

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Departamento de Ingeniería Mecánica

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Diseño de planta procesadora para el molido y cernido del sorgo a partir de la modificación del sistema motriz del Molino CTI Omega VI

Autor: Oscar Pérez Baez

Tutores: Dr. Feliberto Fernández Castañeda

Dr. Orlando M. Saucedo Castillo

Santa Clara, Junio 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Department of Mechanical Engineering

DIPLOMA THESIS

Title: Design of a processing plant for the milling and sifting of sorghum from the modification of the moving system of the CTI Omega VI Mill

Author: Oscar Pérez Baez

Thesis Director: Dr. Feliberto Fernández Castañeda

Dr. Orlando M. Saucedo Castillo

Santa Clara, June, 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Dedicatoria

Este trabajo diploma va dirigido especialmente a mis amados padres por sus grandes esfuerzos y por darme todo su amor y apoyo cada día.

A mi padrino Lino César por brindarme sus conocimientos y por su contribución a mi formación como profesional.

A mi novia Ana Beatriz por su paciencia y amor incondicional a pesar de la distancia que nos separaba.

Agradecimientos

Primeramente, le doy gracias a Dios por darme sabiduría y ser mi sustento en los momentos difíciles de mi vida.

Muchas gracias a mis tutores Dr. Feliberto Fernández Castañeda y Dr. Orlando M. Saucedo Castillo por su tiempo y dedicación en la realización de este trabajo.

A todos los profesores que me impartieron clases durante el transcurso de la carrera y a todo aquel que de alguna forma u otra me ha ayudado y ha contribuido en mi formación.

Resumen

El presente trabajo aborda el tema relacionado con el diseño mecánico y el procesamiento de granos de sorgo. Parte, de la problemática existente con un molino de granos en la UCLV, que es utilizado para la producción de harina de sorgo a pequeña escala. En el cual no se logra la granulometría requerida que garantice la calidad de la harina cernida manualmente, en un proceso que consume tiempo y energía. La solución se encontró en la automatización del proceso de cernido simultáneo, a partir de la modificación del sistema motriz del Molino CTI Omega VI.

El trabajo se estructuró en tres capítulos. Primeramente, se partió del estudio de las tecnologías de procesamiento del sorgo para la producción de harina a pequeña escala. Así como de los principios de funcionamiento y características de equipos similares para, posteriormente, definir y establecer los requisitos y requerimientos del nuevo diseño. La modelación de la planta que permite el molido y cernido simultáneo de la harina se realizó empleando el software CAD SolidWorks 2018. Por último, se brinda toda la documentación técnica necesaria para la fabricación de cada uno de los componentes.

Abstract

The present work deals with the subject related to the mechanical design and the processing of sorghum grains. Starting on, the existing problem with a grain mill in the UCLV, which is used for small-scale sorghum flour production. In which the required granule size is not achieved that guarantees the quality of the sifted flour manually, in a process that consumes time and energy. The solution was found in the automatic process of the simultaneous sifting, from the modification of the moving system's CTI Omega VI Mill.

The work was structured in three chapters. First, we started with the study of sorghum's technologic process for small-scale flour production. As well as the operating principles and characteristics of similar equipment to subsequently define and establish the steps and requirements of the new design. The model's process of the plant that allows the simultaneous grinding and sifting of the flour was done using CAD software SolidWorks 2018. Finally, it is provided all the necessary technical documentation for the manufacture of each of the components.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Estado del arte sobre el sorgo y las tecnologías para su procesamiento. ...	5
1.1 - Origen de la planta de sorgo.....	5
1.2 - Importancia del cultivo de sorgo, principales características y propiedades.	5
1.2.1 - Propiedades físicas del grano de sorgo.....	6
1.2.2 - Estructura del grano de sorgo.....	6
1.2.3 - Composición química del grano de sorgo.	6
1.3 - Ventajas y desventajas del cultivo de sorgo como cereal.....	7
1.4 - Tecnologías de procesamiento del grano.	8
1.5 - Proceso de molienda.	8
1.5.1 - Factores que afectan la molienda.	8
1.5.2 - Equipos utilizados para la molienda del grano.....	9
1.6 - Proceso de cernido.	13
1.6.1 - Tamices o cedazos.	13
1.6.2 - Limpiadores de tamices.	14
1.6.3 - Tipos de cernidores.	15
1.7 - Producción de harina de sorgo en Villa Clara.....	19
1.8 - Descripción del Molino Omega VI existente en la UCLV.	20
1.9 - Conclusiones Parciales.....	21
Capítulo II: Diseño conceptual de la planta procesadora de sorgo.	23
2.1 - Premisas para el diseño de la planta procesadora de sorgo.	23
2.1.1 - Selección de las velocidades de funcionamiento y de las transmisiones para el movimiento.....	23
2.1.2 - Requisitos preliminares para el diseño de la planta procesadora de sorgo.	24
2.2 - Cálculos cinemáticos y dimensionamiento de las transmisiones flexibles.	25

2.2.1 - Análisis cinemático del sistema de transmisión por correas.	25
2.2.2 - Cálculo de las transmisiones por correas para las diferentes etapas.	29
2.3 - Diseño del mecanismo biela-manivela-balancín.	32
2.3.1 - Condiciones para establecer las dimensiones del mecanismo.	34
2.3.2 - Análisis geométrico del mecanismo desarrollado.	34
2.3.3 - Determinación del recorrido del balancín.	35
2.4 - Dimensionamiento de los principales componentes de la planta procesadora de sorgo.	36
2.5 - Conclusiones Parciales.	43
Capítulo III: Diseño y modelado de la planta procesadora de sorgo.	44
3.1 - Descripción general de la planta.	44
3.1.1 - Sistema Base.	45
3.1.2 - Sistema Motriz.	47
3.1.3 - Sistema de Molienda.	48
3.1.4 - Sistema de Cernido.	50
3.2 - Selección de los materiales para la fabricación de los elementos de la planta. ...	52
3.3 - Conclusiones Parciales.	53
Conclusiones Generales	55
Recomendaciones.	56
Referencias Bibliográficas	57
Anexos	61

Introducción

El sorgo es uno de los cereales más importante que se cultivan en el mundo. En América se cultiva fundamentalmente en México, El Salvador, Guatemala, Nicaragua, las zonas bajas áridas de la Argentina, Colombia, Venezuela, Brasil y Uruguay, así como en las llanuras centrales y meridionales de los Estados Unidos. En Asia, se cultiva extensamente en la India, China, Yemen, Pakistán y Tailandia formando parte importante de la dieta básica de millones de personas (Canet 2003). Este cereal ocupa el quinto lugar en cuanto a superficie cosechada en todo el mundo (Alimentos 2018). Según reportes estimados la producción mundial de sorgo en 2018 fue de 59,8 millones de toneladas, 29,5 millones de toneladas para la alimentación humana, cifra en la que influyó principalmente el continente africano (ID 2018).

El estudio de la composición química del grano de sorgo ha permitido conocer su riqueza en constituyentes nutritivos básicos en proporciones comparables con otros cereales. Por lo cual se ha utilizado en la alimentación humana y animal de muchos países; sus granos tienen un aceptable valor proteico (similar al arroz y a la harina de trigo) y son altamente asimilables por el organismo humano al alcanzar hasta un 90 % de digestibilidad (Ruiz Álvarez 2013). Ha sido usado como sustituto de la leche para los niños, o como alimento para fortalecer a personas debilitadas por su alto contenido de hierro y zinc, aparte de otros nutrientes beneficiosos para la salud tales como la fibra dietética y el contenido de antioxidantes, contribuyendo de esta manera a la seguridad alimenticia y nutricional de la población. (Montes García 2010). Económicamente la producción de la harina de sorgo es altamente rentable en comparación con otros cereales, contribuyendo así a la sustitución de importaciones.

En Cuba, la utilización del sorgo dirigido a la alimentación humana ha tenido determinadas limitaciones, a pesar de las bondades que dicho cultivo ofrece, su uso no se ha extendido. No existe hábito de consumo de este cereal, ni se cultiva de manera extensiva para la alimentación humana. No obstante, se han llevado estudios agrícolas de extensión y se cuenta con cultivares blancos y rojos de sorgo aptos para el consumo. En diferentes regiones de Cuba se cultiva el sorgo para la alimentación animal en pequeñas áreas de tierra. (Ruiz Álvarez 2013).

Por otra parte, la enfermedad celíaca es un trastorno autoinmune que es precipitada por la ingestión de gluten, que constituye la mayor reserva proteica del trigo y cereales similares. El tratamiento nutricional, el único aceptado para la enfermedad celíaca, es una dieta libre de gluten y comprende la eliminación de por vida del trigo, avena, cebada y centeno de la dieta. Existen otros granos que pueden servir como sustitutos, así como otras fuentes de almidón que pueden convertirse en harinas para elaborar los alimentos entre los que se encuentra el sorgo. Este grano ha generado mucho interés en el escenario de la comida sana, la harina de grano de sorgo, no contiene gluten por lo que es muy importante para aquellas personas con padecimiento celíaco (Ruiz Álvarez 2013). Se plantea que en Cuba hay unos 1 200 niños y más de 450 000 adultos celíacos, pero el régimen alimentario que requieren aun es deficiente, más si se sabe que la enfermedad se diagnostica poco y la población apenas la conoce (Felipe 2016). En el caso de Villa Clara tienen censados a 136 enfermos de celiaquía entre ellos 47 niños (Pérez Cabrera 2018).

En ese sentido, el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas durante más de 30 años, ha desarrollado investigaciones y generalizaciones en el cultivo del sorgo nacionalmente, obteniéndose resultados productivos y de investigación, desarrollo e innovación. Además, formando parte de un grupo multidisciplinario, conjuntamente con las Facultades de Ciencias Económicas y Química-Farmacia de la UCLV, el Hospital Pediátrico de la provincia de Villa Clara (MINSAP) y la Empresa Provincial Productora de Alimentos (MINAL), se ha utilizado la harina de sorgo en la alimentación de los niños “celíacos” o con enteropatía al gluten, siendo de gran impacto social para el país, contribuyéndose en gran medida a la calidad de vida de los niños que padecen de la enfermedad. La elaboración de productos alimenticios con harina de sorgo (exentas de gluten) ha permitido su distribución a la totalidad de los niños celíacos de Villa Clara. Además, se han extendido a otras 12 provincias de Cuba (Saucedo Castillo 2015).

Todo lo anteriormente planteado justifica la necesidad de incrementar la producción de harina de sorgo, lo cual conlleva al análisis del procesamiento industrial de este cereal, desde la perspectiva de creación de una mini industria. Dicho procesamiento abarca

desde la cosecha y beneficiado del grano, que incluye la selección y eliminación de impurezas. Así como el lavado y secado para su posterior molienda y cernido de la harina, para lograr la granulometría necesaria. Además, con la calidad e higiene que la haga apta para el consumo humano.

El presente trabajo se enmarca precisamente en la etapa de la molienda y cernido para la elaboración de la harina de sorgo. Lo hace, teniendo como antecedente los molinos de discos de la fundación “COMPATIBLE TECHNOLOGY INTERNATIONAL”, de Minnesota Estados Unidos. Los cuales son diseñados principalmente para procesar granos a pequeña escala y a bajo costo (Christiansen 2012). En específico se toma como referencia para el diseño de la máquina, el Molino CTI Omega VI, construido con aluminio colado y donado por el Laboratorio de Tecnología de Alimentos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” CENTA, de El Salvador a la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (Calderón de Zacatares 2012).

Este molino es utilizado en la UCLV con el fin de producir harina de sorgo a pequeña escala y su distribución a la Empresa Provincial Productora de Alimentos (MINAL), para la elaboración de productos alimenticios para los pacientes celíacos. La problemática radica que en dicho molino Omega VI, al moler el grano de sorgo (cuya dureza es superior a otros cereales), no se logra la granulometría requerida que garantiza la calidad de la harina. Por lo cual hay que cernirla manualmente y volver a triturlarla en un proceso que consume tiempo y energía, a lo que se incluye el esfuerzo físico de los operarios. La solución pudiera estar en la automatización del proceso de cernido simultáneo, para humanizar el trabajo, a partir de la modificación del sistema motriz aprovechando el motor del molino existente en la actualidad.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo General

Diseñar una planta procesadora de sorgo a partir de la modificación del sistema motriz del molino CTI Omega VI que permita moler los granos, cernir la harina simultáneamente con la granulometría requerida y envasarla.

Objetivos Específicos

1. Realizar un estudio bibliográfico sobre las características y consideraciones del uso del sorgo en la alimentación humana y del estado del arte de las tecnologías empleadas para su procesamiento.
2. Definir las características y evaluar los criterios de diseño de los molinos para granos y de las zarandas utilizadas en el cernido de la harina, así como la relación de los parámetros cinemáticos y dinámicos del molino con la calidad de la harina de sorgo a obtener.
3. Realizar el diseño conceptual de la planta procesadora a partir de la definición de su principio de funcionamiento y de establecer los parámetros de trabajo, así como los requisitos y exigencias de diseño.
4. Realizar la modelación de la planta mediante las herramientas del diseño automatizado (CAD) con ayuda del SolidWorks.
5. Elaborar la documentación técnica necesaria para la construcción de la planta procesadora de sorgo.

Capítulo I: Estado del arte sobre el sorgo y las tecnologías para su procesamiento.

En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica sobre las características físicas y las consideraciones del uso del sorgo en la alimentación humana, así como de las tecnologías empleadas para su procesamiento específicamente en los procesos de molienda y cernido.

1.1 - Origen de la planta de sorgo.

Especialistas sugieren que el sorgo tiene sus orígenes en la región de África Central, fundamentalmente en los países de Etiopía y Sudán, que son las áreas donde abundan la mayor cantidad de especies. Se considera que llegó al continente europeo durante los años posteriores de N.E, cuando ya constituía un cultivo domesticado, pero no se expandió mucho dentro de este (Alimentos 2018). En cuanto a América, se piensa que el mismo pudo haber sido introducido por esclavos africanos, alrededor del siglo XIX, pero no se tiene una fecha precisa de dicho acontecimiento. Su cultivo no adquiere importancia hasta el siglo XX, donde se encuentra integrado a los sistemas agrícolas en la mayoría de los países latinoamericanos, siendo México y Argentina los países que más lo cultivaban. La creación a mediados del siglo XX de variedades híbridas de granos de sorgo más resistentes a las enfermedades e insectos, junto con el mejoramiento de otras prácticas de producción, aumentó considerablemente su utilización en los EE. UU y en el mundo (Hernández Luna 2003). EE. UU, es actualmente el mayor productor de sorgo.

1.2 - Importancia del cultivo de sorgo, principales características y propiedades.

El sorgo es una gramínea que ha sido adaptada, a través del mejoramiento genético, a una gran diversidad de ambientes, siendo considerado uno de los cultivos mundiales de seguridad alimentaria. Está provisto de una estrategia de latencia que le permite suspender el crecimiento hasta que se restablezcan nuevamente las condiciones favorables. (Carrasco 2011). La planta de sorgo aprovecha muy bien las condiciones de países tropicales con luz fuerte y una limitada disponibilidad de agua y fertilizantes. Por eso muchas veces es sembrado como un cultivo en asocio o relevo, o sea que se siembra dentro o después del cultivo principal, porque puede extraer los fertilizantes que este no aprovechó (Christiansen 2012). Tiene la particularidad de aportar elevadas cantidades de rastrojo que contribuyen a mejorar la cobertura de los suelos. Además, presenta un sistema radical muy desarrollado y profundo que le permite una buena exploración del

perfil del suelo, contribuyendo a mejorar la estructura del mismo, en cuanto a condiciones físicas, químicas y biológicas (Carrasco 2011).

1.2.1 - Propiedades físicas del grano de sorgo.

El grano de sorgo varía en el color, desde el blanco a tonalidades oscuras de rojo y pardo, pasando por el amarillo pálido, hasta pardo púrpura. Los colores más comunes son el blanco, el bronce y el pardo. Los granos son por lo general esféricos, pero varían en dimensión y forma. La cariopsis puede ser redondeada de 4-8 mm de diámetro. El peso de mil granos de sorgo tiene un amplio margen de variación, pero en la mayoría de las variedades se encuentra entre 25 y 40 g. El grano está cubierto parcialmente de glumas. Para el consumo humano se prefieren los granos largos con endospermo córneo y sin testa. El endospermo amarillo con caroteno y xantofila aumenta el valor nutritivo del cereal. El sorgo de color blanco y blanco-cremoso es una alternativa viable para la alimentación humana (Montes García 2010).

1.2.2 - Estructura del grano de sorgo.

Según (Christiansen 2012) el grano está compuesto principalmente por las siguientes partes anatómicas: la cáscara o pericarpio, el germen y el endospermo que es la parte interna del grano (figura 1.1).

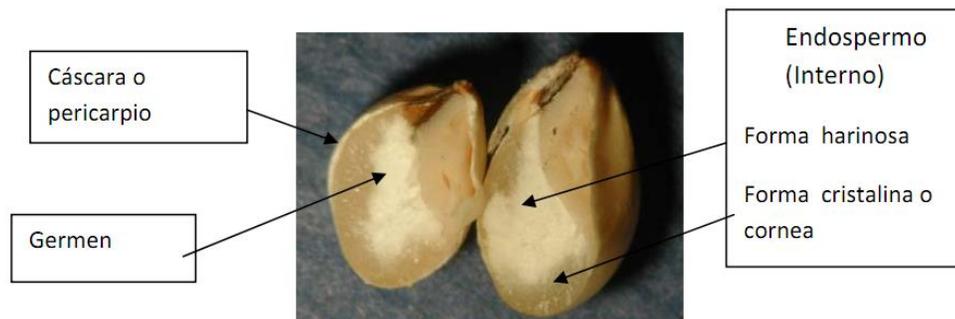


Figura 1.1: Estructura del grano de sorgo mostrando endospermo.

1.2.3 - Composición química del grano de sorgo.

El grano de sorgo está constituido básicamente por proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas, minerales y polifenoles, en porcentajes variables según genotipo y ambiente (Domanski 1997). En la tabla 1.1 se muestra la composición promedio de los principales constituyentes del grano de sorgo.

Tabla 1.1: Composición promedio de los principales constituyentes del sorgo.

Constituyentes	Sorgo
Proteína %	7,0 - 14,0
Lípidos %	2,4 - 6,5
Carbohidratos %	70,0 - 90,0
Fibra %	1,2 - 3,5
Ca (mg (100) - 1)	11,0 - 58,6
P	167,0 - 751,0
Fe	0,9 - 20,0
Tiamina	0,2 - 0,5
Niacina	2,9 - 6,4
Riboflavina	0,1 - 0,2

1.3 - Ventajas y desventajas del cultivo de sorgo como cereal.

Ventajas

- El sorgo tiene una amplia adaptabilidad, rápido crecimiento, tolerancia a la sequía, inundaciones, salinidad del suelo y toxicidad por acidez; lo que lo hace un cultivo resistente.
- No contiene gluten, posibilitando el consumo por parte de enfermos de celiaquía.
- Útil para diabéticos, ya que el sorgo hace que la digestión en azúcares sea más lenta y por lo tanto el organismo pueda utilizarla mejor.
- Posee propiedades astringentes, homeostáticas y antidiarreicas.
- Utilización en diversos productos alimenticios, ya que tiene una excelente calidad en nutrición y apariencia (Rodríguez Urquilla 2009).

Desventajas

- Mala percepción acerca del sorgo lo que causa que sea utilizado mayormente para alimentación animal.
- En cuanto a la siembra exige nitrógeno y no contiene mucha lisina.
- Para la alimentación humana se prefiere el sorgo blanco ya que este posee menos contenido de polifenoles los cuales interfieren con la digestibilidad de las proteínas, imparten sabor y color no agradables a los productos elaborados con esa harina (Rodríguez Urquilla 2009).

1.4 - Tecnologías de procesamiento del grano.

El procesamiento del grano se puede dividir en varias etapas que son cosecha, limpieza, lavado, secado, almacenamiento, molienda, cernido y empaquetado de la harina final. Dentro de todas estas etapas se profundiza en el presente trabajo en la molienda y el cernido, procesos de gran importancia que influyen en la calidad y granulometría necesaria de la harina para el consumo.

1.5 - Proceso de molienda.

La molienda es una operación secuencial, en la que se obtienen y se van separando fracciones de diferente granulometría y composición, su objetivo principal es obtener la mayor cantidad posible de harina. En general existen dos tipos de molienda de granos: la de trituración y la de impacto, las cuales se llevan a cabo a partir de una gran variedad de equipos disponibles para controlar el tamaño de la partícula del producto terminado (Corona Gochi. 2017). Los equipos que se utilizan para realizar la molienda del grano de sorgo son el molino de discos o piedras, el de martillos y el de rodillos.

Las expectativas de las personas que utilizan la harina de sorgo varía en dependencia del fin con se va a utilizar. Si es para sustituir la harina de trigo, el cliente esperará harina blanca, fina y sin mucha fibra lo cual se puede lograr después de varias moliendas y a partir del cernido. Si el objetivo es la elaboración de productos de grano entero o que utilicen harina integral para mejorar la salud del consumidor, lo mejor es moler el grano sin eliminar nada durante la molienda, preservando así todos los nutrientes y proteínas.

1.5.1 - Factores que afectan la molienda.

Dureza: Energía necesaria para romper el material. La determinación de la dureza permite establecer el tipo de fuerza que puede actuar sobre la materia prima, el tiempo de residencia en la zona de acción y ayuda a predecir los consumos energéticos de los molinos; en efecto, los productos más duros son los difíciles de triturar por lo tanto se requiere mayor energía y el tiempo de residencia es prolongado. Para reducir el desgaste los molinos de reducción de tamaño de productos duros se mueven relativamente despacio y las superficies de contacto se fabrican con materiales de construcción, duros y resistentes al desgaste, como el acero al manganeso (Salas Lara 2012).

Fragilidad: Facilidad con que una sustancia puede ser desmenuzada por el choque, mientras menor es la partícula mayor es la energía que necesita para romperse.

Sensibilidad a la temperatura: Las partículas durante la reducción de tamaño se encuentran en constante fricción y movimiento, provocando un aumento de temperatura que se va a disipar en forma de calor ocasionando en algunos casos, degradación del producto y en casos extremos combustión espontánea o incluso explosión debido a los polvos. Es importante conocer las temperaturas de ablandamiento o fusión.

Tamaño y forma de la materia prima: Indica la clase de fuerza a aplicar para efectuar la trituración involucrando la forma y tamaño del material a moler. Es importante saber el tipo de estructura que tienen los productos alimenticios, ya que para poder desintegrarlos en algunos casos no es suficiente la fuerza de compresión o impacto si no que es necesario desgarrarlos o cortarlos. La uniformidad del tamaño y forma permite mayor control del proceso para obtener productos más homogéneos. Si las geometrías son similares los desperdicios serán menores y el manejo durante la operación es más fácil (Martínez Flores 2018).

1.5.2 - Equipos utilizados para la molienda del grano.

Molinos de martillos

Consiste en una cámara recubierta con acero, los elementos molientes están acoplados en el eje rotor dotado de martillos que giran a altas velocidades en el interior de la carcasa. La reducción de tamaño es producida por las fuerzas de impacto, que se generan cuando los martillos impulsan los materiales hacia la plancha de recubrimiento. El material permanece dentro de la cámara del molino hasta que alcanza el tamaño requerido para ser descargado a través de una criba que restringe la salida. En estas condiciones de estrangulamiento son las fuerzas de cizalla las principales responsables de la reducción del tamaño. Se utiliza para la molienda de productos con cierto grado de dureza o bien para materiales quebradizos. Las variables de operación de este equipo son: velocidad de alimentación, velocidad de giro, separación, número de martillos y diámetro de la criba (Natalia Soledad 2016). En el caso de estos molinos, el tamaño de partícula dependerá principalmente del tamaño de la perforación de la criba empleada (Caorsi Molinari 2005). En la figura 1.2 se muestra un molino de martillos y un esquema del proceso.

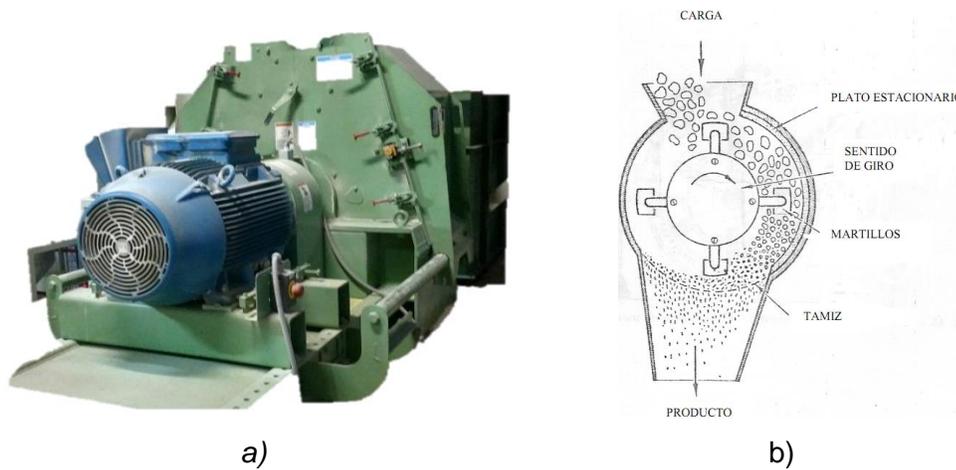


Figura 1.2: a) Molino de martillos y b) Esquema del proceso de molienda.

Molinos de rodillos

En las harineras modernas este es el equipo más utilizado en la práctica por su alta eficacia energética, las posibilidades de ajuste de los parámetros de la molienda, incluso durante su funcionamiento y porque es capaz de aplastar la envuelta fibrosa del grano, reduciendo a harina el endospermo. En esta máquina dos o más rodillos pesados de acero de superficie estriada o lisa giran uno hacia otro. Las partículas de la carga son atrapadas y arrastradas entre los rodillos, sufriendo una fuerza de compresión que las tritura. En algunos equipos los rodillos giran a diferente velocidad, dando lugar también a fuerzas de cizalla. Cuando los rodillos son lisos, la fuerza predominante es la compresión. Tanto el número de estrías de los rodillos como la separación entre ellos influye en la granulometría del producto final (Salas Lara 2012). En la figura 1.3 se puede apreciar una vista frontal de un molino de rodillos comercial y un esquema del proceso.

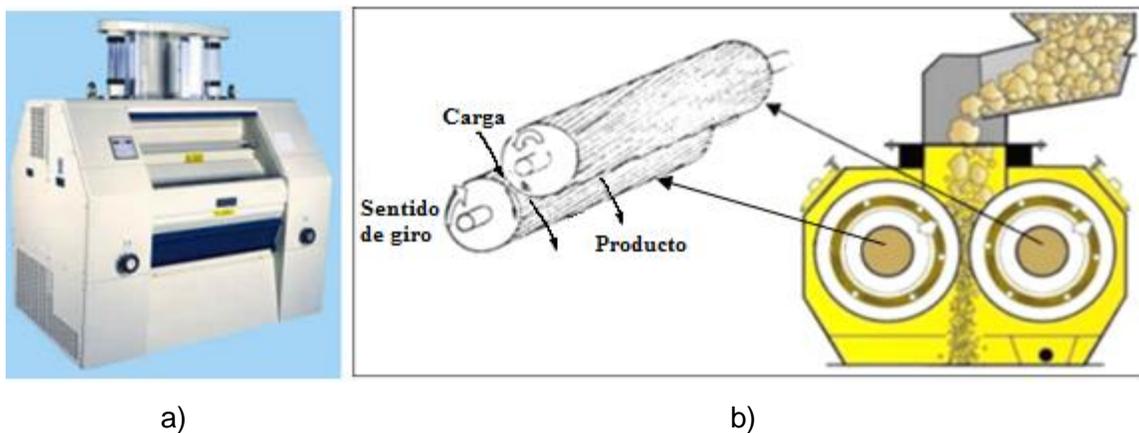


Figura 1.3: a) Molino de rodillos comercial y b) Esquema del proceso de molienda.

Molinos de discos

El sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sinfín o su equivalente, y llega a un punto donde se proyecta radialmente hacia afuera, entre dos discos o muelas, las cuales tienen una convergencia radial, lo que indica que están más separadas entre sí en el centro de rotación que en la periferia de los discos. Estos discos pueden ser uno fijo y el otro móvil o bien los dos móviles, en rotación opuesta. Pueden tener estrías gruesas o finas en las muelas frente a frente. Reciben partículas generalmente de 1 cm o menos y pueden producir polvos de mesh 200. Se trabajan con sólidos abrasivos y semiduros, pero con aleaciones correctas en la muela, pueden trabajar duros (Martínez Flores 2018). En la figura 1.4 se muestra la imagen de un molino de discos.



Figura 1.4: Molino de discos.

Molinos de discos CTI

Los molinos CTI fueron introducidos por la ONG Tecnología Compatible Internacional (CTI por sus siglas en inglés) en el año 2009, con la ayuda del proyecto CENTA-INTSORMIL, para facilitar los procesos de granos en el Salvador, en especial para ser utilizados en la molienda de sorgo o maicillo (Christiansen 2012).

Tipos de molinos CTI disponibles:

- Molino Omega VI (construido en aluminio colado) (figura 1.5 a)
- Molino Ewing (construido en lámina de hierro soldada) (figura 1.5 b)
- Modelo en madera (figura 1.5 c)

A excepción del cuerpo las partes que conforman los tres modelos son comunes.

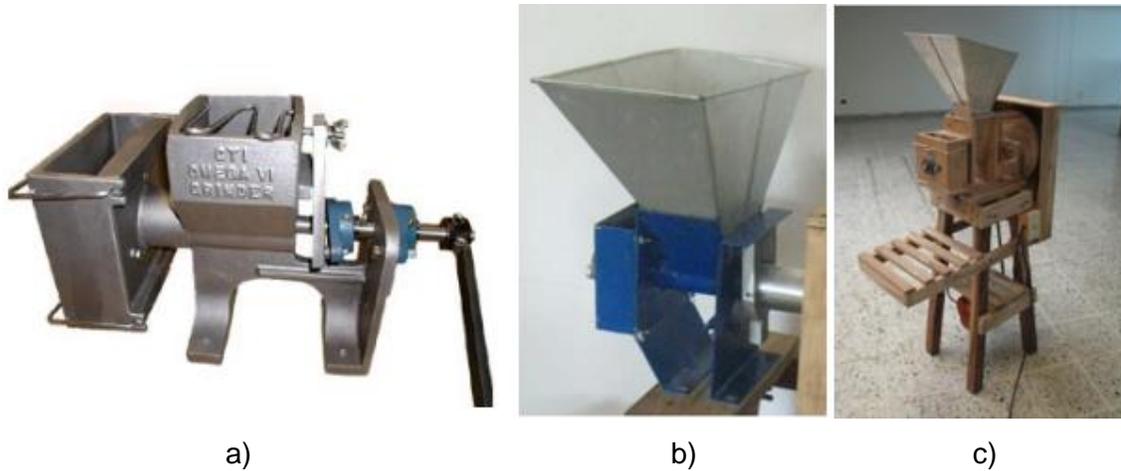
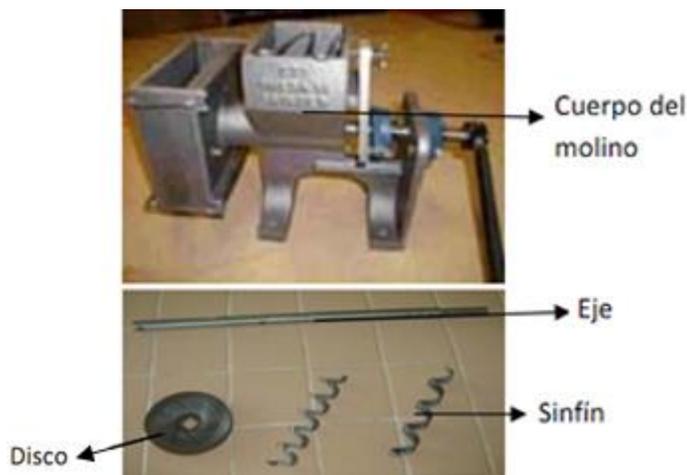


Figura 1.5: a) Molino Omega VI, b) Molino Ewing y c) Modelo en madera.

Molino CTI Omega VI

Los molinos CTI Omega VI son diseñados principalmente para la producción artesanal de harina de sorgo, aunque también pueden ser utilizados en la molienda de arroz, café, hierbas, cacao, etc. Son de diseño sencillo, de fácil instalación y mantenimiento. Lo más importante del molino son los discos, los cuales son fabricados de acero bien duro que elimina el desgaste y la necesidad de afilarlos. Tienen 160 canales externos y 42 canales internos. Estos molinos pueden ser accionados con fuerza humana o a partir de un motor eléctrico desde $\frac{1}{2}$ hasta $1 \frac{1}{2}$ HP alcanzando hasta 400 rpm aproximadamente y una capacidad de 25 a 30 Lb/h (Laboratorio de Tecnología de Alimentos (San Andrés 2010).

En la figura 1.6 se muestra algunas de las partes componentes del molino.



Partes componentes:

- Cuerpo del molino, con chumaceras.
- Eje.
- Sifín (gusano o alimentador).
- Par de discos.
- Par de arandelas.
- Tapadera de plástico transparente.

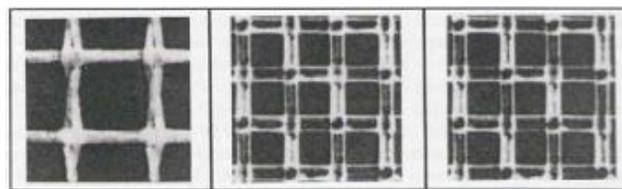
Figura 1.6: Partes componentes del Molino CTI Omega VI.

1.6 - Proceso de cernido.

El cernido sigue a la molienda; en efecto, la reducción del grano o de sus fragmentos no es siempre completa en una sola pasada y los productos obtenidos no son, por lo tanto, homogéneos en grosor, ni de composición idéntica. Este separa y clasifica los productos de la trituración o de la compresión, divide y limpia las sémolas y las semolinas mientras que extrae la harina formada. En todos los casos el cernido se reduce en una separación de partículas de dimensiones diferentes, empezando por las más gruesas, mientras que las más finas constituyen la harina formada. Todas las separaciones se hacen mediante tamices adecuados, los cuales mediante el movimiento de la harina sobre ellos dejan pasar los gránulos más finos y rechazan los más voluminosos; el cernido exige, por consiguiente, el empleo de mallas metálicas y sedas cernidoras de una gran regularidad (García Bellido 2006).

1.6.1 - Tamices o cedazos.

Los tejidos empleados inicialmente para cernir y separar la harina del salvado fueron cueros perforados, tejidos de lana, algodón, cáñamo, yute, pelos de origen animal y seda. También se usaban tejidos metálicos como hilos o alambres de hierro, acero estañado, latón y acero inoxidable. Después de 1945 se desarrollaron varias fibras sintéticas para sustituir a las fibras naturales. Las primeras fibras que realmente pudieron aplicarse fueron las de nylon, que son mucho más resistentes. Posteriormente al nylon se lanzó al mercado el tejido de poliéster, de mejor resistencia que el anterior. Estos tejidos sintéticos, en comparación con el tejido de seda, poseen una mejor calibración, una gran resistencia y un aumento en la superficie de cernido de un 41 % (García Bellido 2006). En la figura 1.7 se muestran algunos de los tejidos mencionados anteriormente.



Seda

Nylon

Poliéster

Figura 1.7: Tejidos para cernir.

El tamaño de las aberturas del tamiz se describe con el número de mesh, o sea la cantidad de orificios del cernidor por pulgada (ver tabla 1.2 para las equivalencias). Los

cedazos finos tienden a taparse, mayormente con harina ya fina, por eso el movimiento de la zaranda tiene que ser lo suficiente. Las harinas que pasan por un mesh No 80 es una harina con un tamaño de partícula pequeña, harina que queda retenida en un mesh No 40 es de tamaño de partícula grande (Christiansen 2012).

Tabla 1.2: Equivalencia mesh-milímetros para cernidor ASTM.

Mesh	10	20	30	40	50	60	70	80	100
Milímetros	2,000	0,850	0,600	0,425	0,300	0,250	0,212	0,180	0,150

1.6.2 - Limpiadores de tamices.

Los limpiadores de tamices son necesarios debido a que normalmente durante el funcionamiento de la zaranda los orificios del tamiz tienden a taparse con harina o a quedar bloqueados por los granos o las impurezas, lo cual reduce la eficiencia y el rendimiento de la máquina (Ramírez Acosta 2016).

Para la limpieza de los tamices se suelen usar triángulos de plástico, de goma y con pelo, bolas de goma y plástico y almohadillas de algodón. Esta última es la que mejor comportamiento presenta pues mantiene perfectamente limpio el tamiz, ya que se desplaza de forma rápida y continua en todas las direcciones entre la enteladura y la rejilla metálica, mientras que la máquina está en movimiento (García Bellido 2006).

En la figura 1.8 se muestran los dispositivos de limpieza más utilizados. El número 1 es un triángulo de plástico, los números 2, 3 y 5 son de goma, el 4 de goma y pelos y el 6 y el 7 son almohadillas. Los dispositivos 8 y 9 son utilizados en la limpieza de las bandejas recogedoras del producto cernido y pueden ser de cuero, plástico o goma.



Figura 1.8: Dispositivos de limpieza.

1.6.3 - Tipos de cernidores.

Los cernidores industriales normalmente son para la producción de harina a gran escala. Los cernidores pequeños son difíciles de encontrar en el mercado.

En molinería se utilizan distintos tipos de cernidores (Sierra 2017):

- a) Planos inclinados: con movimientos rotativos, vibrantes o de vaivén, zarandas limpiadoras de trigo, sasores para limpieza de sémolas.
- b) Planos horizontales: con movimientos rotativos o vibrantes.
Se dividen en dos grupos principales: Plansifters antiguos con tamices largos y modernos con tamices semi-largos o cuadrados.
- c) Diseños redondos: centrífugos, con movimiento circular del producto motivado por un rotor.

El más importante en el molino es el cernidor con tamices planos, plansifters y sasores ya que tienen sus ventajas por la estratificación que se produce naturalmente, para las clasificaciones de los productos de molienda y el sasor para la purificación de las sémolas. En los cernidores centrífugos no se produce estratificación, pero beneficia el cernido de los productos de filtros y cepilladoras (Cardós 2017).

Cernidores Plansifters

Consiste en un conjunto de cribas colocadas en serie, de forma que permiten clasificar por tamaños el resultado de la molienda. Se construyen con 4, 6, 8 o 10 secciones de hasta 30 tamices cada una. Las cribas son sometidas a un movimiento vibratorio que permite la separación de las diferentes fracciones por tamaño. Normalmente se colocan tanto en la sección de ruptura como en la de reducción (García Román 2018). Existen también plansifters de oscilación libre, los cuales son utilizados mayormente para cribado y separación en los procesos de molienda. El movimiento que ejecuta este es similar al que se realiza cuando se cirne de forma manual, la traslación es producida por un contrapeso montado en el plansifter (Medina 2017). En la figura 1.9 se muestra un plansifter de diez secciones cerrado y un detalle de una de las secciones abierta.



Figura 1.9: Plansifter y sección de tamices.

Cernidor Centrífugo

Este cernidor se caracteriza por el tratamiento intenso por centrifugado, adecuado para el cernido de productos finos y pegajosos como las harinas de los filtros y cepilladoras. Los cernidores centrífugos constan de un armazón hexagonal provisto de una cubierta de seda fina, de malla adecuada y un tambor horizontal cilíndrico que gira sobre su eje. En el interior de este tambor existen unos batidores montados sobre un segundo eje concéntrico con el primero que gira a mayor velocidad. Estos batidores proyectan finamente divididos los productos a cernir en el tamiz. En esencia, el cernido separa el producto en tres fracciones principales llamadas: A, B y C, donde las partículas mayores van al siguiente cilindro de trituración (González 2016). En la figura 1.10 se puede apreciar un cernidor centrífugo.



Figura 1.10: Cernidor centrífugo vibratorio.

Purificadores de sémolas o sasores

Son máquinas de cernido plano inclinado que trabajan combinados con aspiraciones necesarias para ayudar a la estratificación y consecuente purificación de sémolas. Su

función es la de separar de las sémolas los fragmentos de cáscara fibrosa que aún permanecen en ellas después de la sección inicial de ruptura. Estos fragmentos no se pueden separar por simple tamizado (en los plansifters) ya que algunos de ellos son del mismo tamaño que las sémolas por lo que se hace en función de su peso específico, mediante una corriente de aire. Disponen de uno o dos tamices vibratorios, mientras que el aire es aspirado por la parte superior, por lo que atraviesa la capa de material de abajo a arriba (García Román 2018). En la figura 1.11 se muestra uno de estos equipos.



Figura 1.11: Purificador de sémolas o savor.

Cernidores artesanales

Existen varios tipos de cernidores que son utilizados en la producción de harina a pequeña escala, entre ellos se encuentran las zarandas vibratorias con mecanismo excéntrico, zarandas con sistema de corredera y zarandas con movimiento oscilante.

Zarandas vibratorias

Son máquinas que presentan tamices que vibran con rapidez y pequeña amplitud y se obstruyen con menos facilidad que los cernidores giratorios. Las vibraciones se pueden generar mecánica o eléctricamente. Las vibraciones mecánicas generalmente se transmiten desde excéntricas de alta velocidad hasta la carcasa de la unidad y desde ésta hasta los tamices inclinados (Salazar González 2014). El eje con lóbulos excéntricos crea vibración al aplicar movimiento de rotación, la cual es absorbida por un sistema de muelles o gomas, constituyendo la base del funcionamiento de las zarandas vibratorias (Carrasco Huamán 2017). Como se puede apreciar en la zaranda de la figura 1.12 el movimiento se realiza a partir de un mecanismo excéntrico y un sistema de amortiguación con resortes helicoidales que le permite tener un movimiento oscilatorio constante, suave y a la misma vez efectivo para producir el cernido.



Figura 1.12: Zaranda vibratoria y mecanismo excéntrico.

Zarandas con sistema de corredera

Estas máquinas presentan un mecanismo de biela - manivela el cual transforma el movimiento circular procedente de la fuente motriz en un movimiento de traslación alternativo del tamiz, el cual se realiza de un lado hacia otro sucesivamente a partir de unas ruedas sobre unos carriles. En la figura 1.13 se muestran dos zarandas que presentan sistema de corredera.



Figura 1.13: Zaranda con sistema de corredera.

Zarandas con movimiento oscilante

En este tipo de máquinas el proceso de cernido se realiza a partir de un movimiento de vaivén de avance y retroceso describiendo un arco, el cual es producido a partir de un mecanismo biela - manivela - balancín. El balancín consiste en una barra de acero, que tiene un movimiento circular alternativo alrededor de un eje fijo y que sirve para transmitir a todos sus puntos la potencia que recibe en uno de ellos. Este transforma el movimiento alternativo, rectilíneo, en otro circular continuo que no se debe exceder de ciertos límites. El movimiento que describen estas zarandas es suave y silencioso. En la figura 1.14 se muestran dos zarandas que presentan movimiento oscilante.



Figura 1.14: Zaranda con movimiento oscilante.

1.7 - Producción de harina de sorgo en Villa Clara.

La provincia de Villa Clara fue pionera en el país en la utilización del sorgo, gracias al trabajo de un equipo multidisciplinario encabezado por el Doctor en Ciencias Agrícolas Orlando M. Saucedo Castillo, del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (García Santos 2014). El CIAP cultiva el sorgo desde el año 1989 y posee más de 170 variedades introducidas en la Isla desde diferentes países, así como el banco de germoplasma mayor del país. Con ese material genético, los científicos han obtenido híbridos cubanos, y realizado varios proyectos de investigación. El primero fue dirigido a la alimentación animal, específicamente a la elaboración de pienso para los cerdos. La experiencia de otros países en la sustitución parcial o total de la harina de trigo por la de sorgo para el consumo humano alentó a los investigadores a incursionar en ese campo. Desde hace cinco años surgió un proyecto conjunto para utilizar este cereal agluténico en la producción de alimentos destinados a los enfermos de celiaquía, el cual aprobó la Delegación Provincial de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente en Villa Clara, y el Instituto Nacional de Nutrición e Higiene de los Alimentos. Se escogió la variedad UDG 110, mexicana, apta para el consumo humano (Avendaño 2011).

La celiaquía es una enfermedad digestiva que daña el intestino delgado y altera la absorción de las vitaminas, minerales y demás nutrientes que contienen los alimentos. Los pacientes con enfermedad celíaca no toleran una proteína llamada gluten, que se encuentra en los cereales (trigo, avena, cebada, centeno). Atendiendo a la necesidad de garantizarles la correcta alimentación, se crearon instituciones que facilitan la entrega de

una gama de productos libres de gluten, una en La Habana, otra en Santa Clara y otra en la región oriental, radicada en Santiago de Cuba (Pérez Cabrera 2018).

En Villa Clara se ha estado satisfaciendo la demanda de productos para estos enfermos a partir del Molino CTI Omega VI (figura 1.15), el cual fue donado por El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova” CENTA de la República de El Salvador, quienes ofrecieron toda la capacitación necesaria por su experiencia previa en la sustitución parcial del trigo por sorgo destinado a la población. Este molino es utilizado en la UCLV con el fin de producir harina de sorgo a pequeña escala 25 libras por hora con pérdidas mínimas por quintal. La harina es distribuida por la Empresa Provincial Productora de Alimentos (MINAL), convertida en productos alimenticios, tales como panes, galletas, repostería, cake, bebidas étnicas, maltas, extensor de cárnicos y otros, distribuyéndose mensualmente desde el año 2011 un módulo de harina y dulces de repostería a la totalidad de los niños celíacos de la provincia de Villa Clara y de otras provincias del país. Los resultados se han extendido a las provincias de Pinar del Río, Matanzas, Villa Clara, Sancti Spíritus, Cienfuegos. Las Tunas y Holguín.

1.8 - Descripción del Molino Omega VI existente en la UCLV.

El Molino CTI Omega VI, mostrado en la figura 1.15, presenta un diseño sencillo, con un volumen reducido de piezas, por lo que es de fácil fabricación, instalación y mantenimiento. Es ideal para el contacto con alimentos ya que está fabricado en aluminio colado. Se encuentra montado sobre una estructura construida de perfiles de sección cuadrada y angular, que le proporciona rigidez al mismo. Su fijación a esta estructura facilita su montaje y desarme, pues se realiza mediante cuatro tornillos con sus respectivas tuercas. Este es accionado mediante un motor eléctrico modelo Y90S4 que tiene una velocidad de 1700 rpm y una potencia de 1,1 kW, presenta un sistema de transmisión por correas que reduce la velocidad del molino a unos 400 rpm.

A pesar de que el molino se mantiene produciendo, presenta la problemática de que entrega la harina con una granulometría que no garantiza la calidad de los productos que se elaboran a partir de ella. Lo cual genera la necesidad de someter la harina a un proceso de cernido manual y volver a triturarla. Lo que consume tiempo, energía y esfuerzo por

parte de los operarios. La solución ha dicho problema pudiera estar en la automatización del proceso de cernido y reducción de la velocidad a la que muele, a partir de la modificación de este con el fin de humanizar el proceso y obtener una harina con la granulometría deseada.



Figura 1.15: Molino CTI Omega VI presente en la UCLV.

1.9 - Conclusiones Parciales.

- En la revisión bibliográfica efectuada se comprobó que el sorgo es uno de los principales cereales que se cultivan en el mundo, con gran riqueza en constituyentes nutritivos básicos, por lo cual se ha utilizado en la alimentación humana y animal de muchos países.
- Se pudo constatar que el uso de la harina de sorgo (libre de gluten) en la elaboración de productos alimenticios constituye una alternativa saludable y única para los pacientes que padecen la enfermedad celíaca y son intolerantes al gluten, presente en cereales como el trigo, avena, cebada y centeno.
- Se confirmó que, para lograr una harina de sorgo, con la granulometría requerida y de calidad, se requiere el procesamiento del grano (después de ser beneficiado, lavado y secado previamente) utilizando diferentes tecnologías de molido y cernido de la harina.
- En la UCLV existe un Molino de granos CTI del tipo Omega VI que consume tiempo y recursos para tratar de obtener una harina de sorgo cernida manualmente con la

granulometría necesaria. La solución pudiera estar en el diseño de una planta procesadora de sorgo, a partir del estudio de los parámetros de trabajo y de la modificación del sistema motriz del molino, de manera que permita automatizar y humanizar el proceso de cernido

Capítulo II: Diseño conceptual de la planta procesadora de sorgo.

En este capítulo se realiza el diseño conceptual de la planta procesadora de sorgo a pequeña escala, partiendo de establecer las especificaciones y requisitos necesarios que permiten definir la forma y dimensiones de los componentes de dicha planta.

2.1 - Premisas para el diseño de la planta procesadora de sorgo.

Para el diseño de la planta procesadora de sorgo se parte del equipamiento ya existente en la UCLV, manteniendo el motor Y90S4 y el Molino CTI Omega VI. Para ello fue necesario modificar la estructura donde se encuentra fijado el molino. A esto debe añadirse el mecanismo de cernido teniendo en cuenta las dimensiones generales y los conceptos ergonómicos relacionados con el operario. Pues su altura no debe sobrepasar el rango de visión del mismo, ya que este debe ser capaz de inspeccionar el proceso para regular el ajuste de los discos cuando sea necesario.

En la UCLV se cuenta con dos tamices (Mesh No. 60 y Mesh No. 100) para asegurar el control de la granulometría de la harina. Por lo tanto, se debe considerar que la zaranda permita el cambio del tamiz de acuerdo a la granulometría requerida de la harina y además facilitar la limpieza. Por otra parte, como la mayor producción del molino está destinada a la alimentación humana, en especial de los niños celíacos, se debe tener en cuenta que el material de las piezas que tienen contacto con la harina deben ser de acero inoxidable para evitar su contaminación. Además, las transmisiones mecánicas utilizadas deben ser capaces de lograr un movimiento estable del molino y la zaranda; y tener las protecciones necesarias que eviten accidentes durante su funcionamiento.

2.1.1 - Selección de las velocidades de funcionamiento y de las transmisiones para el movimiento.

Como se explicó en el epígrafe 1.5.1, dentro de los factores que afectan la molienda, la dureza del grano es uno de los principales a considerar, puesto que el sorgo es muy duro y difícil de triturar. Por tanto, se requiere de un mayor esfuerzo mecánico y que los períodos de residencia del grano en la zona de trituración sean lo más prolongado posible. Para lograr esto, los molinos de productos duros se mueven relativamente lentos. En este sentido es necesario disminuir la velocidad actual de 400rpm del Molino CTI Omega VI, para de esta forma lograr una mejor calidad de la harina obtenida. Otro factor

que afecta la molienda es la sensibilidad a la temperatura, pues en la zona de acción de un molino las partículas se encuentran en constante fricción y movimiento provocando un aumento de temperatura que se va a disipar en forma de calor, ocasionando la degradación del producto. Al reducir la velocidad del molino de disco el grano de sorgo se mantiene más tiempo en la zona de acción. Esto permite que se triture en pocas pasadas disminuyendo la posibilidad de degradación y pérdida de nutrientes de la harina por causa del aumento de temperatura.

Para la automatización del proceso de cernido se decidió emplear un cernidor plano horizontal. Según la bibliografía consultada, estos cernidores presentan ventajas en la estratificación para el tamizado de los productos molidos. Otra ventaja radica en el movimiento oscilante durante el cernido, donde el producto cae por la fuerza de gravedad de su peso, lo que facilita el proceso y dispersión de la harina por todo el tamiz. Como la producción de harina es a pequeña escala, se tomó como referencia para el diseño, la zaranda artesanal descrita en el epígrafe 1.6.3. En este tipo de máquina el proceso de cernido se realiza a partir de un movimiento oscilante de avance y retroceso producido por un mecanismo biela-manivela-balancín que se debe calcular y dimensionar en base a los parámetros cinemáticos. En este sentido, la velocidad de la zaranda debe tener un rango estable; ni muy alta que se derrame, ni demasiado baja, que no permita la dispersión y filtrado de la harina por todo el tamiz. Es por ello que se decidió una velocidad de 60 rpm para lograr un movimiento de un ciclo de recorrido por segundo, asegurando así la estabilidad y suavidad durante el proceso.

Para reducir la velocidad del motor y transmitir el movimiento a ambas máquinas (molino y zaranda) se dispuso emplear transmisiones flexibles por correas, ya que estas permiten la transmisión del movimiento a distancias medias, producen menor ruido que otros tipos de transmisiones, absorben las vibraciones y son de bajo costo.

2.1.2 - Requisitos preliminares para el diseño de la planta procesadora de sorgo.

Requisitos preliminares y restricciones de diseño

- Mantener el motor eléctrico Y90S4, con una potencia de 1,1 kW y 1700 rpm y el Molino CTI Omega VI actual, añadiendo el proceso automatizado de cernido.

- Disminuir la velocidad actual del molino, de 400 rpm a 200 rpm, para garantizar la granulometría de la harina. Esto implica rediseñar la transmisión mecánica.
- Establecer para la zaranda que el movimiento oscilatorio sea de un ciclo de recorrido por segundo y así garantizar suavidad y estabilidad durante el cernido.
- Especificar que la capacidad de procesamiento no debe ser inferior a 25 lb/h.
- Modificar el diseño de la armazón base, que soporta el actual molino CTI, añadiendo una estructura que permita la colocación y movimiento de la zaranda, así como facilitar el envasado final de la harina.
- Definir las dimensiones ergonómicas que garanticen que la altura del armazón no sobrepase el rango de visión del operario.
- Establecer el esquema cinemático del sistema de transmisión mecánica desde el motor al molino y a la zaranda. Lo cual incluye varias transmisiones por correas, de acuerdo a las etapas de reducción de velocidad que sean necesarias.
- Definir el mecanismo para el movimiento oscilatorio de la zaranda. En este sentido, se decidió utilizar el mecanismo biela-manivela-balancín. Esto implica realizar el cálculo cinemático y dimensionamiento de dichos elementos.
- Diseñar la planta de manera que se facilite su construcción y montaje, con el menor número de piezas posible.
- Definir las dimensiones de la zaranda en correspondencia con la capacidad, permitiendo que el tamiz sea intercambiable, para asegurar el control de la granulometría de la harina. En ese sentido, se toman los tamices con que cuenta la UCLV, que según la Norma **ASTM E-11/95**, se corresponden con **Mesh No. 60** con orificios de la malla de 0,250 mm y **Mesh No. 100** de 0,150 mm.
- Garantizar robustez en la estructura, elaborada a partir de láminas y perfiles de acero. El material de las partes y piezas que estén en contacto con la harina se deberán fabricar de acero inoxidable AISI 304 por sus propiedades anticorrosivas.

2.2 - Cálculos cinemáticos y dimensionamiento de las transmisiones flexibles.

2.2.1 - Análisis cinemático del sistema de transmisión por correas.

Las máquinas a mover son las siguientes: el Molino CTI Omega VI y la zaranda mecánica. Las cuáles serán accionadas a partir de transmisiones flexibles por correas colocadas en

varias etapas de reducción de la velocidad. Esto resulta necesario primeramente porque la velocidad del motor con que se cuenta es mayor que la velocidad requerida para el funcionamiento de ambas máquinas y también para evitar unos diámetros muy grandes de las poleas, que influyan negativamente en lograr un diseño más compacto de la planta.

En la figura 2.1 se muestra una vista general del esquema de la distribución de la planta. El motor será acoplado al árbol intermedio mediante poleas constituyendo una primera etapa de reducción de la velocidad y seguidamente una segunda reducción para el molino y otra para la zaranda.

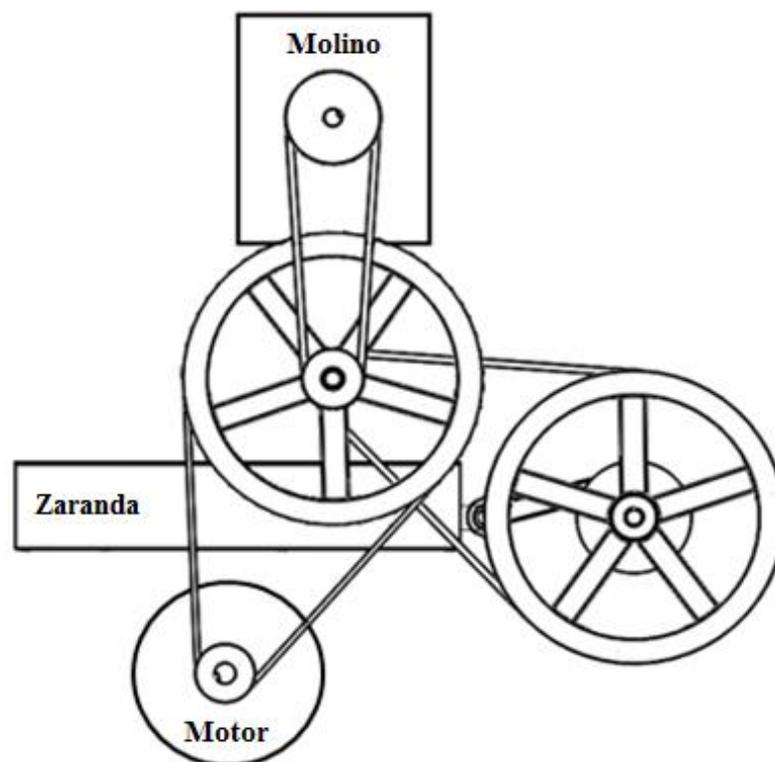


Figura 2.1: Esquema de la distribución de la planta procesadora de Sorgo.

El sistema de accionamiento mecánico propuesto contiene tres transmisiones por correas, como se puede apreciar en el esquema de la figura 2.2. Las cuales funcionan a partir del motor eléctrico modelo Y90S4. Las máquinas a mover son: el molino de disco CTI Omega VI y la zaranda mecánica, las cuales demandan una velocidad de funcionamiento de 200 y 60 rpm respectivamente.

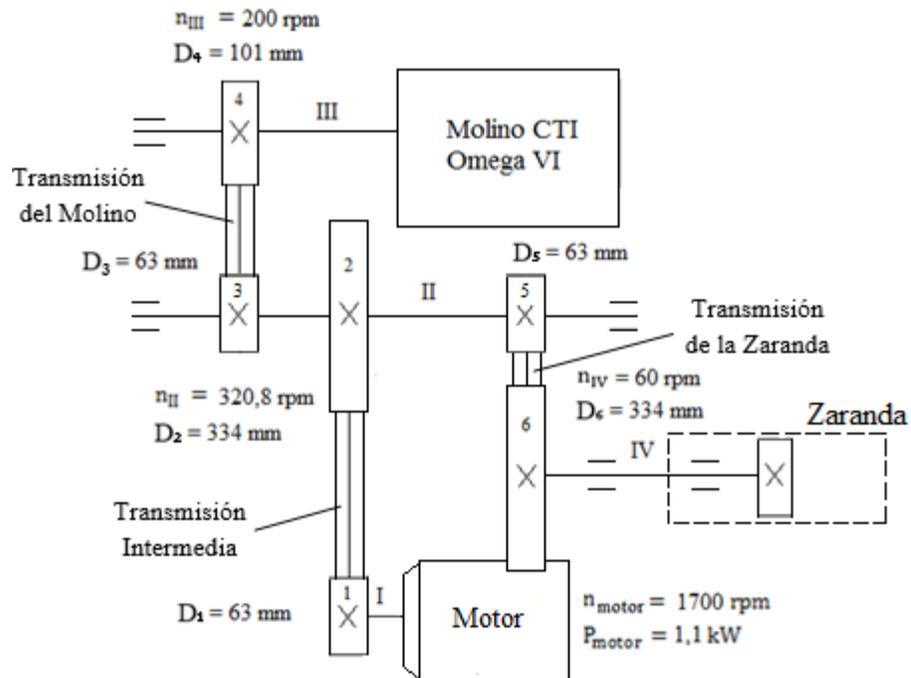


Figura 2.2: Esquema Cinemático del Sistema de transmisión mecánica.

En la tabla 2.1 se muestran un resumen de los datos iniciales para el cálculo cinemático de las transmisiones por correas.

Tabla 2.1: Datos iniciales para el cálculo cinemático de las transmisiones.

Elemento	Potencia (kW)	Velocidad de transmisión (rpm)
Motor Y90S4	1,1 kW	$n_{motor} = 1700rpm$
Molino CTI Omega VI	-	$n_{III} = 200rpm$
Zaranda	-	$n_{IV} = 60rpm$

De acuerdo a la nomenclatura establecida en la figura 2.2, para dimensionar las diferentes transmisiones por correas se hizo necesario prefijar los diámetros de paso de las poleas conductoras (D_1 , D_3 y D_5) y de la polea conducida D_2 , para garantizar que las dimensiones fueran lo menor posible. A partir de esas decisiones se calcularon los diámetros de paso de las poleas conducidas (D_4 y D_6), las relaciones de transmisión y las velocidades necesarias para el buen funcionamiento.

La relación de transmisión de las correas se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$u_{co} = \frac{D_{conducida}}{D_{conductor}} \quad (1)$$

Donde:

u_{co} : Relación de transmisión de la correa.

$D_{conductora}$: Diámetro de paso de la polea conductora.

$D_{conducida}$: Diámetro de paso de la polea conducida.

Sustituyendo en la expresión (1) para la transmisión intermedia, con un diámetro de paso de 63 mm para la polea conductora (D_1) y de 334 mm para la polea conducida (D_2) se obtiene como resultado un valor de la relación de transmisión (u_{co_1}) igual a 5,3.

La relación de transmisión también se puede expresar a partir de la relación entre las velocidades de las poleas conductora y conducida según la expresión (2).

$$u_{co} = \frac{n_{conductora}}{n_{conducida}} \quad (2)$$

Donde:

u_{co} : Relación de transmisión de la correa.

$n_{conductora}$: Velocidad de la polea conductora.

$n_{conducida}$: Velocidad de la polea conducida.

Mediante la expresión (2) y teniendo como dato la velocidad en el árbol de entrada de la transmisión intermedia, $n_{motor} = 1700$ rpm ($n_{conductora}$) y su relación de transmisión (u_{co_1}), se obtiene el valor de la velocidad del árbol intermedio de $n_{II} \approx 320,8$ rpm.

A partir de la velocidad del árbol intermedio, n_{II} ($n_{conductora}$) y la velocidad a la que se debe mover el molino, $n_{III} = 200$ rpm ($n_{conducida}$) se puede calcular la relación de transmisión (u_{co_2}) mediante la expresión (2), obteniéndose como resultado un valor de $u_{co_2} = 1,6$.

De forma similar, con la expresión (1) y teniendo la relación de transmisión del molino (u_{co_2}) y considerando el diámetro de 63 mm de la polea conductora (D_3) se puede calcular el diámetro de la polea conducida (D_4), obteniéndose un valor de 101 mm.

Sustituyendo en la expresión (2) la velocidad a la que se mueve el árbol intermedio, n_{II} ($n_{conductora}$) y la velocidad de la zaranda, n_{IV} ($n_{conducida}$) se obtiene el valor de la relación de transmisión de las poleas de la zaranda, $u_{co_3} \approx 5,3$.

Considerando el diámetro de 63 mm de la polea conductora (D_5) se calcula el diámetro de la polea conducida (D_6) de la transmisión por correa de la zaranda, a partir de la expresión (1), obteniéndose un valor de 334 mm. En la tabla 2.2 se muestra un resumen de los valores obtenidos en los cálculos anteriores.

Tabla 2.2: Resumen de los valores obtenidos.

Transmisiones por correas	Relación de transmisión (U_{co})	Velocidad de cada árbol (n)	Diámetros de paso de las poleas	
			Conductora	Conducida
Del motor al árbol intermedio	$u_{co_1} = 5,3$	Intermedio $n_I = 320,8$ rpm	$D_1 = 63$ mm	$D_6 = 334$ mm
Del árbol intermedio al molino	$u_{co_2} = 1,6$	Molino $n_{II} = 200$ rpm	$D_3 = 63$ mm	$D_4 = 101$ mm
Del árbol intermedio a la zaranda	$u_{co_3} = 5,3$	Zaranda $n_{III} = 60$ rpm	$D_5 = 63$ mm	$D_6 = 334$ mm

2.2.2 - Cálculo de las transmisiones por correas para las diferentes etapas.

Como se puedes apreciar en la figura 2.2 se deben calcular las transmisiones por correas para 3 etapas, que son las siguientes:

- Transmisión por correa del motor al árbol intermedio
- Transmisión por correa del árbol intermedio al molino.
- Transmisión por correa del árbol intermedio a la zaranda.

Para las transmisiones se decide utilizar correas trapezoidales, por las ventajas de las mismas con respecto a las correas planas, por tener una mayor capacidad de carga. Por tanto, lo primero es decidir la selección del tipo de correa trapezoidal a utilizar teniendo en cuenta la potencia y el torque a transmitir que se calcula por la expresión (3).

$$T = 9550 \frac{P}{n} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (3)$$

Sustituyendo en (3) para la potencia y velocidad del motor ($P_m = 1,1$ kW y $n_m = 1700$ rpm) se obtiene el valor del torque a transmitir igual a 6,2 N·m. En función de este torque se selecciona la **correa trapezoidal tipo Z**, de acuerdo a lo recomendado en el catálogo de la tabla 8 del material Cálculo de Correas, para valores de torque de hasta 25 N·m (Intranet FIMI UCLV 2019).

Del catálogo se extraen los parámetros de las correas trapezoidales que se muestran en la tabla 2.3, donde b y h son las dimensiones de la sección transversal de la misma.

Tabla 2.3 Parámetros de las correas trapezoidales

Tipo de Correa	b ₀ (mm)	b (mm)	h (mm)	A (mm ²)	Lo (mm)	L _{mín} (mm)	L _{máx} (mm)	D _{1mín} (mm)	T ₁ (N·m)	q _m (kg/m)	V _{máx} (m/s)
Z	8.5	10	6	47	1320	400	2500	63	Hasta 25	0.06	25

Los datos necesarios para los cálculos aparecen en la tabla 2.2 y el dimensionamiento se realiza mediante el siguiente procedimiento:

1) Determinación de la distancia entre centros de referencia (a_r).

La posición relativa de cada árbol se logra sustituyendo los diámetros de las poleas conducidas y las relaciones de transmisión en la expresión (4). Con ello se determinan las distancias entre centros de referencias (a_r), las cuales deben estar dentro de las distancias entre centros máximas y mínimas obtenidas a partir de las expresiones (5) y (6), conociendo que fue seleccionada la correa tipo Z para todas las transmisiones. Por tanto, se toma de la Tabla 2.3 la altura de la correa (h = 6 mm).

$$a_r = \frac{1,5 \cdot D_{\text{conducida}}}{\sqrt[3]{u_{\text{co}}}} \quad (4)$$

$$a_{\text{máx.}} = 3(D_{\text{conductor}} + D_{\text{conducida}}) \quad (5)$$

$$a_{\text{mín.}} = 0,55(D_{\text{conductor}} + D_{\text{conducida}}) + h \quad (6)$$

De esa forma se obtuvieron los valores de (a_r) mostrados en la tabla 2.4:

Tabla 2.4: Resumen de los valores de las distancias entre centros obtenidas.

Transmisión	Distancia entre centros calculadas		
	Recomendada (a _r)	Máxima (a _{máx})	Mínima (a _{mín})
Del motor al árbol intermedio	a _r = 287,4 mm	a _{máx} = 1191 mm	a _{mín} = 224,4 mm
Del árbol intermedio al molino	a _r = 129,5 mm	a _{máx} = 492 mm	a _{mín} = 96,2 mm
Del árbol intermedio a la zaranda.	a _r = 287,4 mm	a _{máx} = 1191 mm	a _{mín} = 224,4 mm

2) Cálculo de la longitud de paso de la correa (L).

Para determinar las longitudes de paso de las correas para las tres transmisiones se emplea la expresión (7)

$$L = 2a + 1,57(D_{\text{conductor}} + D_{\text{conducida}}) + \frac{(D_{\text{conducida}} - D_{\text{conductor}})^2}{4a} \quad (7)$$

Una vez sustituidos los valores de los diámetros de paso de las poleas y la distancia entre centros de referencia en dicha expresión, se obtienen los valores de las longitudes de paso que se muestran en la tabla 2.5. Los mismos deben estar dentro del rango máximo y mínimo que aparecen en la tabla 2.3 para la correa tipo Z.

Tabla 2.5: Resumen de los valores de las longitudes de paso calculadas.

Transmisión	Longitud de paso calculadas			
	Máxima (L _{máx})	Mínima (L _{mín})	Calculada (L)	Normalizada (L _n)
Motor al árbol intermedio	L _{máx} = 2500 mm	L _{mín} = 400 mm	L = 1262 mm	L _n = 1400 mm
Árbol intermedio al molino			L = 519,3 mm	L _n = 630 mm
Árbol intermedio a la zaranda.			L = 1262 mm	L _n = 1400 mm

3) Cálculo de la distancia entre centros definitiva de la transmisión.

Teniendo en cuenta las longitudes de paso definidas se calculan las distancias entre centros definitivas para el montaje de la transmisión por la expresión (8):

$$a = \frac{4L - 6,28(D_{\text{conduci.}} + D_{\text{conduct.}}) + \sqrt{(4L - 6,28(D_{\text{conduci.}} + D_{\text{conduct.}}))^2 - 32(D_{\text{conduci.}} - D_{\text{conduct.}})^2}}{16} \quad (8)$$

Sustituyendo los valores de los diámetros de paso de las poleas y las longitudes de paso de la correa en la expresión (8) se obtienen los valores de las distancias entre centros para cada transmisión como se muestran en la tabla 2.6.

La distancia entre centros calculada entre el árbol intermedio y el molino se aumentó de 185,3 a 300 mm con el fin de evitar intersecciones del molino con los demás componentes de la máquina.

Tabla 2.6: Resumen de los valores de las distancias entre centros obtenidos.

Transmisión	Distancia entre centros de montaje
Motor al árbol intermedio	a = 363,1 mm
Árbol intermedio al molino	a = 300 mm
Árbol intermedio a la zaranda.	a = 363,1 mm

4) Cálculo y comprobación del ángulo de abrazado en la polea menor (θ).

Se determina el ángulo de abrazado (θ), por la expresión (9) y se comprueba que no sea mayor que $\theta_{\text{mín}}$ igual a 120° , para garantizar que no haya deslizamiento de la correa en la polea en ninguna de las transmisiones.

$$\theta = 180 - \frac{57,3(D_{\text{conducida}} - D_{\text{conductor}})}{a} \quad (9)$$

En la tabla 2.7 aparecen los valores de los ángulos de abrazado calculados para la polea menor en cada transmisión, en todos los casos se aprecia que son mayores que el valor mínimo recomendado.

Tabla 2.7: Resumen de los valores de los ángulos de abrazado obtenidos.

Transmisión	Ángulo de abrazado calculado	Ángulo de abrazado mínimo recomendado
Motor al árbol intermedio	$\theta = 137,2^\circ$	$\theta_{\text{mín}} = 120^\circ$
Árbol intermedio al molino	$\theta = 127,7^\circ$	
Árbol intermedio a la zaranda.	$\theta = 137,2^\circ$	

5) Determinación de los principales parámetros geométricos de las poleas

Las dimensiones de las poleas conductoras y conducidas en cada una de las transmisiones se determinan por las expresiones de los parámetros geométricos que aparecen en la tabla 15 del material Cálculo de Correas (Intranet FIMI UCLV 2019). Los resultados de las dimensiones obtenidas aparecen en la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Resumen de las dimensiones de las poleas de cada transmisión.

Dimensiones	Transmisión		
	Motor al árbol intermedio	Árbol intermedio al molino	Árbol intermedio a la zaranda.
Diámetro exterior polea conductora	$De_1 = 68 \text{ mm}$	$De_3 = 68 \text{ mm}$	$De_5 = 68 \text{ mm}$
Diámetro exterior polea conducida	$De_2 = 339 \text{ mm}$	$De_4 = 106 \text{ mm}$	$De_6 = 339 \text{ mm}$
Diámetro de fondo polea conductora	$Df_1 = 49 \text{ mm}$	$Df_3 = 49 \text{ mm}$	$Df_5 = 49 \text{ mm}$
Diámetro de fondo polea conducida	$Df_2 = 320 \text{ mm}$	$Df_4 = 87 \text{ mm}$	$Df_6 = 320 \text{ mm}$
Ancho de la polea	$B = 16 \text{ mm}$	$B = 16 \text{ mm}$	$B = 16 \text{ mm}$

2.3 - Diseño del mecanismo biela-manivela-balancín.

El diseño del mecanismo y la determinación de las dimensiones de los elementos se realizaron a partir del análisis geométrico, teniendo en cuenta la Ley de Grashof. Para el

diseño de este se partió del esquema que se puede apreciar en la figura 2.3. El cual fue realizado a partir del software SolidWorks 2018 para agilizar el proceso.

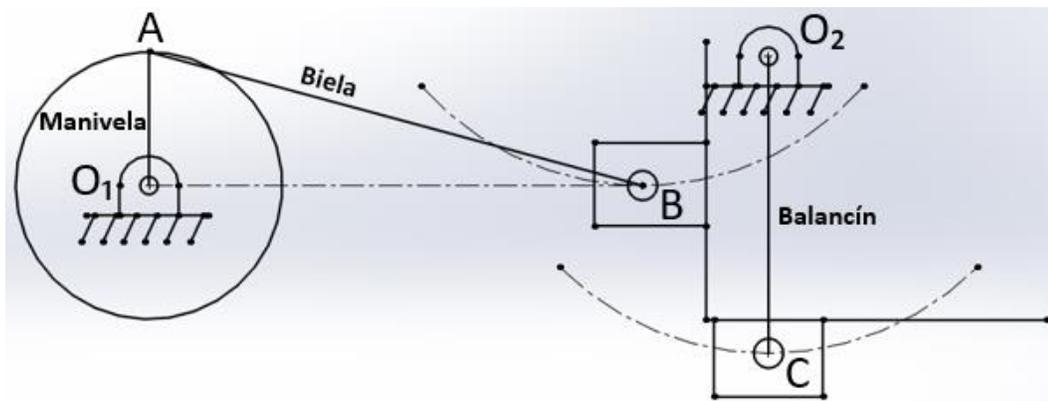


Figura 2.3: Esquema del mecanismo Biela - Manivela - Balancín.

Ley de Grashof

La consideración más importante en este tipo de mecanismo es que la manivela pueda girar una revolución completa. La ley de Grashof permite determinar el cumplimiento de esta condición, siempre que se cumpla que: La suma de la longitud de la barra más larga o biela (**l**) y la de la barra más corta o manivela (**s**) sea menor o igual que la suma de las longitudes de la barra fija (**p**) y la barra adyacente o balancín (**q**). Es decir $(s+l) \leq (p+q)$ (Torres Reyes 2009). En la figura 2.4 se puede apreciar la aplicación de esta ley para el mecanismo manivela - biela - balancín.

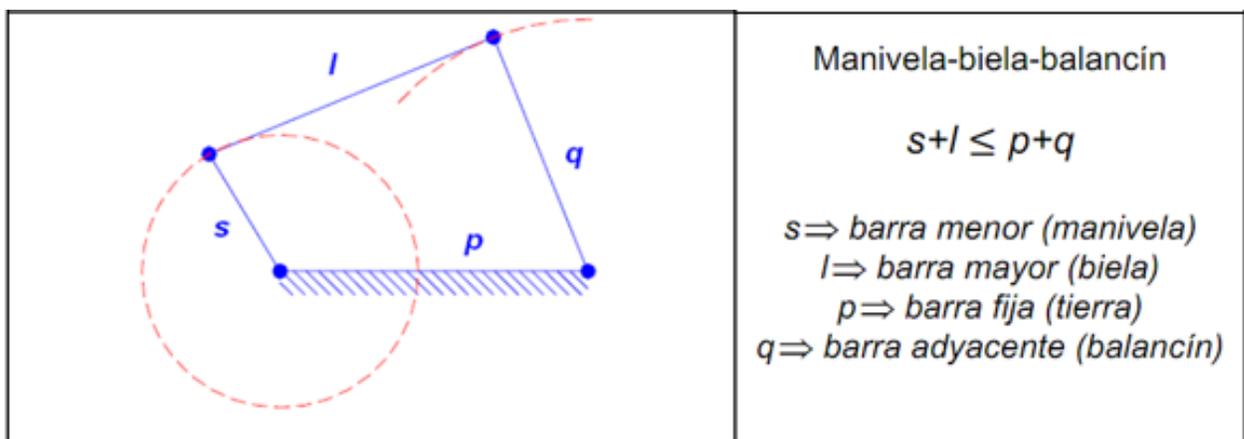


Figura 2.4: Aplicación de la Ley de Grashof para el mecanismo.

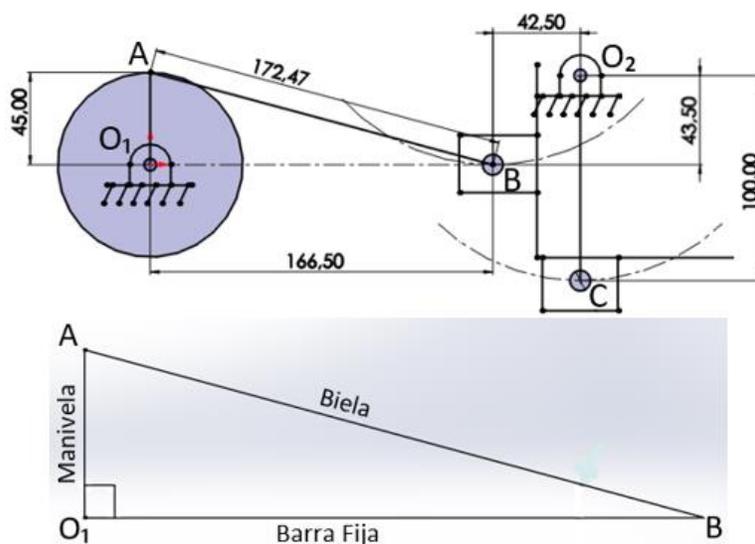
2.3.1 - Condiciones para establecer las dimensiones del mecanismo.

Requisitos a tener en cuenta:

- La distancia entre el centro de la manivela y el punto de unión de la biela con la zaranda (barra fija) debe ser lo suficiente para que permita el recorrido de la bandeja sin intersecciones de sus elementos.
- El centro de rotación del balancín debe estar a una altura del centro de la manivela de tal forma que el mismo pueda mantener un movimiento estable.
- La longitud de la manivela debe asegurar un recorrido de la zaranda que permita que la harina se mueva por todo el tamiz.

2.3.2 - Análisis geométrico del mecanismo desarrollado.

A partir de las dimensiones que se muestran en la figura 2.5 y ubicando la manivela en una posición extrema de 90° respecto a la horizontal, se pudo determinar la longitud de la biela mediante el Teorema de Pitágoras.



Considerando:

$\overline{O_1A} = 45 \text{ mm}$ (Longitud de la manivela).

$\overline{O_1B} = 166,5 \text{ mm}$ (Distancia entre el centro de la manivela y el punto de unión de la biela con la zaranda).

$\overline{O_1O_2} = 43,5 \text{ mm}$ (Distancia vertical entre el centro de la manivela y el centro de rotación del balancín).

$\overline{O_2C} = 100 \text{ mm}$ (Longitud del Balancín).

$\overline{BO_2} = 42,5 \text{ mm}$ (Distancia entre el punto de unión de la biela con la zaranda y el centro

Figura 2.5: Esquema del mecanismo desarrollado.

Aplicando el teorema de Pitágoras se determina la longitud de la biela, como se muestra a continuación.

Teorema de Pitágoras

$$\overline{AB}^2 = \overline{O_1A}^2 + \overline{O_1B}^2$$

$$\overline{AB} = \sqrt{\overline{O_1A}^2 + \overline{O_1B}^2}$$

$$\overline{AB} = \sqrt{45^2 + 166,5^2}$$

$$\overline{AB} \approx 172,47 \text{ mm (Longitud de la biela)}$$

Ley de Grashof

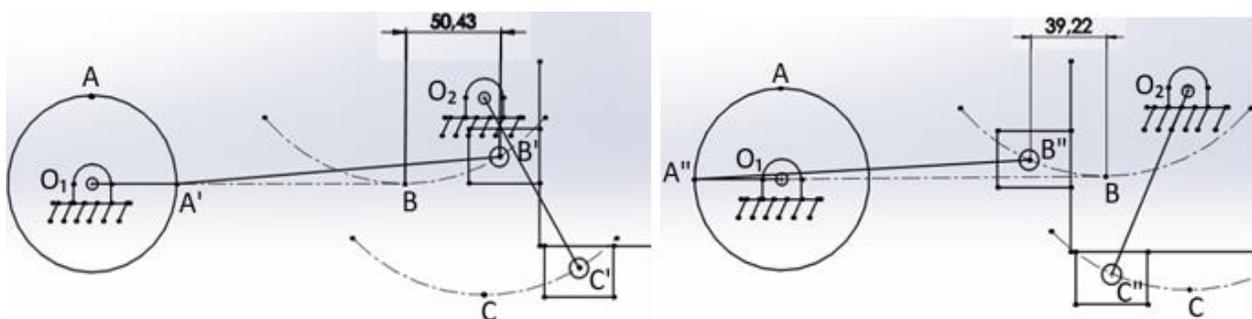
$$(\overline{O_1A} + \overline{AB} \leq \overline{O_1B} + \overline{O_2C})$$

$$(45 + 172,47 \leq 166,5 + 100)$$

$$(217,47 < 266,5) \text{ Se cumple}$$

2.3.3 - Determinación del recorrido del balancín.

Como se puede apreciar en la figura 2.5 se analiza el mecanismo en dos posiciones extremas para determinar su recorrido. La determinación de los puntos límites B', B" y C', C" se obtienen de un análisis geométrico con ayuda del SolidWorks. Cuando el punto B (punto de unión entre la biela y la zaranda) recibe el torque procedente de la biela este va a describir un movimiento circular continuo, con un radio de acción igual al del balancín. Es decir, el punto B, va a describir un movimiento igual al del punto C, (extremo móvil del balancín). Por lo tanto, al determinar la ubicación del punto B, en la posición extrema No.1, solo hay que hacer coincidir la longitud de la biela con el arco que este describe al moverse hacia esta posición. En la posición extrema No. 2 se realiza el mismo procedimiento. Una vez calculada la distancia entre los puntos B y B' y entre B y B", se obtiene el desplazamiento horizontal que describe la zaranda (ver figura 2.6). La distancia entre B y O₂ fijada anteriormente, es igual a la distancia entre B' y C' y a la distancia entre B" y C". Lo que permite determinar la posición del punto C en ambas posiciones extremas.



a) Posición extrema No. 1.

b) Posición extrema 2.

Figura 2.6: Posiciones extremas que se analizan en el mecanismo.

2.4 - Dimensionamiento de los principales componentes de la planta procesadora de sorgo de sorgo.

A continuación, se muestra en la figura 2.7 un croquis de la planta procesadora de sorgo donde se puede apreciar los principales componentes de la misma.

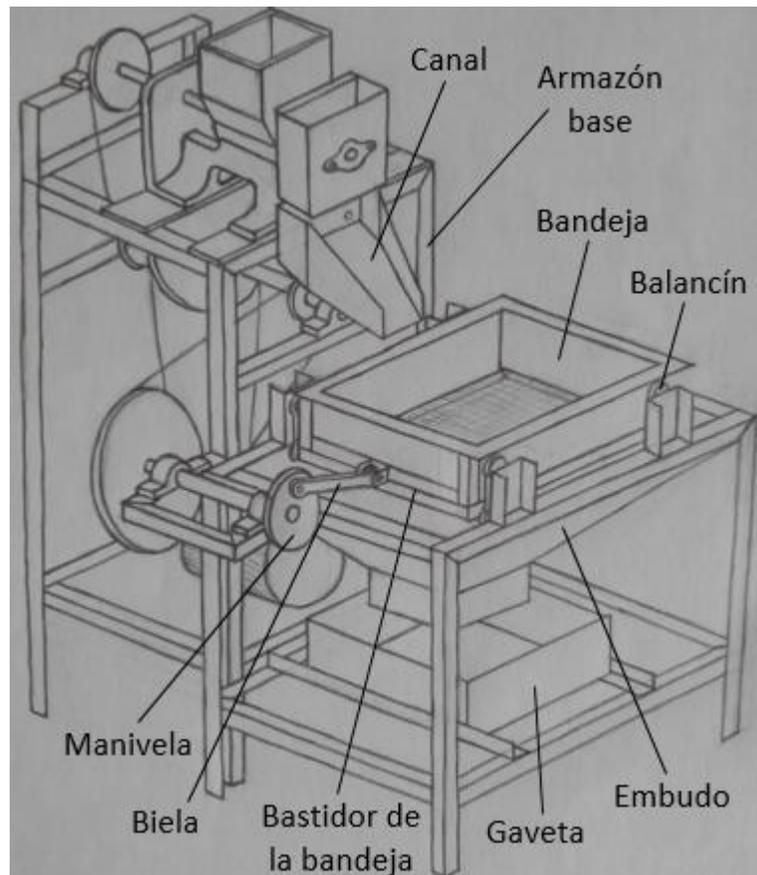


Figura 2.7: Croquis de la planta procesadora de sorgo.

Armazón Base

El armazón base es la estructura que soporta las máquinas y las transmisiones del movimiento, debe tener rigidez, estabilidad y ser de fácil construcción. Su dimensionamiento se realizó a partir de la configuración espacial de los elementos y de las dimensiones de las poleas y las distancias entre centros de los árboles. En este sentido se concibió que quedarán dentro de la estructura para garantizar protección.

Para el dimensionamiento de la parte de la estructura donde se ubica la zaranda se tuvo en cuenta las dimensiones del bastidor de la bandeja, dejando **60 mm** a ambos lados para permitir el acoplamiento y funcionamiento de los balancines. También se tuvo en

cuenta el recorrido que realiza el bastidor en el proceso de cernido. El armazón se construirá de perfiles angulares de **35 x 35 x 4 mm**, además de planchas rectangulares. Los cuales se unirán por soldadura.

Bandeja

En este elemento se encuentra montado el tamiz y es donde se realiza el cernido. Se deberán construir dos bandejas para los tipos de tamices especificados anteriormente (Mesh No. 60 y Mesh No. 100). De esta forma se logra una mejor estratificación y control de la granulometría de la harina. La forma de la bandeja es rectangular y sus dimensiones estarán en función del tamiz, teniendo en cuenta que se debe dejar cierta holgura entre este y la bandeja para permitir la extracción del mismo de ser necesario. El tamiz se decidió que tuviera una dimensión de **500 x 400 mm**, de acuerdo al flujo del volumen de harina y en correspondencia con la capacidad del molino. La altura de la bandeja se decidió que fuera de **100 mm**, para que se pueda cernir la harina sin derramarse. Además, se colocarán dos agarraderas que posibilitan su traslado y unos sujetadores que mantendrán fijo el tamiz a la misma.

Bastidor de la bandeja

El bastidor es el elemento que soporta la bandeja y quien realiza el movimiento oscilante que provoca el cernido de la harina. Su dimensionamiento se definió a partir de las dimensiones de la bandeja dejando una holgura de **1 mm** entre ellos para facilitar el montaje y desmontaje de la misma. Se construirá de perfiles angulares de **35 x 35 x 4 mm**, de forma tal que la bandeja encaje en él y no se salga durante el movimiento. Su dimensión total es de **530 x 430 mm**.

Canal de salida del molino

Su función es la de conducir la harina de forma continua desde la salida del molino hasta el tamiz de la zaranda. El dimensionamiento de la canal se llevó a cabo a partir de las dimensiones de la boca de salida del molino y de la distancia a la que se encuentra este respecto a la zaranda. Se le dará una pendiente descendente con un ángulo de **22°** respecto a la horizontal ya que debe permitir que la harina fluya rápidamente sin acumularse.

Árboles

El diseño de los árboles y el dimensionamiento de las longitudes y diámetros de cada escalón se realiza en correspondencia con los elementos mecánicos que se le acoplan y con las dimensiones del armazón base. Es necesario diseñar dos árboles, uno intermedio que recibe el torque del motor y lo transmite a las máquinas y uno para transmitir el movimiento a la zaranda.

a. **Árbol Intermedio.**

El árbol intermedio como se puede apreciar en el esquema de la figura 2.8 posee seis escalones y tiene una longitud total de **425,97 mm**. A este se le acoplan tres poleas (poleas **2**, **3** y **5**) y se apoya en dos pedestales colocados en los extremos. La determinación de la longitud de los escalones se hace a partir de la longitud total del árbol y según los elementos mecánicos que se acoplan a él. Todas las uniones árbol cubo se realizan mediante chavetas prismáticas y a los escalones se le realizan biseles para eliminar bordes agudos y facilitar el montaje de cada elemento.

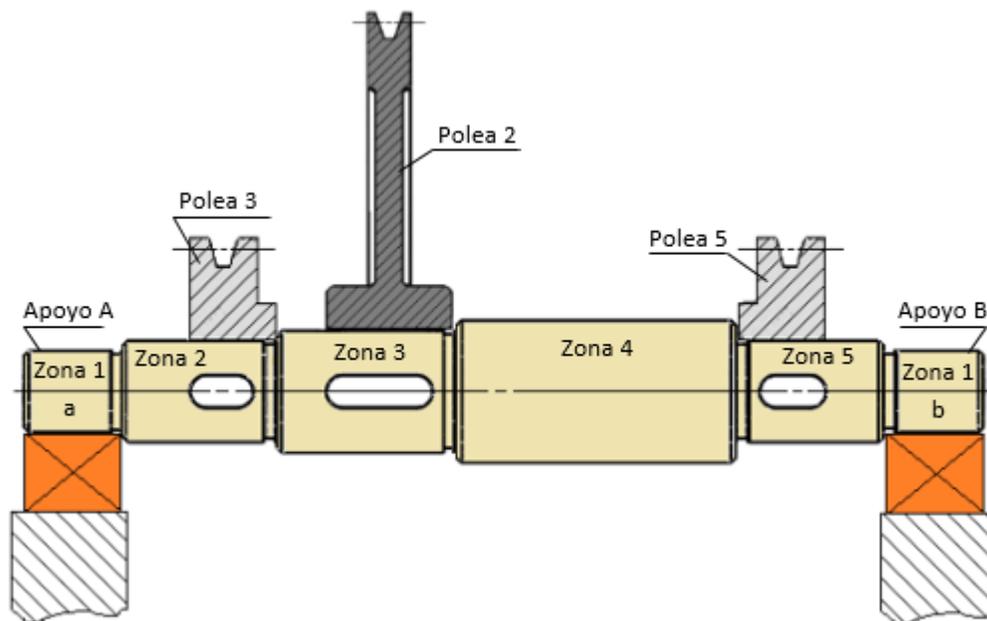


Figura 2.8: Esquema del árbol intermedio.

Zona 1: En estas zonas se colocan los cojinetes de rodamiento. Estos escalones se rectifican para garantizar las tolerancias y rugosidad superficial necesarias para el montaje de los cojinetes. Las longitudes de los escalones **1a** y **1b** coinciden con el ancho del cojinete que se selecciona, en este caso, **34 mm**. Los diámetros de estos escalones

deben ser múltiplos de cinco en correspondencia con los cojinetes normalizados y también deben ser menores que los diámetros de las zonas 2 y 5. Por tanto se definió un diámetro de **20 mm**.

Zona 2: Este escalón tiene la función de soportar la polea conductora **3**, por lo que su longitud es de **57,97 mm**, de tal forma que dicha polea quede alineada con la polea conducida **4** y que no se intercepte con los demás elementos de la planta. El diámetro se decidió que fuera de **25 mm** para que este escalón tenga un diámetro mayor que el de la zona **1a** y sirva de apoyo axial al cojinete.

Zona 3: Este escalón tiene la función de soportar la polea conducida **2**, por lo que su longitud es de **73,5 mm** para que la polea quede en una posición en la que no se intercepte con otros elementos de la planta. Su diámetro se definió de **30 mm**, mayor que el de la zona 2 para que sirva de apoyo axial a la polea **3**.

Zona 4: El escalón de esta zona no soporta ningún elemento mecánico, no obstante, tiene varias funciones. En la dirección axial, de izquierda a derecha, este escalón constituye el apoyo axial de la polea **2** y de derecha a izquierda, es el apoyo axial de la polea **5**. Por esta razón el diámetro debe ser mayor que el de las demás zonas para garantizar el contacto entre las superficies laterales de las poleas y el escalón. Por tanto, se decidió un valor de **35 mm**. La longitud de esta zona debe ser lo suficiente que asegure, de acuerdo a la longitud total del árbol, la posición y alineación de las poleas, sin que se intercepten con otros elementos de la planta. Es por ello que se selecciona una longitud de **175,5 mm**.

Zona 5: Este escalón tiene la función de soportar la polea conductora **5** por lo que su longitud es de **51 mm** de tal forma que la polea quede en una posición en la que no se intercepte con los demás elementos de la planta, quede alineada con la polea conducida **6** y su cara lateral no choque con el cojinete. Su diámetro será de **25 mm** puesto que este escalón debe ser mayor que el de la zona **1b** para que sirva de apoyo axial al cojinete.

b. Árbol de la Zaranda.

Como se puede apreciar en la figura 2.9 el árbol de la zaranda contará con cinco escalones y una longitud total de **377 mm**, apoyada en dos pedestales. A este se le acoplan la polea conducida **6** y la manivela. La determinación de la longitud de los escalones se hace a partir de la longitud total del árbol y según la posición en la que

deben quedar los elementos mecánicos que se acoplan a él. Las uniones árbol - cubo se realizan mediante chavetas prismáticas y a los escalones se le realizan biseles para eliminar bordes agudos y facilitar el montaje de cada elemento.

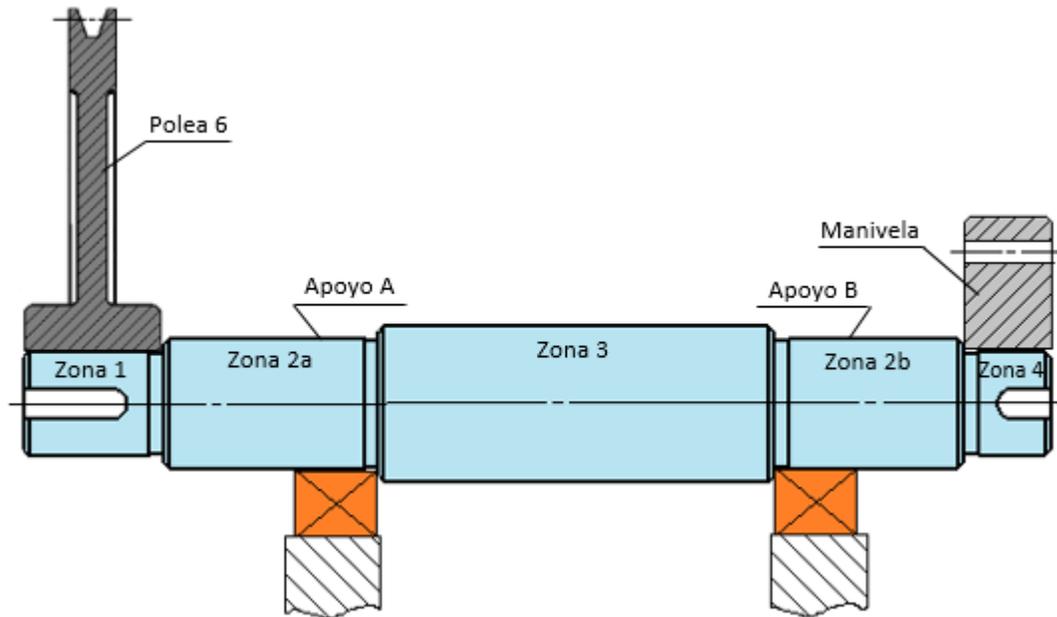


Figura 2.9: Esquema del árbol de la zaranda.

Zona 1: Este escalón tiene la función de soportar la polea conducida **6**, por lo que se define una longitud de **46 mm** (ancho del cubo de la polea). Su diámetro será de **20 mm**.

Zona 2: En estas zonas se colocan los cojinetes de rodamiento. Estos escalones se rectifican para garantizar las tolerancias y rugosidad superficial necesarias para el montaje de los cojinetes. Se establecieron unas longitudes de **46 mm** para el escalón **2a** y de **40 mm** para el escalón **2b**, ya que estas tienen que ser mayores que el ancho del cojinete, para asegurar la alineación y posición de la polea y la manivela. Además, deben garantizar que las caras laterales de estos elementos no se interfieran con los cojinetes. Los diámetros de estos escalones deben seleccionarse múltiplos de cinco de acuerdo con los cojinetes normalizados. También deben ser mayores que los diámetros de las zonas 1 y 4, para que sirvan de apoyo axial a la polea y a la manivela. Por tanto, se define un diámetro de **25 mm** para los dos escalones.

Zona 3: Este escalón no soporta ningún elemento mecánico. En la dirección axial, de izquierda a derecha, constituye el apoyo axial del cojinete de la zona **2a** y de derecha a izquierda, es el apoyo axial del cojinete de la zona **2b**. Por lo que su diámetro debe ser relativamente mayor que el de estas zonas. En este caso se establece un valor de

diámetro de **30 mm**. La longitud de esta zona se definió con un valor de **223 mm** para asegurar de acuerdo a la longitud total del árbol la posición de la polea y la manivela de tal forma que no se intercepten con otros elementos de la planta y queden alineadas.

Zona 4: Este escalón tiene la función de soportar la manivela, por lo que se selecciona una longitud de **22 mm** (ancho de la manivela). Su diámetro será de **20 mm** puesto que este escalón debe ser menor que el de la zona **2b** para que esta le sirva como apoyo axial.

Poleas

El diámetro del cubo de cada polea coincide con el diámetro del escalón del árbol al que estas se acoplan. El ancho del cubo se especificó teniendo en cuenta la longitud del escalón correspondiente y los requisitos mencionados anteriormente para los árboles. Para la polea **1, 3, 4 y 5** se estableció un ancho de **25 mm** y para la polea **2 y 6** un ancho de **46 mm**.

Manivela

La manivela tiene forma cilíndrica con un diámetro **90 mm** de acuerdo a la distancia prefijada anteriormente. Posee un agujero roscado excéntrico de **12 mm** de diámetro, por medio del cual se acopla la biela a partir de un tornillo con su tuerca. Esta tiene un diámetro del cubo de **20 mm** y un ancho de **22 mm** como se mencionó anteriormente.

Biela

La biela tiene la función de convertir el movimiento de rotación procedente de la manivela en un movimiento de traslación y posee tres partes: pie de biela, cuerpo y cabeza de biela. El pie de biela posee un agujero de **13 mm** en el que se introduce un pasador que permite la unión de la biela con el bastidor. El cuerpo es la parte central de la biela y es quien soporta todos los esfuerzos. La cabeza posee un agujero de **13 mm** por medio del cual se une la biela a la manivela mediante un tornillo con tuerca. Su longitud es la calculada anteriormente **172,47 mm**.

Balancines

Los balancines tienen la función de convertir el movimiento de traslación procedente de la biela en un movimiento circular continuo, describiendo un arco alrededor de un eje fijo. Este tiene una forma similar a la biela y también posee tres partes: cabeza del balancín,

cuerpo y pie del balancín. La cabeza posee un agujero de **13 mm** por medio del cual se une el balancín al armazón base mediante un tornillo con tuerca. Este tornillo va a constituir el eje fijo sobre el cual gira este elemento. El cuerpo es la parte central del balancín y es quien soporta todos los esfuerzos. La cabeza posee un agujero de **13 mm** en el que se introduce un pasador que permite la unión del balancín con el bastidor. Su longitud es de **100 mm** de cuerdo a la distancia prefijada anteriormente.

Elementos normalizados

Como se mencionó anteriormente las uniones árbol-cubo se realizan a partir de chavetas prismáticas cuya principal función es la de unir el árbol con los diferentes elementos mecánicos y así permitir la transmisión del movimiento. Estas serán diseñadas a partir de la norma cubana para chavetas prismáticas NC 16-52.

Los pasadores son elementos de fijación mecánica desmontable que tienen forma cilíndrica o cónica, en el caso de esta máquina son utilizados para realizar la función de ejes acoplados en bujes, es decir van a tener un ajuste móvil con el orificio del balancín de tal forma que permita el movimiento del mismo. La unión de la biela con el bastidor también se realiza mediante un pasador. Estos elementos se diseñarán a partir de la norma cubana para pasadores cilíndricos NC 06-18.

Los pedestales tienen la función de servir de apoyo en el movimiento de rotación de los árboles, así como de soportar las cargas que actúan sobre ellos. Estos se seleccionaron a partir del catálogo Chumaceras Browning Milimétricas. Se seleccionaron pedestales VPS 20 y VPS 25 para los diferentes árboles de la planta.

Embudo a la salida del tamiz

El embudo es el que permite y dirige el recorrido de la harina refinada hasta la gaveta, tiene forma piramidal y cerrada para evitar el esparcimiento del polvo. Sus dimensiones estarán en función de la estructura que soporta la zaranda.

Gaveta

Este elemento facilita el empaquetado de la harina final. La forma de la gaveta es rectangular y sus dimensiones estarán en función del armazón base (**500 x 350 mm**). La

altura de la gaveta se decidió que fuera de **100 mm** y además se le colocarán dos agarraderas para facilitar su traslado.

2.5 - Conclusiones Parciales.

- Del análisis de la velocidad de funcionamiento del Molino CTI Omega VI teniendo en cuenta los factores de dureza del grano y la sensibilidad a la temperatura que afectan la molienda, se confirmó que la velocidad del molino debe reducirse de 400 a 200 rpm para mejorar la calidad y granulometría de la harina.
- Se escogió para la automatización del proceso de cernido de la planta procesadora de sorgo, un cernidor plano horizontal con un movimiento oscilante a partir de un mecanismo de biela-manivela-balancín.
- Se estableció para la zaranda una velocidad de funcionamiento de 60 rpm, para lograr un movimiento de un ciclo de recorrido por segundo, asegurando así la estabilidad y suavidad durante el proceso, que permita la dispersión y filtrado de la harina.
- Se estableció la configuración del esquema cinemático de la planta con la distribución de los elementos que la integran. A partir de dicho esquema se realizaron el análisis cinemático y el cálculo y dimensionamiento del sistema de transmisión flexible por correas.
- Se diseñó el mecanismo biela-manivela-balancín, para lo cual se tuvo en cuenta la Ley de Grashof. El dimensionamiento de sus partes se realizó a partir de un análisis geométrico con ayuda del software SolidWorks 2018, con el cual se pudo determinar el recorrido que realiza el balancín entre sus posiciones extremas.
- Se realizó el diseño y dimensionamiento de los componentes de la planta procesadora de sorgo, así como la selección de los elementos normalizados a partir de catálogos y normas.

Capítulo III: Diseño y modelado de la planta procesadora de sorgo.

En el capítulo se realiza el modelado de la planta procesadora de sorgo a partir del diseño automatizado de la herramienta CAD SolidWorks 2018, se da una explicación de los diferentes sistemas y partes que la componen, así como de su funcionamiento en particular y de la planta en general.

3.1 - Descripción general de la planta.

La planta procesadora permite la molienda de los granos de sorgo, así como el cernido de la harina que se obtiene, consta de un módulo de 76 piezas más la estructura en la que se ensamblan todos los elementos. Está construida de aceros y aleaciones de aluminio y tiene como dimensiones una altura de 1200 mm, un ancho de 974 mm, una longitud de 1030,5 mm y una masa de 121,8 kg aproximadamente. El conjunto ensamblado que conforma la planta, se dividió en cuatro sistemas para su mejor comprensión: Sistema Base, Sistema Motriz, Sistema de Molienda y Sistema de Cernido.

El **Sistema Base** está compuesto por el armazón base que es la estructura de angulares soldados encargada de soportar todos los elementos de la planta.

El **Sistema Motriz** consta de 20 piezas fundamentales: El Motor Y90S4, el soporte tensor, el tornillo tensor, las bisagras, las tres poleas conductoras y las tres poleas conducidas con sus respectivas correas, el árbol intermedio, el árbol de la zaranda, la manivela, la biela y cinco pedestales.

El **Sistema de Molienda** consta de 20 piezas que son los elementos que conforman el Molino CTI Omega VI, además de una canal a la salida del molino.

El **Sistema de Cernido** consta de 34 piezas fundamentales que conforman lo que es en si la zaranda. Las cuales son: bandejas, bastidor de la bandeja, tamices, marco del tamiz, embudo, gaveta, cuatro bujes, cuatro agarraderas, cuatro balancines, cinco pasadores y ocho pestañas.

El diseño y modelado de la planta procesadora se llevó a cabo a partir del software SolidWorks 2018 que es un programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico y que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. Este permite modelar piezas como ensambles y extraer de ellos tanto dibujos de

detalle como otro tipo de información necesaria para la producción, además garantiza la rapidez y precisión de los cálculos. El modelo tridimensional desarrollado (3D) se muestra en la figura 3.1. El plano de ensamble de la planta procesadora aparece en el anexo 1 y la tabla con las especificaciones técnicas en el anexo 2.

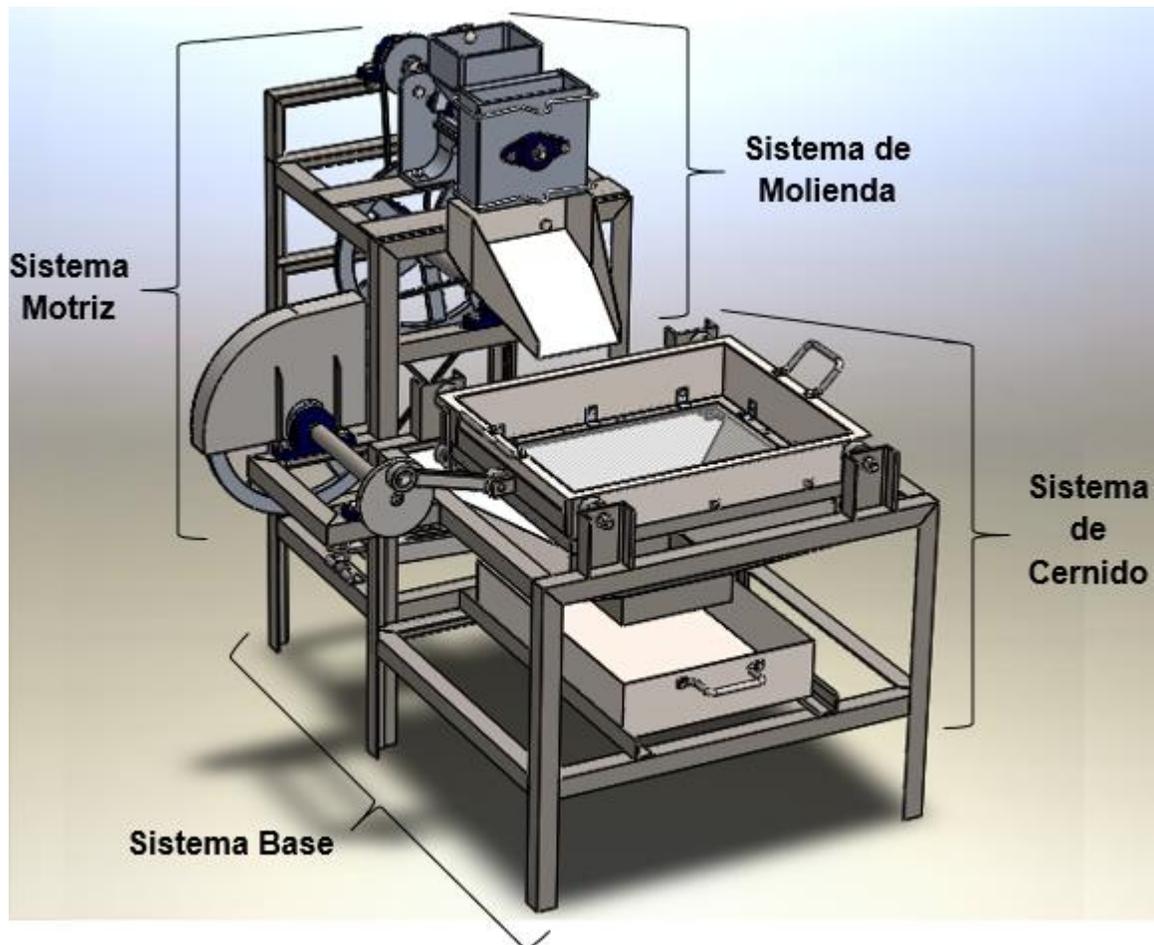


Figura 3.1: Planta procesadora de sorgo.

3.1.1 - Sistema Base.

Como se puede apreciar en la figura 3.2 el armazón base (pieza No.1) está compuesto por dos partes: la parte que soporta el Molino CTI Omega VI y el sistema motriz y la parte que soporta la zaranda y todos los elementos que permiten su movimiento oscilante. En el anexo 3 se puede apreciar el plano con las dimensiones y especificaciones necesarias para su fabricación.

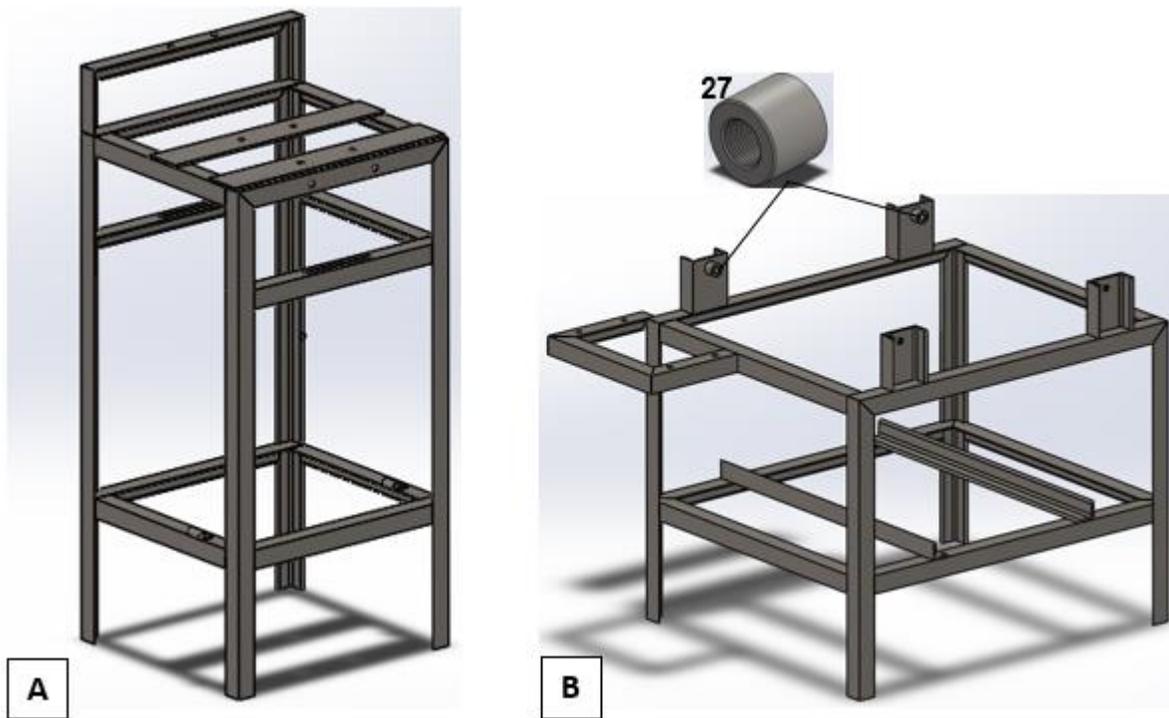


Figura 3.2: Armazón base: **A.** Estructura que soporta el molino y el sistema motriz y **B.** Estructura que soporta la zaranda.

Estructura A: Como se muestra en la figura 3.2 la estructura A es la que soporta el molino, por lo que se le sueldan unas planchas rectangulares en la parte superior con agujeros para de esta forma poder fijar el molino a la estructura. En los angulares que se encuentran en el centro de esta se le realizan unas ranuras para permitir que el árbol intermedio pueda moverse y de esta forma tensar las correas de las poleas que se acoplan a él. En la parte inferior se suelda el elemento que permite el acoplamiento del motor y el tensado de la correa a partir de su propio peso.

Estructura B: La estructura B es la que soporta la zaranda. A ella se le sueldan en su parte superior unos perfiles canal con unos bujes con agujeros roscados (pieza No.27) que permiten la fijación de los balancines. El plano con las dimensiones de los bujes se encuentra en el anexo 29. En la parte inferior se le sueldan unos angulares cuya función es la de facilitar el deslizamiento de la gaveta y ayudar a mantener la alineación de esta durante el movimiento lineal. En unos de sus lados también se le sueldan unos angulares en los cuales se acopla el árbol de la zaranda.

3.1.2 - Sistema Motriz.

De acuerdo a lo dicho anteriormente y como se puede apreciar en la figura 3.3 los componentes del sistema motriz se encuentran acoplados al armazón base. En la parte inferior del armazón se acopla el motor (pieza No.54) a un soporte tensor (pieza No.2) que mediante un tornillo (pieza No.3) le ofrece la posibilidad de regular el tensado de la correa con su propio peso. Al motor se acopla una polea (pieza No.8) que transmite el movimiento al árbol intermedio (pieza No.6) en el cual se encuentran tres poleas (piezas No.9, 10 y 12) y el mismo se fija a la mesa mediante dos pedestales VPS 20 (pieza No. 50). Del árbol intermedio se transmite el movimiento al eje del molino, el cual tiene insertado una polea (pieza No.11). Del árbol intermedio también se transmite el movimiento al árbol de la zaranda (pieza No.7), al cual se insertan una polea (pieza No.13), la manivela (pieza No.15) y la biela (pieza No.16) y este se fija a la mesa mediante dos pedestales VPS 25 (pieza No.51). La polea (pieza No.13) posee un protector (pieza No.14), ya que esta queda fuera de la protección que le ofrece la estructura del armazón base a los operarios. Se decidió cambiar el pedestal del extremo del eje del molino por un pedestal VPS 20 (pieza No.50) ya que el que presenta actualmente no cumple los requisitos en cuanto a dimensiones y funcionamiento.

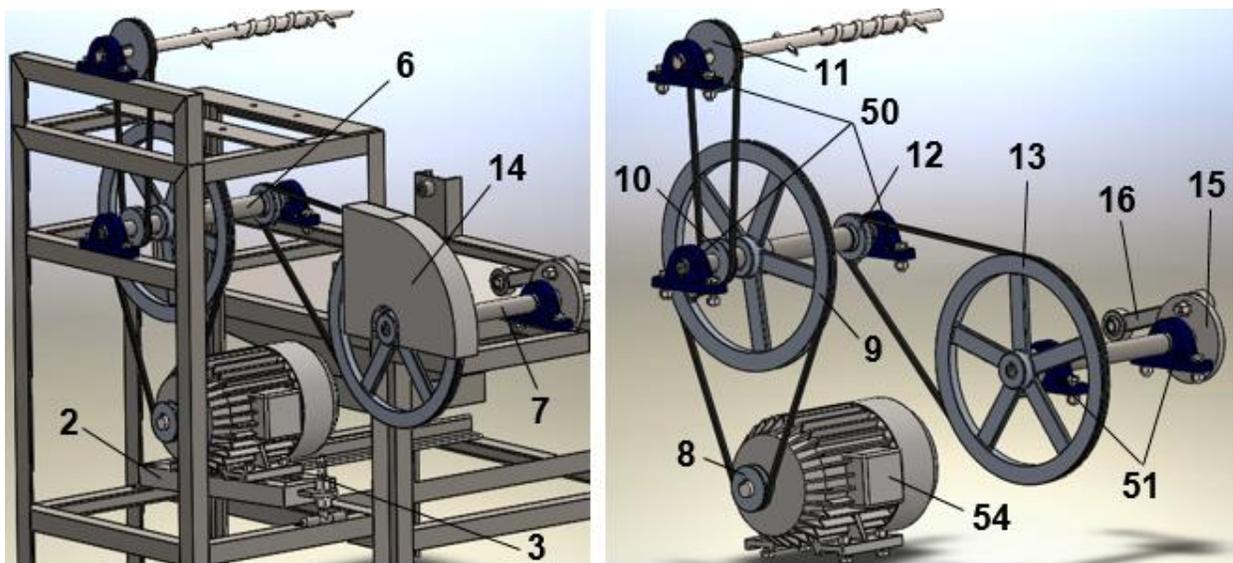


Figura 3.3: Sistema Motriz.

Como se puede apreciar en la vista ampliada de la figura 3.4 el soporte tensor (pieza No.2) se encuentra unido al armazón base mediante una bisagra soldada a ambos, la cual está compuesta por dos elementos: la hoja y el eje de la bisagra (piezas No.4 y 5).

El tornillo tensor (pieza No.3) es quien permite regular la posición del soporte y el motor acoplado a este asegurando así el tensado de la correa y facilitando el montaje y desmontaje de la misma. Este también se encuentra unido al armazón base mediante una bisagra que posibilita su movimiento y regula la posición a partir de unas tuercas y arandelas ISO M4.

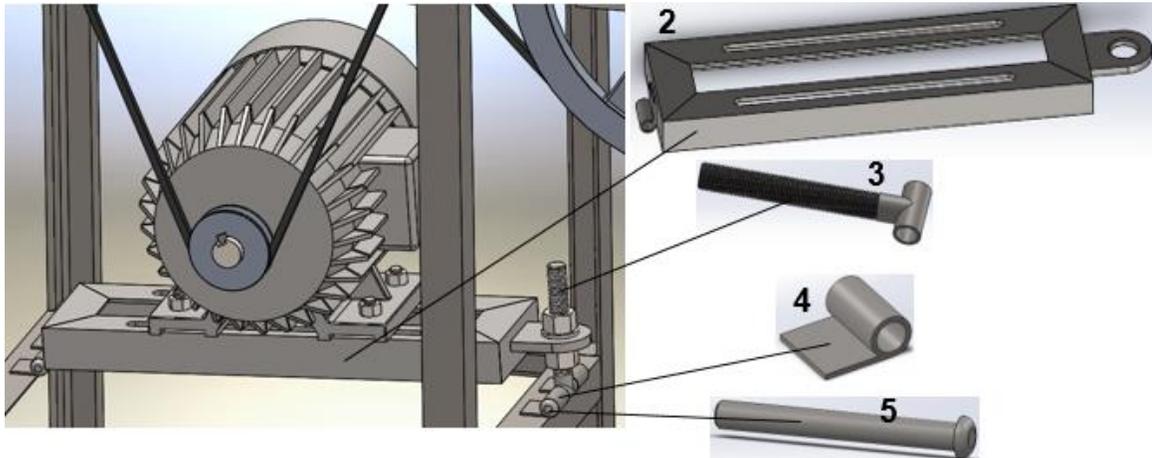


Figura 3.4: Soporte y tornillo tensor, hoja y eje de la bisagra (piezas No.2, 3, 4 y 5).

Todas las fijaciones en el sistema motriz se realizan mediante tornillos ISO 4017 M10 x 35, tuercas ISO 4034 y arandelas ISO 7089. La fijación de la biela a la manivela se realiza a partir de un tornillo ISO 4014 M12 x 55 x 30, tuerca ISO 4034 y arandela ISO 7089.

Los planos con las dimensiones de las piezas, como el soporte y tornillo tensor, las bisagras, el árbol intermedio, el árbol de la zaranda, las poleas de las diferentes transmisiones, la manivela y la biela, entre otras aparecen en los anexos del 4 al 18.

3.1.3 - Sistema de Molienda.

El sistema de molienda está compuesto por las piezas del Molino CTI Omega VI como se puede apreciar en la figura 3.4. Además de una canal a la salida del molino (pieza No.17) que permite el recorrido de la harina hacia la zaranda como se muestra en la figura 3.5. El plano de pieza con las dimensiones de la canal se encuentra en el anexo 19. La canal y el molino se fijan al armazón base mediante tornillos ISO 4017 M10 x 25 y M10 x 30, tuercas ISO 4034 y arandelas ISO 7089.

Piezas que conforman el molino CTI Omega VI:

- | | | |
|------------------------------|---------------------------|-------------------------|
| 1. Cuerpo del molino. | 6. Disco fijo. | 11. Yugo. |
| 2. Eje. | 7. Disco móvil. | 12. Perno de empuje. |
| 3. Sinfín helicoidal. | 8. Conjunto de arandelas. | 13. Tuerca de mariposa. |
| 4. Pasador de accionamiento. | 9. Plato delantero. | 14. Protector del eje. |
| 5. Pasador partido. | 10. Sujetadores. | 15. Tres chumaceras. |

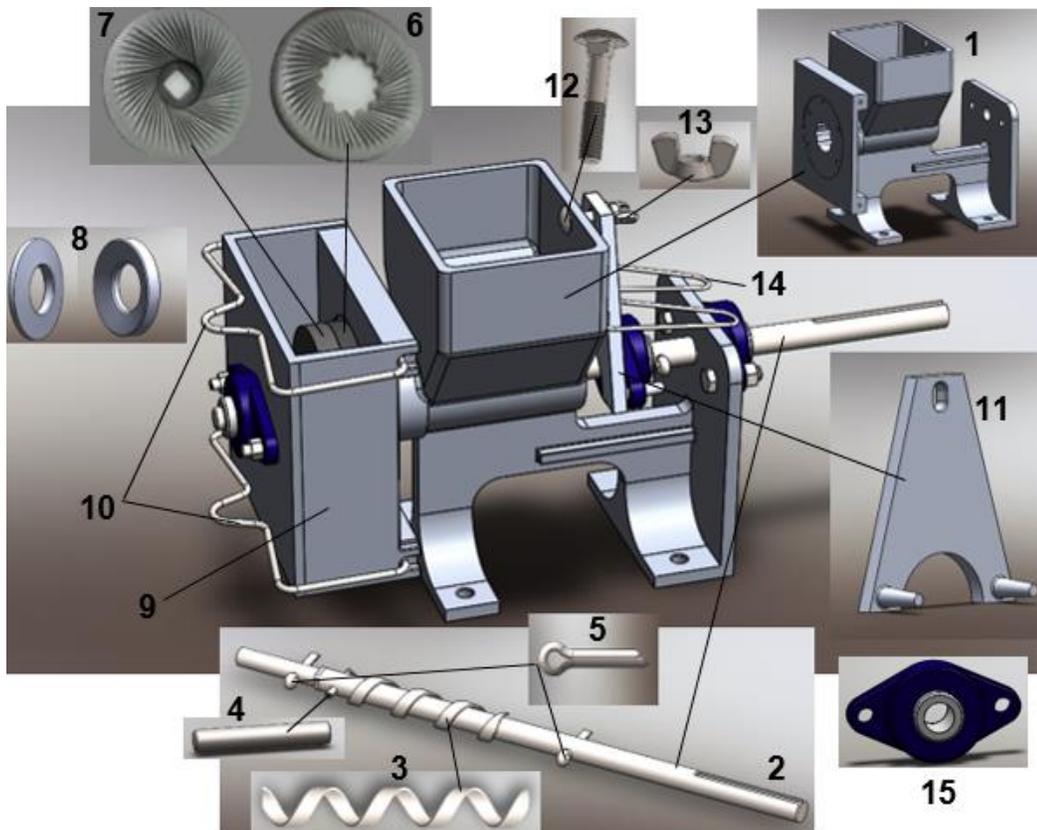


Figura 3.4: Sistema de Molienda (Molino CTI Omega VI).

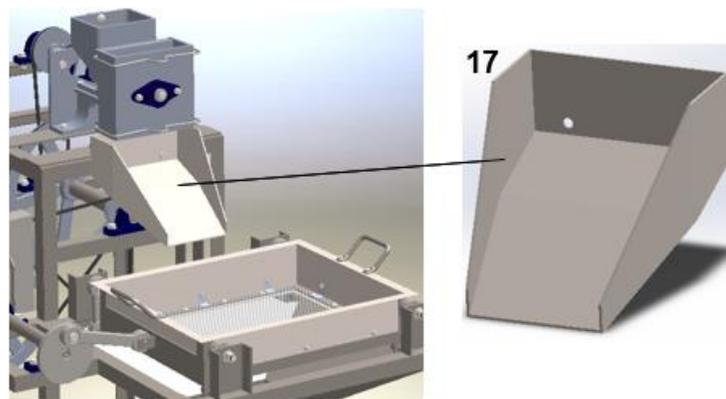


Figura 3.5: Canal a la salida del molino (pieza No.17).

3.1.4 - Sistema de Cernido.

El sistema de cernido está compuesto por las piezas que conforman la zaranda y el embudo a la salida del tamiz (pieza No.24) que permite el recorrido de la harina fina hasta la gaveta (pieza No.25) para su posterior empaquetado. Como se puede apreciar en la figura 3.6 en el bastidor de la bandeja (pieza No.18) se monta las bandejas (piezas No.19) a las cuales se fijan los tamices (piezas No.52 y 53) mediante unas pestañas (piezas No.22). Las bandejas y la gaveta cuentan con agarraderas (piezas No.20 y 26) que facilitan su transporte a la hora de moverlas. Los tamices están montados sobre un marco (pieza No.21). El movimiento de la zaranda se lleva a cabo a partir de unos balancines (piezas No.23).

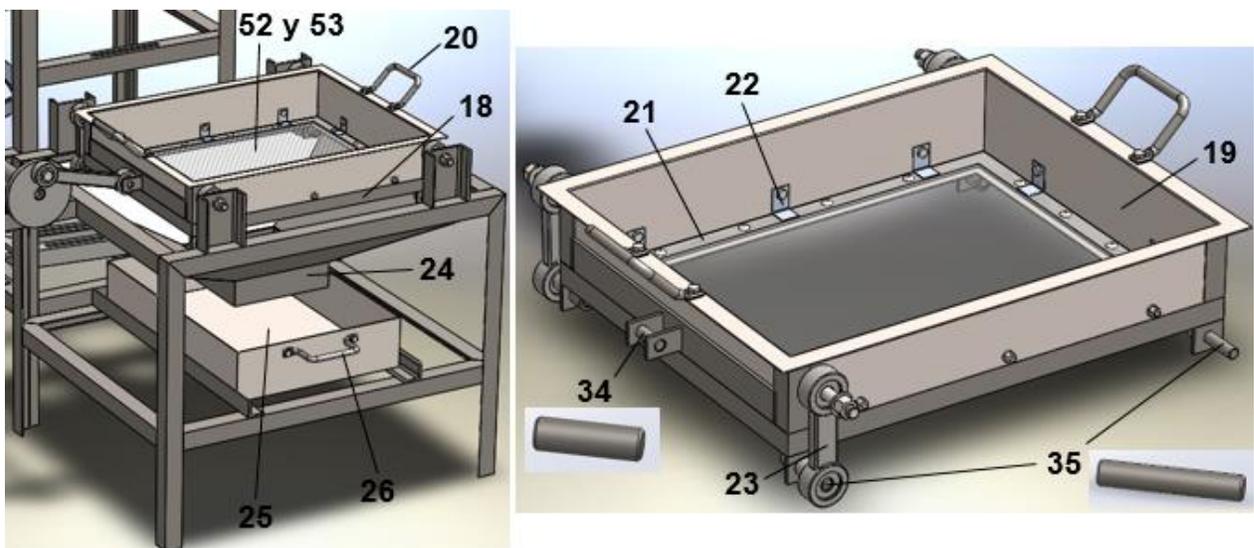


Figura 3.6: Sistema de Cernido.

La unión de la biela y de los balancines con el bastidor se realiza mediante pasadores (piezas No.34 y No.35) y la unión de los balancines con el armazón base se realiza mediante tornillos ISO 4014 M12 x 60 x 30, tuercas ISO 4034 y arandelas ISO 7089 para de esta forma facilitar el montaje y desmontaje de estos componentes. Para la fijación de las agarraderas y las pestañas se utilizan tornillos ISO 4017 M6 x 12 con sus respectivas tuercas ISO 4034 y arandelas ISO 7089.

Como se puede apreciar en la figura 3.7 el bastidor de la bandeja tiene soldado unas pestañas con unos bujes (piezas No.28) en la parte inferior que sirven para el acople de los pasadores mencionados anteriormente y los balancines. Entre los agujeros de los

bujes y los pasadores debe haber un ajuste tal que no permita el movimiento de los mismos dentro de estos. Esta estructura también tiene soldada en uno de sus extremos unas pestañas con orificios que permiten la unión de la biela con el bastidor a partir de un pasador.

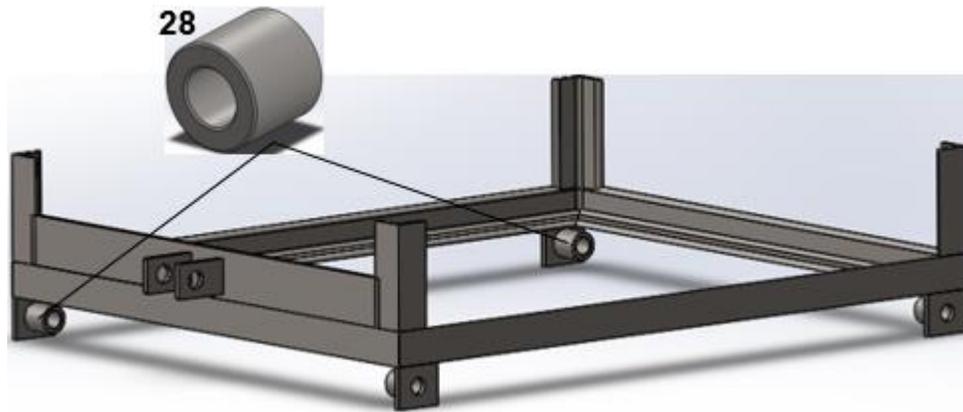


Figura 3.7: Bastidor de la bandeja.

El embudo (pieza No.24) como se muestra en la figura 3.8 se encuentra soldado a el armazón base, su forma piramidal permite el recorrido de la harina fina que sale del tamiz hasta la gaveta (pieza No.25). La gaveta como se mencionó anteriormente cuenta con dos agarraderas que facilitan su traslado y esta acopla en el armazón base entre dos angulares que le sirven de quía y la mantienen alineada.

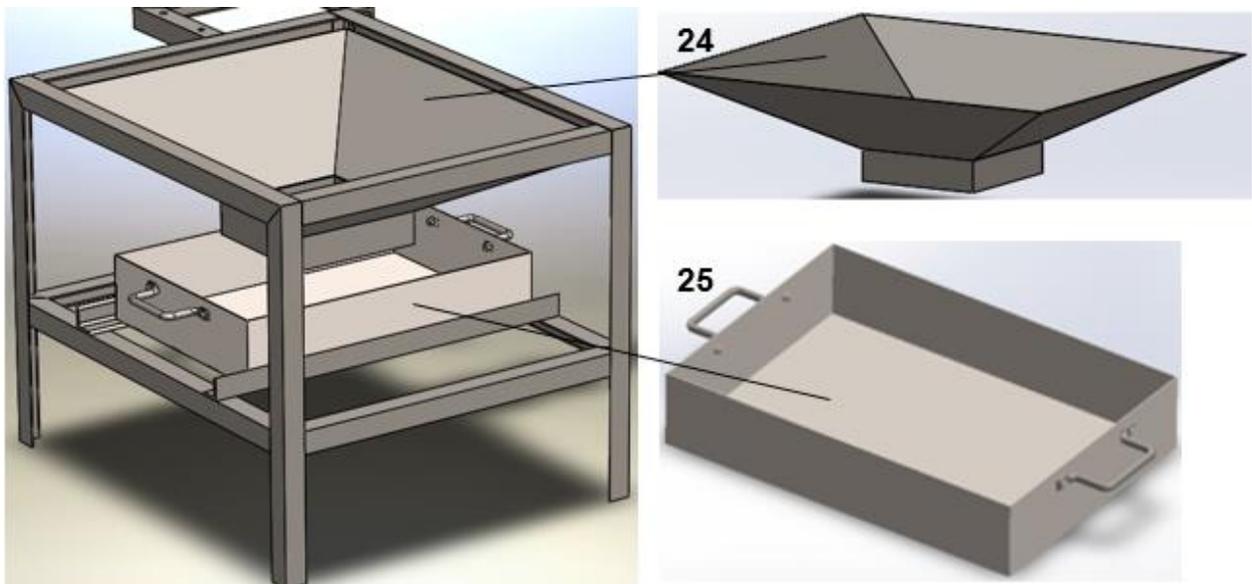


Figura 3.8: Embudo a la salida del tamiz (pieza No.24) y gaveta (pieza No.25)

Los planos con las dimensiones de las piezas, como el bastidor de la bandeja, las bandejas, las garraderas, los marcos de los tamices, las pestañas, los balancines, el embudo y la gaveta aparecen en los anexos del 20 al 28 y el plano de los bujes del bastidor en el anexo 30.

3.2 - Selección de los materiales para la fabricación de los elementos de la planta.

Para la selección de los materiales con que se fabrica cada elemento de la planta, se debe tener en cuenta las exigencias y propiedades que demandan estos según el papel que van a desempeñar durante el proceso y las condiciones de trabajo a las que estarán sometidos. También se debe tener en cuenta los gastos económicos prestando especial atención en el costo del material y los gastos de producción. Para esto se partió de conocer los elementos que están en contacto directo con el alimento los cuales se deben fabricar de acero inoxidable y teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente y en dependencia de las características geométricas de cada uno de ellos se fueron seleccionado todos los demás materiales. A continuación, se muestra una tabla de los materiales y la cantidad necesaria para la fabricación de cada elemento de la planta.

Tabla 3.1: Cantidad de materiales necesaria para la fabricación de cada elemento.

Pieza	Material	Cantidad
<u>Armazón Base</u>	Perfiles Angulares 35 x 35 x 4 mm	16,2 m
	Perfiles Canal de 80 x 35 x 4 mm	0,5 m
	Planchas de Acero AISI 1020 de 4 mm de espesor	0,07 m ² de área
<u>Bastidor de la Bandeja</u>	Perfiles Angulares 35 x 35 x 4 mm	2,3 m
	Planchas de Acero AISI 1020 de 4 mm de espesor	0,02 m ² de área
<u>Soporte Tensor</u>	Perfiles Angulares 35 x 35 x 4 mm	0,5 m
<u>Embudo a la salida del tamiz</u>	Plancha de Acero inoxidable AISI 304 de 1,5 mm de espesor	0,5 m ² de área
<u>Canal de salida del molino</u>		0,13 m ² de área
<u>Bandeja</u>		0,3 m ² de área
<u>Gaveta</u>		0,3 m ² de área
<u>Pestañas</u>		0,008 m ² de área

<u>Árboles Intermedio</u>	Barra de Acero AISI 1045 de 40 mm de diámetro	0,5 m de longitud
<u>Árbol de la Zaranda</u>	Barra de Acero AISI 1045 de 40 mm de diámetro	0,4 m de longitud
<u>Manivela</u>	Barra de Acero AISI 1020 de 90 mm de diámetro	0,03 m de longitud
<u>Biela</u>	Barra Rectangulares de Acero AISI 1020 de 50 x 25 mm	0,22 m de longitud
<u>Balancines</u>	Barra Rectangulares de Acero AISI 1020 de 50 x 25 mm	0,15 m de longitud
<u>Agarraderas</u>	Barra de Acero inoxidable AISI 304 de 10 mm de diámetro	0,55 m de longitud
<u>Poleas</u>	Aluminio	
<u>Protector de la polea</u>	Plancha de Acero AISI 1020 de 1,5 mm de espesor	0,13 m ² de área
<u>Marco del Tamiz</u>	Barras rectangulares de Acero Inoxidable AISI 304 de 20 x 2 mm	0,9 m de longitud
<u>Buje del bastidor</u>	Barra de Acero AISI 1020 de 22 mm de diámetro	0,1 m de longitud
<u>Buje roscado</u>		0,08 m de longitud
<u>Hoja de la bisagra</u>	Plancha de Acero AISI 1020 de 2 mm de espesor	0,01 m ² de área
<u>Eje de la bisagra</u>	Barra de Acero AISI 1020 de 15 mm de diámetro	0,2 m de longitud
<u>Tornillo Tensor</u>	Barra de Acero AISI 1020 de 15 mm de diámetro	0,14 m de longitud

Los **pasadores** se deberán fabricar de Acero AISI 1020 según la norma NC 06-18 y las **chavetas** se deberán fabricar de Acero AISI 1035 ya que la norma NC 16-52 establece que el material utilizado en la fabricación de estas debe poseer una resistencia a la tracción mayor de 60 Kg/mm².

3.3 - Conclusiones Parciales.

- Se realizó el diseño de la planta procesadora de sorgo, la cual consta de un módulo de 76 piezas ensambladas en un armazón base, que forman un conjunto cuyas

dimensiones máximas son: 1200 mm de altura, 974 mm de ancho, 1030,5 mm de longitud y 121,8 kg de masa aproximadamente.

- La modelación y elaboración de la documentación técnica se realizó a partir del diseño automatizado del software SolidWorks 2018, ya que este ofrece rapidez y precisión en los cálculos.
- Se seleccionaron los materiales para la fabricación de los elementos de la planta, teniendo en cuenta las condiciones de trabajo a la que estarán sometidos, los costos del material y los gastos de producción. En ese sentido se precisaron los consumos de materiales para las diferentes piezas.

Conclusiones Generales

- Se pudo constatar que el uso de la harina de sorgo en la elaboración de productos alimenticios constituye una alternativa saludable y única para los pacientes celíacos. Para su elaboración, la UCLV cuenta con un Molino CTI Omega VI que, al tratar de obtener una harina con la granulometría requerida, realiza el cernido manual consumiendo tiempo y recursos.
- Se estableció como solución el diseño de una planta procesadora de sorgo, a partir del estudio de los parámetros de trabajo y de la modificación del sistema motriz del molino actual, de manera que permita la automatización y humanización del proceso de molido y cernido simultáneamente.
- Se definió el diseño conceptual y dimensionamiento de los componentes de la planta procesadora de sorgo, así como la selección de los elementos normalizados a partir de catálogos y normas teniendo en cuenta los requisitos preliminares.
- Se realizó la modelación de los componentes de la planta procesadora de sorgo mediante el diseño automatizado con ayuda del software SolidWorks 2018, lo cual garantizó rapidez y precisión en los cálculos.
- El diseño final de la planta procesadora de sorgo, consta de un módulo de 76 piezas ensambladas en un armazón base, que forman un conjunto cuyas dimensiones máximas son: 1200 x 974 x 1030,5 mm y una masa de 121,8 kg aproximadamente.
- Se elaboró toda la documentación técnica necesaria para la fabricación de cada uno de los componentes y se definió el consumo de materiales de los mismos.

Recomendaciones

- Definir la tecnología de fabricación de los componentes de la planta procesadora de sorgo que permita su construcción.
- Realizar un estudio experimental acerca de la influencia de la velocidad de rotación y ajuste del molino de discos CTI Omega VI, sobre la granulometría y calidad de la harina de sorgo que produce.

Referencias Bibliográficas

Alimentos, H. d. (2018). "El Sorgo: características, valor nutricional, propiedades, y mucho más." https://www.engormix.com/agricultura/articulos/El_Sorgo_características_valor_nutricional_propiedades_y_mucho_más.htm.

Avendaño, B. (2011). "El grano oportuno." Bhoemia.

Calderón de Zacatares, V. R., López, Lily Marisol, Duville, Kris Emillee y Bermúdez, Carla Elizabeth (2012) Utilización de Molinos CTI para la producción artesanal de harina de Sorgo.**24**.

<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1008&context=intsormilpubs>

Canet, R., Chaviano, M., Alemán, L. & Cabello, R. (2003). Guía técnica para la producción del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). M. d. Agricultura. La Habana.

Caorsi Molinari, M. L., Olivera Antunez, Angela Paula (2005). Efecto del método de conservación de distintos materiales de grano de sorgo sobre la degradabilidad ruminal y digestibilidad intestinal de la materia seca Facultad de Agronomía. Uruguay, Universidad de la República

Cardós, M. (2017). "Cernido." Periódico Los Molinos.

<http://periodicolosmolinos.com/cernido/>

Carrasco Huamán, N. P. (2017). Cálculos y diseño para la fabricación de una Hidro-Zaranda para la recuperación de finos en la minería. Facultad de Ingeniería de Producción Y Servicios Arequipa - Perú Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa

Carrasco, N., Zamora, Martín y Melin, Ariel (2011). Manual de Sorgo. Buenos Aires, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Centro Regional Buenos Aires Sur.

Corona Gochi., L., Mendoza M., German D. (2017) Procesamiento de los granos. <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/libromendoza-procesamiento-granos-t40786.htm>

Christiansen, K. (2012) "Manual para la molienda de Sorgo o Maicillo, usando Molinos CTI de Discos" **16**.

<http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=intsormilpubs>

Domanski, C., Giorda, L. M. y Feresin, O (1997). "Composición y calidad del grano de Sorgo." Cuaderno de Actualización **Nº 7**: 48-49.

Felipe, K. (2016). Sorgo: el trigo de los celíacos cubanos. Granma. La Habana, Cuba.

García Bellido, L. (2006). Ampliación de la sección de molienda y cernido de una fábrica de harina de trigo. Facultad de Ciencias. Cádiz, España, Universidad de Cádiz.

García Román, M. (2018). Tecnología de cereales. 2º Curso de Ciencia y Tecnología de los Alimentos Universidad de Granada 27-28.

García Santos, N. (2014). Nutrición de niños celíacos. Montarán tres plantas para producir harina de sorgo Juventud Rebelde

González, F., Avila, M., Gil, Y. y Velasco, D. (2016) Proceso de fabricación de la harina precocida de maíz

Hernández Luna, L. M. (2003). Potencialidad de la variedad de sorgo ISIAP-DORADO en la alimentación humana Departamento de Alimentos Ciudad de La Habana, Universidad de La Habana.

ID, S. (2018). "59,8 millones de toneladas La producción mundial de sorgo retrocede, al tiempo que aumenta la demanda.". <https://www.sorghum-id.com/es/598-millones-de-toneladas-produccion-mundial-de-sorgo-retrocede-al-tiempo-aumenta-demanda/>.

Laboratorio de Tecnología de Alimentos (San Andrés, E. S. (2010) "Molinos CTI para molienda seca de granos y otros usos". **35**.

<http://digitalcommons.unl.edu/intsormilpubs/36>

Martínez Flores, M. (2018). Evaluación del tamaño de partícula en el alimento balanceado de cerdo mediante un análisis granulométrico Cuitláhuac, Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Medina, P. (2017). "Desarrollo del Cernido. Plansifter y máquinas tamizadoras." Periódico Los Molinos.

<http://periodicolosmolinos.com/cernido/>

Montes García, N., García Gracia, Miguel Ángel, Castillo Tovar, Hipólito, Pecina Quintero, Víctor y Anaya López, José Luis (2010). Sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] blanco: alternativa para la alimentación humana A. y. P. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Centro de Investigación Regional del Noreste y Campo Experimental Río Bravo. México, Comité Editorial de CIR-Noreste. **Núm. 45:** 1-2.

Natalia Soledad, C. (2016). Aspectos tecnológicos que influyen en las pérdidas nutricionales durante el proceso de obtención de Harinas de Quinoa. Caracterización físico-química Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales Argentina, UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA

Pérez Cabrera, Á. F. (2018). Alimentación del paciente celíaco, preocupación estatal. Granma. La Habana, Cuba.

Ramírez Acosta, E. N. (2016). Elaboración de manual POES para el área de limpieza de granos y el área de empacado de granos. Departamento de Ciencias Agronómicas El Salvador, Universidad de el Salvador

Rodríguez Urquilla, A. R. (2009). Contenido nutricional de harinas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) RCV y de leche, harina de trigo (*Triticum aestivum*) y su uso en la elaboración de un muffin Carrera de Agroindustria Alimentaria. Honduras.

Ruiz Álvarez, B. I. (2013). Evaluación de variedades de sorgo, cultivadas en la estación experimental de la UCLV, para su uso en la elaboración de alimentos destinados a pacientes celíacos. Departamento de Farmacia. Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

Salas Lara, C. G. (2012). Diseño de un molino de rodillos para molienda de granos, destinado al Área de Alimentos del CESTTA-ESPOCH Facultad de ciencias. Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Salazar González, L. O. (2014). Implementación de una Tamizadora Vibratoria para arenas de moldeo en el Taller de Fundición de la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Mecánica. Riobamba-Ecuador, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Saucedo Castillo, O. M., Espinosa Carro, Norberto (2015). "El Sorgo en la alimentación humana y animal en la República de Cuba" Premio Nacional de Innovación Tecnológica del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente.

Sierra, H. (2017). "Cernido, desarrollo teórico." Periódico Los Molinos.
<http://periodicolosmolinos.com/cernido/>

Torres Reyes, V. M. (2009). Desarrollo de un mecanismo de cuatro barras para su uso en la enseñanza. Facultad de Ingeniería. México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Tamices Norma ASTM E - 11/95.

<https://es.scribd.com/document/357144204/TABLA-DE-TAMICES-pdf>

Norma cubana para chavetas prismáticas NC 16-52.

Norma cubana para pasadores cilíndricos NC 06-18.

Catálogo Chumaceras Browning Milimétricas. http://www.rodamientos-samper.com.mx/wp-content/uploads/2017/11/Catalogo_Browning_BMM_Bolas_MM.pdf

Intranet:

//10.12.1.66/fimi/Carreras/CRD/Ing.Mecánica/4to.Año/Segundo.Semestre/Elementos.de.Máquina II/materiales-docentes/Correas.

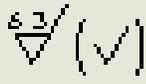
Anexo 2

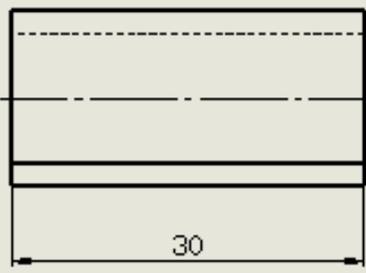
Formato	Zona	Posición	Código	Denominación	Cantidad	Observaciones.
1	2	3	4	5	6	7
				<u>Documentación</u>		
A1			PPS-00-00-00PE	Plano de ensamble		
				<u>Piezas</u>		
A3	1		PPS-00-00-01	Armazón Base	1	48,9 Kg
A3	2		PPS-00-00-02	Soporte Tensor	1	2,2 Kg
A4	3		PPS-00-00-03	Tornillo Tensor	1	0,14 Kg
A4	4		PPS-00-00-04	Hoja de la bisagra	5	0,03 Kg
A4	5		PPS-00-00-05	Eje de la bisagra	2	0,06 Kg
A3	6		PPS-00-00-06	Árbol Intermedio	1	2,3 Kg
A3	7		PPS-00-00-07	Árbol de la Zaranda	1	1,7 Kg
A4	8		PPS-00-00-08	Polea Conductora 1	1	0,12 Kg
A3	9		PPS-00-00-09	Polea Conducida 2	1	1,7 Kg
A4	10		PPS-00-00-10	Polea Conductora 3	1	0,12 Kg
A3	11		PPS-00-00-11	Polea Conducida 4	1	0,33 Kg
A4	12		PPS-00-00-12	Polea Conductora 5	1	0,12 Kg
A3	13		PPS-00-00-13	Polea Conducida 6	1	1,7 Kg
A3	14		PPS-00-00-14	Protector de la polea 6	1	1,5 Kg
A3	15		PPS-00-00-15	Manivela	1	1,3 Kg
A4	16		PPS-00-00-16	Biela	1	0,8 Kg
A3	17		PPS-00-00-17	Canal de salida del molino	1	1,3 Kg
A3	18		PPS-00-00-18	Bastidor de la bandeja	1	5,7 Kg
A3	19		PPS-00-00-19	Bandeja	2	3,3 Kg
A4	20		PPS-00-00-20	Agarradera de la bandeja	4	0,16 Kg
A3	21		PPS-00-00-21	Marco del Tamiz	2	0,5 Kg
A4	22		PPS-00-00-22	Pestaña	8	0,007 Kg
Mod	Cant.	No. notif.	Firma	Fecha	Planta procesadora de sorgo UCLV Etapas de elab. Hoja No DTO Cant. H PPS-00-00-00 Especificación Técnica	
Dib.		O. Pérez				
Prov.						
Rev.						
C. técn.						
C. norm						
APr						

Formato	Zona	Posición	Código	Denominación	Cantidad	Observaciones.
1	2	3	4	5	6	7
A4		23	PPS-00-00-23	Balancín	4	0,6 Kg
A3		24	PPS-00-00-24	Embudo	1	5,7 Kg
A4		25	PPS-00-00-25	Gaveta	1	4,1 Kg
A4		26	PPS-00-00-26	Agarraderas de la gaveta	2	0,15 Kg
A4		27	PPS-00-00-27	Buje Roscado	4	0,4 Kg
A4		28	PPS-00-00-28	Buje del bastidor	4	0,4 Kg
				<u>Artículos Normalizados</u>		
		29		Chaveta 6x6x14 NC 16-52	2	
		30		Chaveta 6x6x36 NC 16-52	1	
		31		Chaveta 8x7x18 NC 16-52	2	
		31		Chaveta 8x7x18 NC 16-52	2	
		32		Chaveta 8x7x28 NC 16-52	1	
		33		Chaveta 8x7x36 NC 16-52	1	
		34		Pasador 12x38 NC 06-18	1	
		35		Pasador 12x66 NC 06-18	4	
		36		Tomillo M6x12-ISO 4017	16	
		37		Tomillo M10x25-ISO 4017	2	
		38		Tomillo M10x30-ISO 4017	4	
		39		Tomillo M10x35-ISO 4017	14	
		40		Tomillo M12x60x30-ISO 4014	4	
		41		Tomillo M12x55x30-ISO 4014	1	
		42		Arandela M6-ISO 7089	16	
		43		Arandela M10-ISO 7089	20	
		44		Arandela M12-ISO 7089	5	
		45		Arandela M14-ISO 7089	2	
Mod.	Cant.	No. notif.	Firma	Fecha	Planta procesadora de sorgo UCLV Etapas de elab. Hoja No DTO Cant. H PPS-00-00-00	
Dib.		O. Pérez				
Prov.						
Rev.						
C. técn.						
C. norm.						
APr						

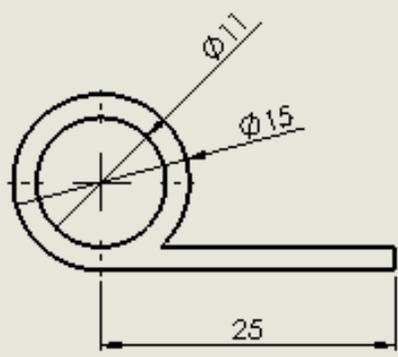
Anexo 6

PPS-00-00-Sdd

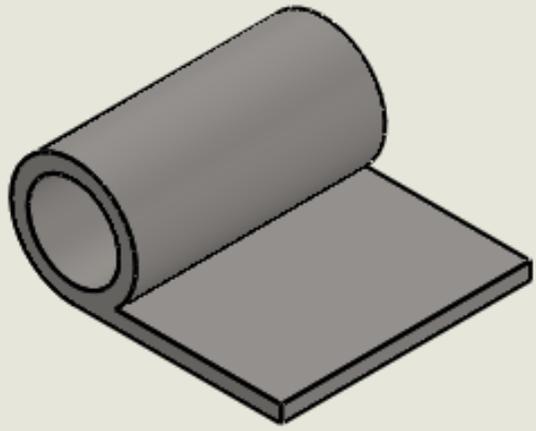




30



Ø11
Ø15
25

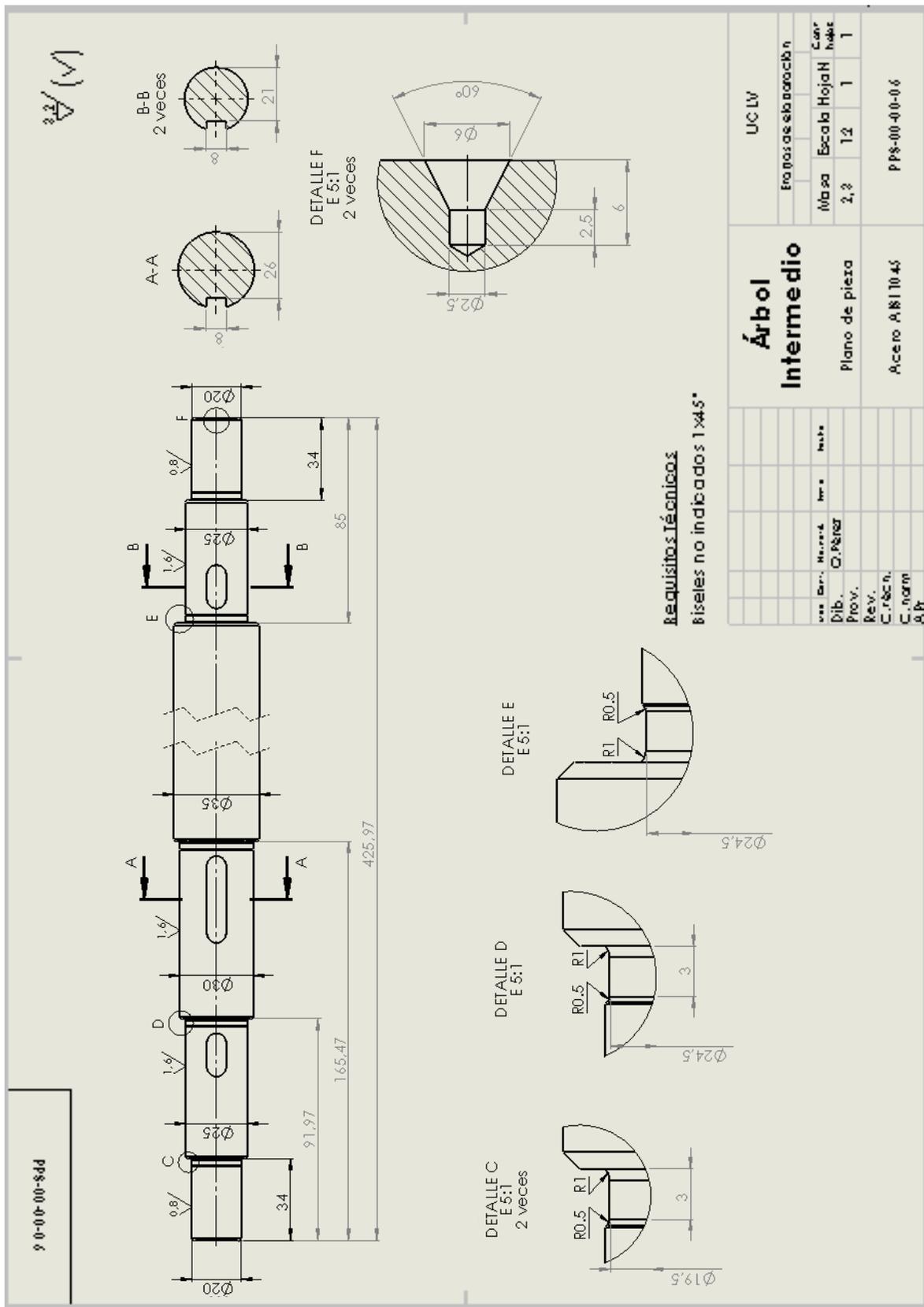


Requisitos Técnicos

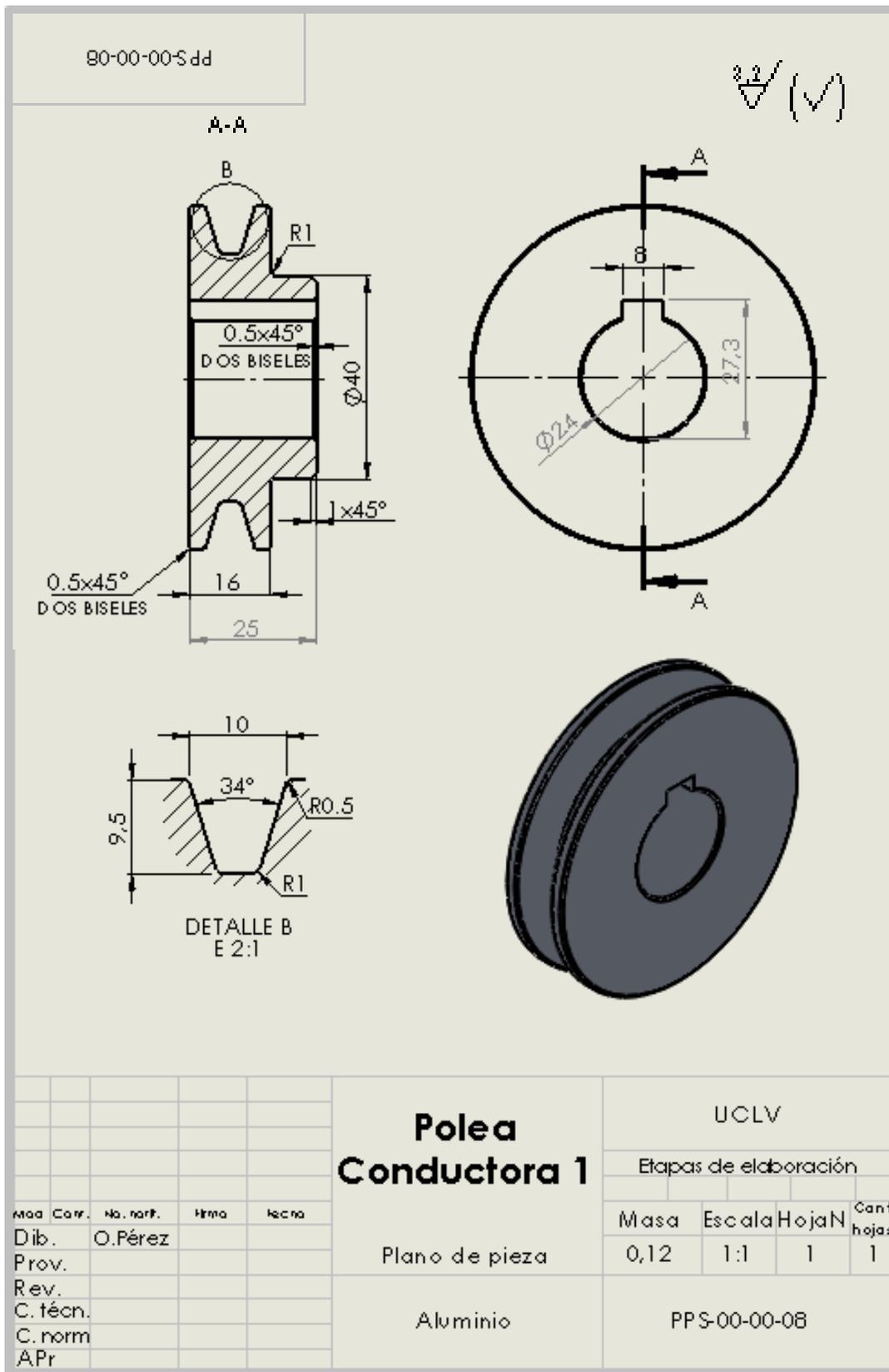
Espesor de la chapa 2

						<h2 style="margin: 0;">Hoja de la bisagra</h2> <p style="margin: 5px 0;">Plano de pieza</p> <p style="margin: 5px 0;">Acero AISI 1020</p>	UCLV				
							Etapas de elaboración				
Mod.	Corr.	No. hoj.	Himo	Fecha			Masa	Escala	Hoja	N	Cant. hojas
Dib.		o. Pérez					0,03	1:1	1		1
Prov.						PPS-00-00-04					
Rev.											
c. técn.											
c. norm											
APr											

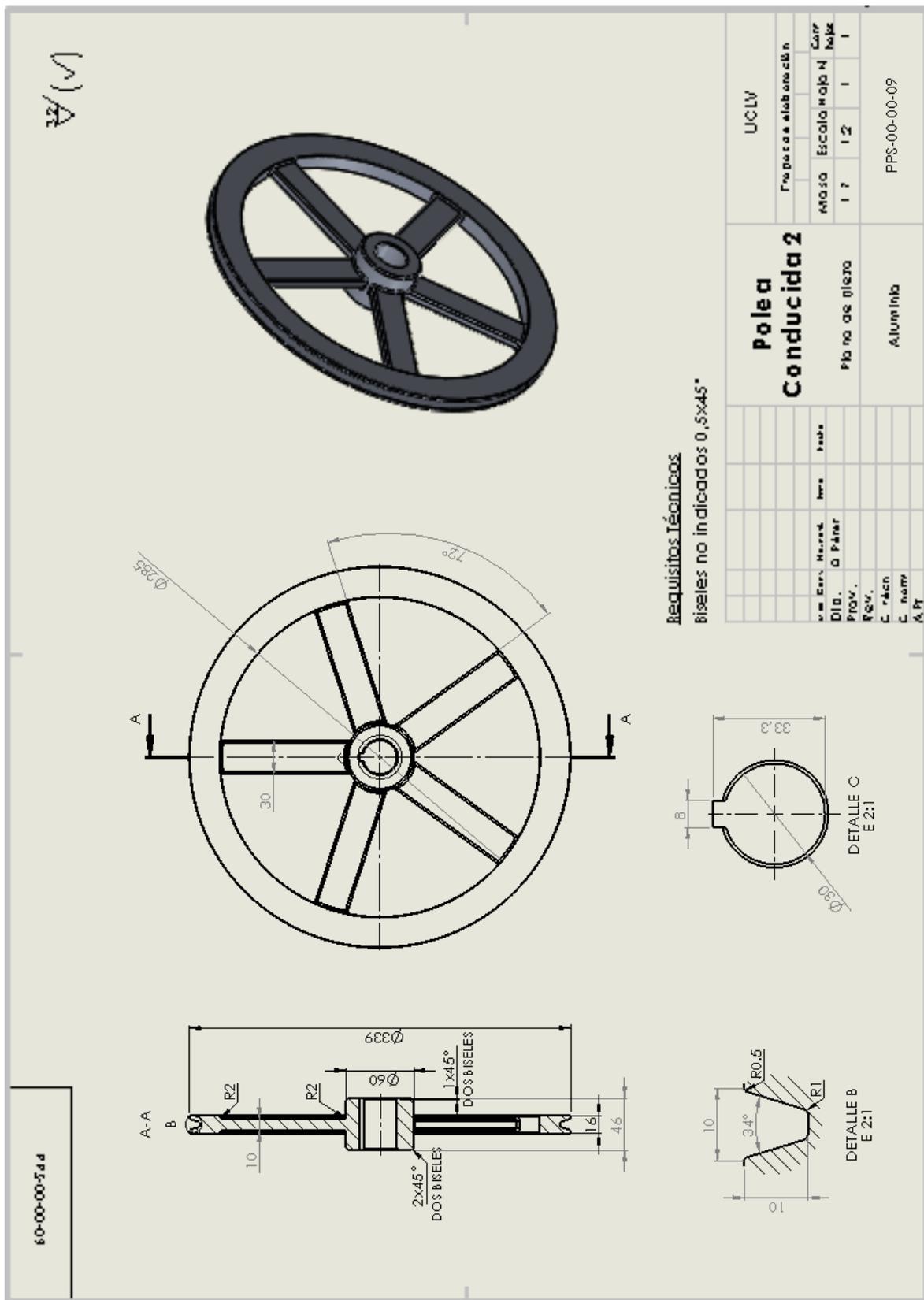
Anexo 8



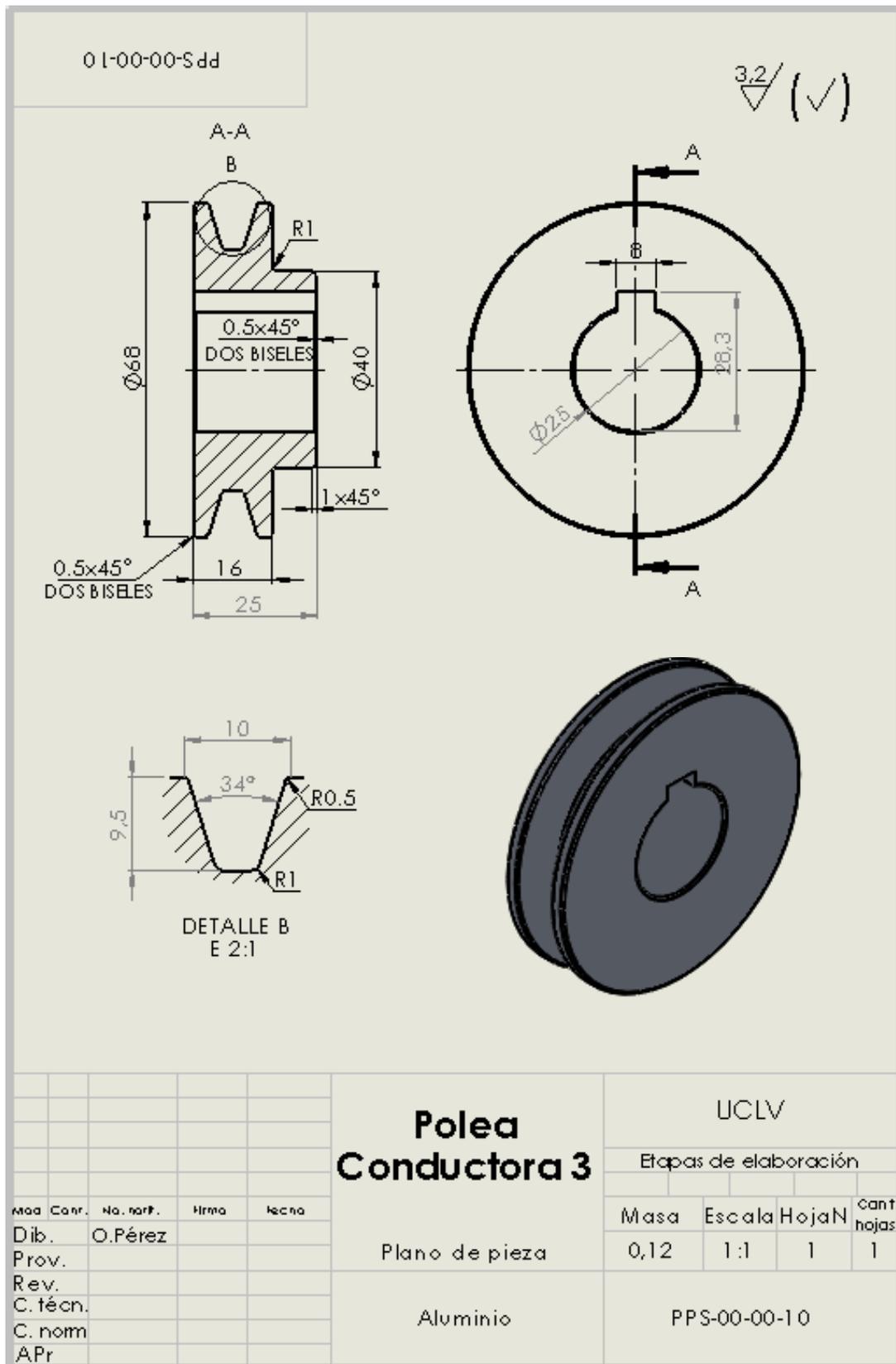
Anexo 10



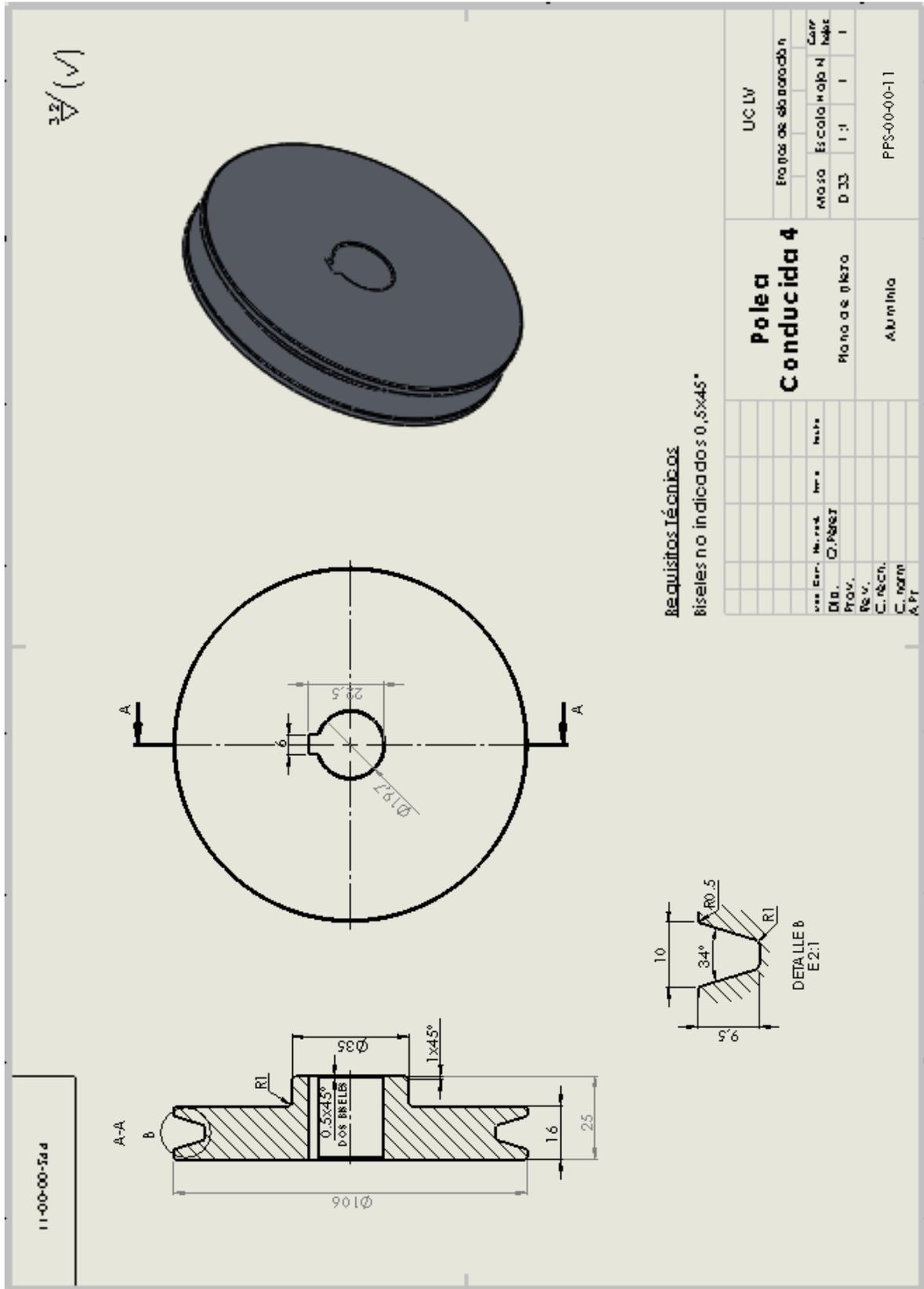
Anexo 11



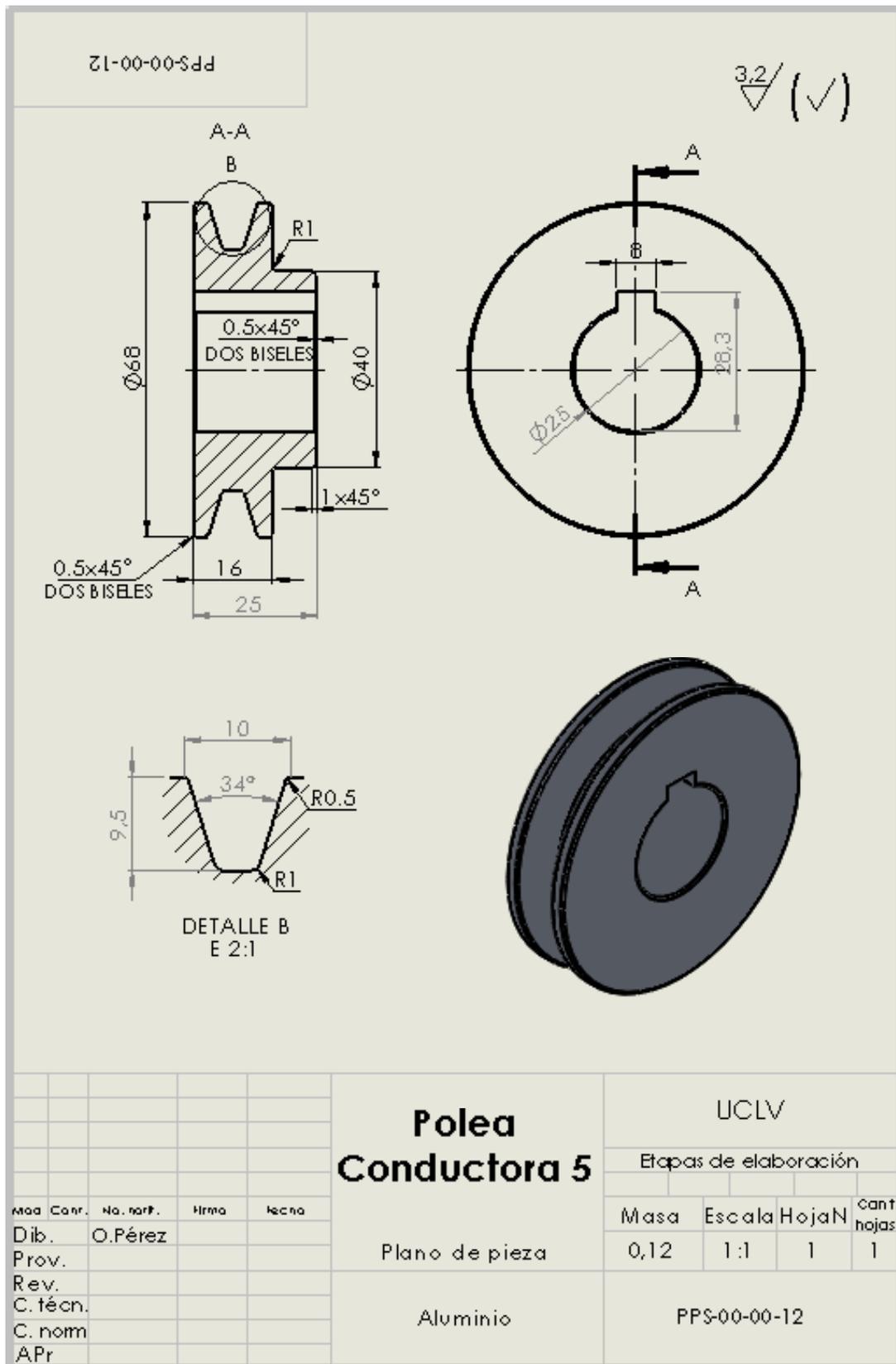
Anexo 12



Anexo 13

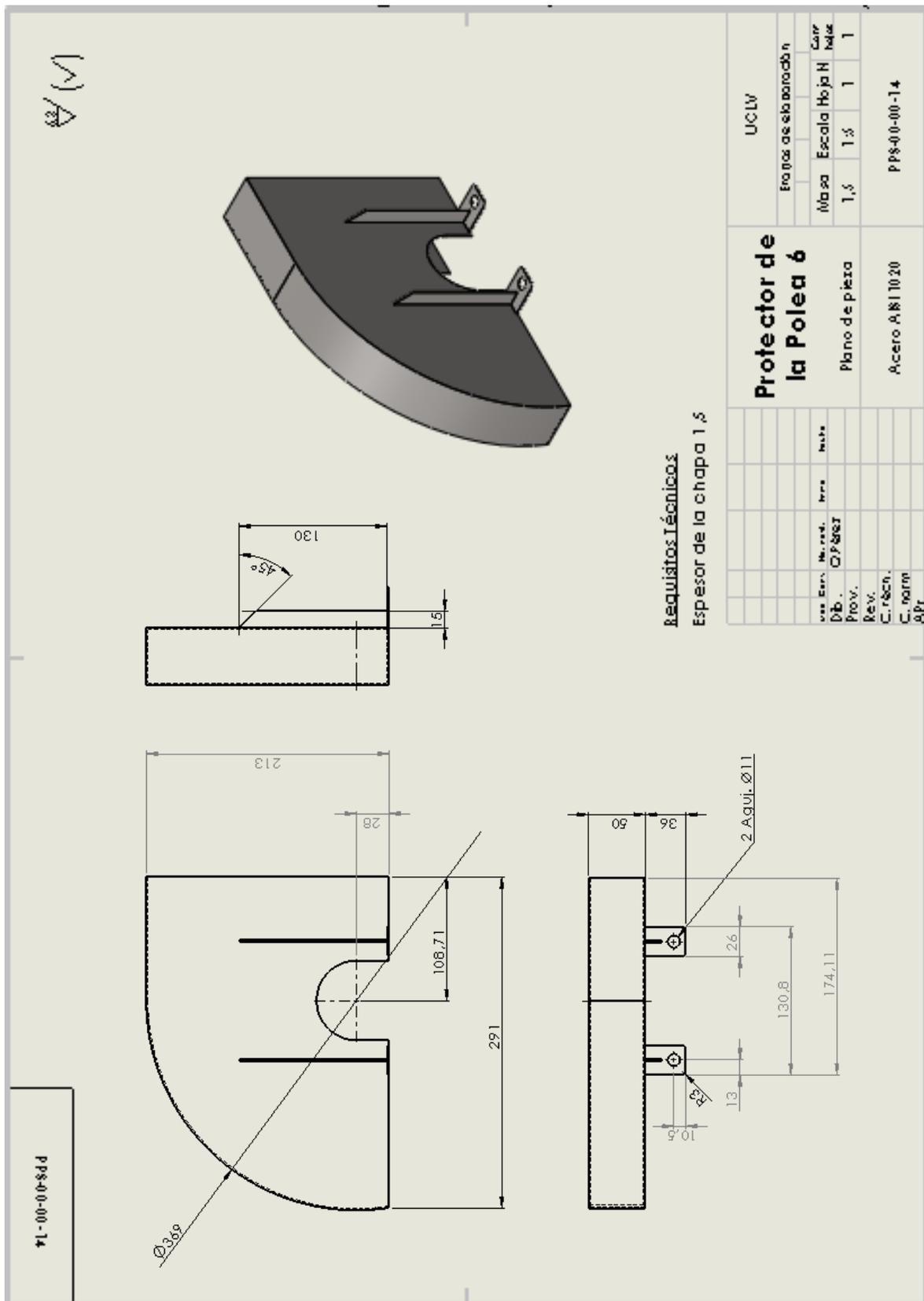


Anexo 14

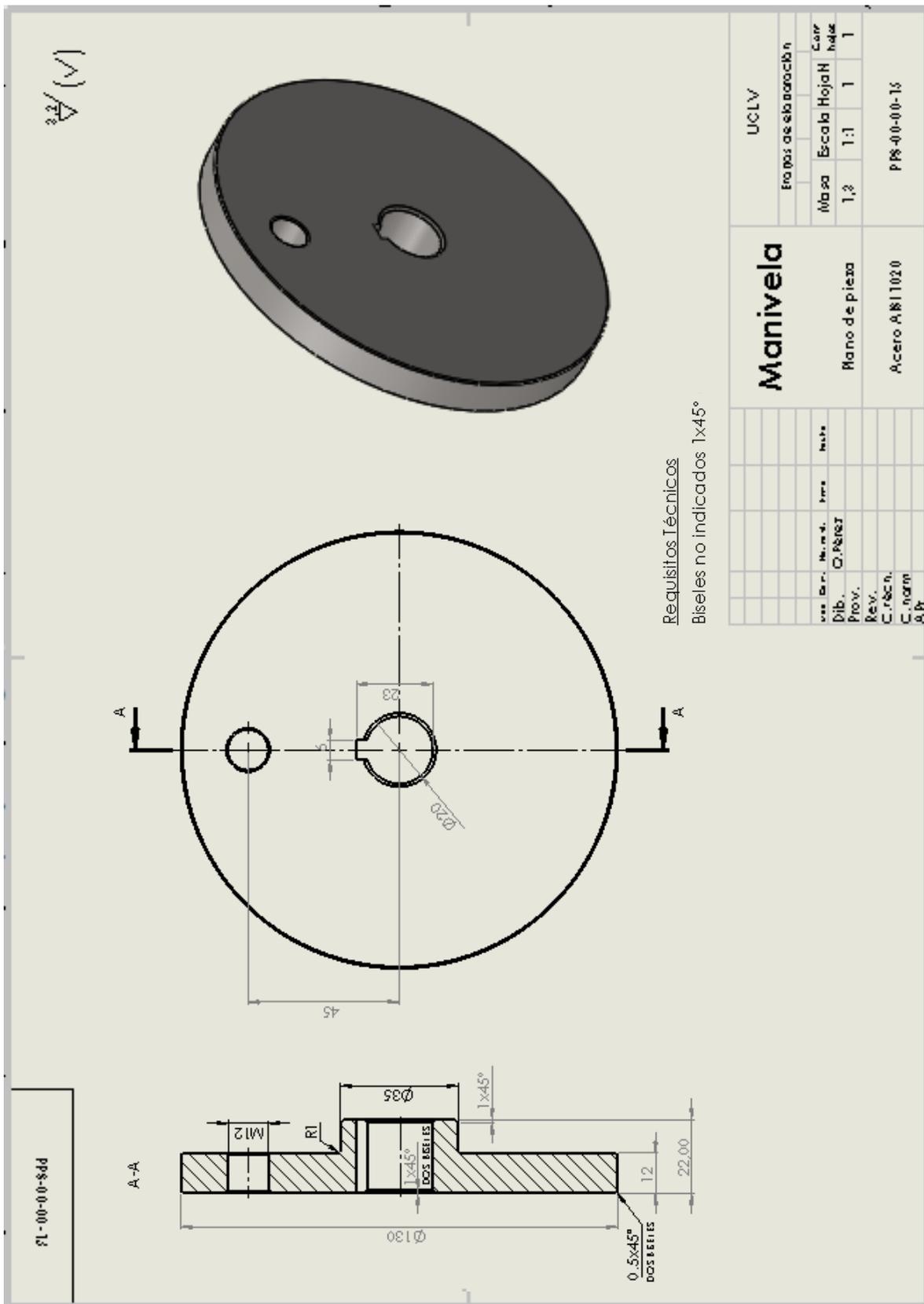


					Polea Conductora 5	UCLV				
						Etapas de elaboración				
Mod	Conr.	No. serf.	Hirma	techn	Plano de pieza	Masa	Escala	Hoja	N	Cant. hojas
Dib.		O. Pérez				0,12	1:1	1		1
Prov.					Aluminio	PPS-00-00-12				
Rev.										
C. técn.										
C. nom										
APr										

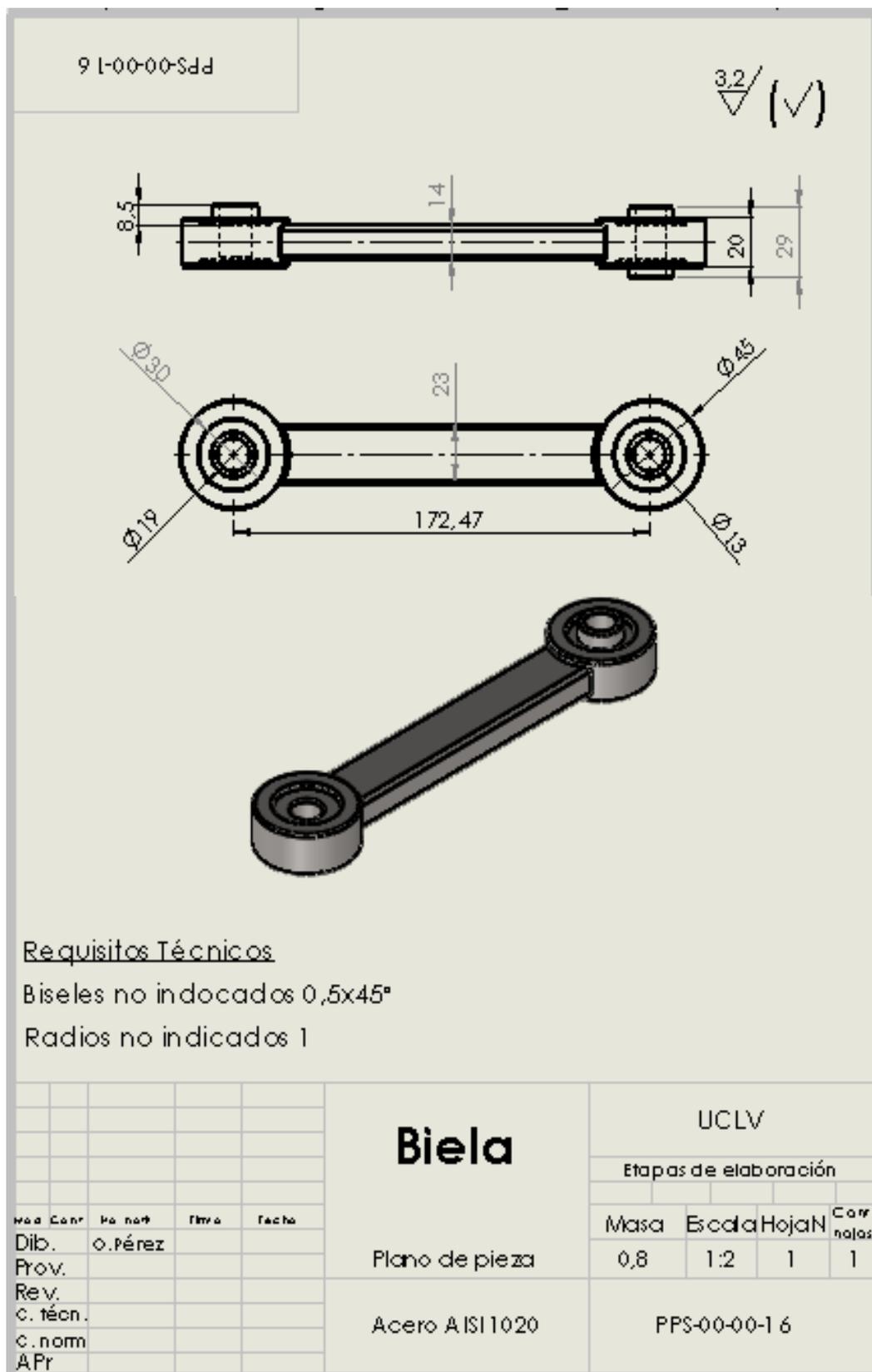
Anexo 16



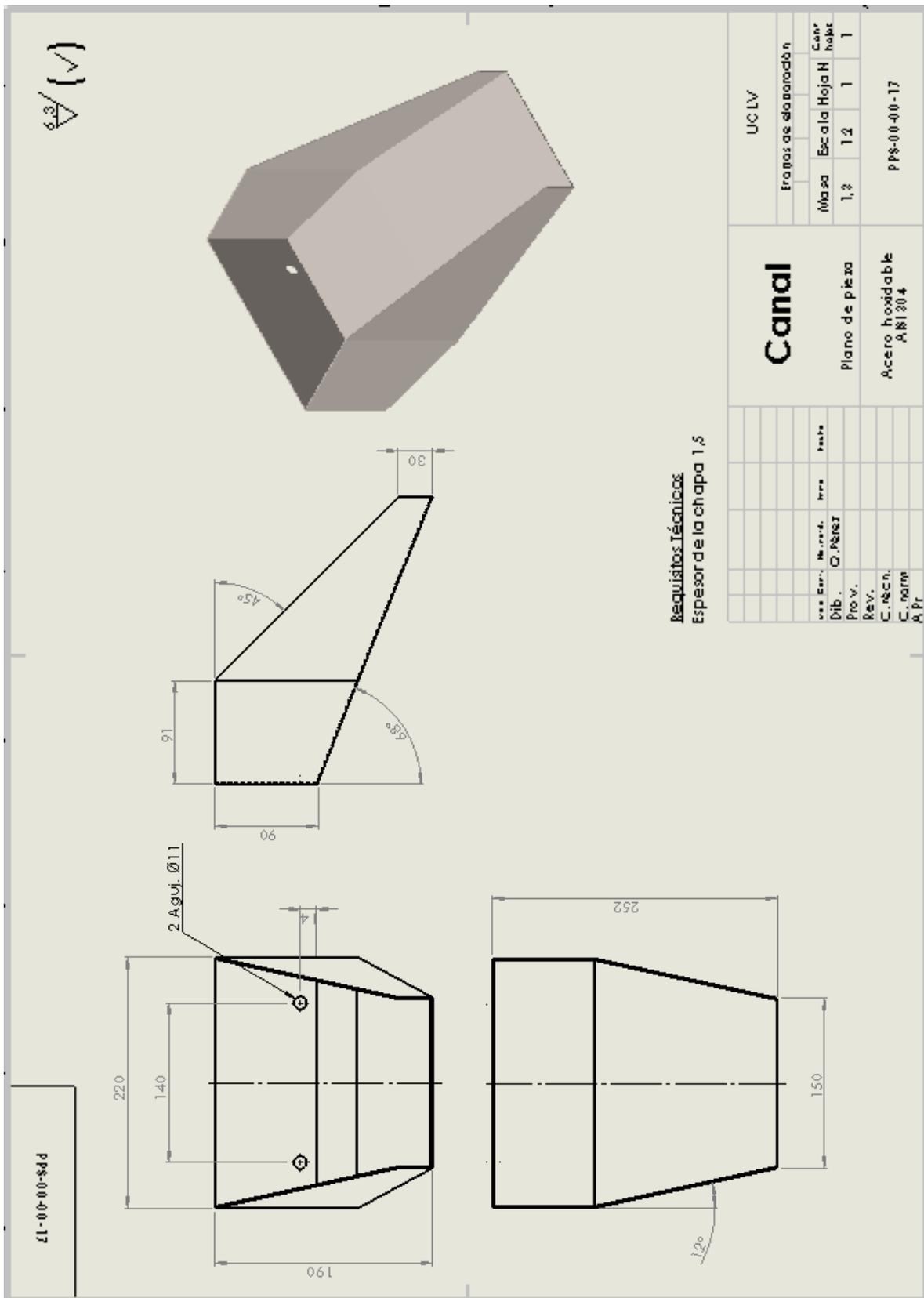
Anexo 17



Anexo 18



Anexo 19

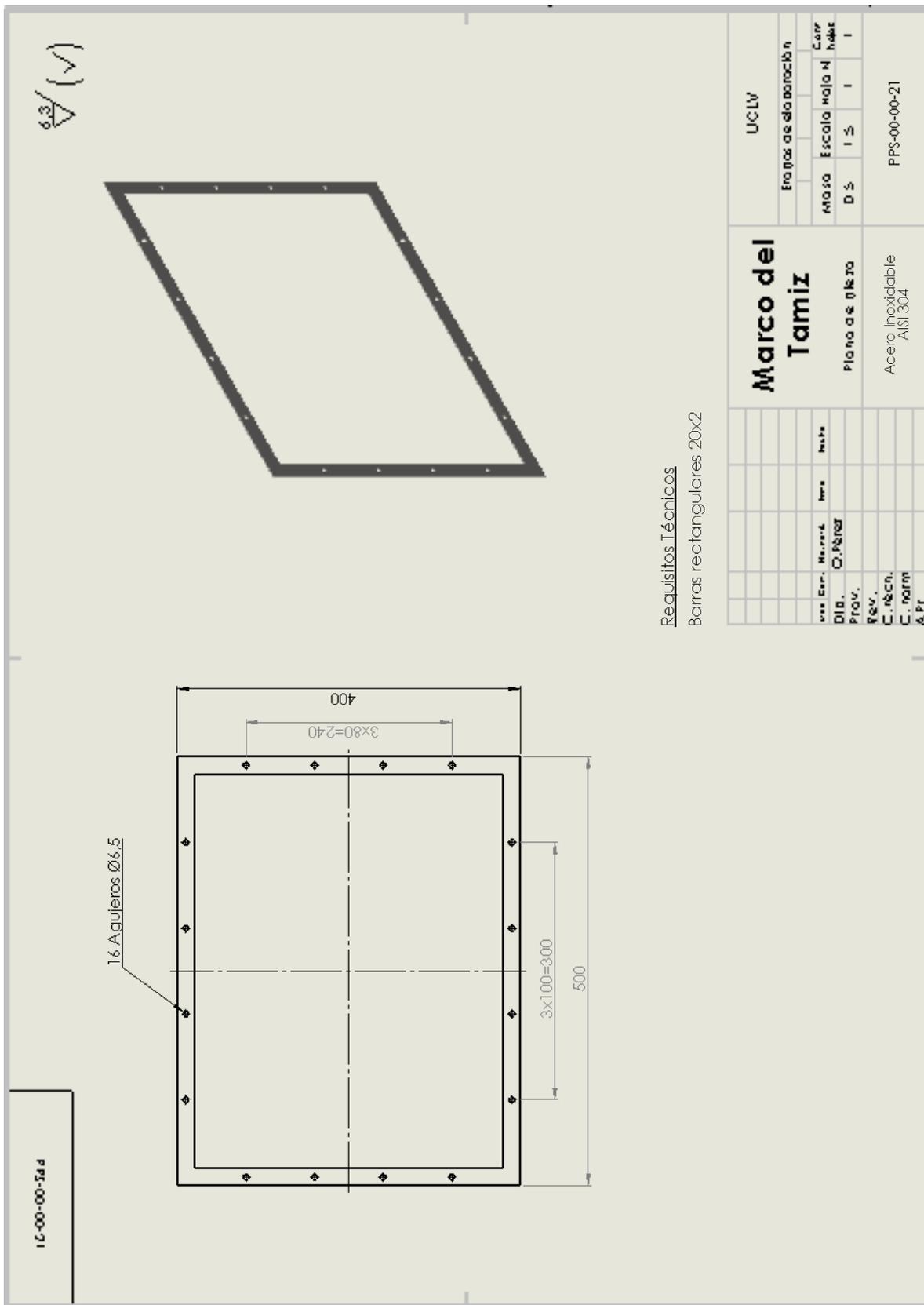


Requisitos Técnicos
Espesor de la chapa 1,5

UCLV			
Etapas de elaboración			
Masa	Escala	Hoja N	Conc. Hoja
1,3	1,2	1	1

Canal		Plano de pieza	
Acero inoxidable		AISI 304	
C. Norm		A Pr	
C. Norm		A Pr	
Rev.			
Pro. V.			
Dib. O. Pérez			
Esc. 1:2			
Hoja 1			
Masa 1,3			

Anexo 23



Requisitos Técnicos
 Barras rectangulares 20x2

Use	Exp.	Material	Forma	Detalle	UCLV				
					Estructuras de acero galvanizado				
					Materia	Escuela	Materia	Carr	
					D.S.	I.S.	I.	I.	
Marco del Tamiz					Plano de Proyecto				
Dib.					Acero Inoxidable				
Prov.					AISI 304				
C. N. C.									
C. Norm									
A. Pr					PPS-00-00-21				

Anexo 25

PPS-00-00-23

3.2/ (✓)

Requisitos Técnicos
 Biseles no indicados 0,5x45°
 Radios no indicados 1

					Balancín	UCLV			
						Etapas de elaboración			
Mas	Contr	Va nom	Firma	Fecha	Plano de pieza	Masa	Escala	Hoja/N	Co r. nolas
Dib.		O. Pérez			Acero AISI 1020	0,6	1:2	1	1
Rev.						PPS-00-00-23			
C. técn.									
C. norm									
A Pr									

Anexo 26

