engrane
Factor de geometría de flexión	J =	0.363	0.439
Factor de geometría de picadura	I =	0.111	
FACTORES DE FUERZA Y VELOCIDAD			
Velocidad de la línea de paso	Vt =	918.581 ft/min	
Fuerza tangencial	Wt =	28.728 lbf	
Fuerza normal	Wn =	30.572 lbf	
Fuerza radial	Wr =	10.456 lbf	
		Piñón	Engrane
Tensión de flexión esperada	St	1384.2 psi	1144.2 psi
Estrés de contacto esperado	Sc	31564.5 psi	31564.5 psi
Número de tensión de flexión admisible	Sat	1870.1 psi	1513.4 psi
Número de tensión de contacto permitido	Sac	44620.7 psi	43414.6 psi
		Piñón	Engrane
Grade 1 (Grado de Dureza)		180.0 HB	180.0 HB
Grade 2 (Grado de Dureza)		180.0 HB	180.0 HB

Fuente: <https://www.mdesign.de/en/software/solutions/>

Tabla 2-14: Valores de diámetros (Engrane-Piñón)

Etapas (Engrane -Piñón)	Diámetro exterior (in)	Anchura de la cara "F" (in)	Distancia entre ejes "C" (in)	Fuerza tangencial "WT" (lbf)	Fuerza radial "WR" (lbf)	Numero de dientes	velocidad n (RPM)
1ra Etapa	$D_{(A)} = 6,00$	$F_{(A)} = 1,5$	$C_{(A)} = 4,31$	175,30	63,80	46	100
1ra Etapa	$D_{(B)} = 3,12$	$F_{(B)} = 1,5$	$C_{(B)} = 4,31$	175,30	63,80	23	200
2da Etapa	$D_{(C)} = 7,37$	$F_{(C)} = 1,5$	$C_{(C)} = 4,93$	69,64	25,34	57	200
2da Etapa	$D_{(D)} = 3,00$	$F_{(D)} = 1,5$	$C_{(D)} = 4,93$	69,64	25,34	22	526.31
3ra Etapa	$D_{(E)} = 6,75$	$F_{(E)} = 1,0$	$C_{(E)} = 4,29$	28,72	10,45	79	526.31
3ra Etapa	$D_{(F)} = 2,16$	$F_{(F)} = 1,0$	$C_{(F)} = 4,29$	28,72	10,45	24	1754.36

Fuente: Elaboracion propia

2.5.2.3.4. Selección de materiales para los engranajes (Engrane-Piñón)

En el libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott (2006), se menciona que la fuerza máxima admisible de un material se puede encontrar gracias a la tabla del apéndice 3, la cual proporciona las propiedades de diseño para los aceros al carbono y aleados.

2.5.2.3.4.1. Primera etapa (Engrane-Piñón)

- **Selección de material para el Engrane (A):** La selección del material para el engrane (A) se basa en la Tabla 2-8 ya anteriormente mencionada. Dándonos como dato, la dureza de 180 HB (dureza Brinell) del material, con información del apéndice 3 (Propiedades de Diseño Para los Aceros al Carbón y Aleados) del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott. Hacemos un análisis detallado, optando por el material AISI 1144 OQT 1300 debido a su Dureza de HB = 200; Resistencia a la tensión (S_u) = 96ksi, Resistencia de fluencia (S_y) = 68ksi.
- **Selección de material para el Piñón (B):** La selección del material para el piñón (B) se basa en la Tabla 2-8 ya anteriormente mencionada. Dándonos como dato, la dureza de 180 HB (dureza Brinell) del material, con información del apéndice 3 (Propiedades de Diseño Para los Aceros al Carbón y Aleados) del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott. Hacemos un análisis detallado, optando por el material AISI 1144 OQT 1300 debido a su Dureza de HB = 200; Resistencia a la tensión (S_u) = 96 ksi, Resistencia de fluencia (S_y) = 68ksi.

2.5.2.3.4.2. Segunda etapa (Engrane-Piñón)

- **Selección de material para el Engrane (C):** La selección del material para el engrane (C) se basa en la Tabla 2-9 ya anteriormente mencionada. Dándonos como dato, la dureza de 180 HB (dureza Brinell) del material, con información del apéndice 3 (Propiedades de Diseño

Para los Aceros al Carbón y Aleados) del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott. Hacemos un análisis detallado, optando por el material AISI 1144 OQT 1300 debido a su Dureza de HB = 200; Resistencia a la tensión (S_u) = 96ksi, Resistencia de fluencia (S_y) = 68ksi.

- **Selección de material para el Piñón (D):** La selección del material para el piñón (D) se basa en la Tabla 2-9 ya anteriormente mencionada. Dándonos como dato, la dureza de 180 HB (dureza Brinell) del material, con información del apéndice 3 (Propiedades de Diseño Para los Aceros al Carbón y Aleados) del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott. Hacemos un análisis detallado, optando por el material AISI 1144 OQT 1300 debido a su Dureza de HB = 200; Resistencia a la tensión (S_u) = 96 ksi, Resistencia de fluencia (S_y) = 68 ksi.

2.5.2.3.4.3. Tercera etapa (Engrane-Piñón)

- **Selección de material para el Engrane (E):** La selección del material para el engrane (E) se basa en la Tabla 2-10 ya anteriormente mencionada. Dándonos como dato, la dureza de 180 HB (dureza Brinell) del material, con información del apéndice 3 (Propiedades de Diseño Para los Aceros al Carbón y Aleados) del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott. Hacemos un análisis detallado, optando por el material AISI 1144 OQT 1300 debido a su Dureza de HB = 200; Resistencia a la tensión (S_u) = 96 ksi, Resistencia de fluencia (S_y) = 68 ksi.
- **Selección de material para el Piñón (F):** La selección del material para el piñón (F) se basa en la Tabla 2-10 ya anteriormente mencionada. Dándonos como dato, la dureza de 180 HB (dureza Brinell) del material, con información del apéndice 3 (Propiedades de Diseño Para los Aceros al Carbón y Aleados) del libro Diseño de Elementos de Máquinas de Mott. Hacemos un análisis detallado, optando por el material AISI 1144 OQT 1300 debido a su Dureza de HB = 200; Resistencia a la tensión (S_u) = 96 ksi, Resistencia de fluencia (S_y) = 68 ksi.

2.5.2.3.5. Selección de material y dimensionamiento de los ejes

El dimensionamiento de nuestros ejes se basará a una longitud de 10 in (pulgadas), el material de acero seleccionado para los ejes será AISI 1040 OQT 1300 (resistencia de fluencia $S_y = 61\text{ksi}$, resistencia a la tensión $S_u = 88\text{ksi}$ y dureza $HB=183$).

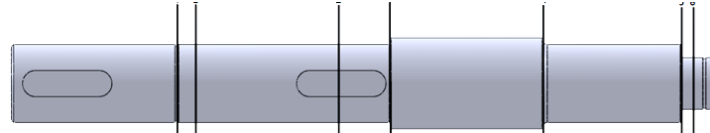


Figura 2-27: Diseño del eje de entrada y sus secciones

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-15: Datos obtenidos mediante todos los cálculos.

Material de los ejes	Diámetros	Pulgadas (in)	Milímetros (mm)
1° Eje: AISI 1040 OQT 1300 HB=183 Sn`=24098 PSI	D_{Rodamiento 1}	0,59	15,00
	D_{Engranaje A}	0,76	19,30
	D_{Rodamiento 2}	0,59	15,00
2° Eje: AISI 1040 OQT 1300 HB=183 Sn`=24098 PSI	D_{Rodamiento 3}	0,59	15,00
	D_{Engranaje B}	0,76	19,30
	D_{Engranaje C}	0,64	16,25
	D_{Rodamiento 4}	0,59	15,00
3° Eje: AISI 1040 OQT 1300 HB=183 Sn`=24098 PSI	D_{Rodamiento 5}	0,47	12,00
	D_{Engranaje D}	0,58	14,74
	D_{Engranaje E}	0,56	14,22
	D_{Rodamiento 6}	0,47	12,00
4° Eje: AISI 1040 OQT 1300 HB=183 Sn`=24098 PSI	D_{Rodamiento 7}	0,39	10,00
	D_{Engranaje F}	0,40	10,16
	D_{Rodamiento 8}	0,39	10,00

Fuente: Elaboración propia-datos calculados-de los diferentes diámetros de ejes.

Tabla 2-16: Selección de rodamientos

Diámetro interno Rodamiento (mm)	Diámetro externo Rodamiento (mm)	Base Rodamiento (mm)	Temp. Interna °C	Temp. Externa °C	Capacidad De Carga (KN)	Designación de rodamiento (SKF)
$D_{R1} = 15$	$D_{R1} = 35$	$D_{R1} = 11$	80	60	5,85	6002
$D_{R2} = 15$	$D_{R2} = 35$	$D_{R2} = 11$	80	60	5,85	6002
$D_{R3} = 15$	$D_{R3} = 35$	$D_{R3} = 11$	80	60	5,85	6002
$D_{R4} = 15$	$D_{R4} = 35$	$D_{R4} = 11$	80	60	5,85	6002
$D_{R5} = 12$	$D_{R5} = 32$	$D_{R5} = 10$	80	60	7,28	6201
$D_{R6} = 12$	$D_{R6} = 32$	$D_{R6} = 10$	80	60	7,28	6201
$D_{R7} = 10$	$D_{R7} = 30$	$D_{R7} = 9$	80	60	5,4	6200
$D_{R8} = 10$	$D_{R8} = 30$	$D_{R8} = 9$	80	60	5,4	6200

Fuente: <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings>

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. CONCLUSIONES

En conclusión el estudio de un diseño de una caja multiplicadora de velocidades que se acople a la bomba centrífuga con un sistema de energía (accionamiento manual por una biela-manivela) para la Provincia Sud Lipez-Potosí, a lo largo del estudio, se ha demostrado que es posible implementar un sistema de bombeo de agua mediante un mecanismo de accionamiento manual, eliminando la necesidad de utilizar fuentes de energía eléctrica, teniendo un acceso constante al agua mejorando la calidad de vida en estas regiones.

Después de un análisis, investigación y simulaciones detalladas, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se selecciono la bomba **NGA 2B** debido a sus características que se ajustan a las necesidades específicas de esta región Sud Lipez. Esta bomba trabaja con una potencia de 0.75 HP, una velocidad especifica de 1750 rpm lo que garantiza un rendimiento eficiente. Además, tiene la capacidad de bombear 200 litros por minuto a una altura de 8.5 metros, lo que la convierte en una opción ideal para nuestro proyecto.
- La investigación y estudio de un diseño de la caja multiplicadora de velocidades que se acople a la bomba centrífuga de agua **NGA 2B**, analizando detalladamente sus especificaciones técnicas y los requerimientos del sistema hidráulico. se ha demostrado que la implementación de esta caja multiplicadora permite que la bomba opere eficientemente, cumpliendo con los parámetros establecidos: una potencia de 0.75 HP, velocidad especifica de 1750 rpm, un caudal de 200 litros por minuto y una altura de bombeo de 8.5 metros.
- Se concluye que, debido a la falta de acceso a agua potable para el 52,52% de las familias de la provincia Sud Lipez, es crucial implementar sistemas de bombeo de agua que no dependan de la electricidad, dado

que la región carece del suministro eléctrico .Además considerando los ingresos limitados de las familias, la solución debe ser económica, desarrollando un diseño de caja multiplicadora de velocidades que se logre acoplar a una bomba centrífuga **NGA 2B** eliminando la necesidad de energía eléctrica así reduciendo significativamente los costos asociados en la parte eléctrica, ofreciendo una solución adecuada y sostenible en el sistema de bombeo de agua para la provincia de Sud Lipez.

- Se realizó el modelaje y simulado del diseño de la caja multiplicadora de velocidades que se acople a una bomba centrífuga, utilizando los programas CAD (Diseño Asistido por Computadora), logramos que el diseño cumpla las especificaciones y características que requería nuestra bomba centrífuga **NGA 2B** para el sistema de bombeo de la provincia de Sud Lipez, la integración de estas herramientas tecnológicas ha sido fundamental para optimizar nuestro diseño.
- Al realizar una investigación sobre las tarifas de la empresa de agua ELAPAS Sucre que por metro cúbico cobran 13.2 Bs teniendo como la demanda mensual de 660 metros cúbicos para abastecer a la comunidad llegarían a pagar un total de **18521 Bs** donde está incluido un cargo de 7408 Bs por el servicio de alcantarillado. En contraste el estudio de diseño de este sistema de bombeo de agua (diseño de una caja multiplicadora de velocidades que se acople a una bomba centrífuga) cobrará por metro cúbico 12 Bs, alcanzando la misma demanda mensual de 660 metros cúbicos a un valor de **7920 Bs**, monto que será designado para la misma comunidad. Así notando una gran diferencia en los montos a pagar.

3.2. RECOMENDACIONES

Viendo algunos factores importantes se podría considerar las siguientes recomendaciones:

- Fabricar más unidades de cajas multiplicadoras que se acoplen a una bomba centrífuga y distribuirlas en otras comunidades para pruebas reales. Esto permitiría recopilar comentarios sobre su rendimiento y

durabilidad en diferentes entornos, esta información sería valiosa para optimizar futuros diseños.

- Considerar la posibilidad de expandir el proyecto a otras comunidades o regiones con necesidades similares de suministro de agua, y proporcionar recomendaciones sobre cómo adaptar el proyecto para satisfacer las necesidades específicas de cada ubicación.
- Se recomienda que las autoridades locales y gubernamentales brinden un mayor apoyo a iniciativas como esta, mediante la asignación de fondos y recursos para la implementación y mantenimiento de estos proyectos de suministro de agua en áreas rurales y remotas.
- Se sugiere que, para futuras investigaciones y diseños relacionados con mi monografía, se considere la posibilidad de incorporar volantes de inercia a los engranajes de mi caja multiplicadora de velocidades. Esta mejora podría significativamente optimizar la eficiencia del sistema de bombeo de agua ya que la adición de volantes de inercia podría no solo optimizar la transferencia de energía, sino también mejorar la experiencia de usuario al reducir la carga física requerida para operar el sistema.
- El análisis económico muestra que el factor económico es favorable para la implementación de este diseño, ya que los costos asociados son accesibles y los beneficios, como el acceso continuo al agua potable y la reducción de la dependencia de fuentes de energía eléctrica. Esto hace que el proyecto sea no solo viable, sino también altamente recomendable para su ejecución en la provincia de Sud López.

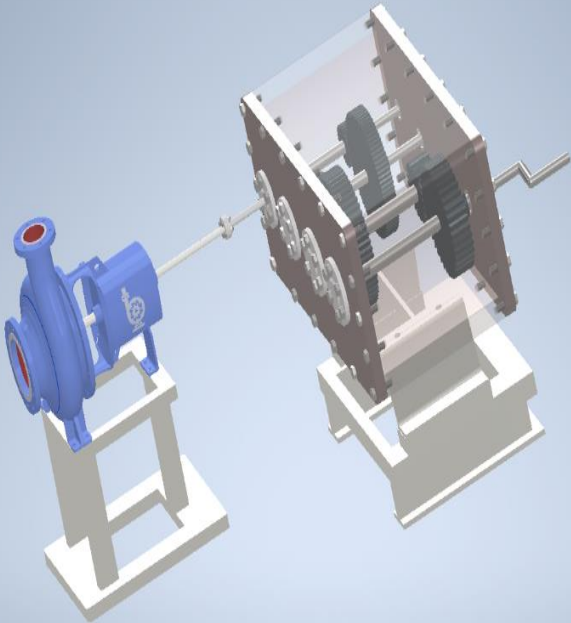
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-sistema-de-bombeo-de-agua-solar#:~:text=El%20bombeo%20de%20agua%20solar,zonas%20y%20de%20las%20%C3%A1ridas.>
- <https://cidta.usal.es/cursos/redes/modulos/libros/unidad%209/accionamiento.PDF>
- <https://core.ac.uk/download/pdf/30046389.pdf>
- <https://documents1.worldbank.org/curated/en/182301468016756224/pdf/720100WP0SPANI0ricos0Dept0De0Potosi.pdf>
- <https://electrobombasjavea.com/blog/que-es-una-bomba-de-agua-y-como-funciona-una-electrobomba#:~:text=Una%20de%20sus%20grandes%20ventajas,aguas%20residuales%20o%20para%20piscinas.>
- https://es.hesperian.org/hhg/A_Community_Guide_to_Environmental_Health:Pozos_protegidos
- <https://es.scribd.com/presentation/629801856/Segun-El-Tipo-de-Accionamiento>
- https://issuu.com/pnudartbolivia/docs/completo_revisado_final_priorizaci
- https://oa.upm.es/23096/2/PFC_DANIEL_POLO_CASTANO.pdf
- <https://prezi.com/yazxnivxqwqn/metodos-de-extraccion-de-agua/>
- <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15454/EG-1080-%20Flores%20Garc%C3%ADa%2C%20Juan%20Carlos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- <https://repositorio.usm.cl/server/api/core/bitstreams/30b670c7-b5e1-4915-90f1-ebac61175772/content>
- <https://sistemasdeaguaysaneamientoparaeldesarrollo.wordpress.com/wp-content/uploads/2017/12/bomba-de-mecate-manual-prc3a1ctico.pdf>
- <https://spiegato.com/es/que-es-una-caja-de-engranajes>
- <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua-del-sistema/captacion/pozos-excavados-%28noria%29>

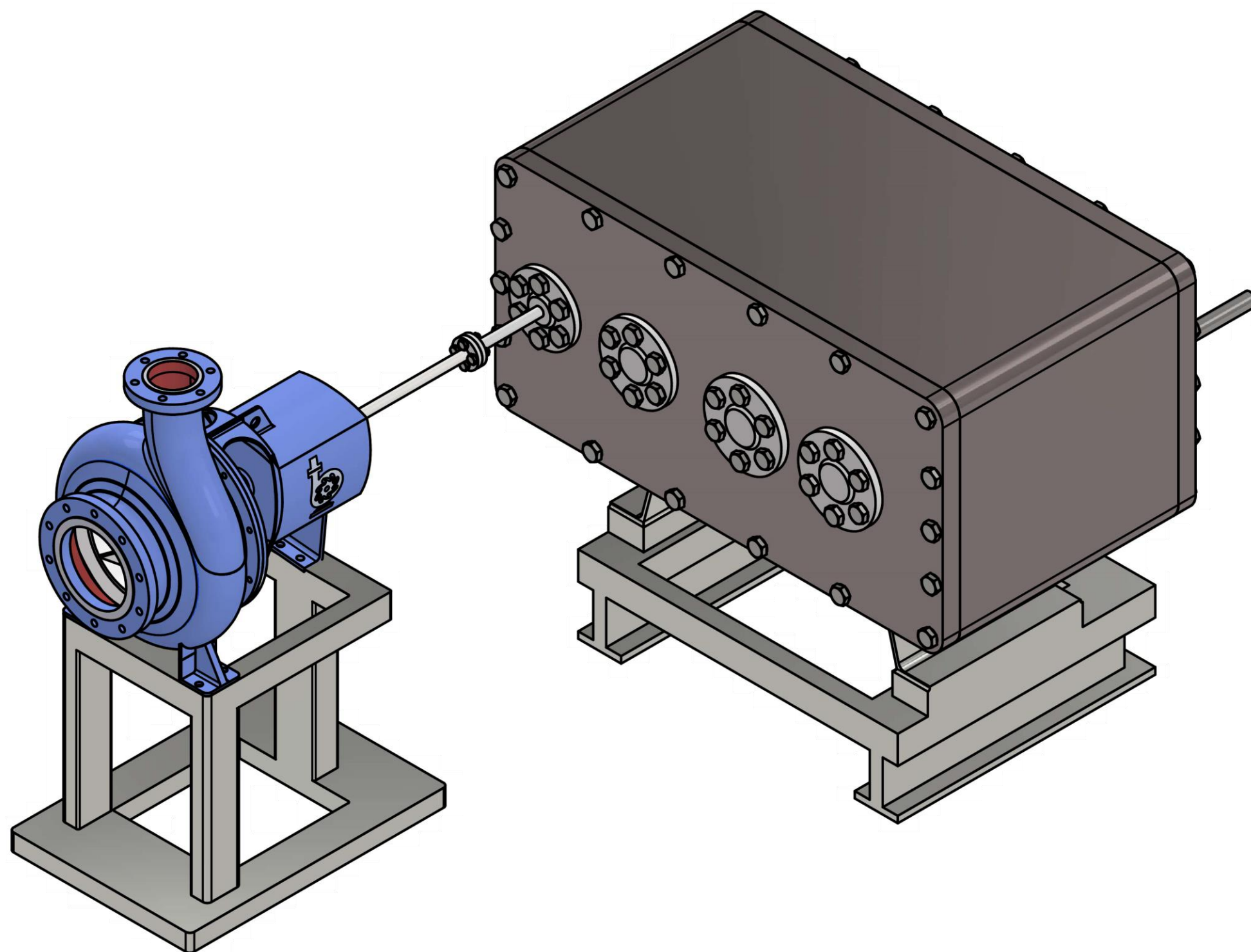
- <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/distribucion/bombeo-de-agua-manual>
- <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/distribucion/bombeo-de-agua-motorizado#:~:text=Los%20sistemas%20de%20bombeo%20mecanizados,combustibles%2C%20e%2C%20B3lica%20y%20animal>
- <https://tecnologiampk4.blogspot.com/2015/09/bomba-desplazamiento-positivo-la-bomba.html>
- https://www.academia.edu/24716452/Dise%C3%B1o_caja_de_cambios
- <https://www.awf.org/blog/how-does-water-use-united-states-compare-africa>
- <https://www.estudioteca.net/tecnologia/caja-multiplicadora/>
- https://www.fisica.uji.es/priv/web%20master%20SIH007/treballs%202017/Bombeo%20solar_trabajo.pdf
- <https://www.homedepot.com.mx/bombas-de-agua/bomba-centrifuga-1-hp-824314#:~:text=Cuenta%20con%20una%20potencia%20de,y%20tensi%C3%B3n%20de%20115%20volts>
- <https://www.noticiasfides.com/economia/nor-y-sur-lípez-siguen-siendo-tan-pobres-103761>
- <https://www.prmdrive.com/engranaje-y-eje/eje-eje-de-engranaje/?lang=es#:~:text=El%20eje%20es%20un%20objeto,de%20par%20y%20soportar%20cargas>
- <https://www.seguas.com/bombas-centrifugas-instalaciones-hidraulicas/>
- <https://www.soliclima.es/bombas-hidraulicas-con-energia-eolica>
- https://www.uaeh.edu.mx/division_academica/educacion-media/repositorio/2019/2-semester/mundos-digitales/docs/aumento-reduccion-velocidad.pdf
- https://www.uc3m.es/grupos-investigacion/media/grupos-investigacion/doc/archivo/doc_bomba-de-mecate-o-de-cuerda-/latex1posterportrait_mecate-ilovepdf-compressed.pdf
- <https://www.udocz.com/apuntes/20762/diseno-de-elementos-de-maquinas-robert-l-mott-4ta-ed>

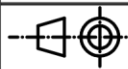
ANEXOS

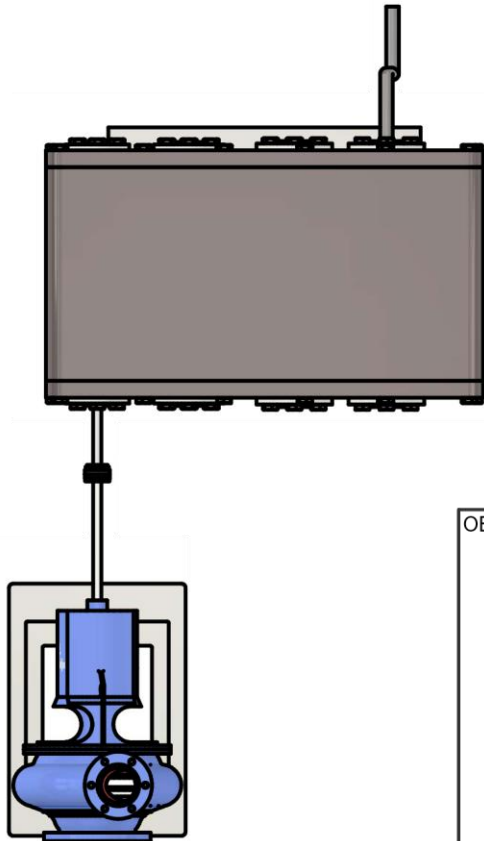
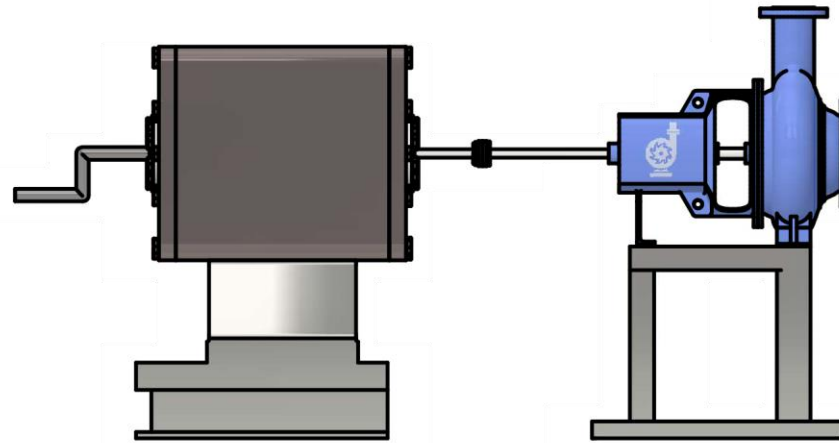
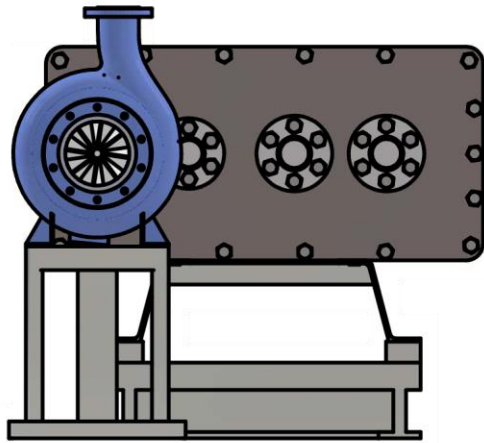
ANEXO A: CARACTERISTICAS GENERALES DEL EQUIPO

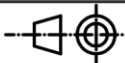
Dimensionamiento de la maquina			254 x 294 x 520 mm		
Características de la fuente de energía			la persona actuara como fuente de energía aplicando una fuerza de 0.5hp (caballos potencia)		
Característica de la 1ra Etapa de engranajes					
Relación de velocidad (Vr)	Velocidad (rpm)	Diámetro de Piñón (in)	Diámetro de Engrane (in)	Nº de dientes Piñón	Nº de dientes Engrane
0.5	100-200	3.125	6	23	46
Característica de la 2da Etapa de engranajes					
Relación de velocidad (Vr)	Velocidad (rpm)	Diámetro de Piñón (in)	Diámetro de Engrane (in)	Nº de dientes Piñón	Nº de dientes Engrane
0.38	200-526.31	3	7.375	22	57
Característica de la 3ra Etapa de engranajes					
Relación de velocidad (Vr)	Velocidad (rpm)	Diámetro de Piñón (in)	Diámetro de Engrane (in)	Nº de dientes Piñón	Nº de dientes Engrane
0.3	526.31-1754	2.167	6.750	24	79
Característica del material de los Ejes Acero AISI 1040 OQT 1300			Resistencia a la tensión (Su)= 61 ksi Resistencia a la tensión (Su)= 88 ksi Dureza Brinell (HB)= 183		
Característica del material de la Carcasa del Equipo. Acero AISI 1040 OQT 1300			Resistencia a la tensión (Su)= 61 ksi Resistencia a la tensión (Su)= 88 ksi Dureza Brinell (HB)= 183		
CARACTERISTICAS TECNICAS			IMAGEN DEL EQUIPO-MAQUINA		
Caja multiplicadora de velocidades: • Velocidad de entrada: 100 rpm • Velocidad de salida: 1754 rpm • Potencia de entrada: 0,75 hp • Caja multiplicadora de 3 etapas • 1ra Relación de velocidad: Vr1= 0.5 • 2da Relación de velocidad: Vr2= 0.38 • 3ra Relación de velocidad: Vr3= 0.3 Bomba centrífuga de 0,75hp: • caudal: 200 lts. /min. • elevación: 8 mts. • succión: 1" • salida: 1" • elevación máxima: 3,80 mts. • succión máxima: 3,20 mts.					
FUNCION La función es proporcionar un sistema de bombeo de agua eficiente y sostenible, utilizando una caja multiplicadora de velocidades accionada manualmente para impulsar una bomba centrífuga.					

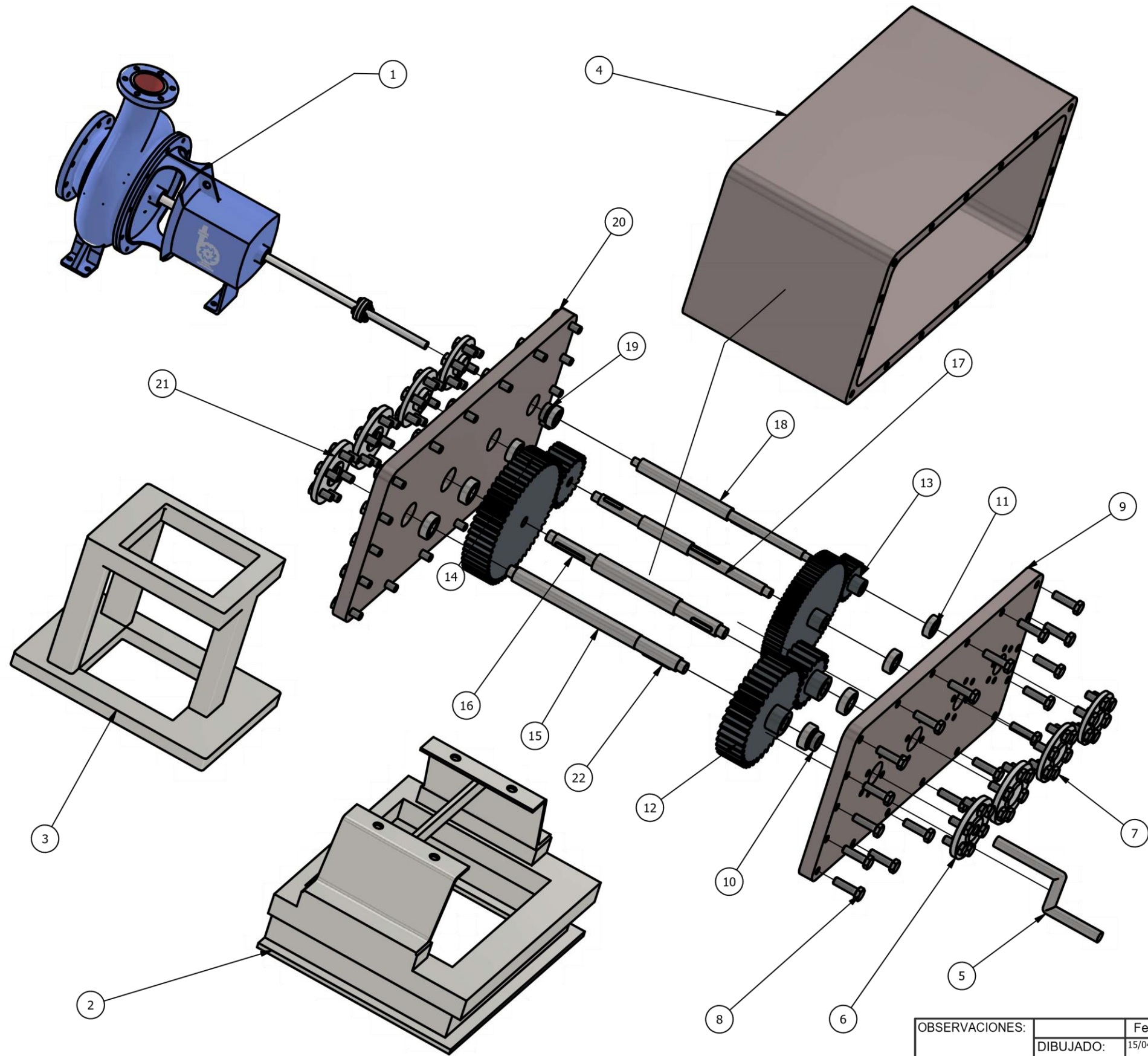
ANEXO B: PLANOS DE DISEÑO DEL EQUIPO



OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Plano Completo Vista Isométrica	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS USC, 09.09.09, SP, 09.09.09, 09.09.09
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:5	TÍTULO CONJUNTO:			MATERIAL::
		Caja multiplicadora de velocidades accionada manualmente-Bomba centrifuga			TRATAMIENTO TÉRMICO:
	Toler. Rug.				REVISIÓN DE PLANO:

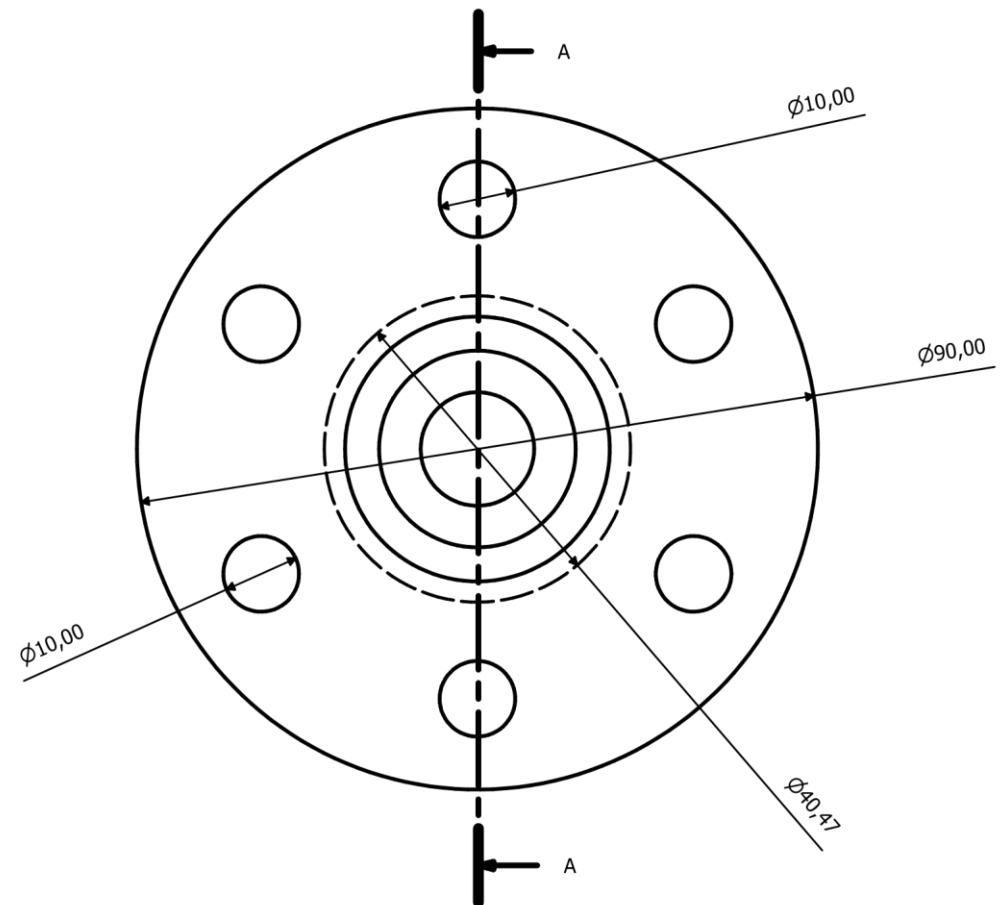
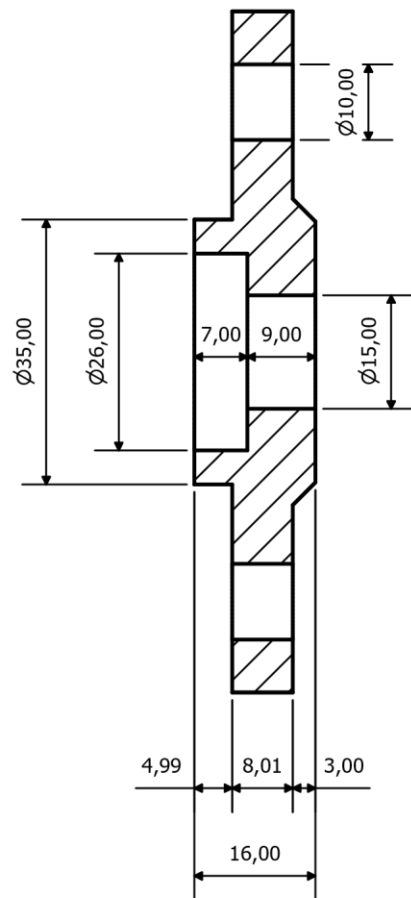


OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Vistas Isometricas	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS M. M. R. P. S. F. N. C. M.
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:10	TÍTULO CONJUNTO: Caja multiplicadora de velocidades accionada manualmente-Bomba centrifuga			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300
	TRATAMIENTO TÉRMICO:				
Toler. Rug.	REVISIÓN DE PLANO:				

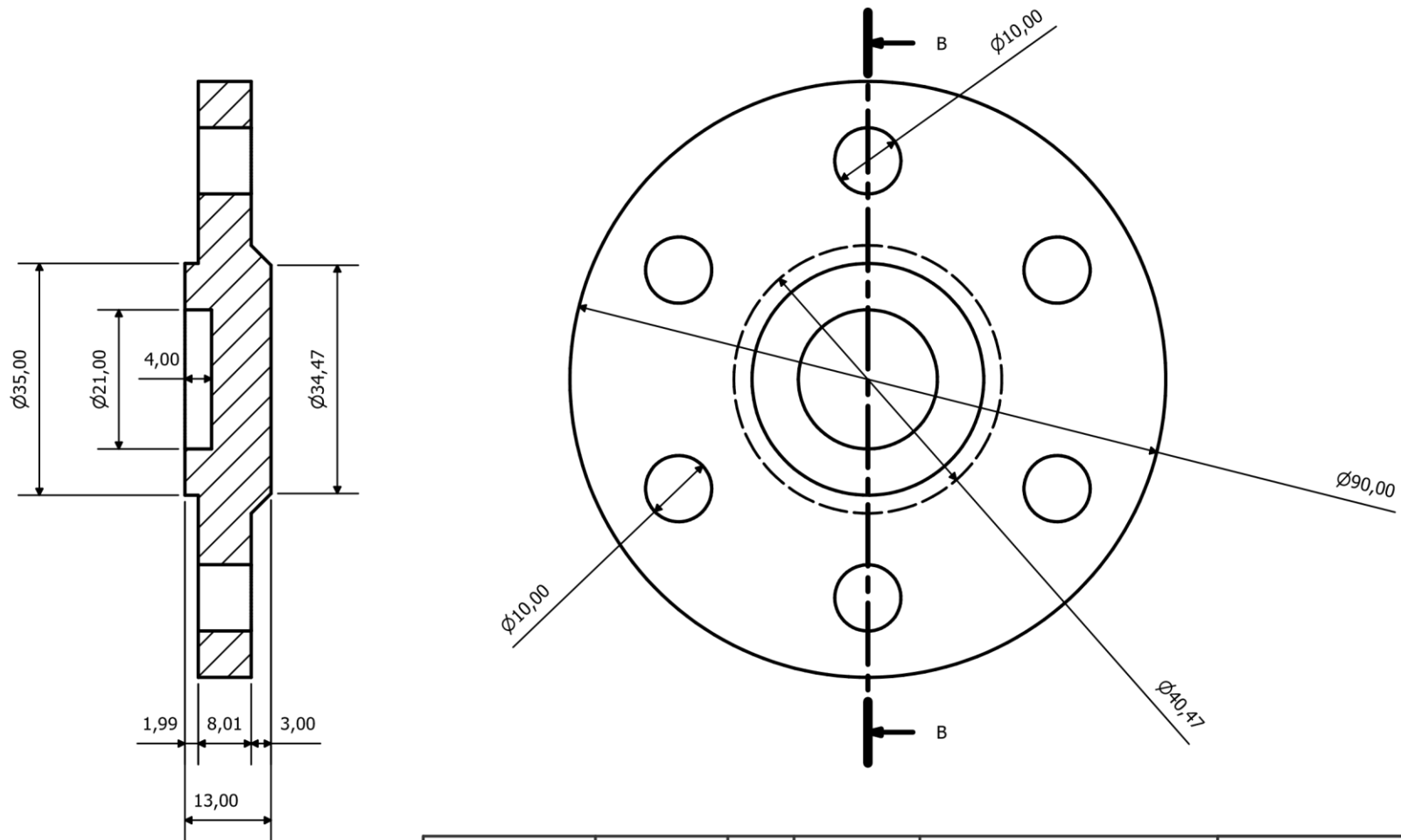


1	1	Bomba Centrífuga
2	1	soporte de la caja de velocidades
3	1	soporte de la bomba centrífuga
4	1	Cuerpo de la carcasa
5	1	manivela
6	4	tapas delanteras
7	48	Pernos AS 1110 - M10 x 25
8	36	Pernos AS 1110 - M10 x 35
9	1	Tapa Lateral derecha
10	1	Juntas de labio de eje ANSI/B93.98M - 15x26x7
11	8	Rodamientos de bolas, acanalado profundo
12	2	1ra etapa de engranajes (Piñón-Engrane)
13	2	2da etapa de engranajes (Piñón-Engrane)
14	2	3ra etapa de engranajes (Piñón-Engrane)
15	1	1er Eje de entrada
16	1	2do Eje intermedio
17	1	3er Eje intermedio
18	1	4to Eje de salida
19	1	Juntas de labio de eje ANSI/B93.98M - 10x25x7
20	1	Tapa Lateral izquierda
21	4	Tapas laterales izquierda
22	6	Chavetas paralelas delgadas ISO 2491 - A 6 x 4 x 45
Elemento	Cantidad	Descripción

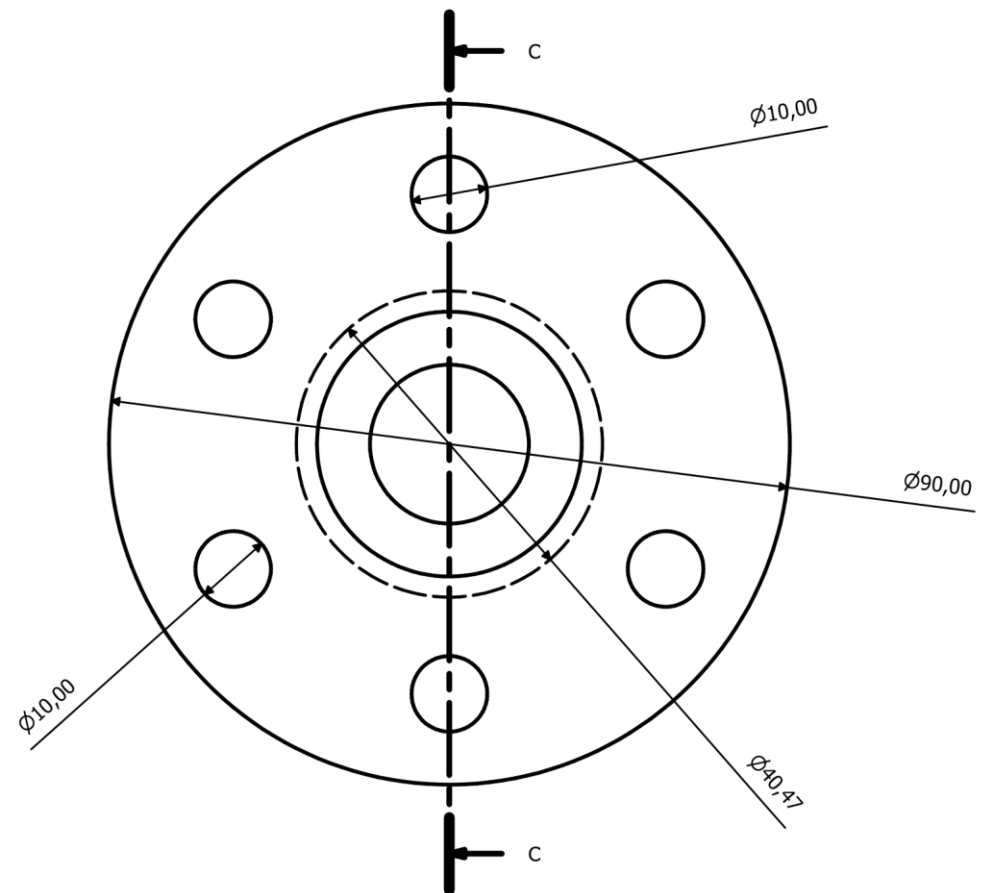
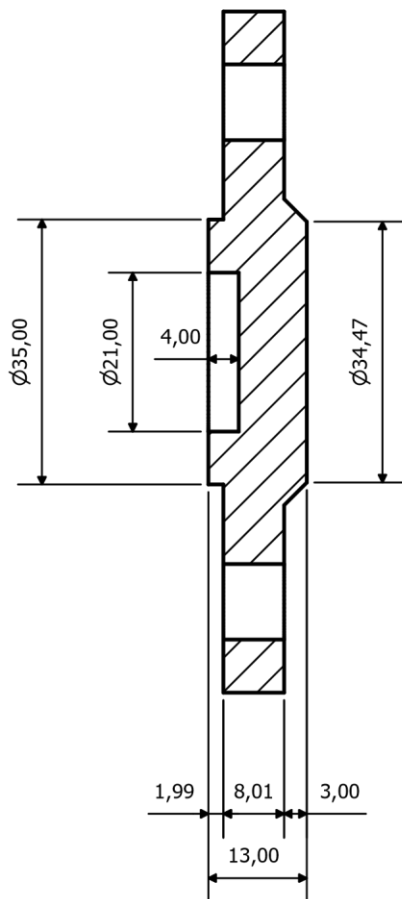
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Conjunto de Despiece	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS U.N.R.P.B.H.C.B.
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:5	TÍTULO CONJUNTO: Despiece del Sistema de Bombeo de agua			MATERIAL::
					TRATAMIENTO TÉRMICO:
Toler. Rug.					REVISIÓN DE PLANO:



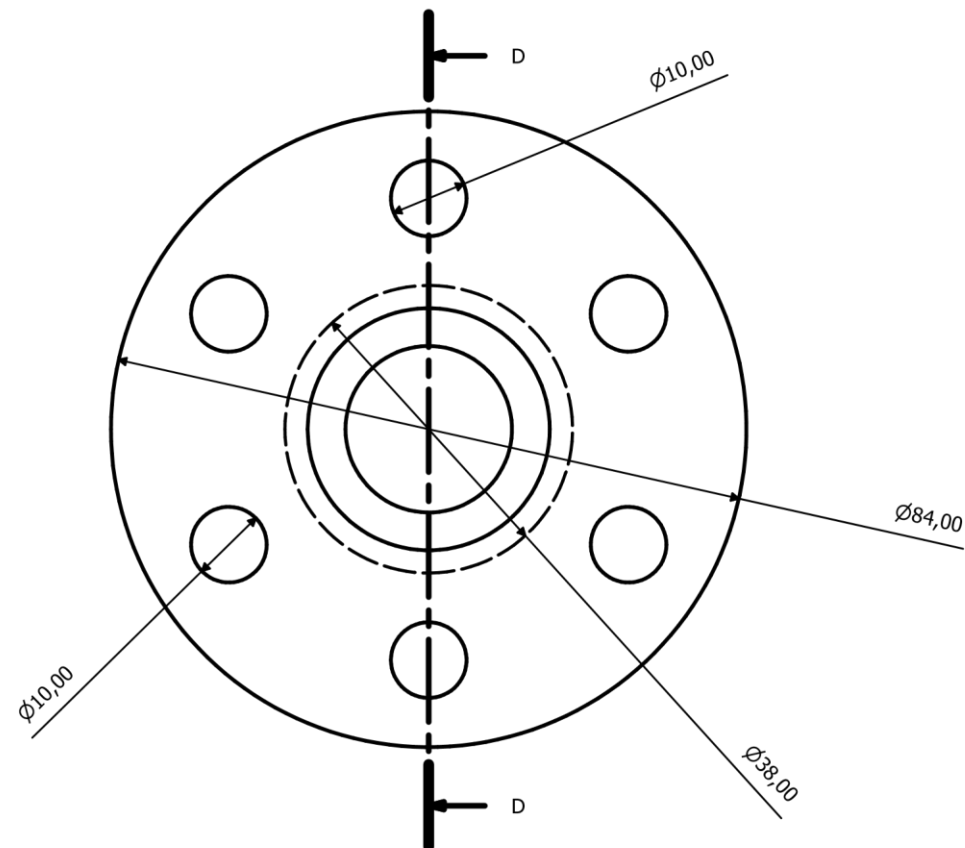
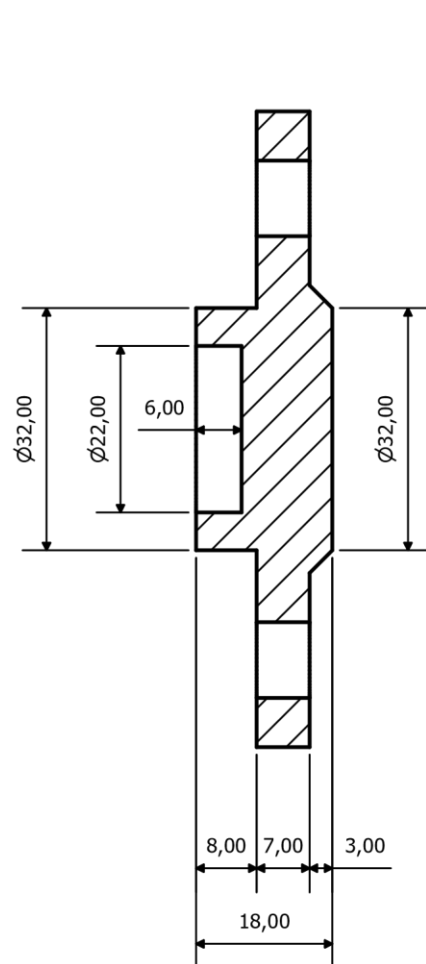
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Tapa N°1		
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:1	TÍTULO CONJUNTO: Tapa abierta de entrada del 1er eje				MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300
	TRATAMIENTO TÉRMICO:					
Toler. Rug.	REVISIÓN DE PLANO:					



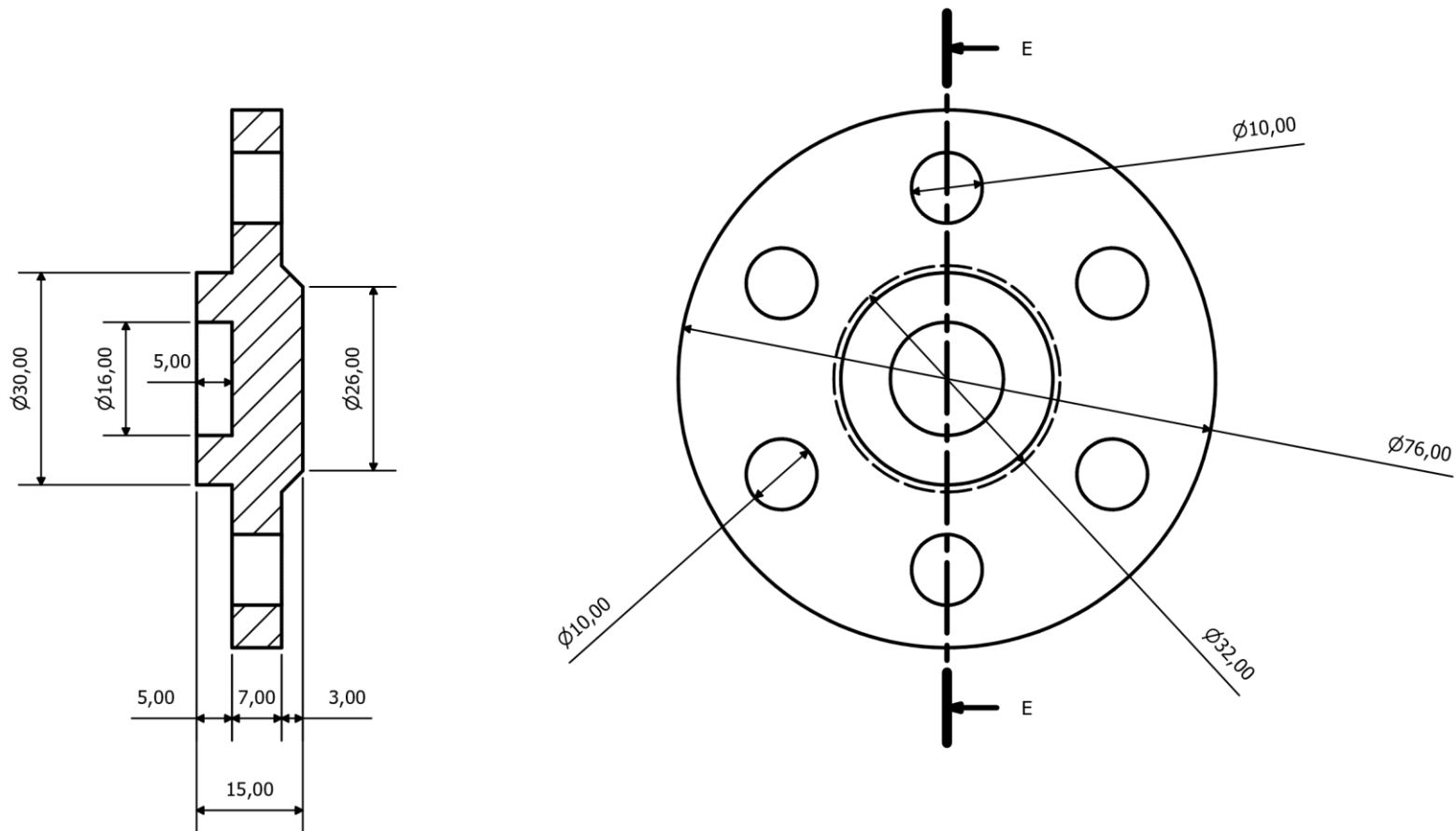
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Tapa N°2		
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:1	TÍTULO CONJUNTO: Tapa cerrada del 1er eje			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300	
					TRATAMIENTO TÉRMICO:	
	Toler. Rug.				REVISIÓN DE PLANO:	



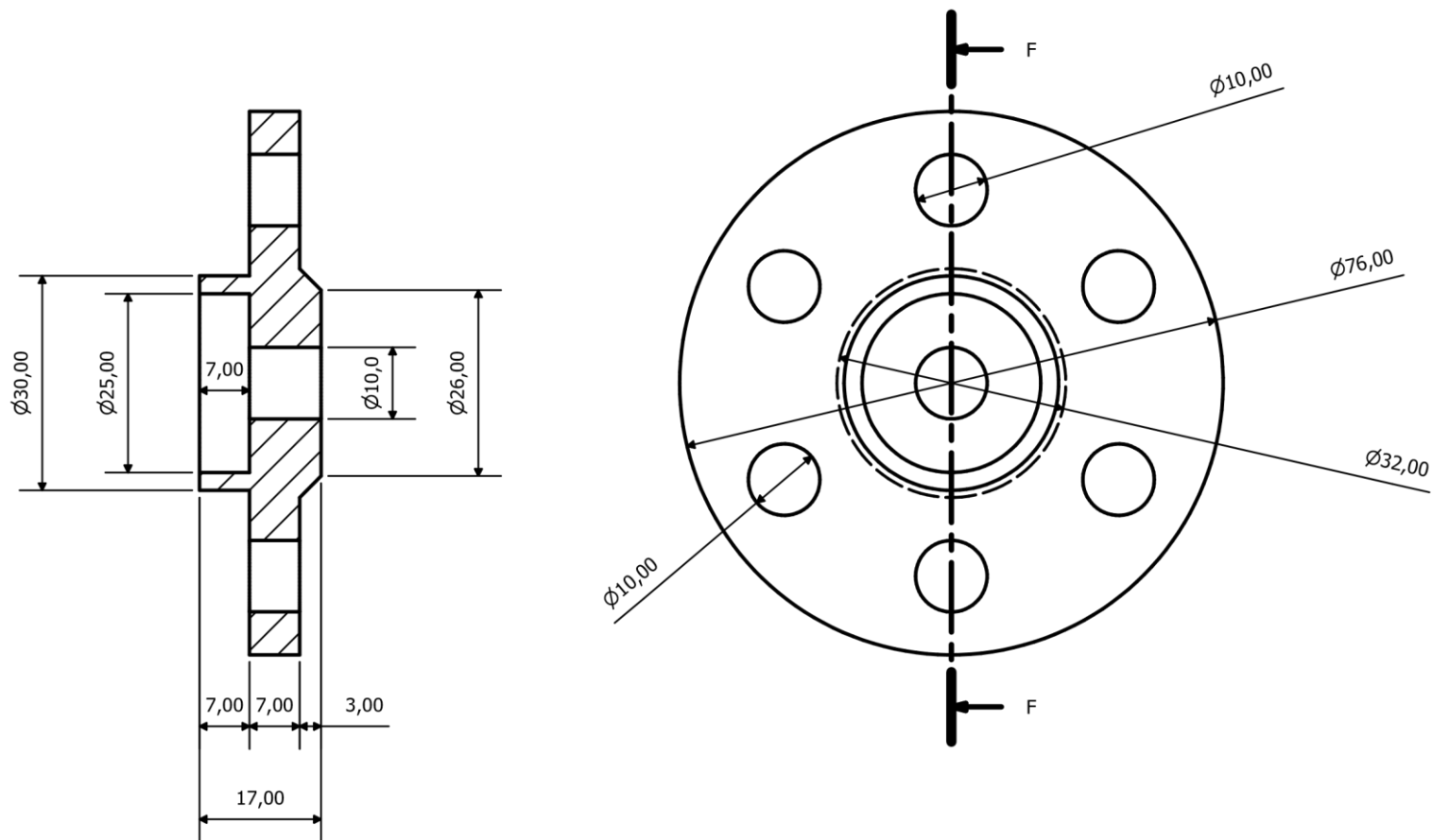
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Tapa N°3-4	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS M. M. R. P. D. F. N. C. M.
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:1	TÍTULO CONJUNTO: Tapas cerradas del 2do eje			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300
	TRATAMIENTO TÉRMICO:				
Toler. Rug.	REVISIÓN DE PLANO:				



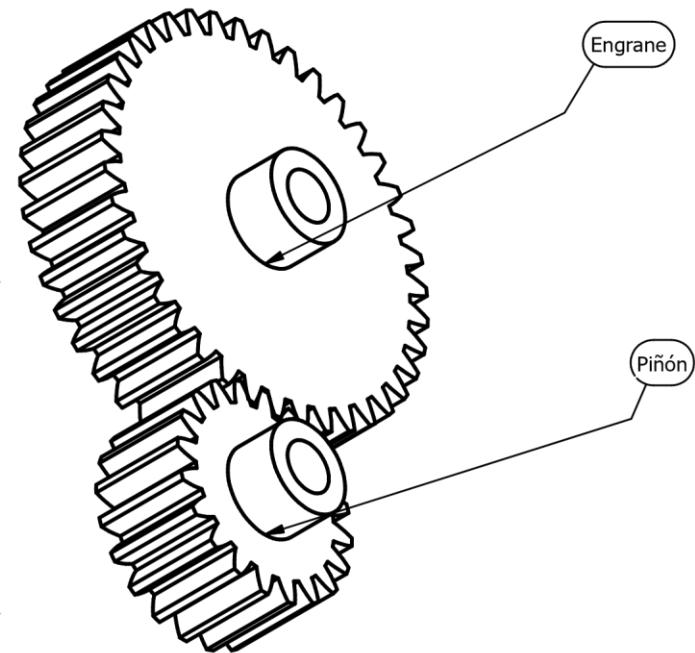
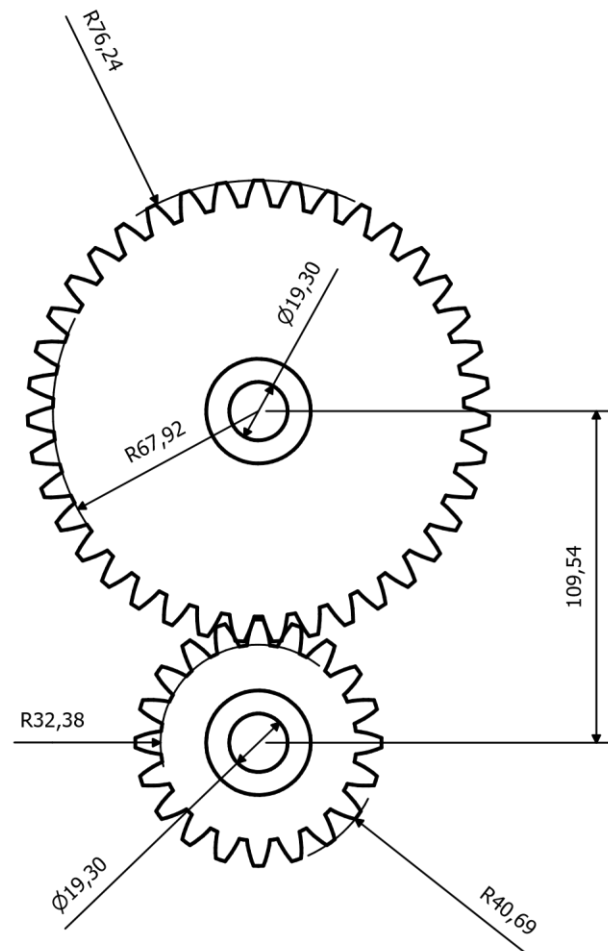
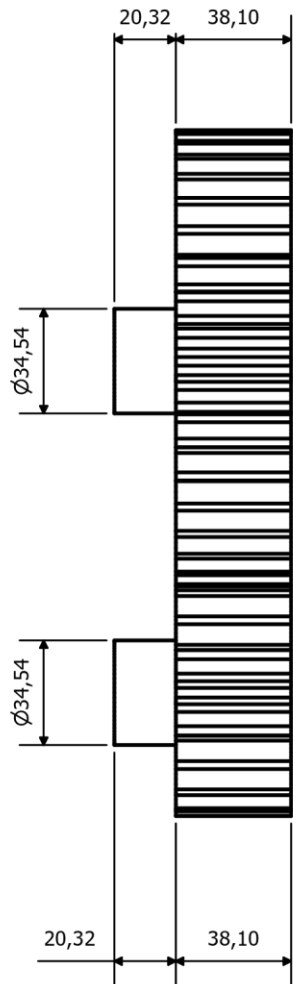
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Tapa N°5-6	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS M. M. R. P. S. F. N. C. M.
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:1	TÍTULO CONJUNTO: Tapas cerradas del 3er eje			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300
					TRATAMIENTO TÉRMICO:
Toler.					REVISIÓN DE PLANO:
Rug.					



OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Tapa N°7	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS M. M. E. P. S. F. N. CH
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
Esc. 1:1	TÍTULO CONJUNTO: Tapa cerrada del 4to eje				MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300
					TRATAMIENTO TÉRMICO:
Toler. Rug.					REVISIÓN DE PLANO:

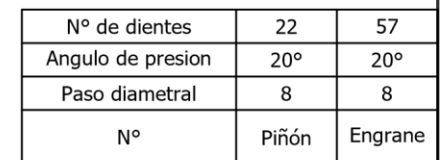
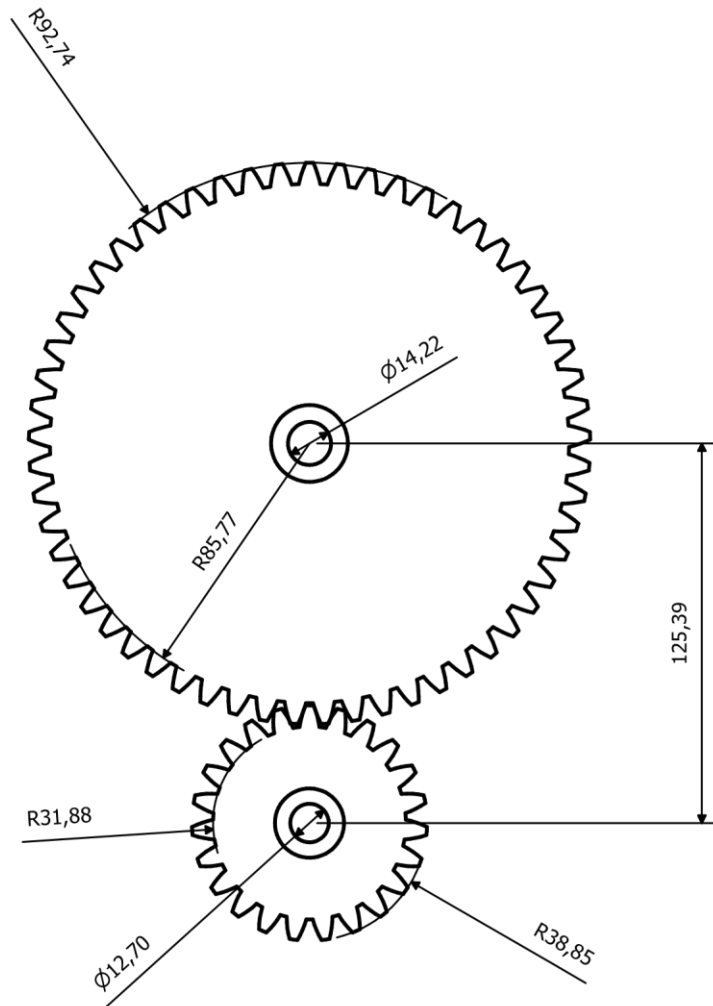


OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Tapa N°8	
----------------	--	-------	--------	----------------------------------	--

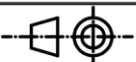


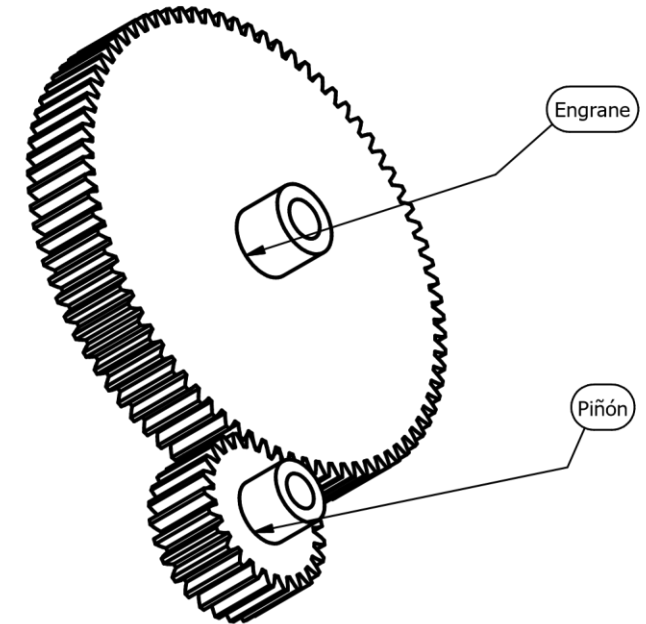
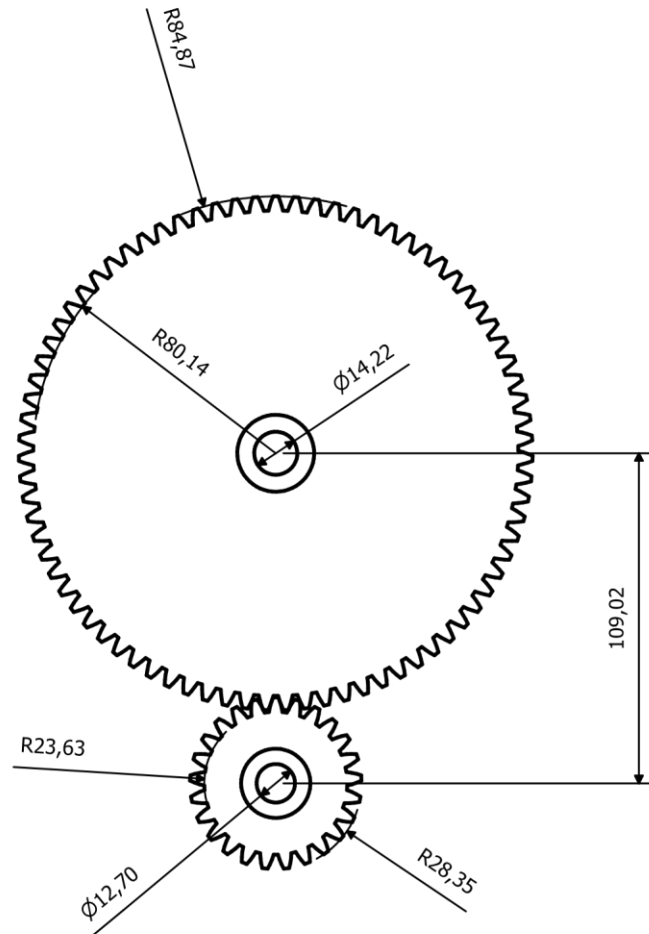
Nº de dientes	23	46
Angulo de presion	20°	20°
Paso diametral	8	8
Nº	Piñón	Engrane

OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Engranajes rectos	FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS M. R. P. D. F. N. C. H.
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:2	TÍTULO CONJUNTO: 1ra Etapa de Engranajes Rectos Piñón -Engrane			MATERIAL:: AISI 1144 OQT 1300
Toler.					
Rug.					
					TRATAMIENTO TÉRMICO:
					REVISIÓN DE PLANO:

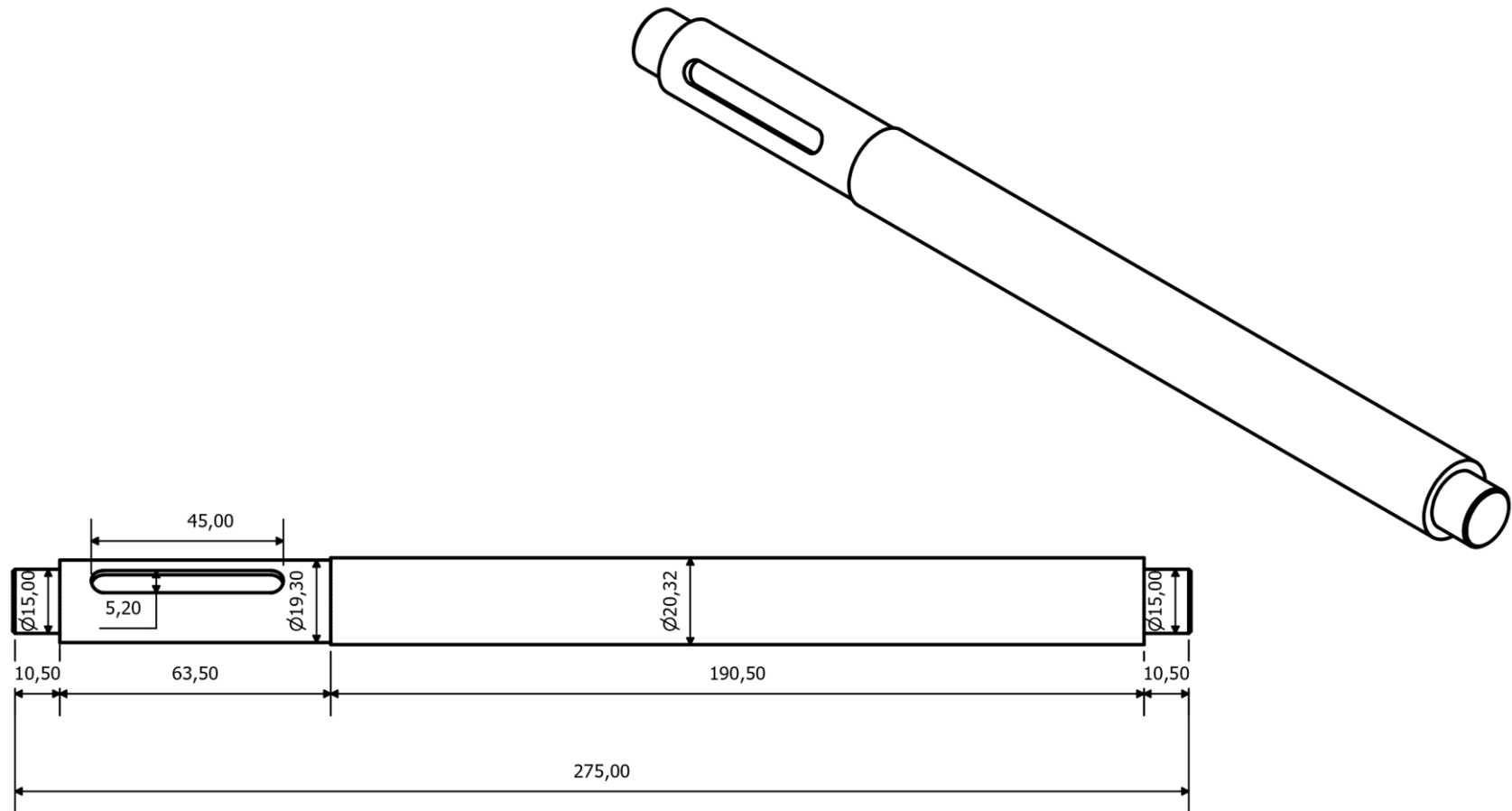


FACULTAD DE INGENIERIA  FICAM 13.500 19.17-12.30-014 © 2008 by FICAM	FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MEGA - ELECTRONICAS U.M.H.P.S.F.K.CH
---	--

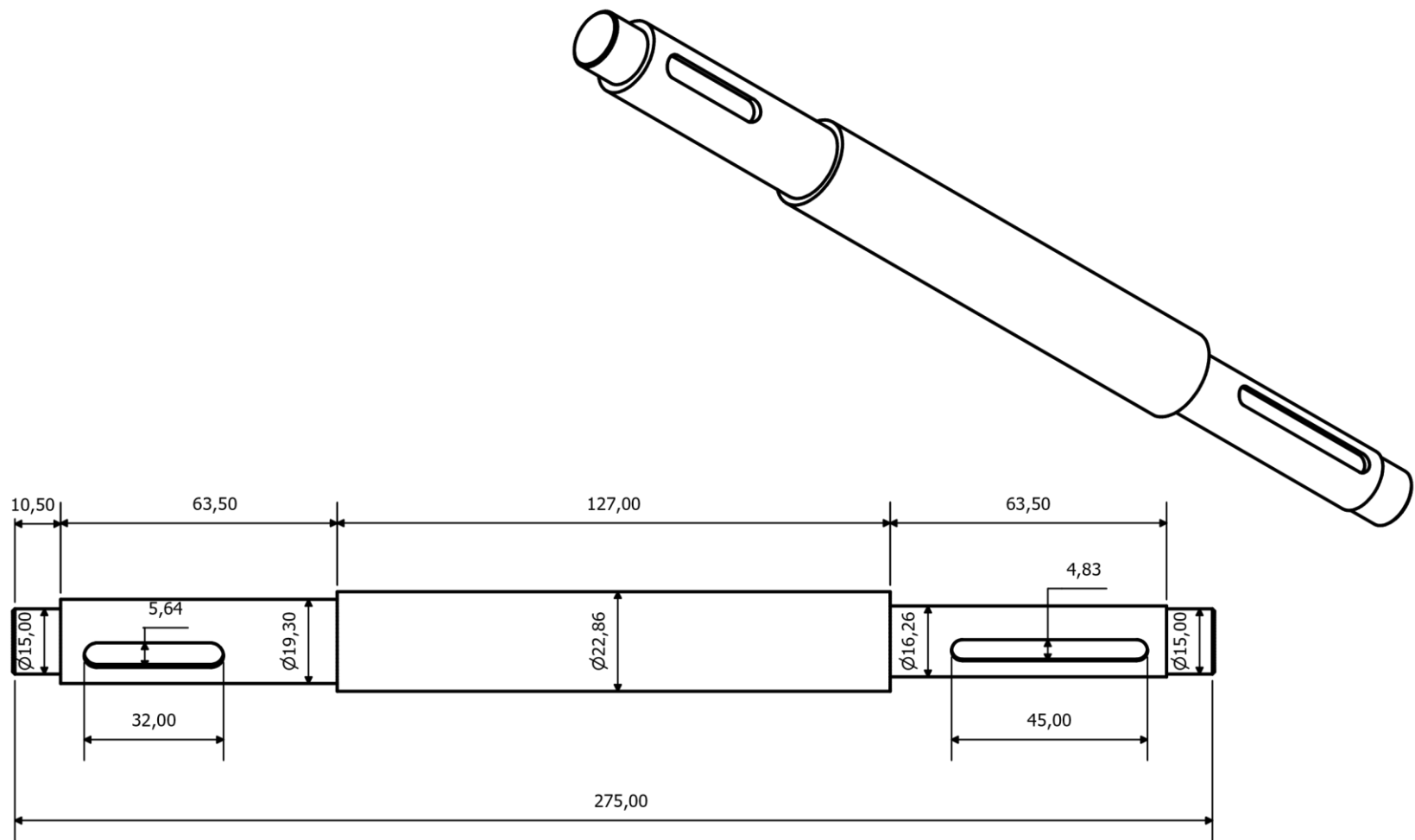
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Engranajes rectos	FACULTAD DE INGENIERIA FICAM UNIVERSIDAD MAYA DE K'AB'AL FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS U.M.R.P.S.F.K.CH
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:2	TÍTULO CONJUNTO: 2da Etapa de Engranajes Rectos Piñón -Engrane			MATERIAL:: AISI 1144 OQT 1300
					
Toler. Rug.	TRATAMIENTO TÉRMICO:				
					REVISIÓN DE PLANO:



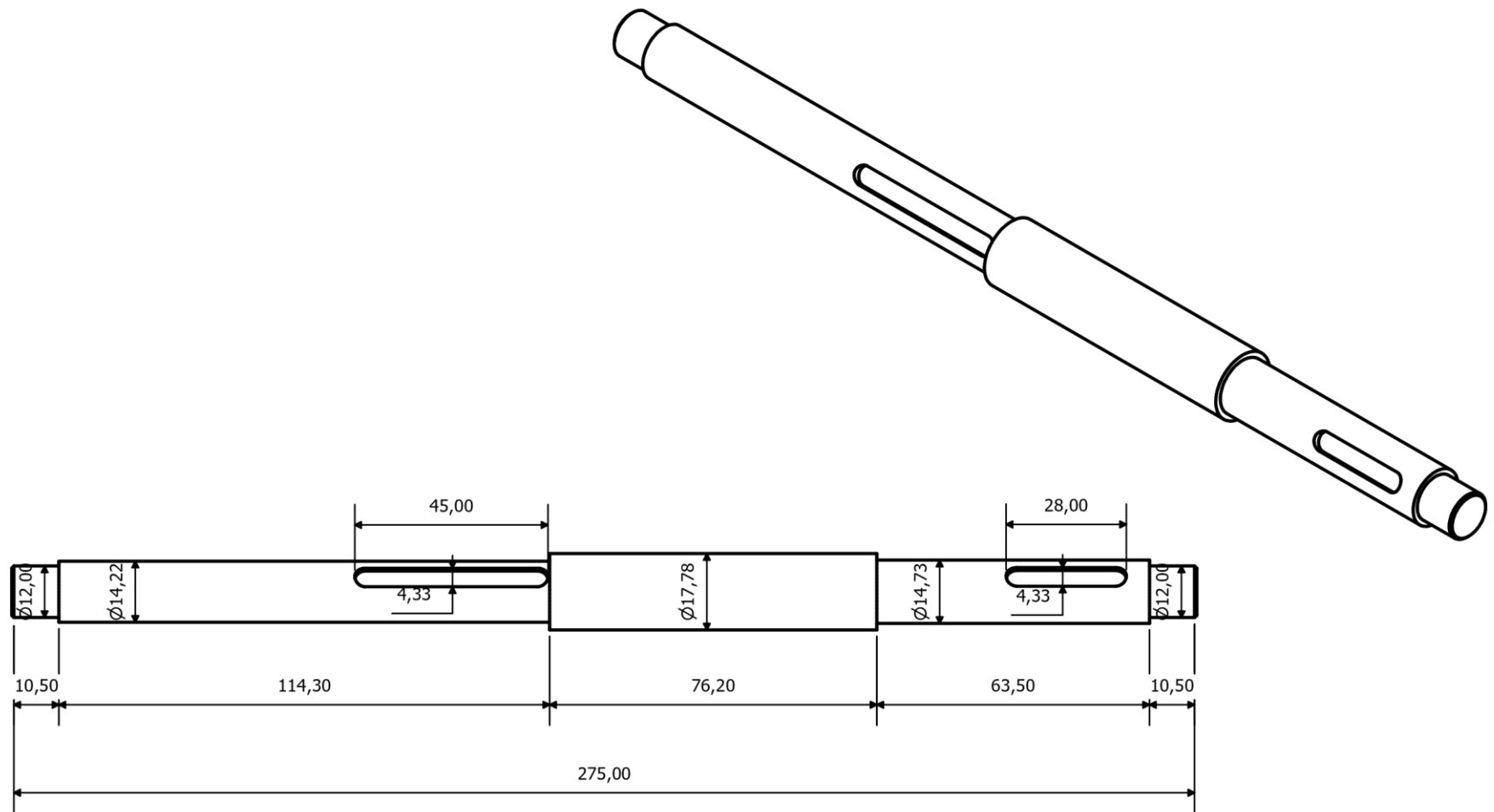
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Engranajes rectos		FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MEGA - ELECTRONICAS ED. 200. 50. 5P. 5S. P. 34. 4200
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:2	TÍTULO CONJUNTO:			MATERIAL::	
	3ra Etapa de Engranajes Rectos Piñón -Engrane			AISI 1144 OQT 1300		
Toler.				TRATAMIENTO TÉRMICO:		
Rug.				REVISIÓN DE PLANO:		



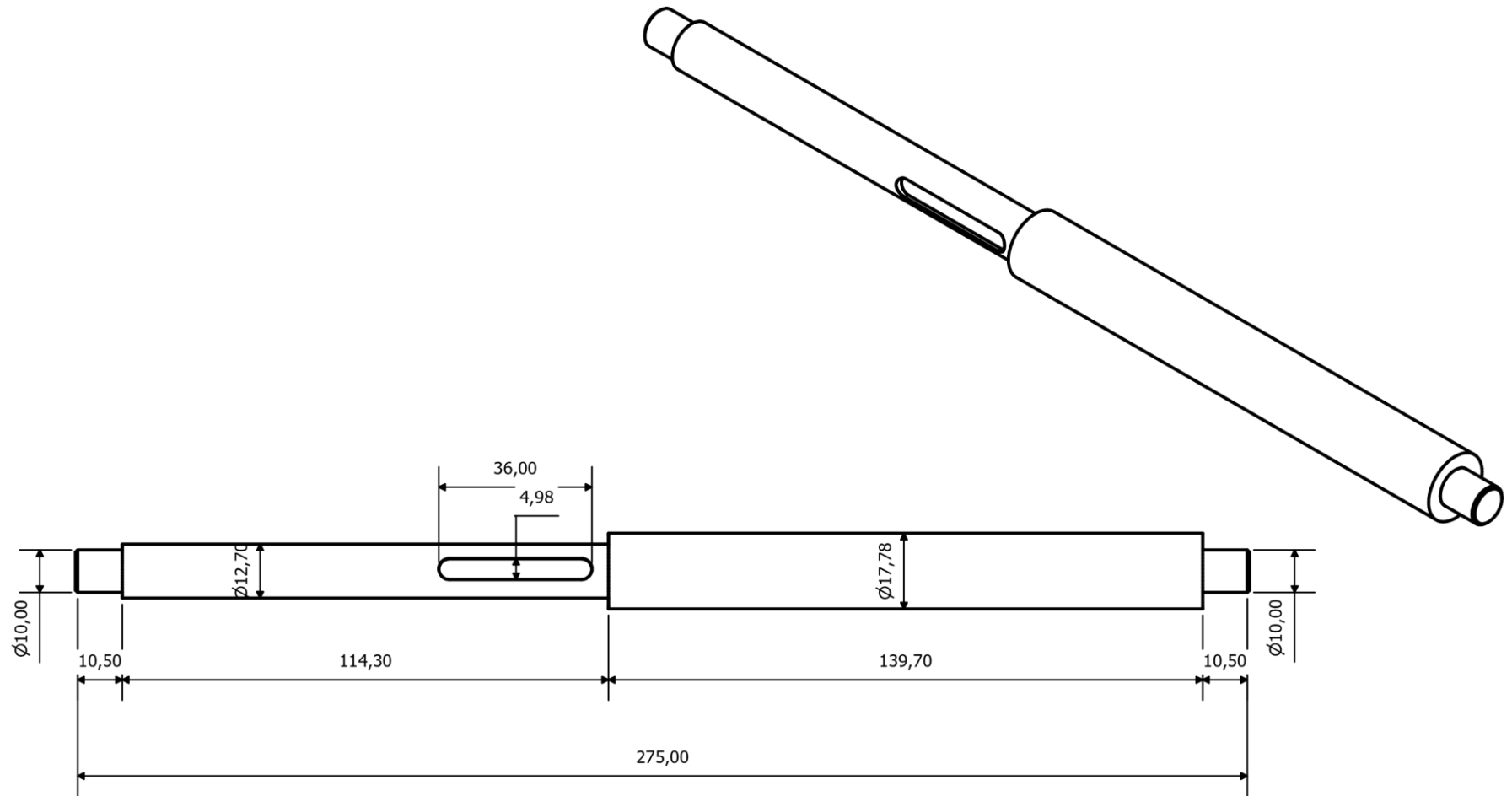
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Eje		
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:2	TÍTULO CONJUNTO: 1er Eje de entrada			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300	
					TRATAMIENTO TÉRMICO:	
	Toler. Rug.				REVISIÓN DE PLANO:	



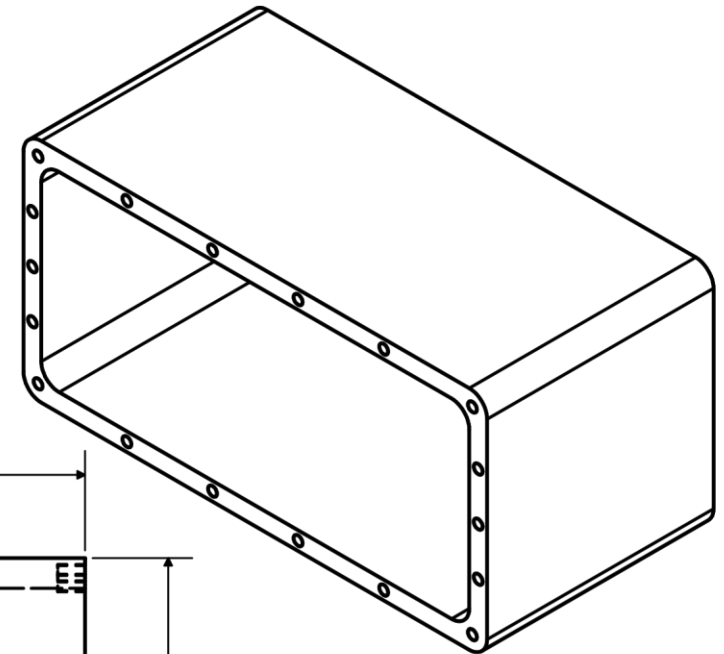
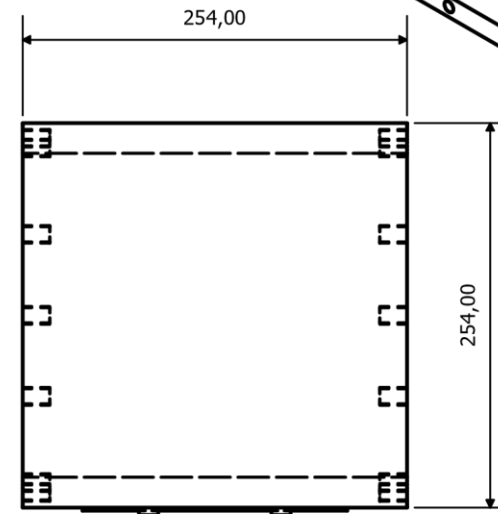
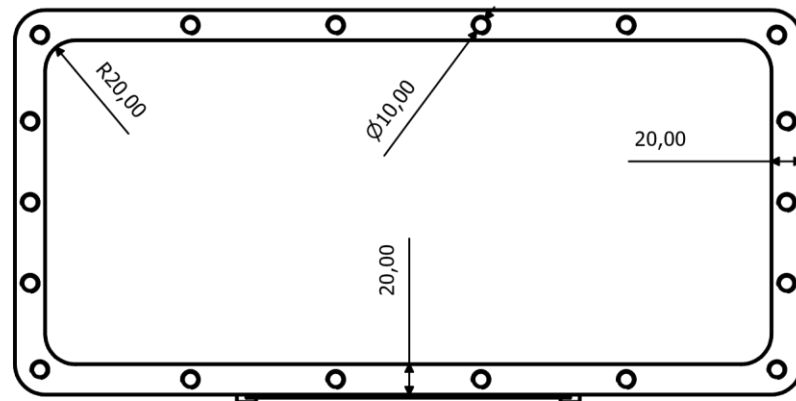
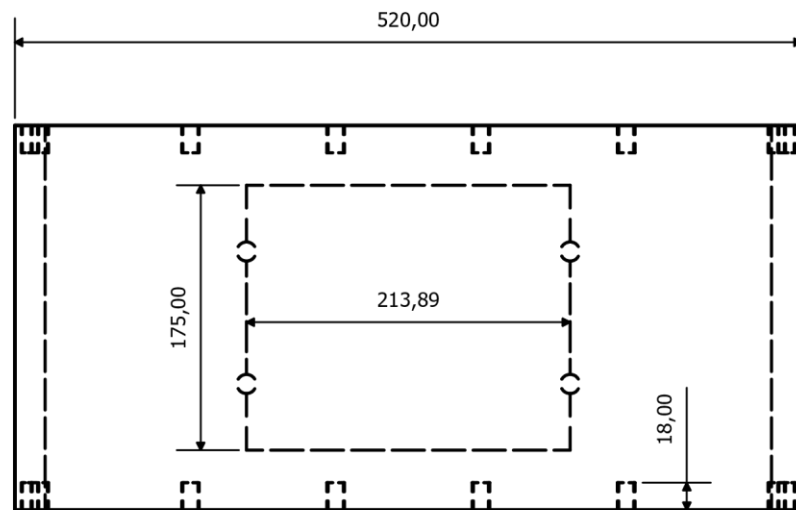
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Eje	FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS U. N. M. M. P. U. F. N. C. M.
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:2	TÍTULO CONJUNTO: 2da Eje			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300
					TRATAMIENTO TÉRMICO:
Toler. Rug.					REVISIÓN DE PLANO:



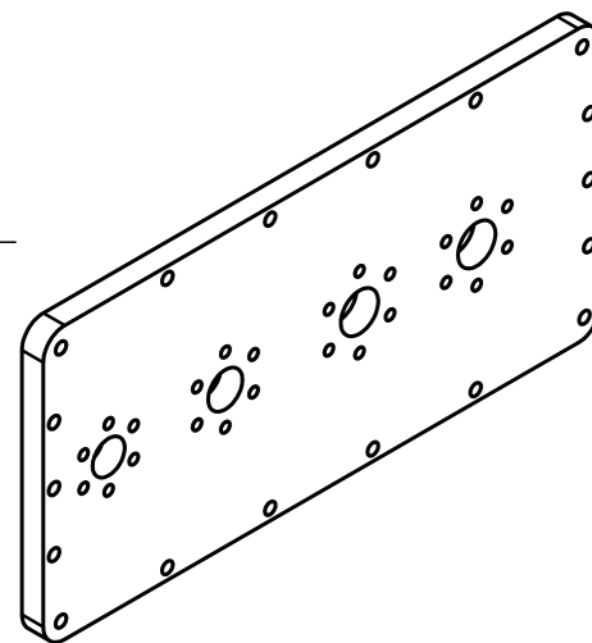
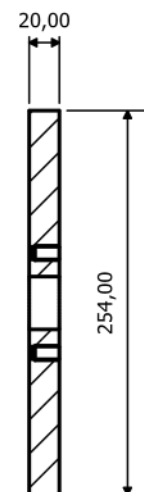
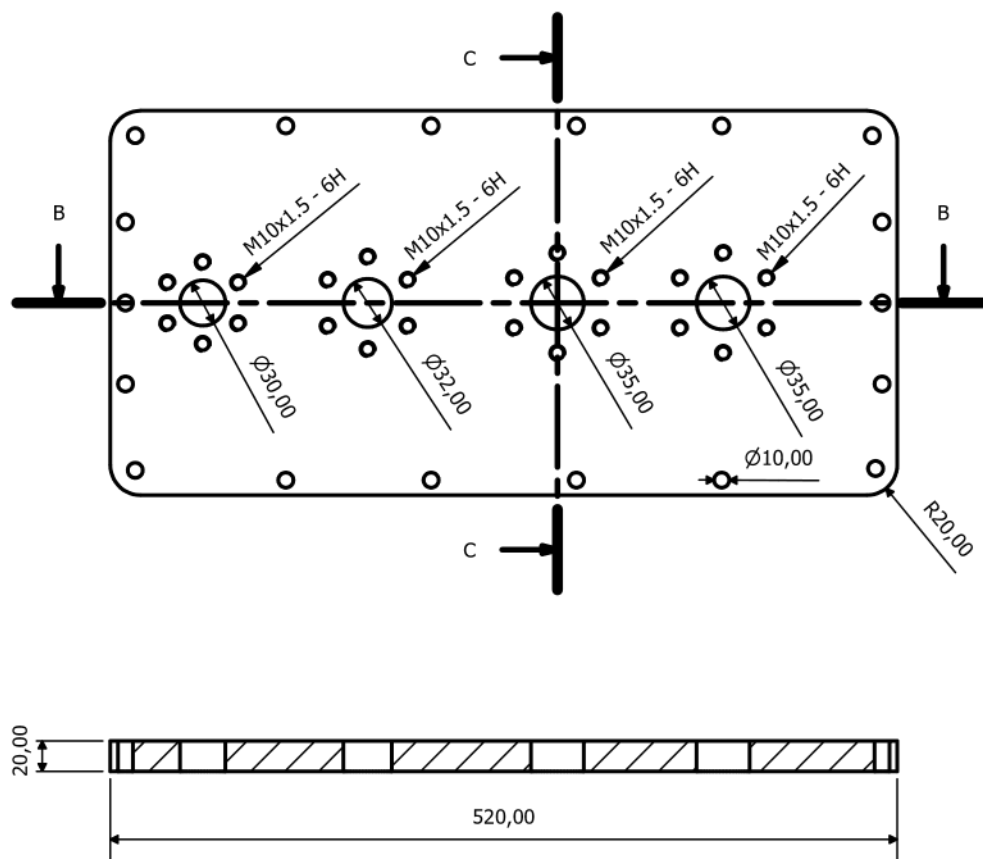
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Eje		
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:2	TÍTULO CONJUNTO: 3er Eje			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300	
					TRATAMIENTO TÉRMICO:	
	Toler. Rug.				REVISIÓN DE PLANO:	



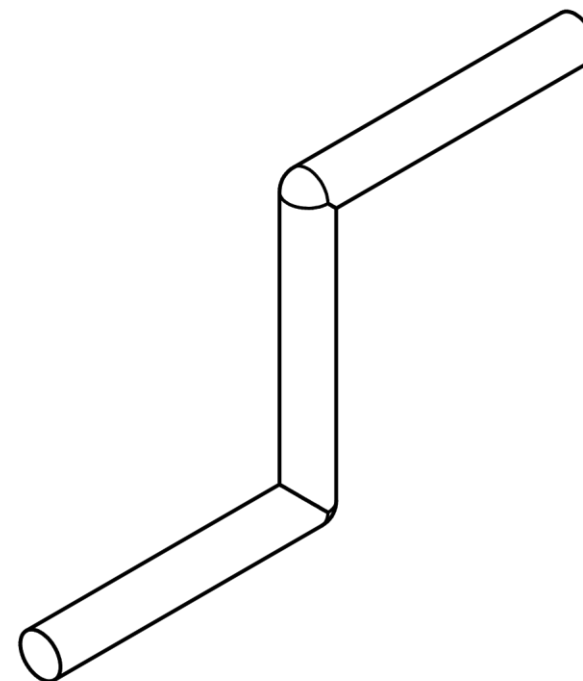
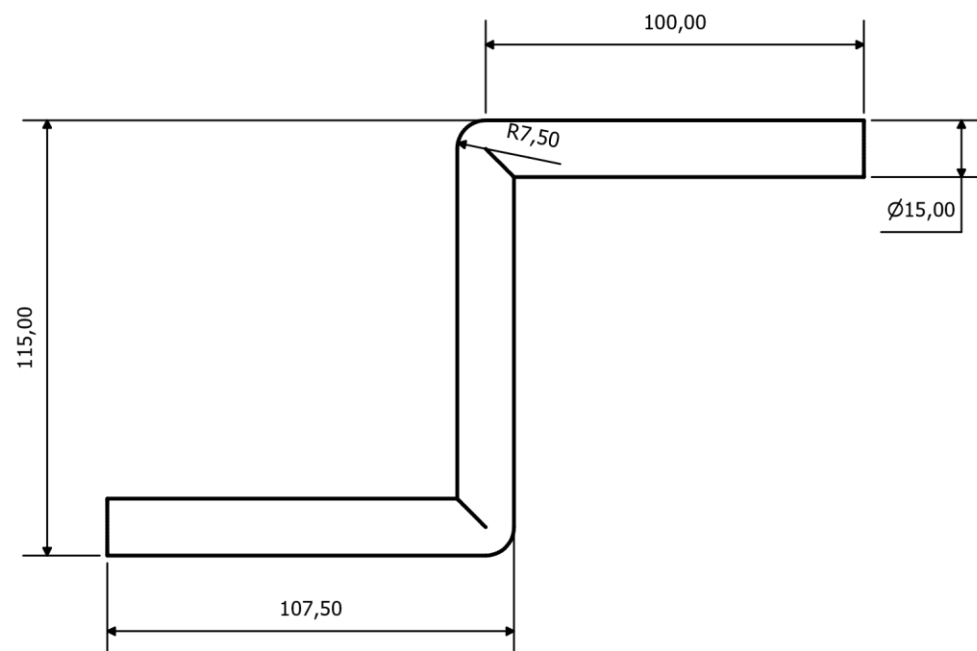
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Eje		
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:2	TÍTULO CONJUNTO: 4to Eje de salida			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300	
					TRATAMIENTO TÉRMICO:	
	Toler. Rug.				REVISIÓN DE PLANO:	



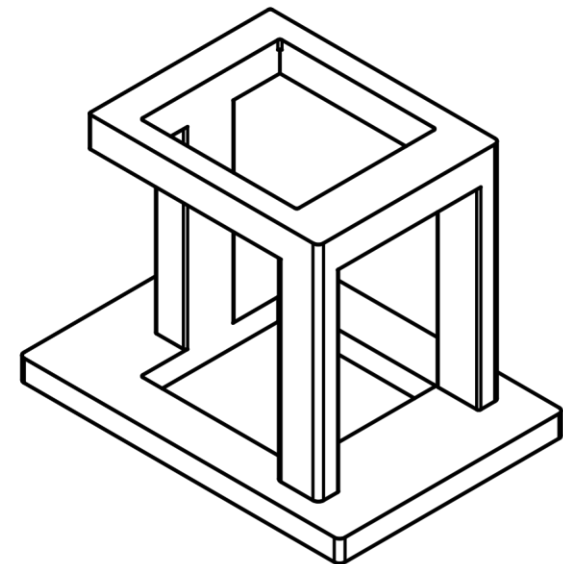
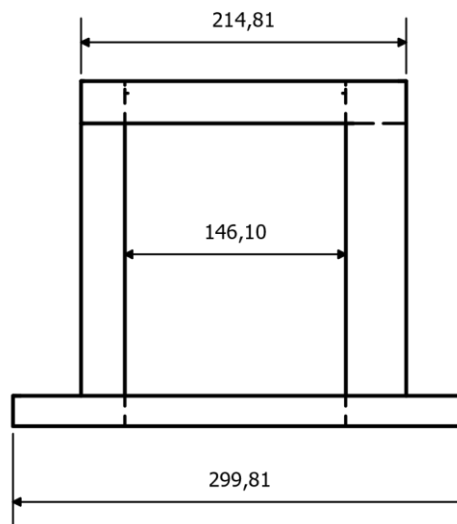
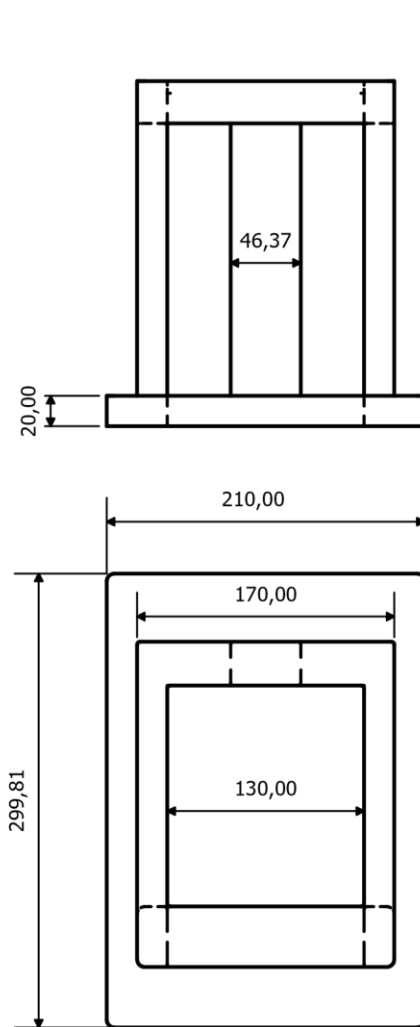
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Carcasa		
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:5	TÍTULO CONJUNTO:			MATERIAL::	
		Carcasa de la caja			AISI 1140 OQT 1300	
	Toler. Rug.				TRATAMIENTO TÉRMICO:	
				REVISIÓN DE PLANO:		



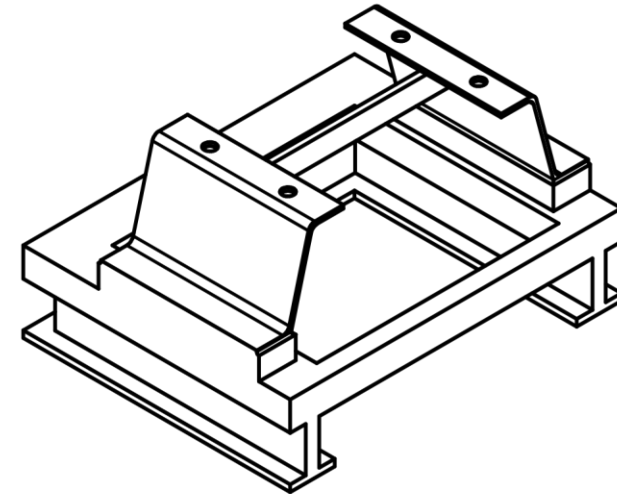
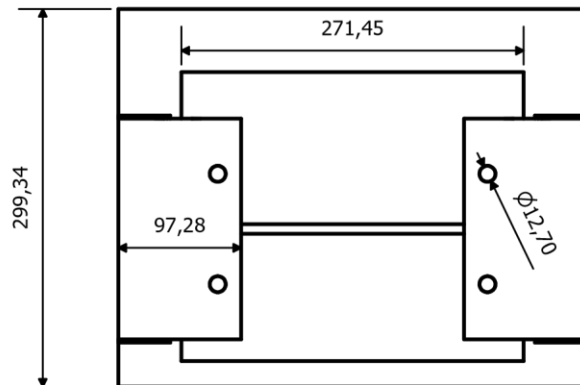
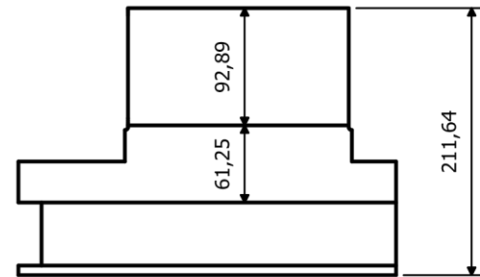
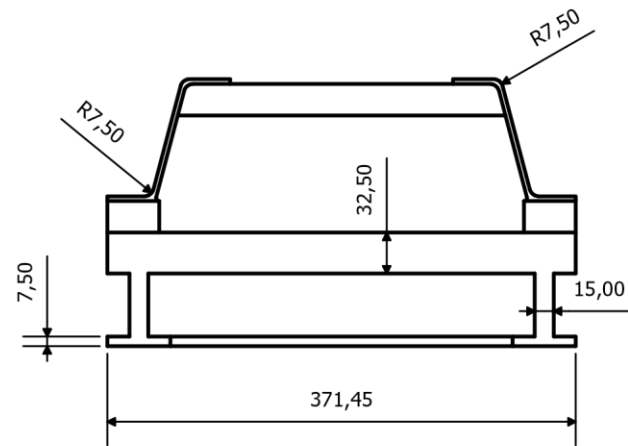
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Tapas N°1-2 de la Carcasa	 
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:5	TÍTULO CONJUNTO:			MATERIAL::
	Tapas laterales de la carcasa			AISI 1140 OQT 1300	
Toler.					TRATAMIENTO TÉRMICO:
Rug.					REVISIÓN DE PLANO:



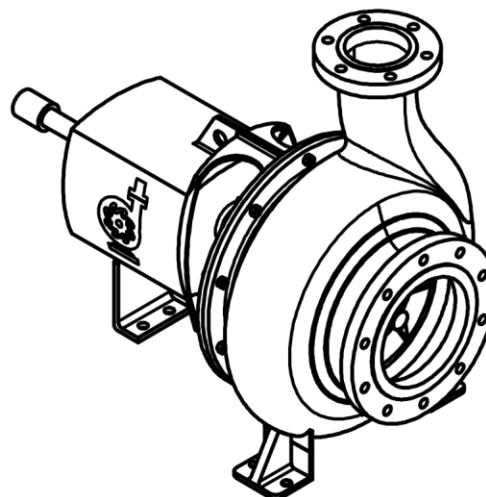
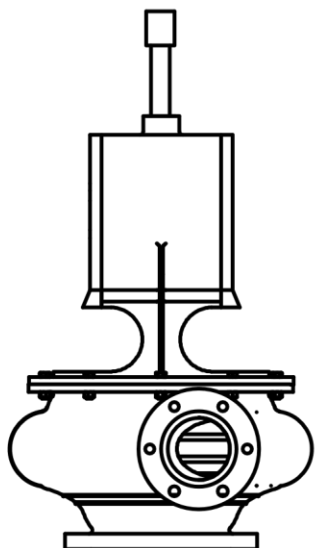
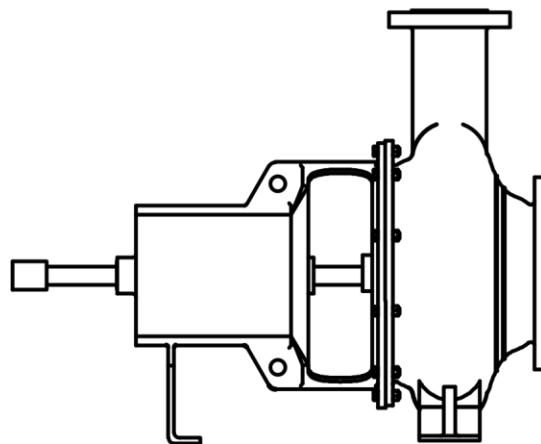
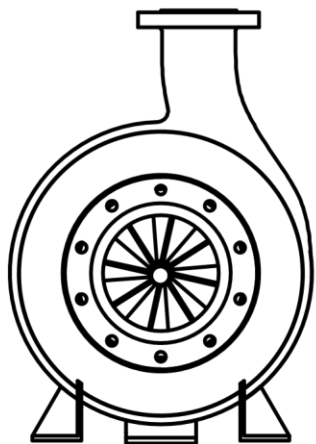
OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Manivela		
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:2	TÍTULO CONJUNTO: Mnivela de accionamiento manual de la Caja multiplicadora de velocidades			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300	
					TRATAMIENTO TÉRMICO:	
Toler. Rug.					REVISIÓN DE PLANO:	

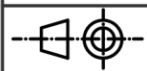


OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Soporte de la bomba centrífuga	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS M. M. R. P. S. F. N. C. M.
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:5	TÍTULO CONJUNTO:			MATERIAL:: AISI 1140 OQT 1300
		Base o soporte de la bomba centrífuga			TRATAMIENTO TÉRMICO:
	Toler. Rug.				REVISIÓN DE PLANO:



OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: Soporte de la Caja multiplicadora		FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS M. M. R. P. D. F. N. C. M.
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta			
	REVISADO:	15/04/24	Elvis			
	APROBADO:					
	Esc. 1:5	TÍTULO CONJUNTO:			MATERIAL::	
		Base o soporte de la Caja multiplicadora de velocidades			AISI 1140 OQT 1300	
	Toler.				TRATAMIENTO TÉRMICO:	
	Rug.				REVISIÓN DE PLANO:	



OBSERVACIONES:		Fecha	Nombre	TÍTULO DE PIEZA: bomba de agua	 FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS MECA - ELECTRONICAS CR. 004. 00. 07. 00. 0. 24. 000
	DIBUJADO:	15/04/24	Choque Huayta		
	REVISADO:	15/04/24	Elvis		
	APROBADO:				
	Esc. 1:1	TÍTULO CONJUNTO: Bomba centrífuga de agua de 0.5hp - 1750rpm			MATERIAL::
					
Toler.					
Rug.					
					TRATAMIENTO TÉRMICO:
					REVISIÓN DE PLANO:

ANEXO C:

COSTOS DE FABRICACION

La realización del presupuesto de este Proyecto está basada en la premisa de una estimación de precios aproximados, ya que los mismos registran variaciones, dependiendo de los diferentes proveedores que concurren en el mercado, así como de las empresas que manufacturen o mecanicen las partes.

Tenemos los siguientes costos de fabricación:

ENGRANAJES:

El coste de adquisición de material, así como la fabricación de los engranajes son:

Engrane en 1ra. Etapa – (A) (152,40 mm Ø – 38 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1144 OQT 1300	Kg	5,428	1,25	6,79
Torneado de Cubo y Laterales	h	2,25	23,00	51,75
Fresado de Dientes y Ranuras	h	2,90	30,00	87,00
Rectificado	h	1,70	36,00	61,20
Taladrado	h	0,20	15,00	3,00
Costo engrane A			TOTAL (Bs)	209,7

piñón en 1ra. Etapa – (B) (79.375 mm Ø - 38 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1144 OQT 1300	Kg	1,446	1,25	1,80
Torneado de Cubo y Laterales	h	1,20	23,00	27,60
Fresado de Dientes y Ranuras	h	2,10	30,00	63,00
Rectificado	h	0,90	36,00	32,40
Taladrado	h	0,20	15,00	3,00
Costo piñón B			TOTAL (Bs)	127,8

Engrane en 2da. Etapa – (C)
(187,33 mm Ø - 38 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1144 OQT 1300	Kg	8,219	1,25	10,27
Torneado de Cubo y Laterales	h	3,75	23,00	86,25
Fresado de Dientes y Ranuras	h	5,50	30,00	165,00
Rectificado	h	3,50	36,00	126,00
Taladrado	h	0,20	15,00	3,00
Costo Engrane C			TOTAL (Bs)	390,52

Piñón en 2da. Etapa – (D)
(76,2 mm Ø - 38 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1144 OQT 1300	Kg	1,26	1,25	1,58
Torneado de Cubo y Laterales	h	1,00	23,00	23,00
Fresado de Dientes y Ranuras	h	2,00	30,00	60,00
Rectificado	h	0,90	36,00	32,40
Taladrado	h	0,20	15,00	3,00
Costo piñón D			TOTAL (Bs)	119,98

Engrane en 3ra. Etapa – (E)
(171,45 mm Ø – 25,4 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1144 OQT 1300	Kg	4,576	1,25	5,73
Torneado de Cubo y Laterales	h	3,75	23,00	86,25
Fresado de Dientes y Ranuras	h	5,50	30,00	165,00
Rectificado	h	4,00	36,00	144,00
Taladrado	h	0,20	15,00	3,00
Costo engrane E			TOTAL (Bs)	398,98

piñón en 3ra. Etapa – (F)
(55,05 mm Ø – 25,4 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1144 OQT 1300	Kg	0,416	1,25	0,52
Torneado de Cubo y Laterales	h	0,60	23,00	13,80
Fresado de Dientes y Ranuras	h	1,10	30,00	33,00
Rectificado	h	0,40	36,00	14,40
Taladrado	h	0,20	15,00	3,00
Costo piñón F			TOTAL (Bs)	64,72

EJES DE LA CAJA MULTIPLICADORA:

Para la fabricación de los ejes se utiliza un acero AISI 1040 OQT 1300, a continuación, se presenta un cuadro contentivo de la cantidad de material a emplear en cada eje del multiplicador de velocidad, así como los diferentes tipos de mecanizados y el tiempo requerido por cada eje.

Eje de entrada 1 (20 mm Ø - 275 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1040 OQT 1300	kg	0,68	1,45	0,99
Torneado	h	2,50	23,00	57,50
Fresado	h	3,50	30,00	105,00
Rectificado	h	2,10	36,00	75,60
Taladrado	h	0,70	15,00	10,50
Costo eje de entrada 1			TOTAL (Bs)	249,59

Eje intermedio 2 (22 mm Ø - 275 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1040 OQT 1300	kg	0,82	1,45	1,19
Torneado	h	1,10	23,00	25,30
Fresado	h	1,50	30,00	45,00
Rectificado	h	0,90	36,00	32,40
Taladrado	h	0,00	15,00	0,00
Costo eje intermedio 2			TOTAL (Bs)	103,89

Eje intermedio 3 (18 mm Ø - 275 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1040 OQT 1300	kg	0,54	1,45	0,78
Torneado	h	1,10	23,00	25,30
Fresado	h	1,50	30,00	45,00
Rectificado	h	0,90	36,00	32,40
Taladrado	h	0,00	15,00	0,00
Costo eje intermedio 3			TOTAL (Bs)	103,48

Eje de salida 4
(18 mm Ø - 275 mm L)

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero AISI 1040 OQT 1300	kg	0,54	1,45	0,78
Torneado	h	0,85	23,00	19,55
Fresado	h	1,00	30,00	30,00
Rectificado	h	0,60	36,00	21,60
Taladrado	h	0,20	15,00	3,00
Costo eje de entrada 4			TOTAL (Bs)	106,4

CARCASA Y TAPAS

Para la fabricación de la carcasa y de las tapas necesarias para el cierre del conjunto, se empleará acero fundido o de fundición gris, por lo que también es necesario la realización de un molde, bien sea en arena o bien una coquilla metálica.

Carcasa o cuerpo de la caja

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero de Fundición Gris	Kg	6,00	1,35	8,10
Modelo de Arena y Moldeo	Ud	1,00	250,00	250,00
Colada	Ud	2,00	45,00	90,00
Fresado	h	1,50	30,00	45,00
Taladrado y Roscado Agujeros	h	1,85	15,00	27,75
Costo de carcasa			TOTAL (Bs)	420,85

Tapas (N°1-2) de eje de entrada 1

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero de Fundición Gris	Kg	8,12	1,35	10,96
Modelo de Arena y Moldeo	Ud	1,00	35,00	35,00
Colada	Ud	1,00	45,00	45,00
Fresado	h	0,70	30,00	21,00
Taladrado y Roscado Agujeros	h	1,40	15,00	21,00
Costo de tapas (N°1-2) de eje entrada			TOTAL (Bs)	132,96

Tapas (N°3-4) de eje intermedio 2

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero de Fundición Gris	Kg	8,12	1,35	10,96
Modelo de Arena y Moldeo	Ud	1,00	35,00	35,00
Colada	Ud	1,00	45,00	45,00
Fresado	h	0,70	30,00	21,00
Taladrado y Roscado Agujeros	h	1,40	15,00	21,00
Costo de tapas (N°3-4) de eje intermedio			TOTAL (Bs)	132,96

Tapas (N°5-6) de eje intermedio 3

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero de Fundición Gris	Kg	3,50	1,35	4,73
Modelo de Arena y Moldeo	Ud	1,00	25,00	25,00
Colada	Ud	1,00	45,00	45,00
Fresado	h	0,50	30,00	15,00
Taladrado y Roscado Agujeros	h	1,00	15,00	15,00
Costo de tapas (N°5-6) de eje intermedio			TOTAL (Bs)	104,73

Tapas (N°7-8) de eje de salida 4

PROCESO / MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Acero de Fundición Gris	Kg	1,53	1,35	2,07
Modelo de Arena y Moldeo	Ud	1,00	15,00	15,00
Colada	Ud	1,00	45,00	45,00
Fresado	h	0,30	30,00	9,00
Taladrado y Roscado Agujeros	h	1,00	15,00	15,00
Costo de tapas (N°7-8) de eje de salida			TOTAL (Bs)	86,07

MATERIALES NORMALIZADOS

En el mercado local existe una amplia y variada red de proveedores, los cuales a su vez comercializan una diversidad de productos de diferentes fabricantes y se encontrarán distintas marcas. Por ello se existirán en el mercado una oscilación de precios en los distintos materiales normalizados requeridos para armar el Multiplicador de Velocidad planteado en este diseño.

Materiales normalizados

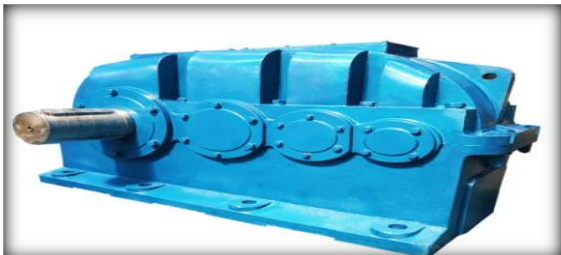
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO (Bs)	TOTAL (Bs)
Rodamiento Rígido de Bolas SKF 6002	Ud	4	60,00	240,00
Rodamiento Rígido de Bolas SKF 6201	Ud	2	65,00	130,00
Rodamiento Rígido de Bolas SKF 6200	Ud	2	56,00	112,00
Juntas de labios para eje 35x80x12 HMSA 10 RG	Ud	1	18,00	18,00
Juntas de labios para eje 85x150x12 HMSA 10 RG	Ud	1	18,00	18,00
Chavetas paralelas delgadas ISO 2491-A 6 X 4 X 45	Ud	6	10,00	60,00
Pernos hexagonal AS 1110 - M10 x 35	Ud	36	1,00	36,00
Pernos hexagonal AS 1110 - M10 x 25	Ud	48	1,00	48,00
TOTAL (Bs)				644,00

COSTOS Y PRESUPUESTOS TOTAL DEL DISEÑO DE LA CAJA MULTIPLICADORA DE VELOCIDADES:

Cantidad	Presupuestó	Bolivianos (Bs)
4	Engranajes	1311,70
4	Ejes de la caja multiplicadora	563,36
1	carcasa	420,85
8	Tapas de los ejes	913,44
-	Materiales normalizados	644,00
TOTAL (Bs)		3853,35 Bs
TOTAL (\$)		550 \$

COMPARACIÓN DE COSTOS:

Made-in-ChinaTM Connecting Buyers with Chinese Suppliers		
Detalles del producto		
Pedido mínimo	1 pieza	
Precio FOB	US\$ 350,00 -1.000,00/PIEZA	
Puerto	Qingdao, China	
Condiciones de pago	LC, T/T, D/P, Western Unión PayPal, Pago de pequeña cantidad	
Características del producto		
1	El nombre de producto	El reductor multiplicador
2	La velocidad de entrada	200-1800r/min.
3	El par de salida	1.5-2430N.M
4	La potencia nominal	0.25-7.5kw
5	La eficiencia	El 94%-98%
6	La temperatura	40-45°C
7	El peso	26kg.
8	Proporción	1:30
9	La velocidad de salida	48r/min

		
Caja de engranajes multiplicador de velocidad		
Detalles del producto		
Pedido mínimo	1 pieza	
Precio FOB	US\$ 800,00 -1.000,00/juego	
Lugar de origen	Shandong, China	
Condiciones de pago	LC, T/T, D/P, Western Union PayPal, Pago de pequeña cantidad	
		Nombre de la marca: TIANQI
Características del producto		
1	Industrias aplicables	Planta de fabricación, fábrica de alimentos y bebidas, trabajos de construcción, energía y minería, caja de engranajes reductores de caja de cambios de grúa reductora de alta velocidad
2	La velocidad de entrada	600-1500rpm
3	El par de salida	375~519520Nm
4	La potencia nominal	0.25-7.5kw
5	La eficiencia	El 94%-98%
6	Temperatura de trabajo	-40~45°C
7	El peso	50.000 kg
8	Proporción	1:30
9	La velocidad de salida	1.5~1200rpm

ANEXO D:

DETALLES DE LOS DATOS Y PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS

FORMULAS PARA LOS EJES:

Fórmulas: Se mencionarán las fórmulas que se utilizan para el diseño de los ejes los cuales son:

formula de diámetros:

$$d = \sqrt{2.94 * \frac{Kt*V*N}{Sn'}}$$

formula de diámetros:

$$d = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{Kt*M}{Sn'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right)^{1/3}$$

Otra manera también es:

$$d = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right)^{1/3}$$

formula de momento total:

$$M_t = \sqrt{M1^2 + M2^2}$$

formula de cortante total:

$$V_t = \sqrt{V1^2 + V2^2} \dots\dots\dots \text{(carga radial)}$$

formula del torque:

$$T = 63000 * \frac{HP}{n}$$

Datos obtenidos:

Son datos que se obtuvieron y se usarán en la solución de los ejes.

El acero para los ejes es:

AISI 1040 OQT 1300

Resistencia de fluencia (Sy) = 61Ksi

Resistencia a la tensión (Su) = 88Ksi

Dureza Brinell (HB) = 183

Resistencia a la fatiga:

$$S_n' = S_n * C_r * C_m * C_s$$

Los valores mencionados son calculados del texto guía de la materia:

$$S_n = 35, C_r = 0.81, C_m = 1.00, C_s = 0.85$$

$$\text{Por tanto: } S_n' = 35 * 0.81 * 1.00 * 0.85 = 24.098 \text{ Ksi.} = 24098 \text{ Psi}$$

Factor de diseño: **N=2**

$$K_t = 2.5 \text{ (Para lugares donde se ensamblará rodamientos)}$$

$$K_t = 2 \text{ (Cuñero perfil- Para lugares donde se ensamblará engranajes)}$$

PROCEDIMIENTO DE DIMENSIONAMIENTO DE LOS EJES

1ER EJE DE ENTRADA

Datos del primer eje:

$$T = 63000 * \frac{1}{100} = 630 \text{ lbf.in}$$

A = Engrane

$$W_t (\text{engrane}) = 240 \text{ lbf}$$

$$W_r (\text{engrane}) = 87.353 \text{ lbf}$$

$$D_A = 4.2 \text{ in}$$

$$F = 1.5 \text{ in}$$

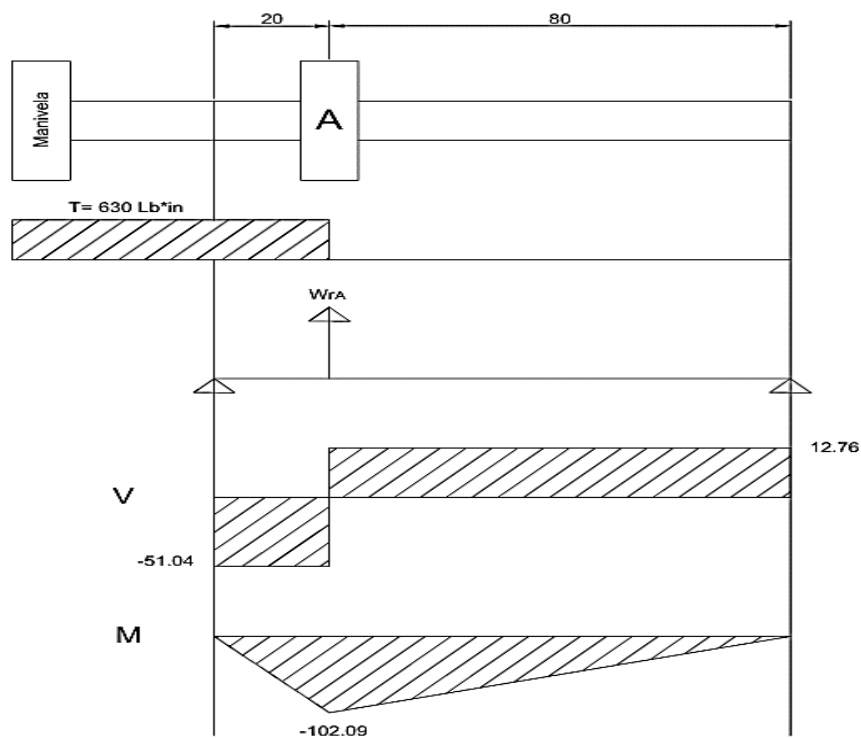
MATERIAL AISI 1040 OQT 1300

$$S_y = 61000 \text{ psi} \quad S_u = 88000 \text{ psi}$$

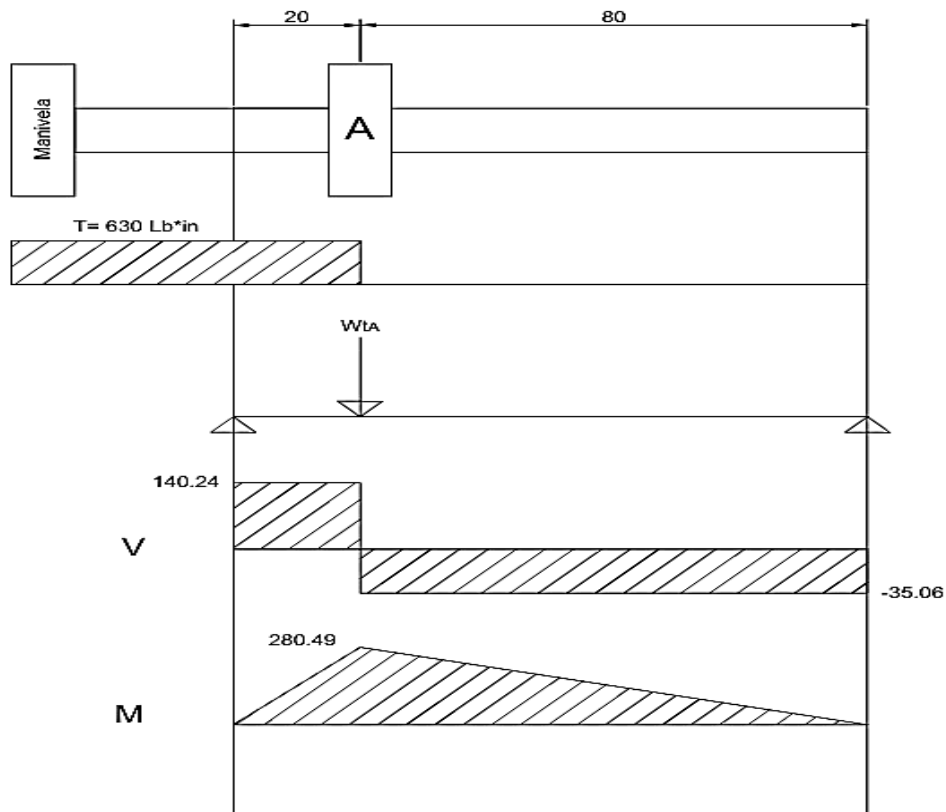
$$\text{Resistencia a la fatiga} = S_n' = S_n * C_r * C_m * C_s$$

$$S_n' = 24098 \text{ psi}$$

CARGAS EN EL PLANO "XY"



CARGAS EN EL PLANO "XZ"



SECCION A-A

$$T = 630 \text{ lb.in} ; \quad M = 0$$

$$K_t = 2.5$$

$$D_{R1} = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S_n'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D_{R1} = \left(\frac{32 \cdot 2}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{630}{61000} \right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D_{R1} = 0.57 \text{ in (RODAMIENTO 1)}$$

SECCION B-B

$$T = 630 \text{ lb.in} ; \quad M = \sqrt{(102.09)^2 + (280.49)^2}$$

$$K_t = 2 \quad M = 298.49 \text{ lb.in}$$

$$D_{E1} = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t M}{S_n'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{32 \cdot 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 298.49}{24098} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{630}{61000} \right)^2} \right)^{1/3} =$$

$$= 0.81 \text{ in (ENGRANAJE A)}$$

SECCION C-C

$$T=0 \quad ; \quad M=0$$

$$Kt=2.5 \quad ; \quad V=\sqrt{(12.76)^2 + (35.06)^2}$$

$$V=37.31 \text{ lb}$$

$$D_{R2} = \sqrt{2.94 * \frac{Kt*V*N}{Sn'}} = \sqrt{2.94 * \frac{2.5*37.31*2}{24098}} = 0.14 \text{ in (RODAMIENTO 2)}$$

2DO EJE INTERMEDIO

Datos del segundo eje:

$$T = 63000 * \frac{1}{200} = 315 \text{ lbf.in}$$

B = Piñon

Wt (piñon) = 240 lbf

Wr (piñon) = 87.353 lbf

$D_C = 2.1 \text{ in}$

F = 1.2 in

C = Engrane

Wt (engrane) = 69.644 lbf

Wr (engrane) = 25.348 lbf

$D_B = 7.125 \text{ in}$

F = 1.5 in

MATERIAL AISI 1040 OQT 1300

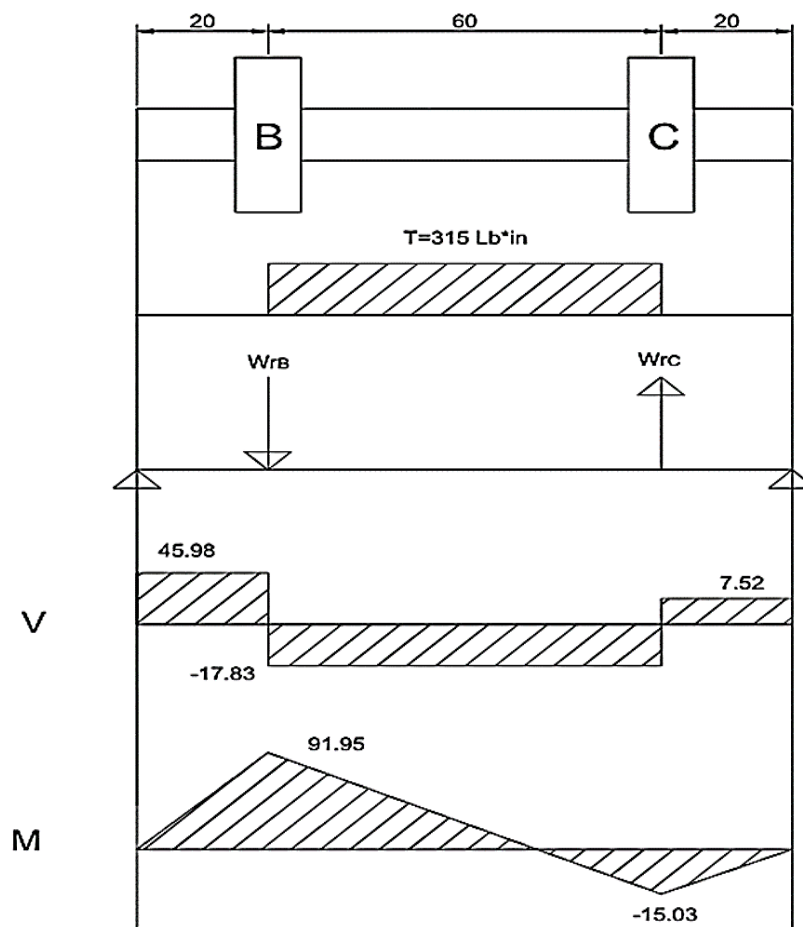
Sy = 61000 psi

Su = 88000 psi

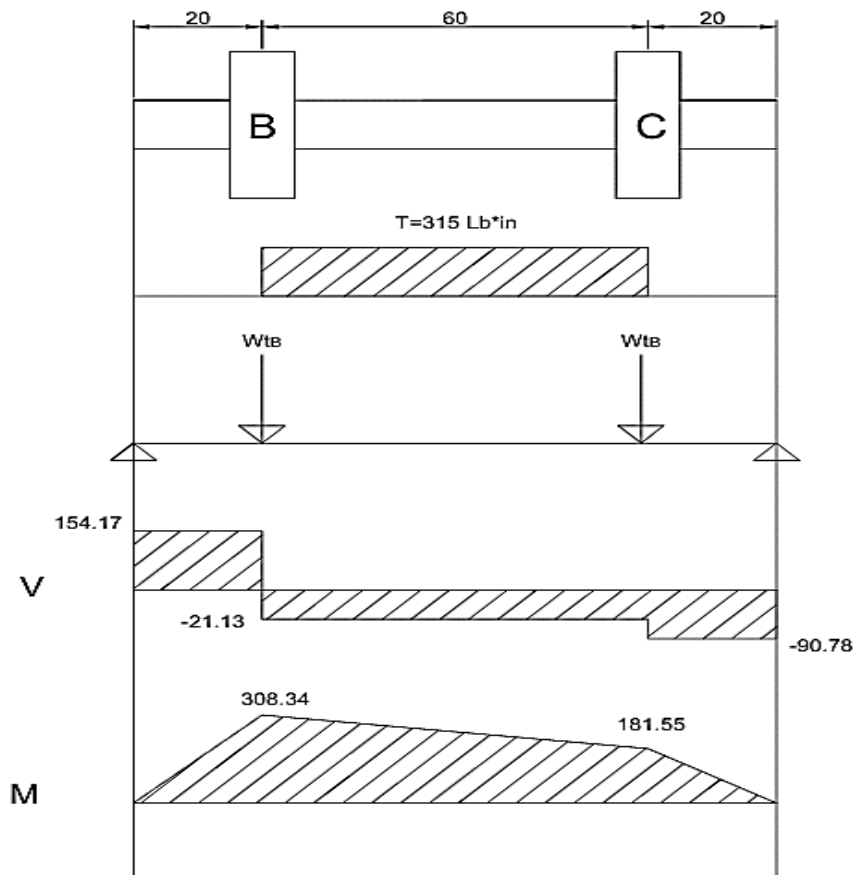
Resistencia a la fatiga = $S_n' = S_n * C_r * C_m * C_s$

$S_n' = 24098 \text{ psi}$

CARGAS EN EL PLANO "XY"



CARGAS EN EL PLANO "XZ"



SECCION A-A

$$T = 0 \quad ; \quad M = 0$$

$$K_t = 2.5 \quad ; \quad V = \sqrt{(45.98)^2 + (154.17)^2}$$

$$V = 161 \text{ lb}$$

$$D_{R3} = \sqrt{2.94 * \frac{K_t * V * N}{S_n}} = \sqrt{2.94 * \frac{2.5 * 161 * 2}{24098}} = 0.28 \text{ in (RODAMIENTO 3)}$$

SECCION B-B

$$T = 315 \text{ lb.in} \quad ; \quad M = \sqrt{(91.95)^2 + (308.34)^2}$$

$$K_t = 2 \quad ; \quad M = 322 \text{ lb.in}$$

$$D_{E2} = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2 * 322}{24098} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{315}{61000} \right)^2} \right)^{1/3} =$$

$$= 0.76 \text{ in (ENGRANAJE B)}$$

SECCION C-C

$$T = 315 \text{ lb.in} \quad ; \quad M = \sqrt{(15.03)^2 + (181.55)^2}$$

$$Kt = 2 \quad ; \quad M = 182 \text{ lb.in}$$

$$D_{E3} = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{Kt \cdot M}{Sn'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{32 \cdot 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 182}{24098} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{315}{61000} \right)^2} \right)^{1/3} =$$
$$= 0.64 \text{ in (ENGRANAJE C)}$$

SECCION D-D

$$T = 0 \quad ; \quad M = 0$$

$$Kt = 2.5 \quad ; \quad V = \sqrt{(7.52)^2 + (90.78)^2}$$

$$V = 91 \text{ lb}$$

$$D_{R4} = \sqrt{2.94 \cdot \frac{Kt \cdot V \cdot N}{Sn'}} = \sqrt{2.94 \cdot \frac{2.5 \cdot 91 \cdot 2}{24098}} = 0.24 \text{ in (RODAMIENTO 4)}$$

3ER EJE INTERMEDIO

datos del segundo eje:

$$T = 63000 * \frac{1}{526.31} = 119.70 \text{ lbf.in}$$

D = Piñón

E = Engrane

$$W_t (\text{piñón}) = 69.644 \text{ lbf}$$

$$W_t (\text{engrane}) = 28.728 \text{ lbf}$$

$$W_r (\text{piñón}) = 25.348 \text{ lbf}$$

$$W_r (\text{engrane}) = 10.456 \text{ lbf}$$

$$D_D = 2.75 \text{ in}$$

$$D_E = 6.583 \text{ in}$$

$$F = 1.5 \text{ in}$$

$$F = 1 \text{ in}$$

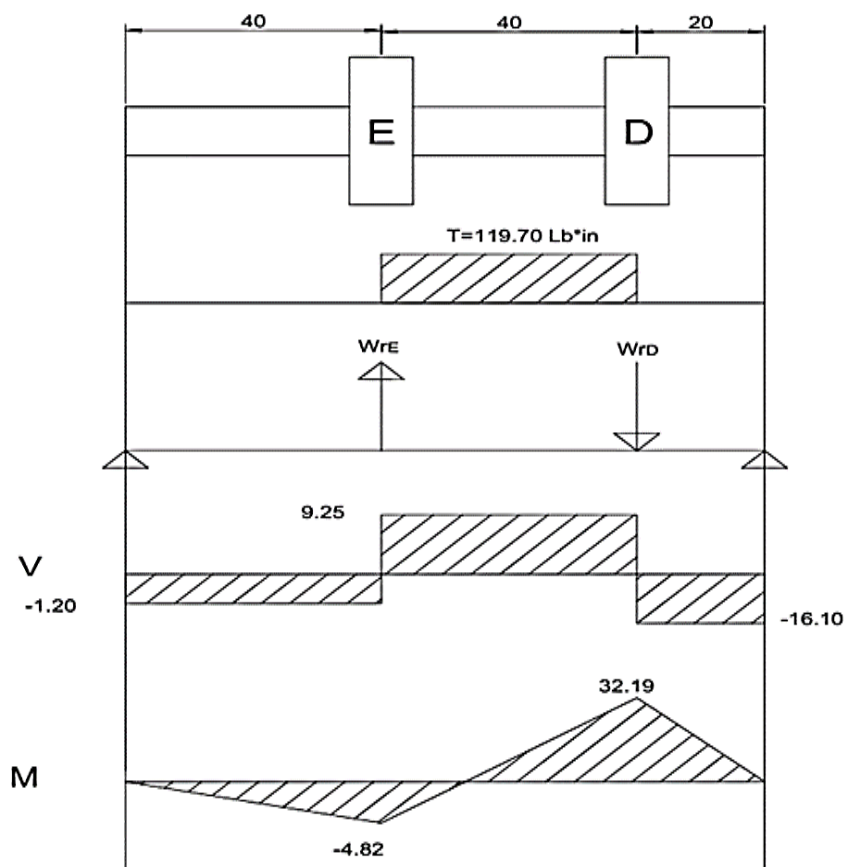
MATERIAL AISI 1040 OQT 1300

$$S_y = 61000 \text{ psi} \quad S_u = 88000 \text{ psi}$$

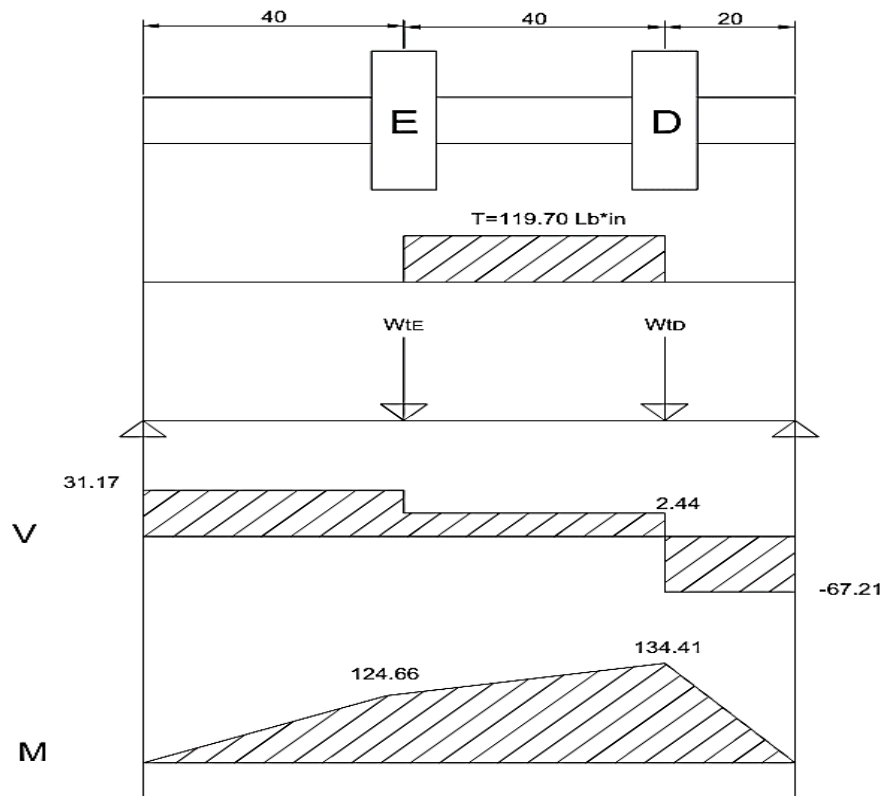
$$\text{Resistencia a la fatiga} = S_n' = S_n * C_r * C_m * C_s$$

$$S_n' = 30000 \text{ psi}$$

CARGAS EN EL PLANO "XY"



CARGAS EN EL PLANO "XZ"



SECCION A-A

$$T = 0 \quad ; \quad M = 0$$

$$K_t = 2.5 \quad ; \quad V = \sqrt{(1.20)^2 + (31.17)^2}$$

$$V = 31.20 \text{ lb}$$

$$D_{R5} = \sqrt{2.94 * \frac{K_t * V * N}{S_n'}} = \sqrt{2.94 * \frac{2.5 * 31.20 * 2}{24098}} = \mathbf{0.13 \text{ in (RODAMIENTO 5)}}$$

SECCION B-B

$$T = 119.70 \text{ lb.in} \quad ; \quad M = \sqrt{(4.82)^2 + (124.66)^2}$$

$$K_t = 2 \quad ; \quad M = 124.75 \text{ lb.in}$$

$$D_{E4} = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_n'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2 * 124.75}{24098} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{119.70}{61000} \right)^2} \right)^{1/3} =$$

$$\mathbf{= 0.56 \text{ in (ENGRANAJE E)}}$$

SECCION C-C

$$T = 119.70 \text{ lb.in} \quad ; \quad M = \sqrt{(32.19)^2 + (134.41)^2}$$

$$Kt = 2 \quad ; \quad M = 138.21 \text{ lb.in}$$

$$D_{E3} = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{Kt \cdot M}{Sn'} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{Sy} \right)^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{32 \cdot 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 138.21}{24098} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{119.70}{61000} \right)^2} \right)^{1/3} =$$

=0.58 in (ENGRANAJE D)

SECCION D-D

$$T = 0 \quad ; \quad M = 0$$

$$Kt = 2.5 \quad ; \quad V = \sqrt{(16.10)^2 + (67.21)^2}$$

$$V = 69.11 \text{ lb}$$

$$D_{R6} = \sqrt{2.94 \cdot \frac{Kt \cdot V \cdot N}{Sn'}} = \sqrt{2.94 \cdot \frac{2.5 \cdot 69.11 \cdot 2}{24098}} = \mathbf{0.19 \text{ in (RODAMIENTO 6)}}$$

4TO EJE SALIDA

Datos del cuarto eje:

$$T = 63000 * \frac{1}{1754.36} = 35.910 \text{ lbf.in}$$

F = Piñón

$$W_t (\text{piñón}) = 28.728 \text{ lbf}$$

$$W_r (\text{piñón}) = 10.456 \text{ lbf}$$

$$D_F = 2 \text{ in}$$

$$F = 1 \text{ in}$$

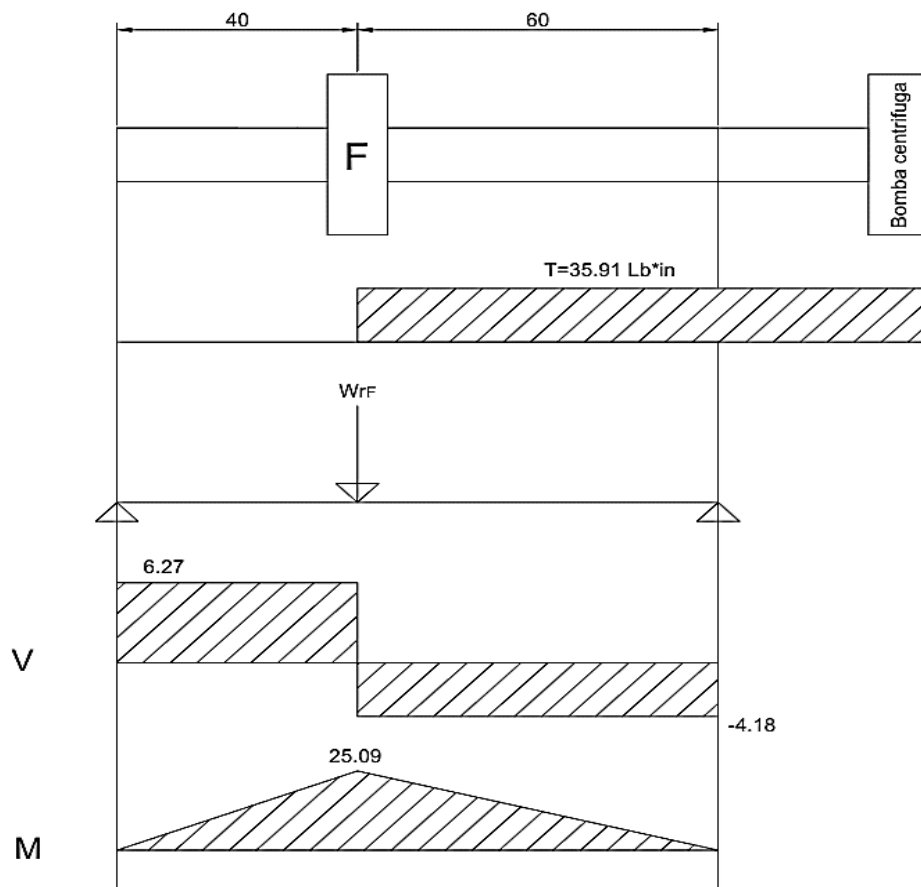
MATERIAL AISI 1040 OQT 1300

$$S_y = 61000 \text{ psi} \quad S_u = 88000 \text{ psi}$$

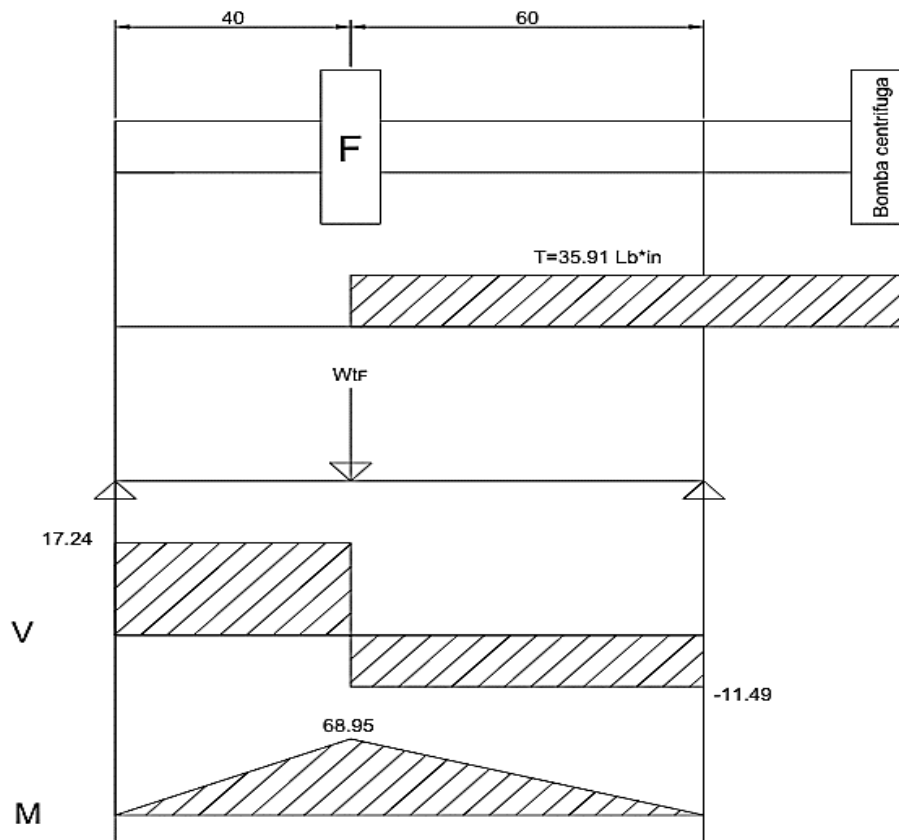
$$\text{Resistencia a la fatiga} = S_n' = S_n * C_r * C_m * C_s$$

$$S_n' = 24098 \text{ psi}$$

CARGAS EN EL PLANO "XY"



CARGAS EN EL PLANO "XZ"



SECCION A-A

$$T = 0 \quad ; \quad M = 0$$

$$K_t = 2.5 \quad ; \quad V = \sqrt{(6.27)^2 + (17.24)^2}$$

$$V = 18.35 \text{ lb}$$

$$D_{R7} = \sqrt{2.94 * \frac{K_t * V * N}{S_{n'}}} = \sqrt{2.94 * \frac{2.5 * 18.35 * 2}{24098}} = 0.1 \text{ in (RODAMIENTO 7)}$$

SECCION B-B

$$T = 35.910 \text{ lb}\cdot\text{in} \quad ; \quad M = \sqrt{(1876.6)^2 + (7059.39)^2}$$

$$K_t = 2 \quad ; \quad M = 7304.5 \text{ lb}\cdot\text{in}$$

$$D_{E4} = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_{n'}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3} = \left(\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left(\frac{2 * 7304.5}{24098} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{11977.18}{61000} \right)^2} \right)^{1/3} =$$

$$= 0.40 \text{ in (ENGRANAJE F)}$$

SECCION C-C

$$T = 35.910 \text{ lb.in} \quad ; \quad M = 0$$

$$K_t = 2$$

$$D_{R8} = \left(\frac{32N}{\pi} \sqrt{\left(\frac{K_t * M}{S_{n'}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D_{R8} = \left(\frac{32*2}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{35.910}{61000} \right)^2} \right)^{1/3}$$

$$D_{R8} = 0.3 \text{ in (RODAMIENTO 8)}$$

PROCEDIMIENTOS DE SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Tabla D-1: Datos de los cálculos ya obtenidos de los ejes

Diámetro de eje (mm)	Diámetro crítico por eje (mm)	Fuerza Radial (KN)	n (RPM)
$D_{R1}=14.50$	$D_1 = 19.30$	$F_{R1} = 0.66$	100
$D_{R2}=4$	$D_2 = 19.30$	$F_{R2} = 0.17$	100
$D_{R3}=10$	$D_3 = 24.60$	$F_{R3} = 1.47$	200
$D_{R4}= 6$	$D_4 = 24.60$	$F_{R4} = 0.50$	200
$D_{R5}=3.40$	$D_5 = 14.70$	$F_{R5} = 0.13$	526.31
$D_{R6}=4.80$	$D_6 = 14.70$	$F_{R6} = 0.30$	526.31
$D_{R7}=2.50$	$D_7 = 10.20$	$F_{R7} = 0.081$	1754.36
$D_{R8}=7.50$	$D_8 = 10.20$	$F_{R8} = 0.054$	1754.36

Fuente: Elaboracion propia-Datos calculados de los diámetros de ejes

Tabla D-2: Resultados mediante la página online SKF

Diámetro interno Rodamiento (mm)	Diámetro externo Rodamiento (mm)	Base Rodamiento (mm)	Temp. Interna °C	Temp. Externa °C	Capacidad De Carga (KN)	Designación	Rodamiento (in)
$D_{R1}= 15$	$D_{R1}= 35$	$D_{R1}= 11$	80	60	5,85	6002	0,59
$D_{R2}= 15$	$D_{R2}= 35$	$D_{R2}= 11$	80	60	5,85	6002	0,59
$D_{R3}= 15$	$D_{R3}= 35$	$D_{R3}= 11$	80	60	5,85	6002	0,59
$D_{R4}= 15$	$D_{R4}= 35$	$D_{R4}=11$	80	60	5,85	6002	0,59
$D_{R5}= 12$	$D_{R5}= 32$	$D_{R5}= 10$	80	60	7,28	6201	0,47
$D_{R6}= 12$	$D_{R6}= 32$	$D_{R6}=10$	80	60	7,28	6201	0,47
$D_{R7}= 10$	$D_{R7}= 30$	$D_{R7}= 9$	80	60	5,4	6200	0,39
$D_{R8}= 10$	$D_{R8}= 30$	$D_{R8}=9$	80	60	5,4	6200	0,39

Fuente: <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings>

Tabla D-5: Datos de Diámetros y material de los Ejes (Rodamientos-Engranajes)

Material de los ejes	Diámetros	Pulgadas (in)	Milímetros (mm)
1° Eje: AISI 1040 OQT 1300 HB=183 Sn`=24098 PSI	D _{Rodamiento 1}	0,59	15,00
	D _{Engranaje A}	0,76	19,30
	D _{Rodamiento 2}	0,59	15 ,00
2° Eje: AISI 1040 OQT 1300 HB=183 Sn`=24098 PSI	D _{Rodamiento 3}	0,59	15,00
	D _{Engranaje B}	0,76	19,30
	D _{Engranaje C}	0,64	16,25
	D _{Rodamiento 4}	0,59	15,00
3° Eje: AISI 1040 OQT 1300 HB=183 Sn`=24098 PSI	D _{Rodamiento 5}	0,47	12,00
	D _{Engranaje D}	0,58	14,74
	D _{Engranaje E}	0,56	14,22
	D _{Rodamiento 6}	0,47	12,00
4° Eje: AISI 1040 OQT 1300 HB=183 Sn`=24098 PSI	D _{Rodamiento 7}	0,39	10,00
	D _{Engranaje F}	0,40	10,16
	D _{Rodamiento 8}	0,39	10,00

Fuente: Elaboración propia-datos calculados-de los diferentes diámetros de ejes