

**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 prototipo de máquina para el lavado de granos de sorgo (MLS-2019. Versión 1.0) utilizado para producir harina en la industria alimentaria.

Autor: Joel Avalos Abrahantes

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 machine prototype for the wash of grains of sorghum (MLS-2019. Version 1.0) used to produce flour in the alimentary industry.

Author: Joel Avalos Abrahantes

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

*Dedico el presente trabajo de diploma a quienes les debo la vida a mi mamá y a mi papá, por el apoyo, confianza y el amor que siempre me han brindado.*

*A mi hermana y mi sobrina por ser el motivo más grande de estar aquí.  
A mis abuelos y abuelas, por estar siempre presentes y por ser un ejemplo para mí.*

*A mi novia por apoyarme en momentos difíciles.*

*En fin para todos ustedes con cariño y amor.*

## **Resumen**

El presente trabajo aborda las tecnologías para el procesamiento del sorgo. Lo hace desde la óptica del diseño mecánico. Parte de la problemática existente con las condiciones de limpieza y lavado manual del sorgo para su procesamiento en la producción de harina, a pequeña escala, en la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Primeramente se realiza un estudio sobre el estado del arte de esta temática, profundizando en los métodos y técnicas empleadas para el procesamiento y lavado de cereales. Además, se establecen los requisitos a tener en cuenta para automatizar el lavado de granos de sorgo a partir de los principios de funcionamiento y características de máquinas similares en el mundo. Se realiza la propuesta de diseño y modelación de un prototipo de máquina para el lavado de granos de sorgo con ayuda del diseño automatizado por medio del software SolidWorks. Por último, como resultado se brinda toda la documentación técnica necesaria para su construcción.

**Palabras clave:** sorgo, máquinas de lavado, diseño mecánico, CAD

**Abstract**

The present work deals with the technologies for Sorghum processing. It does so from the perspective of mechanical design. Part of the existing problem in the conditions of cleaning and manual washing of sorghum for processing in flour production, on a small scale, at the Central University Marta Abreu de Las Villas. Firstly, a study on the state of the art of this subject is made, deepening in the methods and techniques used for the processing and washing of cereals. In addition, the requirements to take into account to automate the washing of sorghum grains from the operating principles and characteristics of similar machines in the world are established. The proposal of design and modeling of a machine prototype for the washing of sorghum grains is made with the help of the automated design by means of the SolidWorks software. Finally, as a result, all the technical documentation necessary for its construction is provided.

**Key words:** sorghum, washing machines, mechanical design, CAD

## Índice

Introducción .....	1
Objetivo general:.....	3
Objetivos específicos:.....	4
Capítulo I: Estado del arte sobre las máquinas empleadas en el procesamiento y lavado de granos de sorgo blanco.....	5
1.1- Origen e importancia del sorgo .....	5
1.2- Características y propiedades.....	6
1.2.1- Propiedades del sorgo relacionadas con la salud. ....	7
1.3- Aplicaciones y usos del sorgo .....	8
1.4- Procesamiento.....	9
1.5- Métodos de limpieza de granos. ....	9
1.6- Máquinas de limpieza de granos o cereales existentes en la actualidad.....	13
1.7 Procesamiento y producción de harina de sorgo a pequeña escala en Cuba.....	16
1.8 Conclusiones Parciales.....	19
Capítulo II: Diseño conceptual de la máquina lavadora de sorgo.....	20
2.1 Premisas y requisitos para el diseño de la máquina lavadora de sorgo.....	20
2.2 Principio de funcionamiento de la máquina.....	21
2.3 Determinación de la forma y dimensiones del cilindro interior y depósito exterior. ....	22
2.3.1 Definición y diseño del cilindro interior.....	22
2.3.2 Definición de la forma y dimensiones del depósito exterior.....	24
2.4 Definición de la estructura base.....	26
2.5 Definición del esquema cinemático del sistema de transmisión de la máquina.....	27
2.5.1 Cálculo de la potencia necesaria para el movimiento de la máquina.....	28
2.5.2 Cálculo de las relaciones de transmisión de la máquina.....	31
2.5.3 Cálculo de la velocidad angular de cada árbol.....	32
2.6 Cálculo y dimensionamiento de la transmisión por correa.....	32
2.6.1 Cálculo del torque y selección del tipo de correa.....	32
2.6.2 Determinación de los diámetros de las poleas.....	33
2.6.3 Determinación y comprobación de la velocidad de la correa (V).....	33
2.6.4 Determinación de la distancia entre centros de la transmisión por correa.....	34
2.6.5 Cálculo y comprobación del ángulo de abrazado en la polea menor. ( $\theta$ ).....	35

2.6.6 Determinación de los principales parámetros geométricos de las poleas. ....	35
2.7 Selección del reductor sinfín a utilizar. ....	36
2.7.1 Principales dimensiones del reductor sinfín. ....	36
2.8 Selección del acoplamiento en la unión motor - reductor. ....	37
2.9 Selección por catálogo de la válvula. ....	38
2.10 Conclusiones Parciales .....	40
Capítulo III: Diseño automatizado de la máquina lavadora de sorgo blanco (MLS-2019, Versión 1.0) utilizando Solidworks 2018. ....	41
3.1 Descripción general de la máquina MLS-2019, Versión 1.0.....	41
3.1.1 Sistema base.....	42
3.1.2 Sistema motriz. ....	44
3.1.3 Sistema de lavado.....	45
3.1.4 Sistema de suministro de agua y drenaje. ....	50
3.2 Descripción del funcionamiento de la máquina. ....	51
3.3 Selección de materiales empleados para la construcción de la máquina lavadora de sorgo.....	52
3.4 Conclusiones Parciales.....	54
Conclusiones Generales .....	55
Recomendaciones.....	56
Referencias Bibliográficas.....	57
Anexos: .....	59

## **Introducción**

El sorgo es el quinto cereal de mayor importancia en el mundo, después del trigo, el arroz, el maíz y la avena. Los principales lugares de producción de sorgo se encuentran en las regiones áridas y semiáridas de los trópicos y subtropicos.

La importancia de este cultivo ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a su utilización en la alimentación humana. En la industria alimenticia la harina de sorgo está tomando auge, ya que se ha comprobado que puede sustituir hasta en un 50% a la de trigo, en las mezclas para la elaboración de pan, sin afectar la calidad de este.(CENTA 2007)

La composición química del grano de sorgo es rica 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 (Aguirre - Arenas et al., 1998); sus granos son ricos en antioxidantes, 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 (FAO, 2005). El sorgo presenta un alto contenido de antioxidantes (que ayudan a prevenir el cáncer) y fibra insoluble (lenta digestibilidad), con cantidades relativamente pequeñas de fibra soluble.

Una cualidad importante del sorgo, que lo diferencia a otros cereales, es que no contiene gluten, que sin embargo es la mayor reserva proteica del trigo y cereales similares.

Este aspecto es muy valioso para los pacientes celíacos. La enfermedad celíaca es un trastorno autoinmune que es precipitada precisamente por la ingestión de gluten, lo que provoca dolor abdominal, diarrea y pérdida de peso.

El tratamiento nutricional, libre de gluten, es el único aceptado para la enfermedad celíaca 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, ya que la harina del grano de sorgo, NO CONTIENE GLUTEN. Esto es muy importante para aquellas personas intolerantes al gluten (padecimiento celíaco) (Sollid and Khosla, 2005).

En Cuba, su utilización en la alimentación humana ha sido limitada al no existir hábitos de consumo, ni cultivarse de manera extensiva para la alimentación. No obstante, se han realizado estudios agrícolas y se cuenta con variedades blancas de sorgo aptas para el consumo. Desde los años noventa, los investigadores de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV) comenzaron a crear las bases científicas y técnicas para la introducción de este cereal a gran escala en la alimentación de la población y la sustitución de importaciones (Ruiz Álvarez 2013).

En ese sentido, el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), perteneciente a la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UCLV ha desarrollado investigaciones y generalizaciones en el cultivo del sorgo nacionalmente. 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, contribuyendo en gran medida a la calidad de vida de los niños que padecen de la enfermedad.

La elaboración de productos alimenticios de harina de sorgo (exentas de gluten), ha permitido distribuir mensualmente a la totalidad de los niños celíacos de Villa Clara y de otras provincias del país.

Por otra parte, la producción de la harina de sorgo es altamente rentable en comparación con otros cereales, lo que puede sustituir importaciones y contribuir a la seguridad alimentaria de los pacientes celíacos y de la población en general. Todo lo anterior 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 limpieza y el lavado para su posterior secado, molido y cernido para la elaboración de la harina de sorgo. Lo hace, teniendo como antecedente la problemática existente en la UCLV para producir harina de sorgo a pequeña escala.

Debido a los diferentes procesos a que es sometido el sorgo durante la cosecha este adquiere grandes cantidades de impurezas que dificultan su calidad.

El lavado del sorgo blanco en Cuba se ha realizado tradicionalmente de forma manual, lo cual dificulta y hace lento este proceso, además de requerir un mayor consumo de agua y tiempo. La solución pudiera estar en la automatización del lavado del grano.

En el mundo existen variedades de máquinas para el lavado de algunos cereales de diferentes granulometrías, pero no se ha encontrado en la literatura consultada una máquina diseñada específicamente para el lavado de sorgo blanco a pequeña escala.

Por todo lo anterior surge la necesidad de diseñar un prototipo de máquina que tenga como función directa el lavado del grano de sorgo blanco, con el fin de mecanizar, facilitar y humanizar este proceso.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos

**Objetivo general:**

Diseñar un prototipo de máquina para el lavado de granos de sorgo blanco utilizado en la producción artesanal, a pequeña escala, de harina para la industria alimentaria.

**Objetivos específicos:**

1. Realizar un análisis bibliográfico sobre el estado del arte del grano de sorgo, de los métodos y máquinas empleadas para el procesamiento y lavado de cereales.
2. Establecer los requisitos de la máquina para automatizar el lavado de sorgo a partir de los principios de funcionamiento y características de máquinas similares para el procesamiento de granos.
3. Desarrollar la modelación de la máquina para el lavado de granos de sorgo blanco con ayuda del diseño automatizado por medio del SolidWorks.
4. Elaborar la documentación técnica necesaria para la construcción de la máquina para el lavado de granos de sorgo blanco.

## **Capítulo I: Estado del arte sobre las máquinas empleadas en el procesamiento y lavado de granos de sorgo blanco.**

El sorgo es un cereal que viene abriéndose espacio entre la avena, el trigo, la cebada y el maíz. Es una planta monocotiledónea, de aspecto exterior parecida al maíz. El color del grano es muy variable, desde el blanco al castaño, pasando por el rojizo, admitiendo combinaciones de colores. (García Atance 2001)

En cuanto al sorgo blanco, es un cereal que es más digerible tanto para los seres humanos, como para los animales, ya que este presenta un sabor bastante atractivo y tiene una amplia cantidad de usos para las gastronomías de diferentes lugares en el mundo. (Alimentos 2018)

Una de las mejores opciones que se ha podido realizar con este cereal, ha sido la combinación de esta harina con la del trigo, ocasionando que el producto final sea un material bastante gustoso al paladar y con la capacidad de generar panes tanto de alta calidad como de buen sabor. (Alimentos 2018)

### **1.1- Origen e importancia del sorgo**

El origen de este cultivo ha sido discutido a través de los años, ya que se plantea que procede del noreste de África, en la región ocupada por Etiopía, aunque se ubicó inicialmente en la India. Se introdujo en América en el siglo XVIII. Este cultivo tiene gran importancia a escala mundial, pues está comprobado que puede sustituir cereales como el trigo y el maíz en la mayoría de los usos de estos, tanto en la alimentación humana como en la producción de forraje o grano para la ceba de animales, y también en la industria. (Pérez 2010)

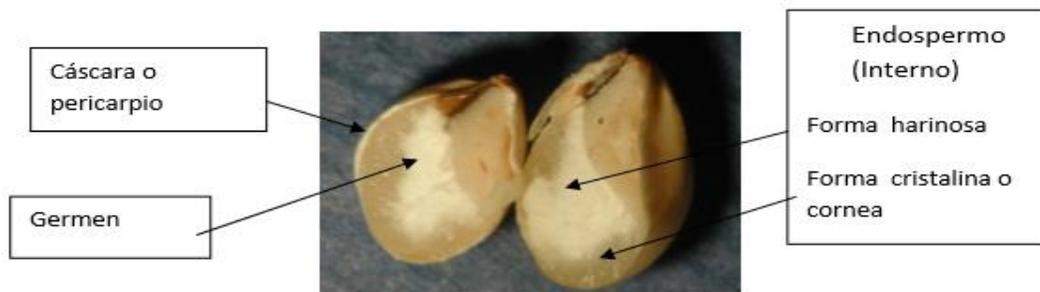
Posee amplia distribución geográfica por su plasticidad ecológica. Su buen comportamiento agronómico le concede favorables atributos: no es exigente a los suelos fértiles; es alelopático, por lo que requiere de pocas labores de cultivo y limpieza; compite, entre las plantas cultivadas de amplio uso, como una de las más resistentes a la sequía o con gran economía hídrica para producir un kilogramo de biomasa

comestible; es resistente a las plagas y enfermedades, aunque sensible al ataque de las aves e insectos durante el almacenamiento. (Pérez 2010)

## 1.2- Características y propiedades.

Se puede mencionar entre alguna de las características que posee el sorgo, que la misma tiene un porcentaje de crecimiento de uno a dos metros de altura. Su disposición de las flores o inflorescencia se da en espigas, siendo la semilla de apenas unos tres milímetros de dimensión con una forma redondeada y alargada. Esta planta puede llegar a desarrollar un sistema radicular, pudiendo asentarse en suelos permeables de unos dos metros de fondo y su flor se caracteriza por mostrar estambres y pistilos. (Alimentos 2018)

En general el grano como se muestra en la figura 1.1 se compone de tres partes: la cáscara, el germen y el endospermo que es la parte interna del grano. (Christiansen 2012)



**Figura 1.1: Estructura del grano de sorgo mostrando endospermo.**

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 (figura 1.2). Los colores más comunes son el blanco, el verde limón y el rojo. Tanto el sorgo de color blanco como el blanco-cremoso son una alternativa viable para la alimentación humana. (MONTES GARCÍA 2010)



**Figura 1.2 Testa pigmentada y color de gluma en variedades de sorgo.(Christiansen 2012)**

El sorgo como grano, posee unas propiedades energéticas que no suelen superar a la del maíz. Se calcula que este grano posee una unidad de forraje por cada kilogramo, un promedio de 1,08 UF/Kg. Al compararse proteínicamente con el maíz, El sorgo definitivamente provee de mayor cantidad, sin embargo, cuando se habla de contenido graso, esta planta suele ser muy pobre y especialmente carecen de un aminoácido esencial en la dieta del ser humano como lo es la lisina. (Alimentos 2018)

### 1.2.1- Propiedades del sorgo relacionadas con la salud.

- **Celiaquía:** el sorgo es un cereal sin gluten por lo que es apto para las personas con celiaquía.
- **Diabetes:** los azúcares del sorgo son liberados más lentamente, por lo tanto el organismo pueda aprovecharlos mejor. Además absorbe el azúcar refinado.
- **Estreñimiento:** sus altos niveles de fibra insoluble facilitan el buen funcionamiento del tracto intestinal.
- **Astringente:** su alto contenido en taninos lo dota de propiedades cicatrizantes y antiinflamatorias.
- **Afecciones respiratorias:** otra de las propiedades del sorgo es que protege las mucosas por lo que puede aliviar la tos y otras afecciones respiratorias.
- **Mejora la salud cardiovascular:** al ser rico en antioxidantes ayuda a cuidar la salud de nuestro corazón.
- **Fortalece los huesos:** su contenido en minerales como el calcio, el manganeso o el fósforo ayuda a cuidar la salud de nuestros huesos. (Sánchez Ortiz 2018)

Las diversas y amplias virtudes de esta planta desde el punto de vista agronómico, así como en la alimentación humana y animal, la industria, la gastronomía y la medicina, le confieren atributos excepcionales para el incierto futuro alimentario que se avecina. (Pérez 2010)

### **1.3- Aplicaciones y usos del sorgo.**

El sorgo tropical (*Sorghum bicolor* L. Moench) presenta buena adaptabilidad y rendimientos aceptables, por lo que se le ha denominado «el cereal del siglo XXI». A nivel mundial, a principio de los sesenta una gran producción de sorgo se empleaba directamente en la alimentación humana; mientras que en la actualidad la utilización de sorgo para el consumo animal se ha duplicado. En Cuba es muy utilizado en la Agricultura Urbana para evitar la incidencia de plagas. (Rodríguez 2006).

Específicamente en la Provincia de Villa Clara el sorgo es utilizado en la elaboración de alimentos para diabéticos y celíacos (alérgicos al gluten) debido a su alto contenido de fibra y a la falta de gluten. Es necesario significar que, además de su buen perfil nutricional, el sorgo posee alto contenido de fibra dietética y antioxidantes. Estas características nutricionales lo hacen un cereal con propiedades benéficas para la salud, ya que tienen propiedades anticancerígenas y como regeneradores celulares. (Saucedo Castillo, Valdés Landaburo et al. 2012).

Este cereal, se ha transformado en una buena opción para las personas que optan por no querer consumir algún producto con gluten como lo puede generar el centeno, la avena o el trigo, siendo un excelente suplente de la harina de trigo, por su neutralidad en el sabor de su harina, algo azucarada. Las personas con diabetes, suelen usarlo porque es un regulador del azúcar en el organismo. En otros casos, el sorgo es usado como un grano entero, con todas sus capas externas para anexar más contenido de fibra a los productos que se consumen, como si fuera el grano de arroz, y se le utiliza para ser acompañante de carnes o ensaladas. En otros países como China, este mismo grano es utilizado con otros fines, pero igual para el consumo del ser humano como lo es el licor. En este país han optado por la creación de un aguardiente a base de dicho rubro. Es importante señalar que el sorgo, está calando posición en el mercado mundial, ya sea para el consumo humano, animal, o energético.

Este cereal también se usa como forraje para animales, para elaborar bebidas alcohólicas y variedades abundantes en azúcar para hacer biocombustibles. Además, su característica de resistencia a la sequía y a las altas temperaturas, lo convierten en un cultivo importante en regiones áridas, siendo una de las mayores producciones agrícolas del mundo. (Sánchez Ortiz 2018)

#### **1.4- Procesamiento.**

Dentro de los métodos utilizados para el procesamiento del grano de sorgo están la cosecha, la limpieza, el lavado, el secado, el almacenamiento, el molido, el rolado, la combinación de rolado con vapor, el tratamiento con vapor y hojueado, la reconstitución (en términos de humedad), el cultivo del grano con alto contenido de humedad, la adición de ácidos, el micronizado, la adición de enzimas amilolíticas y otros. Durante el rolado y el molido se rompe la cáscara de la semilla, se reduce el tamaño de partícula y se incrementa la superficie de área de digestión; esto aumenta la tasa de digestión del almidón, lo cual mejora el valor energético del grano. El rolado del sorgo con vapor, parece tener poca ventaja sobre el rolado seco. El rolado con vapor produce un producto que tiene una forma física que aparentemente mejora la palatabilidad del grano. (L. CORONA G. 2017)

#### **1.5- Métodos de limpieza de granos.**

La limpieza de los productos agrícolas es una práctica adoptada hace miles de años y que poco ha cambiado desde entonces, pues en la actualidad se utilizan los mismos principios mecánicos. No obstante, las máquinas modernas permiten una buena limpieza de los productos, poseen un rendimiento bajo, lo que muchas veces limita la recepción de estos en las grandes unidades de almacenamiento. En el medio rural, los sistemas de limpieza son bastante rudimentarios; por lo general, las impurezas se separan por medio del viento, utilizando cernidores manuales; ocasionalmente equipos más complejos, como máquinas con sistemas de aspiración de aire y juego de mallas o zarandas. En las unidades almacenadoras o en las grandes propiedades agrícolas, donde se requiere limpiar grandes cantidades de granos, se utilizan máquinas de

limpieza con sistemas de aspiración de aire y zarandas. Estas tienen una alta capacidad para una eficiente limpieza, pero su operación es relativamente compleja.

Existen varios sistemas para la limpieza de los granos. Los más utilizados son: Limpieza mediante el viento: Este sistema consiste en levantar los granos a una determinada altura, dejándolos caer para que el viento separe las impurezas más livianas, como polvo, hojas, granos vacíos, etc. Este método (figura 1.3) tiene el inconveniente de que no elimina las impurezas o materias extrañas más pesadas, como arena, piedras, terrones etc., que caen junto con los granos. ((F.A.O.) 2018)



**Figura.1.3: Limpieza de granos mediante el viento.**

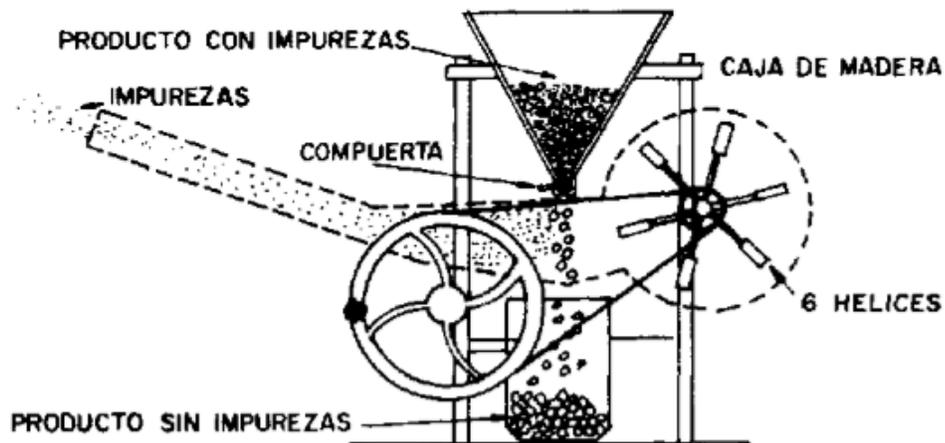
Limpieza con zaranda manual: El método consiste en utilizar mallas o zarandas manuales (figura 1.4) y realizar un movimiento hacia arriba con la zaranda, lanzando el producto al encuentro de la corriente de aire; el viento se encarga de eliminar las impurezas más livianas. Enseguida se realiza un movimiento de vibración o vaivén de la zaranda, para propiciar que las impurezas menores pasen por los orificios. Tiene la desventaja de ser una operación de bajo rendimiento y de exigir gran esfuerzo físico y habilidad del operador. ((F.A.O.) 2018)



**Figura 1.4: Limpieza de granos con zaranda manual**

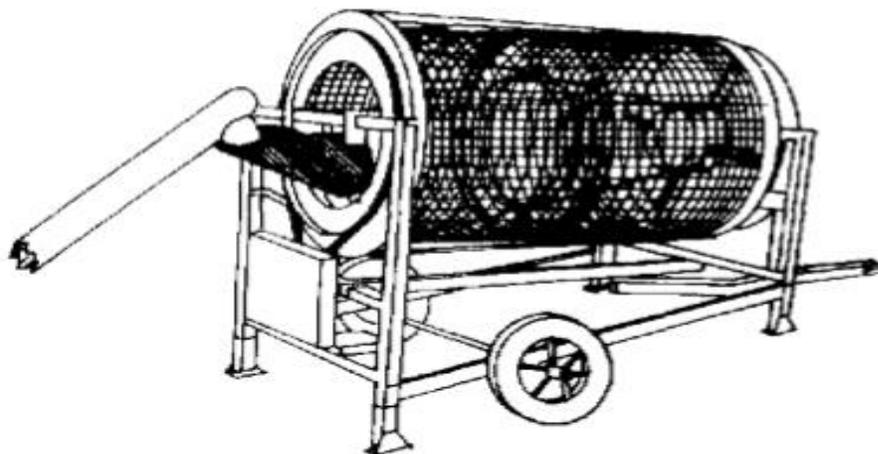
Limpieza con ventilador: Consiste básicamente en un ventilador que produce un flujo de aire, el que realiza la separación de las impurezas del producto. Esta separación se efectúa a base de las diferencias de la velocidad terminal de las impurezas y de los granos. Este sistema de limpieza sirve para eliminar impurezas livianas, tales como polvo, hojas, tallos, ramillas, etc. La limpieza se lleva a cabo haciendo pasar una corriente de aire por los granos; las impurezas más livianas son lanzadas fuera de la máquina por la acción del aire del ventilador. ((F.A.O.) 2018)

El ventilador está constituido por una caja con forma de caracol, en cuyo interior existe un rotor formado por un conjunto de paletas o aspas dispuestas en círculo, que al ser accionadas en forma manual o mecánica generan una corriente de aire. El producto se coloca en la tolva superior, que es un depósito en forma de "V", con una pequeña abertura en la parte inferior, provista de una válvula o compuerta mediante la cual se regula la cantidad de producto que entra a la limpiadora. (Ver figura 1.5)



**Figura 1.5: Limpieza de granos con un ventilador.**

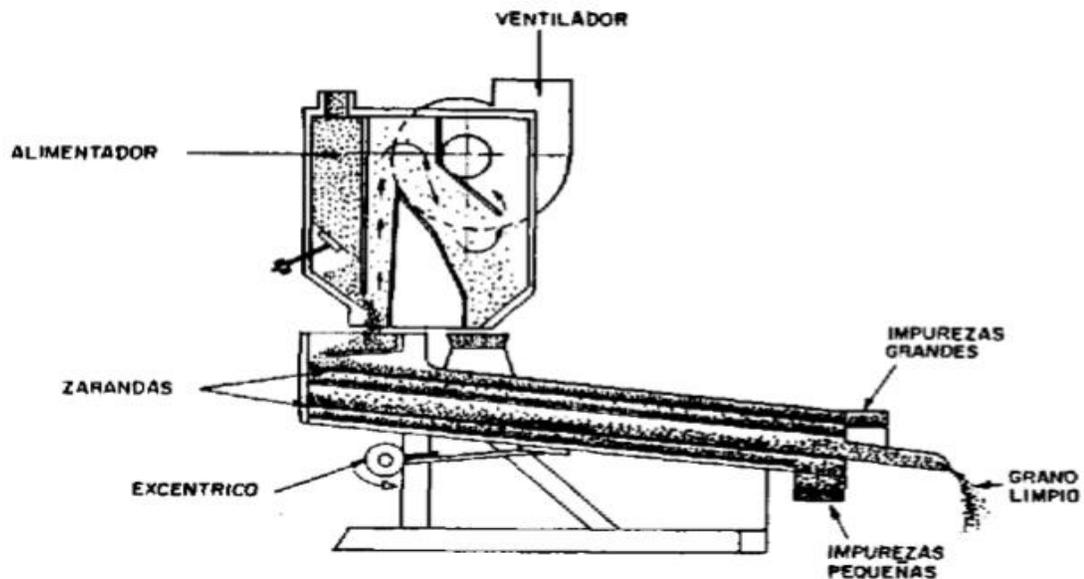
Limpieza con mallas cilíndricas: Como se aprecia en la figura 1.6, es una máquina que está constituida básicamente por dos mallas cilíndricas, colocadas una dentro de otra. La malla interior tiene forma de cono, para que los granos se deslicen cuando se opera el equipo a una velocidad más baja. Durante su funcionamiento, los granos entran por la malla interna que posee orificios más grandes que los granos, lo que permite que el producto pase y se retengan las impurezas mayores. La malla externa posee orificios menores que retienen los granos y permiten el paso de las impurezas menores. Normalmente, estas máquinas poseen un sistema que permite sustituir a las mallas, lo que permite la limpieza de diferentes productos. ((F.A.O.) 2018)



**Figura 1.6: Limpieza de granos con mallas cilíndricas.**

Limpieza en máquinas con ventilador y zarandas: Las máquinas de limpieza con ventilador y zarandas (ver figura 1.7) constituyen el sistema más eficiente para la limpieza de los granos. Para separar las impurezas utilizan un ventilador y un conjunto de zarandas. Estas máquinas pueden ser utilizadas en la operación de pre-limpieza para eliminar parte de las impurezas de los granos, o en la operación de limpieza, después del secado.

Por lo general, dichas máquinas están constituidas por un depósito o alimentador, un sistema de aspiración de polvo (que se encuentra a la entrada o salida del producto) un conjunto de zarandas intercambiables y un dispositivo para producir la vibración u oscilación del conjunto de zarandas. ((F.A.O.) 2018).



**Figura 1.7: Limpieza de granos en máquina con ventilador y zarandas.**

### **1.6- Máquinas de limpieza de granos o cereales existentes en la actualidad.**

Máquina de cribado de grano: Su forma es similar a la mostrada en la figura 1.8, se emplean para limpiar todo tipo de granos como: frijoles, trigo, maíz, soja, sésamo, semillas de colza y otras materias primas granulares de piedra, polvo o impureza por vibratorio y tamizado. También puede clasificar los granos de acuerdo a tamaño y peso.

La misma tiene una capacidad de producción de 2-3 t/h, sus dimensiones son de 1900 mm de largo y 700 mm tanto de largo como ancho, posee un peso neto de 90 kg, consume una potencia de 2.2 kW y trabaja con tensión de 220 a 380 V.(Ling 2018).

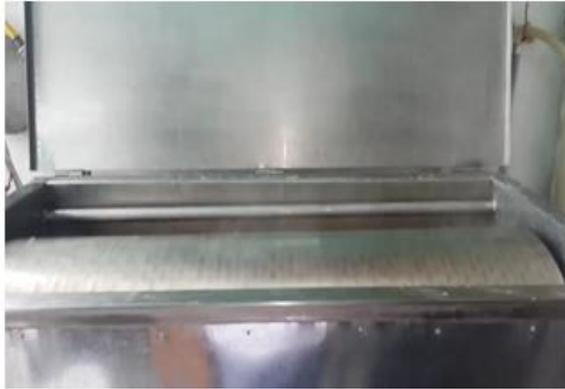


**Figura 1.8: Máquina de cribado de granos.(Ling 2018)**

Máquina para lavar maíz: En la figura 1.9 se muestran diferentes vistas de esta máquina. La misma es capaz de lavar el grano de maíz por medio de un proceso de nixtamalización (figura 1.9c), donde se realiza la cocción del maíz con agua y cal, para obtener principalmente el nixtamal que, después de molido da origen a la masa que a su vez servirá para la elaboración de tortillas, tamales, etc.

El equipo está compuesto por un depósito de agua con tapa (figura 1.9a), un cilindro interior perforado con tapa, el cual está fijado al eje de la máquina por soportes (figura 1.9b). También posee una fuente motriz y una estructura de angulares en la que están montados todos los componentes de la máquina.

El principio de funcionamiento consiste en la transmisión del movimiento rotacional desde un motor a través de un sistema de transmisión por correas al eje donde está fijado el cilindro interior. Dicho sistema reduce la velocidad a un valor entre 30 y 40 rpm para que se realice el lavado del maíz sin que el grano sufra daños. El modelo de la máquina que aparece en la figura 1.9 presenta una capacidad de producción de 60 kg y la mayoría de sus piezas están hechas de acero inoxidable.



**a) Depósito de agua**



**b) Cilindro interior**



**c) Lavado del maíz mediante el proceso de nixtamalización**

**Figura 1.9: Máquina de lavar maíz.**

Máquina de lavado de jengibre: Esta máquina no tiene como función el lavado de granos, pero debido a sus características de diseño, puede ser fácilmente adaptada para lavarlos. Su funcionamiento consiste en el movimiento rotacional de la malla cilíndrica provocando desplazamiento del jengibre hacia la salida donde a su vez es lavado con agua a presión emitida por tuberías que se encuentran dentro del cilindro. Esta máquina presenta un tamaño de 3000x1100x1700 mm con una capacidad de producción de 2 t/h, consume una potencia de 1.3 kW (una bomba de agua más un motor de la velocidad) y además contiene un tanque de agua de 300 litros. La mayoría de las piezas de la misma son de acero inoxidable.



**Figura 1.10: Máquina para lavar jengibre.**

Del análisis bibliográfico realizado no se encontró ningún aparato o dispositivo destinado específicamente para el lavado del grano de sorgo a pequeña escala, que constituye la esencia de esta investigación.

### **1.7 Procesamiento y producción de harina de sorgo a pequeña escala en Cuba.**

Desde hace varios años el Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP), pertenecientes a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, de la Universidad Central Marta Abreu de Las Villas (UCLV) produce harina de sorgo a pequeña escala destinado a elaborar productos alimenticios para pacientes que padecen la enfermedad celíaca o enteropatía sensible al gluten. Precisamente el gluten es una proteína contenida en el trigo, que constituye la base de gran variedad de alimentos tradicionales y cotidianos como panes, galletas, embutidos, pastas alimenticias, productos de repostería y otros. Por tanto, para estos pacientes se sustituye la harina de trigo por la de sorgo, un cereal que no contiene gluten.

En esencia, el proceso de molienda del sorgo se realiza en la UCLV, en un molino de disco CTI Omega VI, fabricado por la fundación “COMPATIBLE TECHNOLOGY INTERNATIONAL”, de Minnesota Estados Unidos. Los cuales son diseñados principalmente para procesar granos en pequeña escala y a bajo costo (Christiansen 2012). Este molino, mostrado en la figura 1.11, fue 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).



**Figura 1.11: Molino CTI Omega VI.**

Para esta producción de harina, que como se planteó está destinada a la elaboración de alimentos para pacientes celíacos en el país, el grano de sorgo es recibido de la Empresa Provincial de Semillas Varias perteneciente al Ministerio de la Agricultura de la provincia de Villa Clara (MINAG). Pero, antes de ser molido se somete a un proceso de limpieza que requiere el lavado y secado debido a un alto contenido de contaminación durante su cosecha, entre las que se puede mencionar la inclusión de otros granos e impurezas durante el trillado, ya que se emplean máquinas que se utilizan también para trillar diversas variedades de cereales.

Es por ese motivo que resulta imprescindible realizar el proceso de lavado del grano de sorgo por parte del CIAP. Esto se realiza manualmente, como se puede apreciar en la figura 1.12, con el empleo de varios recipientes.



**Figura 1.12: Lavado manual del grano de sorgo.**

En esta forma de lavado, se procesa un determinado volumen de granos de sorgo, añadiendo una cantidad aproximada de agua que cubra todo el grano, y con las manos se bate dentro del recipiente. Con el agua se lava el grano y se decantan las impurezas que suben a la superficie y que son eliminadas posteriormente con el líquido. Esta operación se repite varias veces hasta que el agua y el grano estén limpios.

Como se puede deducir de lo anterior expresado, este proceso resulta lento y engorroso, consumiendo tiempo y un elevado volumen de agua. Además de requerir un esfuerzo apreciable del operario y, que al final no garantiza del todo la limpieza del grano con la calidad e higiene que lo haga apto para el consumo humano.

La solución pudiera estar en la automatización y mecanización del proceso de lavado que posibilite consumir menos tiempo, agua y recursos. De esta forma humanizar el trabajo haciendo más eficiente dicho proceso.

Por lo que resulta necesario analizar la posibilidad de diseñar una máquina lavadora de sorgo. En este sentido, primeramente, se debe definir el principio de funcionamiento y determinar los principales parámetros y características de la máquina a proyectar.

### **1.8 Conclusiones Parciales**

- Del análisis bibliográfico realizado sobre el estado del arte de la temática relacionada con el sorgo se pudo conocer las características y propiedades que tiene este cereal, así como su uso tanto en el consumo humano como en el animal.
- Se comprobó en la literatura consultada que existen diferentes tipos de máquinas para la limpieza y lavado de diversos cereales. Entre ellas se encuentran lavadoras de maíz y de otros cereales, cribadoras de granos, etc. En este sentido no se encontró una máquina empleada específicamente para el lavado del sorgo blanco a pequeña escala.
- En la UCLV el lavado del grano de sorgo se realiza manualmente consumiendo tiempo, un volumen no despreciable de agua y esfuerzos de los operarios, haciéndose este proceso lento y engorroso, de ahí la necesidad de automatizar y humanizar este proceso.
- Sobre las máquinas para el procesamiento de cereales a pequeña escala, se vieron las características y principios de funcionamiento de algunas de ellas. En este sentido, se consideró tomar como referencia la máquina de lavar maíz, para lo cual se hace necesario profundizar en los parámetros funcionales necesarios para definir el diseño de un prototipo de máquina para el lavado de sorgo blanco.

## **Capítulo II: Diseño conceptual de la máquina lavadora de sorgo.**

En este capítulo se realiza el diseño conceptual de la máquina a partir del establecimiento de las premisas, requisitos y restricciones necesarias, se calculan los parámetros cinemáticos y dinámicos que permiten definir las dimensiones de los elementos que conforman la máquina, así como los materiales de cada pieza.

### **2.1 Premisas y requisitos para el diseño de la máquina lavadora de sorgo.**

Para el diseño preliminar de la máquina se necesita tener en cuenta los siguientes requisitos:

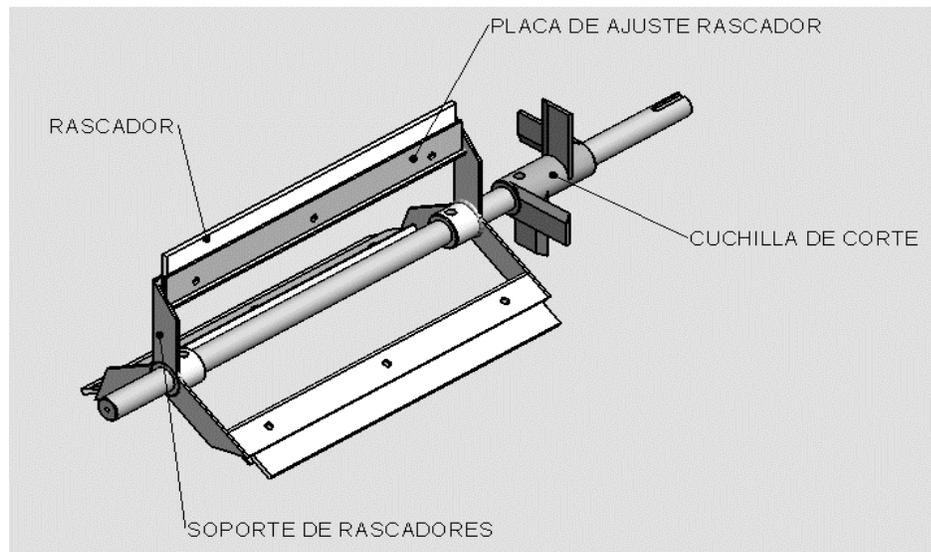
- El principio de funcionamiento, de acuerdo al análisis bibliográfico realizado en el capítulo anterior, se concibió por medio del movimiento de rotación de los granos dentro de un cilindro con un nivel de agua que los cubra totalmente.
- El cubrimiento del volumen de granos inmersos en el agua debe quedar a un nivel por debajo del eje central de la máquina.
- Se debe diseñar un mecanismo para generar el movimiento de los granos dentro del cilindro y permitir su lavado. Esto se realizará por medio de paletas colocadas en un eje rotativo.
- Se debe crear un dispositivo para eliminar la gluma del grano de sorgo durante el proceso de lavado, por su influencia en la calidad de la harina que se obtenga durante la molienda del grano. La idea sería colocar bandas de caucho flexibles en los extremos de las paletas y por el rozamiento contra las paredes del cilindro eliminar la capa exterior del grano (gluma).
- Las paredes del cilindro deben ser perforadas con agujeros de un diámetro específico que permitan la entrada de agua y la salida de la gluma, pero que mantenga el grano dentro del recipiente. De acuerdo al tamaño del grano que aparece reflejado en la literatura técnica, este diámetro debe ser de 2 mm.
- El cilindro debe contar con una abertura superior con tapa para permitir la entrada del grano de sorgo.
- La capacidad de lavado de la máquina puede oscilar entre los 45 y 50 kg, lo cual se corresponde con el peso de un quintal de sorgo (46 kg).

- La estructura debe ser robusta, con láminas y perfiles de acero. El material de las partes y piezas de la máquina que estén en contacto directo con el agua se deberán fabricar de acero inoxidable AISI 304, por sus propiedades anticorrosivas.
- El consumo de agua será mínimo y se deberá calcular en correspondencia con la capacidad de lavado de 46 kg.
- Establecer la forma y las dimensiones del depósito exterior que contendrá el agua, con las conexiones que permitan la entrada del agua, así como la salida del grano lavado y del agua con las impurezas contenidas en ellas. Además debe garantizar la hermeticidad para que el agua no se derrame al exterior.
- Se debe prever un recipiente para escurrir y recepcionar el grano lavado eliminando el agua con las impurezas.
- La fuente de energía puede ser mediante un motor eléctrico que tenga la potencia y velocidad requerida. Para ello se necesita calcular la potencia y el torque que demanda la máquina lavadora.
- Se debe definir el esquema cinemático del sistema de transmisión mecánica de la máquina, que incluye el diseño de una transmisión por correa.
- La velocidad de rotación para el lavado, se considera que debe ser un movimiento relativamente lento (entre las 30 y 40 rpm) para que permita que el grano se limpie sin sufrir daños y que sea eliminada la gluma.
- El diseño de la estructura de la máquina debe estar en correspondencia con los conceptos ergonómicos, adaptando las dimensiones de la máquina a las medidas corporales del operario para su fácil manejo.

## **2.2 Principio de funcionamiento de la máquina.**

El principio de funcionamiento de la máquina, de acuerdo al análisis de la bibliografía consultada sobre máquinas similares, se decidió diseñarlo a partir del movimiento rotacional de los granos sumergidos en agua. Para esto se concibió su movimiento dentro del interior de un cilindro, el cual estará fijo y por medio de tres paletas batirán el grano. En los extremos de las paletas se colocarán bandas de caucho, similar a las que se observan en la figura 2.1, para facilitar el descascarado del grano (desprendimiento de la gluma). Dichas paletas estarán montadas en un eje que generará un movimiento rotacional, provocando que el grano se mueva y a su vez se creará una fricción entre

las bandas y las paredes del cilindro. En su movimiento giratorio arrastrarán el grano y a la vez eliminarán la gluma del mismo, permitiendo de esta forma que se realice la limpieza y el lavado. Las dimensiones de las paletas se darán en función de las dimensiones interiores del cilindro.

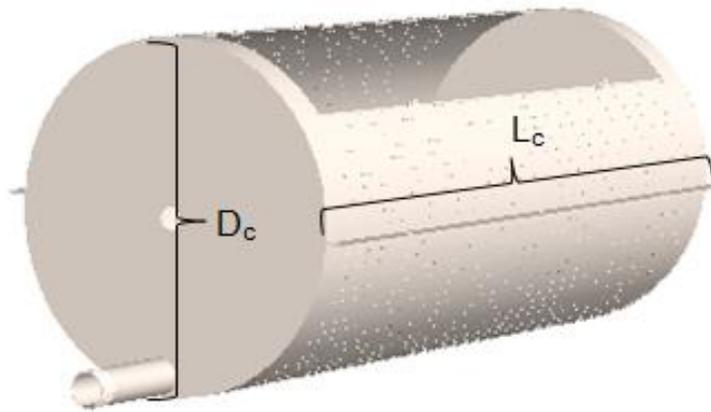


**Figura 2.1 Paletas rotatorias.**

## **2.3 Determinación de la forma y dimensiones del cilindro interior y depósito exterior.**

### **2.3.1 Definición y diseño del cilindro interior.**

El cilindro interior se diseñará en base al volumen de granos de sorgo para el lavado. Lo cual está prefijado en 46 kg, por su equivalencia con un quintal de granos y a su vez cubrirán un nivel del 35% de llenado dentro del mismo. Este cilindro interior estará dividido en dos partes para facilitar el montaje de las piezas interiores. Además contendrá una abertura superior con una tapa por donde se introducirá el grano. Las paredes tendrán distribuidos en su superficie orificios de 2 mm de diámetro por donde debe salir la gluma con el agua contaminada, dejando el grano retenido en su interior. En la parte inferior de uno de sus laterales se le adicionará una tubería con una válvula, con el fin de extraer el grano lavado. El eje central de la máquina pasará por dos orificios concéntricos que se harán en ambos laterales como se aprecia en la figura 2.2.



**Figura 2.2: Cilindro interior de la máquina.**

### **Determinación de la dimensiones del cilindro interior para una capacidad de 46 kg de granos de sorgo.**

Para definir las dimensiones del cilindro interior, se debe tener presente que están en función del volumen que deben ocupar los granos de sorgo y de acuerdo a la capacidad prevista a lavar (46 kg).

Como no se conoce qué volumen ocuparían exactamente 46 kg de sorgo dentro del cilindro, se hizo necesario realizar una búsqueda bibliográfica al respecto. En ese sentido, en la literatura técnica se reporta que para un volumen de aproximadamente **1m<sup>3</sup>** le corresponde una capacidad de **700 kg** de granos de sorgo (La ingeniería en el desarrollo 2019). Por tanto, teniendo en cuenta la relación de proporcionalidad, se puede deducir que **46 kg** de sorgo deberán ocupar un volumen de llenado de granos ( $V_{gc}$ ) de **0,066 m<sup>3</sup>**.

Este volumen sería considerando el cubrimiento total de granos dentro del cilindro. Pero como se explicó anteriormente, este valor se delimitó para que se garantice un volumen de granos y agua por debajo del eje central de la máquina. En ese caso los granos cubrirán un nivel del **35%** de llenado dentro del cilindro y el volumen puede ser calculado entonces, por la expresión (1).

$$V_c = \frac{V_{gc}}{0.35} \quad (1)$$

Por consiguiente, se puede definir el volumen total que debe tener el cilindro ( $V_c$ ) para un **35%** de llenado, por el principio de proporcionalidad, este sería de **0,190 m<sup>3</sup>**.

Entonces, según la figura 2.2, prefijando una longitud del cilindro (**Lc**) en base a lograr una estructura compacta de la máquina y proporcional entre las dimensiones de las diferentes partes, se puede determinar el diámetro del cilindro a partir de la expresión (2) para el cálculo del volumen del cilindro.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_c^2}{4} * L_c \quad (2)$$

**Donde:**

**Dc:** Diámetro de la base del cilindro.

**Lc:** Longitud del cilindro.

Despejando (**Dc**) en la expresión (2) para un volumen de **0,190 m<sup>3</sup>** y un valor de longitud del cilindro (**Lc**) igual a **1 m**, se obtiene un diámetro del cilindro igual **0,5 m**.

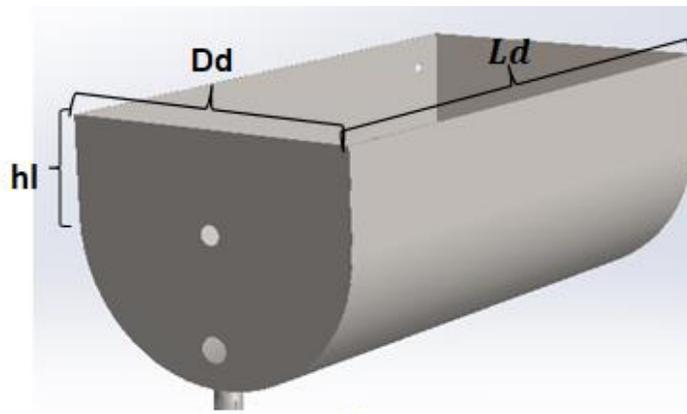
En resumen las dimensiones definitivas del cilindro interior serán las siguientes:

Longitud del cilindro (**Lc**) = 1000 mm

Diámetro del cilindro (**Dc**) = 500 mm

### **2.3.2 Definición de la forma y dimensiones del depósito exterior.**

El depósito exterior tendrá la forma que se muestra en la figura 2.3, con la parte superior rectangular y la inferior cilíndrica. Las dimensiones se establecerán de acuerdo a las dimensiones obtenidas en los cálculos anteriores, debido a que el cilindro va montado dentro del depósito. El agua que almacenará el depósito estará a un nivel por encima del grano contenido en el cilindro y por debajo del eje central de la máquina ocupando el **38%** del nivel del mismo. En uno de los extremos del fondo del depósito se le hará un agujero donde se soldará una tubería con una válvula acoplada, cuya función será permitir la salida del agua contaminada después del lavado. Por otra parte en uno de sus laterales tendrá otro orificio donde se conecta una tubería para la entrada del agua al depósito. También se le coloca una tapa en la parte superior para evitar el derrame del agua al exterior durante el proceso de lavado.



**Figura 2.3: Depósito de agua.**

### **Definición de las dimensiones exteriores del depósito de agua**

Las dimensiones del depósito estarán en función de las dimensiones exteriores del cilindro, los espesores de las chapas y la separación entre las paredes. En este sentido se tuvo en cuenta la longitud del cilindro interior (1000mm), dejando una separación de **53 mm** y considerando el espesor de la chapa del depósito que será de **2 mm**. Por tanto, la longitud del depósito (**Ld**) será igual a **1110 mm**.

Referente al diámetro exterior y ancho del depósito, para fijar su dimensión se consideró también el diámetro exterior del cilindro interno de **500 mm**, dejando una separación de **48 mm** entre las paredes y se consideró el espesor de la chapa del depósito de 2 mm. Esto implica que el diámetro exterior del depósito (**Dd**) será de **600 mm**. La altura de la parte rectangular del lateral del depósito (**hl**) se decidió que fuera de **200 mm**.

Con estas dimensiones se calcula el volumen del depósito ( $Vd$ ) por la expresión (3).

### **Determinación del volumen de agua a consumir por la máquina en el proceso de lavado.**

Para determinar el volumen de agua a consumir durante el lavado, primeramente se calcula el volumen del depósito ( $Vd$ ) mediante la expresión (3)

$$Vd = (Dd * hl + \pi * \frac{Dd^2}{4}) * Ld \quad (3)$$

Sustituyendo en la expresión (3) para los valores longitud del depósito (**Ld**), y diámetro del depósito (**Dd**) y altura de la parte rectangular del lateral (**hl**) se obtiene un valor del volumen del depósito (**Vd**) igual a **0.29 m<sup>3</sup>**.

Para calcular el volumen de llenado de agua del depósito ( $V_{llenado\ d}$ ), como se planteó anteriormente, la capacidad de llenado de agua del depósito se asume que será del **38%** del volumen del mismo, debido a que el agua debe alcanzar un nivel ligeramente superior al del grano (**35%**) y además, debe estar por debajo del eje central de la máquina.

Por tanto, el volumen de llenado de agua del depósito ( $V_{llenado\ d}$ ), es determinado por la expresión (4)

$$V_{llenado\ d} = Vd * 0,38 \quad (4)$$

De esa forma, se obtiene el valor de volumen de llenado de agua  $V_{llenado\ d}$  dentro del depósito para un nivel del **38%**, que será igual a **0,110 m<sup>3</sup>**.

Considerando que la conversión de volumen para 1 m<sup>3</sup> equivale a 1000 litros, se puede determinar la cantidad de litros de agua ( $L_{H2O}$ ) que necesita el depósito para el volumen de llenado de agua del depósito ( $V_{llenado\ d}$ ), en cada etapa de lavado por la expresión (5).

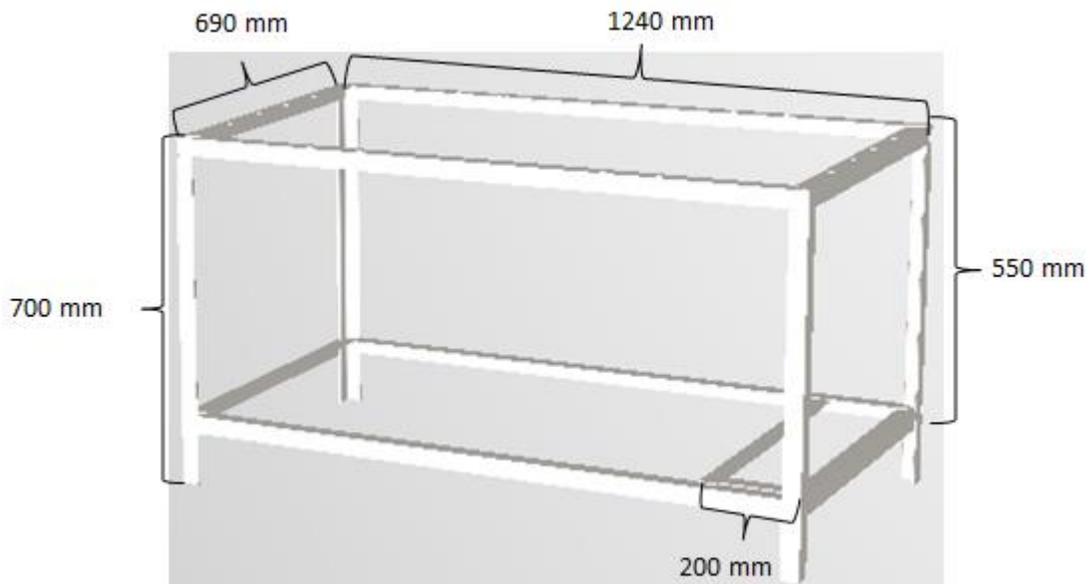
$$L_{H2O} = V_{llenado\ d} * 1000 \quad (5)$$

Según los cálculos realizados anteriormente la máquina lavadora de sorgo necesitará para cada etapa de lavado como máximo **110 litros** de agua. En este sentido se pudiera valorar la posibilidad de reciclar el agua si se implanta algún sistema de filtrado del agua para su reutilización.

#### **2.4 Definición de la estructura base.**

La estructura base, como se puede apreciar en la figura 2.4, se elaborará a partir de perfiles angulares de acero soldados en sus extremos, de manera que sirva de soporte y permita el fácil montaje de todos los elementos componentes de la máquina. Las dimensiones de la estructura se establecerán teniendo en cuenta las dimensiones del depósito y conceptos ergonómicos para una mayor comodidad de los operarios de la

máquina. La cual se colocará y fijará en la parte superior de la estructura y en la parte inferior se situará el sistema motriz. Las dimensiones de la estructura de acuerdo a lo expresado anteriormente, son las que se muestran en la figura 2.4.



**Figura 2.4: Estructura base.**

## 2.5 Definición del esquema cinemático del sistema de transmisión de la máquina

Para la definición del esquema cinemático se tiene como premisa fundamental lo planteado en los requisitos de diseño sobre la velocidad de rotación para el lavado. Donde, el autor consideró que debe ser un movimiento relativamente lento (entre las 30 y 40 rpm) para permitir que el grano se limpie sin sufrir daños y que, además pueda ser eliminada la gluma.

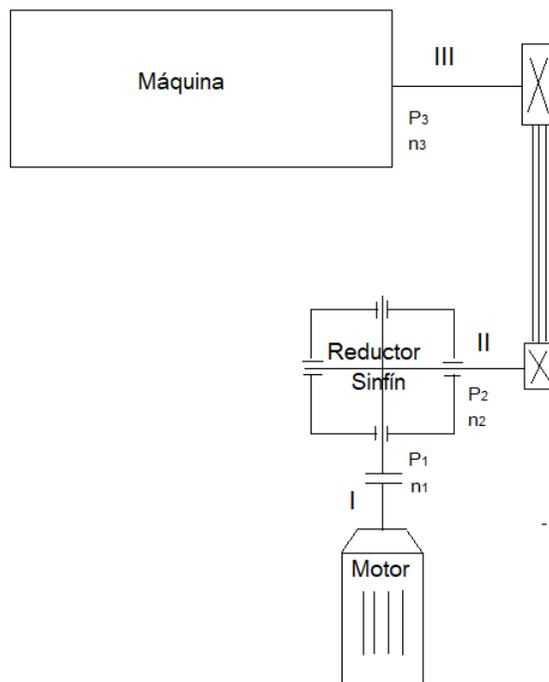
Otro parámetro para definir el esquema cinemático sería la potencia que demanda el movimiento de la máquina, la cual no se conoce. Sin embargo, se presume que esta velocidad baja implicaría tener que emplear un motor de bajas revoluciones con la potencia requerida por la máquina que debe determinarse. Pero se conoce que este tipo de motor resulta muy costoso.

Por tanto, teniendo en cuenta los elementos mencionados se propone el esquema cinemático que se muestra en la figura 2.5.

Como se puede observar en dicha figura, la transmisión del movimiento a la máquina y la reducción de la velocidad serán a partir de transmisiones por correas y transmisiones

por engranajes. La fuente de energía será un motor eléctrico que sea más accesible. En este sentido, es necesario señalar la necesidad de utilizar un reductor sinfín para lograr la reducción de velocidad y el torque que requiere la máquina. Lo cual no se garantiza solamente con una transmisión por correas.

Por tanto, el movimiento se genera en el motor eléctrico, se transmite primeramente al reductor sinfín a través de un acoplamiento por bridas. Posteriormente se transfiere del reductor al árbol de entrada de la máquina por una transmisión por correas posibilitando el movimiento rotacional del proceso de lavado de los granos de sorgo.



**Figura 2.5: Esquema cinemático del sistema de transmisión mecánica.**

A partir de este esquema, con la organización y distribución de las transmisiones mecánicas se debe determinar los parámetros cinemático y dinámicos del sistema.

### 2.5.1 Cálculo de la potencia necesaria para el movimiento de la máquina.

Para calcular la potencia que demanda la máquina se debe considerar la masa inercial que debe vencer el torque generado por el motor en el arranque inicial. Para ellos se tienen en cuenta las características geométricas, así como las propiedades de los materiales de los elementos mecánicos representados en la figura 2.5, asumiendo las dimensiones preliminares y la masa inercial de dichos componentes. Entre ellos: el

árbol central de la máquina, los soportes radiales, las paletas rotatorias, las poleas, etc. Además se incluyen la masa total de los granos de sorgo y la masa del volumen de agua.

En este caso, la masa de agua ( $m_{H_2O}$ ) se determina por la expresión (6), a partir del volumen de agua que se utiliza para el lavado ( $0,110 \text{ m}^3$ ) y el valor de la densidad del agua ( $\delta$ ) que es igual a  $997 \text{ kg/m}^3$ .

$$m_{H_2O} = V_{llenado} * \delta \quad (6)$$

Sustituyendo los valores correspondiente se obtiene una masa del agua ( $m_{H_2O}$ ) igual a **109,6 kg**.

En la tabla 2.1 aparecen los valores de masas asumidos para los cálculos para determinar la masa total. En este sentido, la masa del árbol central se asume de acuerdo a una barra de acero de diámetro 30 mm y las paletas de perfiles angulares.

**Tabla 2.1 Valores asumidos de las masas de cada componente**

Componente	Masa asumida
Masa del árbol central de la máquina	$m_1 = 7 \text{ kg}$
Masa de las poleas	$m_2 = 4 \text{ kg}$
Masa de soportes radiales	$m_3 = 5 \text{ kg}$
Masa de las paletas rotatorias	$m_4 = 4 \text{ kg}$
Masa total de los granos de sorgo	$m_5 = 46 \text{ kg}$
Masa del volumen de agua	$m_6 = 109,6 \text{ kg}$
Masa total	$m_{total} = 175,6 \text{ kg}$

Si se considera toda esa masa total concentrada y la constante de aceleración de la gravedad ( $g$ ), como  $9,81 \text{ m/s}^2$ , se puede determinar la fuerza peso por la expresión (7).

$$F = m_{total} * g \quad (7)$$

Sustituyendo los valores de la masa total y de la constante de aceleración de la gravedad en la expresión (7) se obtiene un valor de la fuerza (**F**) igual a **1722,63 N**.

Para calcular el torque necesario para mover la máquina se supone dos aspectos:

- Colocar la fuerza (**F**) concentrada en los extremos de las paletas (que soportan las bandas de caucho)
- Considerar como brazo de fuerza (**b**), el radio del cilindro interior donde se mueven dichas paletas, es decir la distancia del extremo donde se fijan las paletas al centro del eje. De acuerdo a lo definido en el epígrafe 2.3.1, el valor del brazo de fuerza (**b**) es igual a **0,225 m**.

Sustituyendo los valores anteriores en la expresión (8) se obtiene un valor de Torque de **387,6 Nm**.

$$T = F * b \quad (8)$$

Con el valor del torque (T) y la velocidad de rotación de la máquina (**n**), se puede determinar la potencia que demanda la máquina (**P<sub>3</sub>**) en kW, por la expresión (9)

$$P = \frac{T * n}{9550} \quad (9)$$

Sustituyendo los valores de torque y velocidad de la máquina en la expresión (9) se obtiene un valor de Potencia de la máquina lavadora (**P<sub>3</sub>**) igual a **1,22 kW**. A partir de este valor y considerando la eficiencia de las transmisiones, de acuerdo a las pérdidas por fricción, se calculará la potencia en cada árbol y se seleccionará el motor.

### **Cálculo de la potencia en cada árbol de la máquina.**

De acuerdo a la nomenclatura establecida en la figura 2.5, se determinan los valores de potencia en cada etapa por la expresión (10) que tiene en cuenta los valores de eficiencia (**η**).

$$P_e = \frac{P_s}{\eta} \quad (10)$$

#### **Donde:**

P<sub>s</sub>: Potencia de salida en kW

P<sub>e</sub>: Potencia de entrada en kW

η: Eficiencia de la transmisión

En la tabla 2.2 se dan los valores de potencia para cada etapa, determinados por la expresión (10) según la eficiencia correspondiente.

**Tabla 2.2: Valores de potencia en cada etapa.**

Transmisiones	Eficiencia ( $\eta$ )	Potencia (kW)
Máquina movida	-	$P_3 = 1,22$ kW
Transmisión por correas	$\eta_{cor} = 0.93$ -	$P_2 = 1,31$ kW
Reductor sinfín	$\eta_{eng} = 0.97$ -	$P_1 = 1,35$ kW

Con el valor de potencia demandada en el árbol de entrada del reductor ( $P_1$ ) igual a **1,35 kW** se selecciona en el catálogo un motor eléctrico cuya potencia nominal sea mayor que la necesaria ( $P_{motor} > P_1$ ). En este caso en el Catálogo de Motores América Latina 60Hz de la empresa WEG (WEG, 2007) se selecciona el motor **motor IEC G56H** con potencia nominal de **1,5 kW** y velocidad de rotación de **1750 rpm**.

### 2.5.2 Cálculo de las relaciones de transmisión de la máquina.

Seguidamente se deben determinar las relaciones de transmisión ( $u$ ) para cada etapa de reducción y velocidades de rotación ( $n$ ) para cada árbol, por la expresión (11). Lo cual se hará de acuerdo a la nomenclatura establecida en la figura 2.5.

$$U = \frac{n_{entrada}}{n_{salida}} \quad (11)$$

Con el valor de la velocidad del motor seleccionado ( $n_{motor} = 1750$  rpm) y de la velocidad de la máquina ( $n_{máquina} = 40$  rpm) se determina la relación de transmisión total ( $u_{total}$ ) por la expresión (11), obteniendo un valor de  $u_{total} = 43,75$ .

Seguidamente, la ecuación (12) expresa la correspondencia de las relaciones de transmisión en cada etapa de reducción con respecto a la relación de transmisión total ( $u_{total}$ ). En el caso de la transmisión por engranajes del reductor sinfín se identifica como ( $u_{eng}$ ) y en la transmisión por correas como ( $u_{cor}$ ).

Para determinar la relación de transmisión de la transmisión por engranajes ( $u_{eng}$ ), fijamos la relación de transmisión por correas ( $u_{cor}$ ) en un valor igual a **3**.

$$U_{total} = U_{eng} * U_{cor} \quad (12)$$

Despejando  $u_{eng}$  de la expresión (12) y sustituyendo para los valores de  $u_{total}$  y  $u_{cor}$  determinados anteriormente, se obtiene que  $u_{eng} = 14,58$ .

Con estos valores pueden calcularse las velocidades de rotación de cada árbol, en base a las relaciones de transmisión correspondientes de cada etapa de reducción.

### 2.5.3 Cálculo de la velocidad angular de cada árbol.

Despejando de la expresión (11) y de acuerdo a la nomenclatura de la figura 2.5 se determina la velocidad en el árbol de salida del reductor, que es donde se acopla la polea conductora de la transmisión por correa y se identifica como ( $n_2$ ). Sustituyendo entonces para los valores de ( $n_1$ ) y ( $u_{eng}$ ), se obtiene que  $n_2 = 120,02 \text{ rpm}$ .

En la tabla 2.3 se muestra un resumen de los valores obtenidos en los cálculos anteriores.

**Tabla 2.3: Resumen de los valores obtenidos.**

Transmisiones	Relación de transmisión (U)	Velocidad de cada árbol (n)
Árbol de entrada del reductor	$U_{eng}=14,58$	Motor $n_1 = 1750 \text{ rpm}$
Árbol de salida del reductor	$U_{cor}=3$	Polea conductora $n_2 = 120,02 \text{ rpm}$
Árbol central de la máquina		Polea conducida $n_3 = 40 \text{ rpm}$

## 2.6 Cálculo y dimensionamiento de la transmisión por correa.

### 2.6.1 Cálculo del torque y selección del tipo de correa.

En el diseño de la transmisión flexible se decidió utilizar correas trapezoidales, por tener mayor capacidad de carga que las correas planas y, por tanto se puede lograr una transmisión más compacta y de menores dimensiones.

Para seleccionar el tipo de correa se hace necesario calcular el torque que debe transmitir, lo cual se determina a partir de despejar el momento torsor de la expresión (9).

Entonces, teniendo en cuenta la potencia y la velocidad en el árbol de salida del reductor, donde se acopla la polea conductora, cuyos valores son:  $P_2=1,31 \text{ kW}$  y  $n_2=120,02 \text{ rpm}$ , se puede obtener el valor del Torque igual a **104,23 Nm**.

Con el valor de este torque se selecciona la **correa trapezoidal tipo B**, de acuerdo a lo recomendado en el catálogo de la tabla 8 del material Cálculo de Correas, para valores de torque entre 40 a 190 Nm (Intranet FIMI UCLV, 2019).

Del catálogo se extraen los parámetros de las correas trapezoidales que se muestran en la tabla 2.4, donde b y h son las dimensiones de la sección transversal de la misma.

**Tabla 2.4 Parámetros de las correas trapezoidales**

Tipo de Correa	b <sub>0</sub> (mm)	b (mm)	h (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	Lo (mm)	L <sub>min</sub> (mm)	L <sub>máx</sub> (mm)	D <sub>1min</sub> (mm)	T <sub>1</sub> (Nm)	q <sub>m</sub> (kg/m)	V <sub>máx</sub> (m/s)
B	14	17	10.5	138	2240	800	6300	125	40-190	0.18	25

Los datos necesarios para los cálculos aparecen en la tabla 2.4 y el dimensionamiento se realiza mediante el procedimiento descrito a continuación.

### 2.6.2 Determinación de los diámetros de las poleas.

Para definir el diámetro de las poleas se toma como referencia lo que aparece en la tabla 2.4, donde el diámetro de paso mínimo de la polea conductora (**D<sub>1</sub>**) se recomienda un valor de 125 mm.

$$U = \frac{D_1}{D_2} \quad (13)$$

Por consiguiente, despejando en la expresión (13) el diámetro de paso de la polea conducida (**D<sub>2</sub>**) se determina que su valor será de **375 mm**.

### 2.6.3 Determinación y comprobación de la velocidad de la correa (V)

La velocidad lineal de la correa se calcula por la ecuación (14).

$$V = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_2}{60000} \quad (14)$$

Sustituyendo dicha expresión para el diámetro de paso de la polea conductora **D<sub>1</sub>=125 mm** y la velocidad del árbol de salida del reductor **n<sub>2</sub> =120,02 rpm**, se obtiene un valor de velocidad lineal (**V<sub>1</sub>**) igual a **0,78 m/s**. El valor de velocidad obtenido es mucho menor que la velocidad máxima (**V<sub>max</sub>**) igual **25 m/s** definida para la correa tipo **B** en el catálogo.

## 2.6.4 Determinación de la distancia entre centros de la transmisión por correa.

### Cálculo de la distancia entre centros de referencia ( $a_r$ )

La distancia entre centros tomada como referencia se calcula por la ecuación (15).

$$a_r = \frac{1,5 \cdot D_2}{\sqrt[3]{u_{cor}}} \quad (15)$$

Sustituyendo dicha expresión para el diámetro de paso de la polea conducida ( $D_2 = 375$  mm) y la relación de transmisión ( $u_{cor} = 3$ ), se obtiene un valor de **390,02 mm**.

Se debe garantizar la condición que plantea que:  $a_{min} \leq a_r < a_{max}$

Donde la distancia entre centros mínima ( $a_{min.}$ ) y distancia entre centros máxima ( $a_{max}$ ) se determinan por las expresiones (16) y (17) respectivamente.

$$a_{min.} = 0,55(D_1 + D_2) + h \quad (16)$$

$$a_{max.} = 3(D_1 + D_2) \quad (17)$$

La altura de la correa ( $h$ ) se toma de la tabla 2.4 para correa tipo B, donde  $h = 10,5$  mm.

Sustituyendo los valores de los diámetros de paso de las poleas conductora y conducida en las ecuaciones (16) y (17) se obtienen los valores de  $a_{min} = 285,5$  mm y  $a_{max} = 1500$  mm, garantizando que  $a_r = 390,02$  mm este dentro del rango de estos valores y se cumpla la condición.

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

Para determinar la longitud de paso de la transmisión por correa se emplea la expresión (18).

$$L = 2a + 1,57(D_1 + D_2) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a} \quad (18)$$

Una vez sustituidos los valores de los diámetros de paso de las poleas y la distancia entre centros de referencia en dicha expresión, se obtiene el valor de la longitud de paso calculada ( $L=1605,1$  mm). Con este valor de  $L$  se selecciona el valor más cercano de longitudes normalizadas que aparecen en la tabla 10 del material Cálculo de Correas (Intranet FIMI UCLV 2019). En este caso se corresponde con **L=1600 mm**.

Además, el mismo debe estar dentro del rango máximo y mínimo que aparecen en la tabla 2.4 para la correa tipo B: **L<sub>min</sub>= 800 mm** y **L<sub>max</sub>= 6300 mm**, lo cual se cumple que **L<sub>min</sub> ≤ L < L<sub>max</sub>**.

### **Cálculo de la distancia entre centros definitiva de la transmisión (a).**

Teniendo en cuenta la longitud de paso definida se calculan la distancia entre centros definitiva para el montaje de la transmisión por la expresión (19).

$$a = \frac{4L - 6,28(D_2 + D_1) + \sqrt{(4L - 6,28(D_2 + D_1))^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16} \quad (19)$$

Sustituyendo los valores de los diámetros de paso de las poleas y las longitud de paso de la correa en la expresión (19) se obtiene el valor de la distancia entre centros definitiva para la transmisión. (**a = 499,8 mm**)

### **2.6.5 Cálculo y comprobación del ángulo de abrazado en la polea menor. (θ)**

Se determina el ángulo de abrazado (θ), por la expresión (20) y se comprueba que sea mayor que θ<sub>mín</sub> igual a 120°, para garantizar que no haya deslizamiento de la correa en la polea en la transmisión.

$$\theta = 180 - \frac{57,3(D_2 - D_1)}{a} \quad (20)$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación (20) se obtiene un valor de ángulo de abrazado para la polea conductora de **θ=151,3°**. Que se puede apreciar que es mayor que el valor mínimo recomendado de **120°**.

### **2.6.6 Determinación de los principales parámetros geométricos de las poleas.**

Las dimensiones de las poleas conductoras y conducidas en la transmisión 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 2.5.

**Tabla 2.5: Resumen de las dimensiones de las poleas de cada transmisión.**

Dimensiones	Valores
Diámetro exterior polea conductora	$De_1 = 133,4 \text{ mm}$
Diámetro exterior polea conducida	$De_2 = 383,4 \text{ mm}$
Diámetro de fondo polea conductora	$Df_1 = 103,4 \text{ mm}$
Diámetro de fondo polea conducida	$Df_2 = 353,4 \text{ mm}$
Ancho de la polea	$B = 25 \text{ mm}$

## 2.7 Selección del reductor sinfín a utilizar.

Teniendo en cuenta la relación de transmisión necesaria de 14,58 se selecciona el reductor sinfín **modelo VS. Sinfín Superior tamaño 60**, cuyos datos aparecen en la tabla 2.6 mediante el catálogo “Grupos Motrices de Reducción” (Catálogo-Fama-Mantenimiento, 2018). Se tuvieron en cuenta para dicha selección los parámetros velocidad de entrada y de salida de cada eje del reductor y la potencia demandada por el mismo. Las dimensiones del reductor aparecen en la figura 2.6:

**Tabla 2.6: Datos del Reductor sinfín seleccionado**

Modelo: VS. Sinfín Superior. Tamaño 60	
	<p>Velocidad en el eje de entrada: 1750 rpm</p> <p>Velocidad en el eje de salida: 113 rpm</p> <p>Potencia máxima demandada: 1,3 kW</p> <p>Relación de transmisión real: 15,5</p>

La selección de este reductor implica que la velocidad real en el árbol de salida del reductor, que es donde se acopla la polea conductora ( $n_2$ ) es igual a 113 rpm y la velocidad real de árbol central de la máquina ( $n_3$ ) es de **37,66 rpm**.

### 2.7.1 Principales dimensiones del reductor sinfín.

En la figura 2.6 se muestran las dimensiones del reductor sinfín seleccionado.

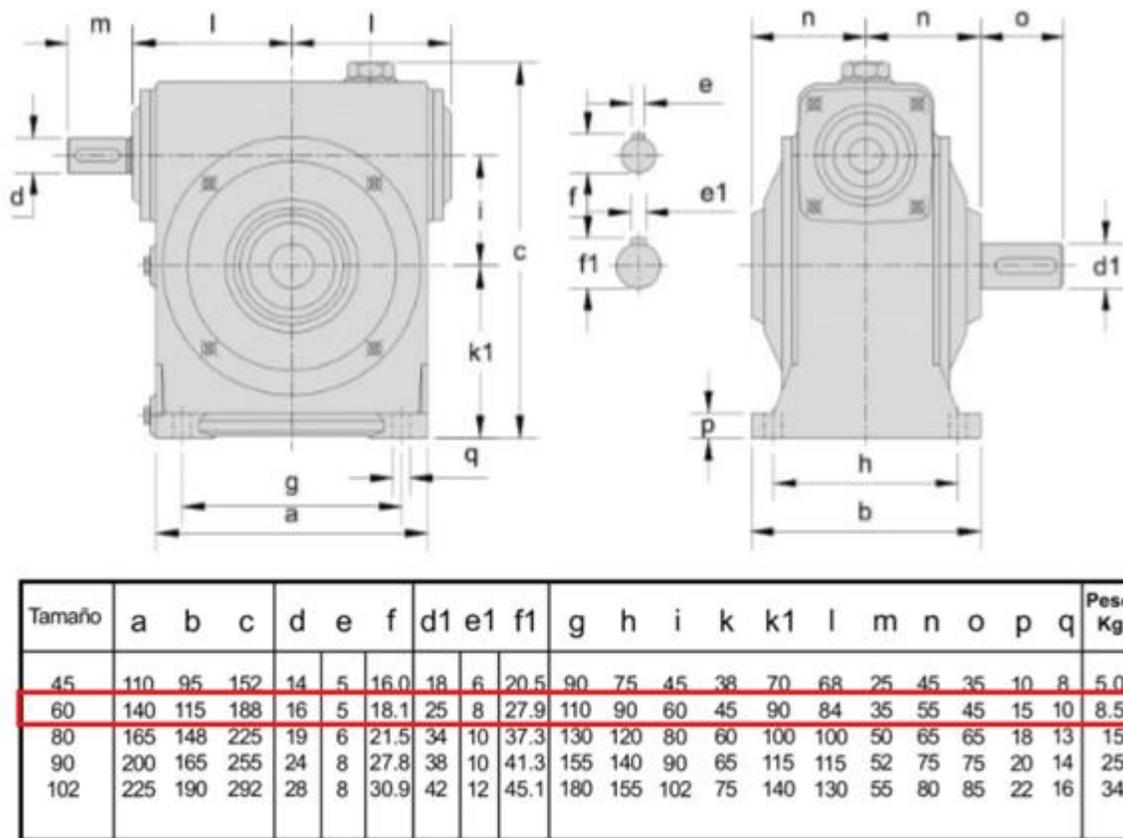


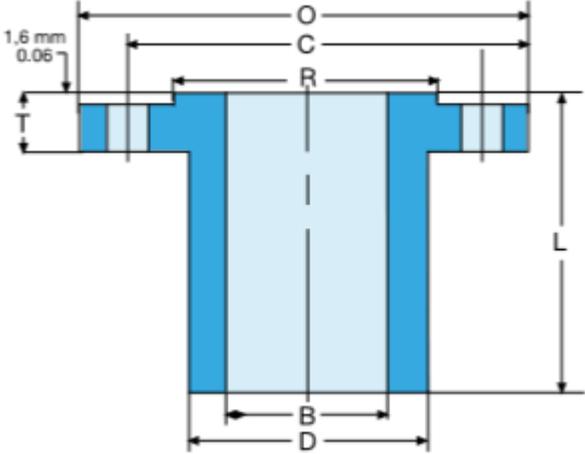
Figura 2.6: Dimensiones del reductor modelo VS. Sinfín Superior.

## 2.8 Selección del acoplamiento en la unión motor - reductor.

Para la selección del acoplamiento entre el eje del motor y el árbol de entrada del reductor se tuvieron presentes los diámetros del eje de salida del motor y del eje de entrada del reductor. En el “Catálogo de Producto Bridas y Accesorios” (KLINGER SAIDI SPAIN, 2016), se seleccionó la brida Welding Neck 300LBS Acero Carbono ASTM A105.

Las dimensiones de bridas se muestran en la tabla 2.7, destacándose como parámetro principal para la selección de las mismas B.

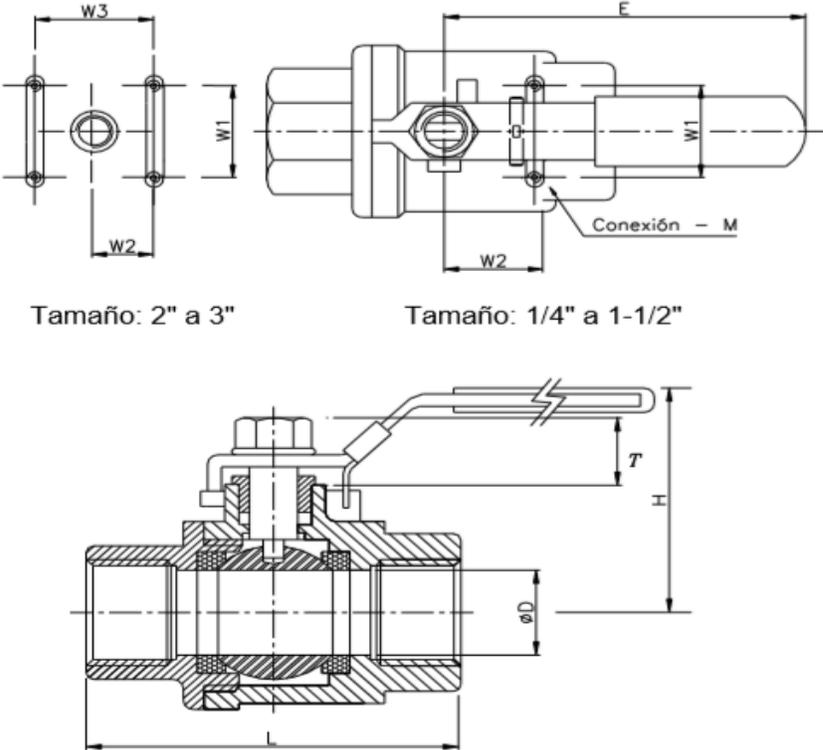
**Tabla 2.7: Datos de la brida seleccionada.**

Modelo: Brida Welding Neck 300LBS Acero Carbono ASTM A105											
											
BRIDA LWN 300LBS											
Código	DIÁMETRO		BRIDA		OD TUBO	TALADROS			RESALTE	LONGITUD	Peso (kg.)
	DN	B	O	T	D	Nº tal.	Diám. tal.	C	R	L	
-	1/2"	12,7	95,3	14,2	38,1	4	15,7	66,5	34,9	228,6	2,27
-	3/4"	19,1	117,3	15,7	47,8		19,1	82,6	42,9		4,08
-	1"	25,4	124,0	17,5	53,8		19,1	88,9	50,8		4,08
-	1.1/4"	31,8	133,4	19,1	63,5		19,1	98,6	63,5		5,90
-	1.1/2"	38,1	155,4	20,6	69,9		22,4	114,3	73,0		6,81

### 2.9 Selección por catálogo de la válvula.

Se selecciona la válvula esférica de dos cuerpos conexión NPT a través del catálogo "Lista de Productos estándar KSB Argentina, 2012" (KBS Argentina, 2012). Para la selección de la misma se deben tener en cuenta los diámetros exteriores de las tuberías de salida del agua contaminada y del grano, ambas con un diámetro de 52 mm. En la tabla 2.8 se muestra una imagen de la válvula con algunas de sus dimensiones y datos técnicos.

**Tabla 2.8: Datos técnicos de la válvula seleccionada.**

Válvula Modelo: PROFIN VT2	
	
	<p>Tamaño: 2" a 3"                      Tamaño: 1/4" a 1-1/2"</p>
<p>Presión máxima de trabajo: 820 PSI para un diámetro de 2"                      Temperatura máxima admisible 204 °C                      Materiales:                      Cuerpo: - Acero al carbono: ASTM A216 WCB - Acero inoxidable tipo 316: ASTM A351 CF8M                      Bola: - Acero inoxidable tipo 316: ASTM A351 CF8M                      Asiento: - RPTFE (hasta 204 °C)</p>	

## **2.10 Conclusiones Parciales**

- Se realizó el diseño conceptual de la máquina lavadora de sorgo a partir de premisas preliminares a tener en cuenta. Para ello se establecieron los requisitos para el diseño de la máquina lavadora, partiendo de características y del principio de funcionamiento de máquinas similares referenciadas en el primer capítulo.
- Se determinaron y definieron los parámetros dimensionales, cinemáticos y dinámicos. En este sentido se destacan el cálculo del volumen de agua que se necesita por lavado de **110 litros** y la potencia necesaria para mover la máquina de **1,22 kW**.
- Se definió el esquema cinemático del sistema mecánico de la máquina, distribuido en: un motor eléctrico, un acoplamiento, un reductor sinfín y una transmisión por correas. La potencia nominal del motor seleccionado es de **1,5 kW** y su velocidad de **1750 rpm**. Se seleccionó un reductor Sinfín VS. Sinfín Superior por catálogo con una relación de transmisión de **15,5** además de un acoplamiento por bridas del “Catálogo de Producto Bridas y Accesorios”.
- Se diseñó la transmisión flexible por correas, seleccionando una correa tipo B en correspondencia con el torque necesario a transmitir de **104,23 Nm**.

### **Capítulo III: Diseño automatizado de la máquina lavadora de sorgo blanco (MLS-2019, Versión 1.0) utilizando Solidworks 2018.**

En este capítulo se realiza el diseño automatizado de la máquina lavadora de sorgo blanco (MLS-2019 versión 1.0), con vista a la fabricación de un prototipo que permita humanizar el trabajo y tener mayor eficiencia en el proceso de lavado, mejorando la calidad de la harina obtenida mediante la molienda posterior. El principio de funcionamiento y los parámetros para el diseño de la máquina se obtuvieron a partir del estudio de otros aparatos similares analizados anteriormente. La modelación de los diferentes elementos y la simulación de la máquina se concibieron con la aplicación del diseño automatizado mediante el uso de una de las herramientas CAD existentes en el mundo, específicamente el Solidworks 2018. Lo cual garantiza la rapidez y precisión en los cálculos y modelación de los componentes.

#### **3.1 Descripción general de la máquina MLS-2019, Versión 1.0.**

En la figura 3.1 se muestra el modelo tridimensional desarrollado (3D) de la máquina. La misma se agrupa fundamentalmente en los cuatro sistemas estructurales siguientes.

**Sistema base.** Compuesto por la estructura soldada, conformada a partir de perfiles angulares y es la que soporta el resto de los sistemas de la máquina.

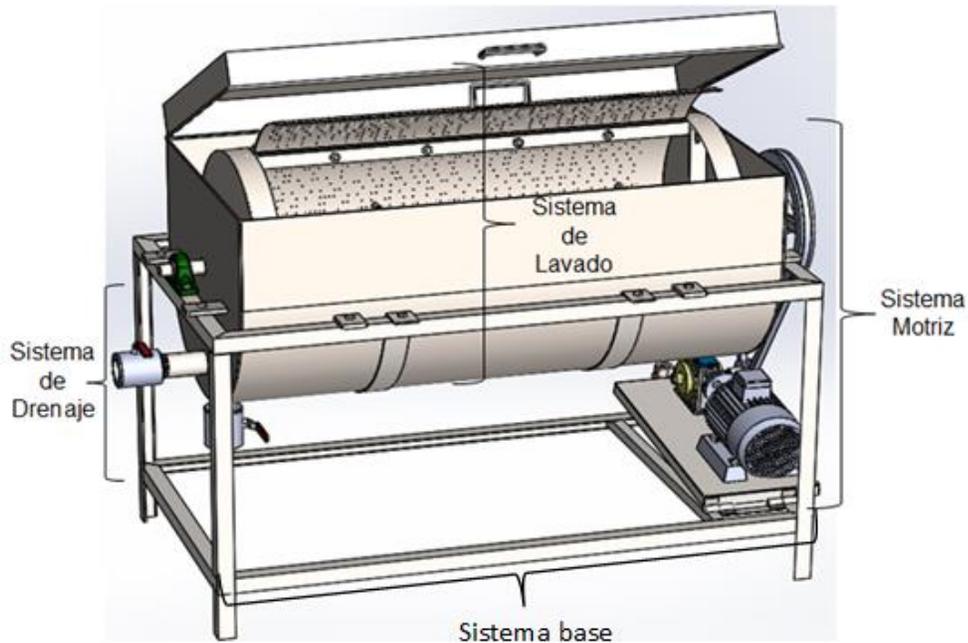
**Sistema Motriz.** Es el encargado de transmitir el movimiento de rotación para el lavado a partir de una fuente de energía (motor eléctrico) y una transmisión mecánica que reduce la velocidad transmitiendo el torque necesario a la máquina. Este mecanismo está compuesto por un reductor sinfín y una transmisión por correas.

**Sistema de Lavado.** Constituye el sistema principal de la máquina. En esencia consiste en un depósito con agua donde se coloca un cilindro perforado que contendrá el grano de sorgo retenido junto con el agua en su interior.

**Sistema de Drenaje.** Es el encargado de permitir mediante válvulas la salida del grano lavado y del agua.

El diseño de la máquina (ver figura 3.1) está concebido para que sea capaz de lavar y descascarar el grano de sorgo blanco, eliminando la gluma. Para ello cuenta con un módulo de piezas de acero inoxidable, aleaciones de aluminio, así como otros tipos de aceros al carbono y aleados y materiales no metálicos (caucho). El conjunto de partes y

piezas al ensamblarse no sobrepasan una altura de 1020 mm, un ancho de 700 mm, un largo de 1470 mm y un peso de 155 kg.



**Figura 3.1 Máquina lavadora de Sorgo Blanco (MLS-2019 Versión 1.0)**

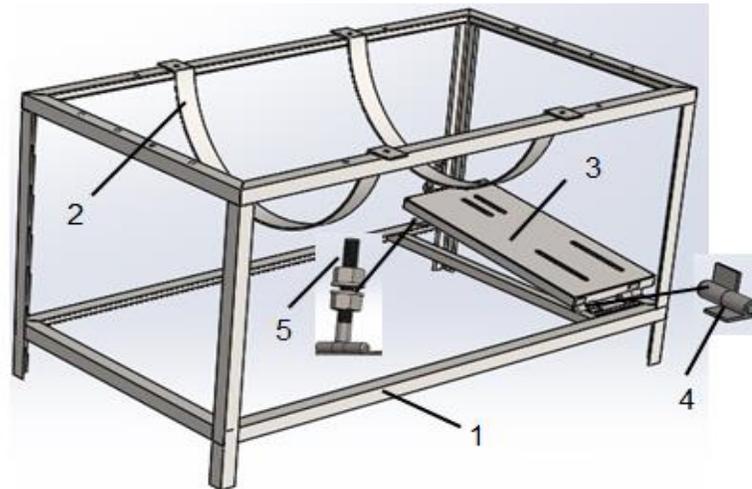
El plano de ensamble con sus dimensiones máximas aparece en el anexo 1 y la tabla con las especificaciones técnicas en el anexo 2.

### 3.1.1 Sistema base

El **sistema base** (ver figura 3.2) está formado por una **estructura rectangular** de catorce tramos de perfiles angulares soldados (pieza No.1), las cuales no sobrepasan una altura de 700 mm. Su plano de pieza aparece en el anexo 3.

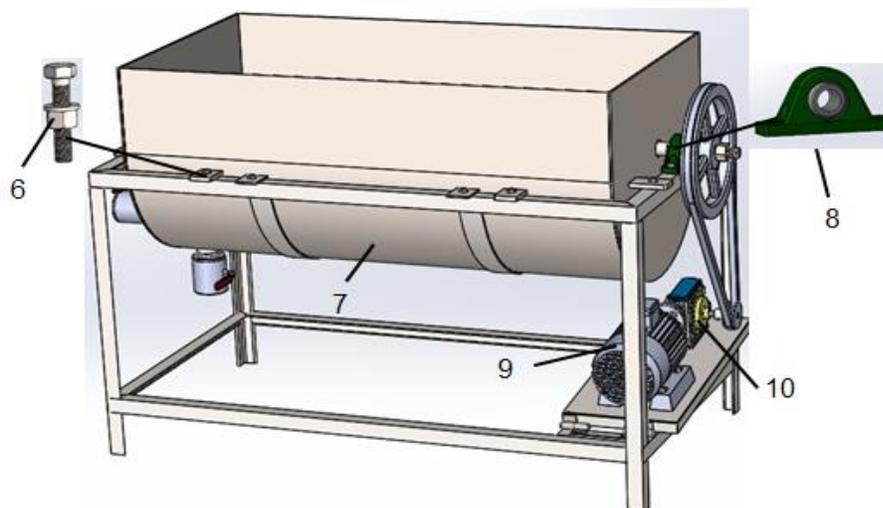
Como se puede apreciar en la figura 3.2, en la estructura se montan los **soportes del depósito** (pieza No.2) que tienen forma de aros y le dan mayor seguridad, su plano de pieza aparece en el anexo 4. En la parte inferior está montado el **soporte del sistema motriz** (pieza No.3), unido por **bisagras** (pieza No.4) que se sueldan a la estructura. Este soporte está compuesto por cuatro tramos de angulares soldados y una lámina de acero. La base también tiene acoplado un **tornillo tensor** (pieza No.5) con dos tuercas enroscadas al mismo con la función de regular la altura del soporte del sistema motriz y a la vez permitir el montaje y tensado de la correa. Los planos de piezas de la

bisagra (hoja de la bisagra y pasador de unión) y el tornillo tensor aparecen en los anexos 9, 19 y 20 respectivamente.



**Figura 3.2: Estructura base de la máquina MLS-2019 Versión 1.0.**

En la figura 3.3 se muestra como se colocan algunos componentes integrantes de la máquina. En la parte superior de la estructura se montan el **depósito para agua** (pieza No.7) y los **pedestales de rodamientos** (pieza No.8). Estos elementos van fijados a la estructura mediante **tornillos M10** (pieza No.6): La lámina del soporte (pieza No. 3 figura 3.2) contiene cuatro ranuras donde se colocan los tornillos M8 de fijación del **motor eléctrico** (pieza No.9) y del **reductor sinfín** (pieza No.10). Estas ranuras además de fijar el motor y reductor permiten también la regulación del tensado de la correa. El plano de piezas del **depósito para agua** aparece en el anexo 5



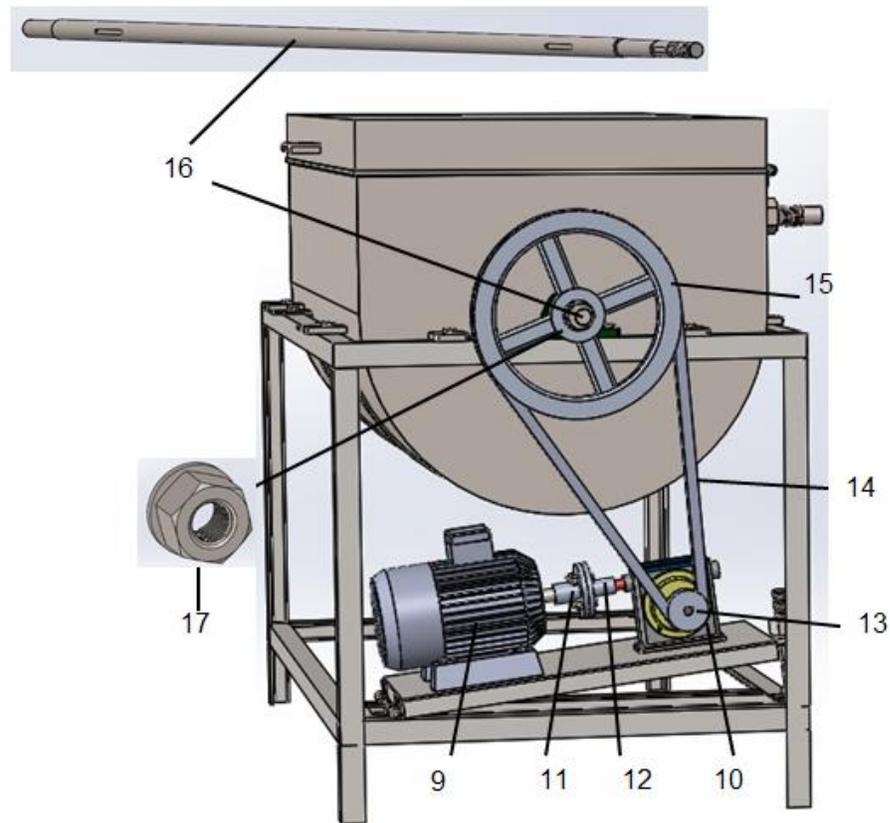
**Figura 3.3: Depósito para agua y sistema motriz sobre la estructura base de la máquina.**

### 3.1.2 Sistema motriz.

El Sistema motriz está compuesto por un motor, un reductor sinfín y una transmisión por correas y son los que se muestran en la figura 3.4. El **motor eléctrico** (pieza No. 9) es de 220V, con una potencia de 1.5 kW y 1750 rpm seleccionado por el Catálogo de Motores América Latina 60Hz (WEG 2007). El mismo está montado sobre el **soporte del sistema motriz** (pieza No. 3) fijado por cuatro tornillos **M8**. El plano del soporte y sus dimensiones aparecen en los anexos 7 y 8.

La transmisión del movimiento del **motor eléctrico** (pieza No. 9) al **reductor sinfín** (pieza No.10) se realiza mediante un **acoplamiento por bridas** (piezas No.11 y 12) seleccionadas del catálogo de producto “Bridas y Accesorios” (KLINGER SAIDI SPAIN, 2016). El tipo de reductor sinfín fue seleccionado del catálogo “Grupos Motrices de Reducción” (Catálogo-Fama-Mantenimiento, 2018), el cual presenta una velocidad en el eje de entrada de 1750 rpm y una velocidad en su eje de salida de 133 rpm, demandando una potencia de 1,5 kW y presentando una relación de transmisión de 15,5.

Como se puede apreciar en la figura 3.4 a la salida del reductor se coloca una transmisión por correas, con una relación de transmisión de 3. La misma posibilita transmitir el movimiento y reducir la velocidad a unos 37,66 rpm, que será la velocidad de rotación a la que deberá funcionar la máquina. Dicha transmisión está compuesta por una **polea conductora** (pieza No.13) con diámetro de paso 125 mm, acoplado al eje de salida del reductor y fijado al mismo por una chaveta. Además, contiene la **correa trapezoidal tipo B** (pieza No.14) y la **polea conducida** (pieza No.15), con diámetro de paso de 375 mm, que está acoplada al **árbol central de la máquina** (pieza No.16) por una chaveta y una **tuerca de seguridad M24** (pieza No.17). Los planos de piezas del árbol central de la máquina, la polea conductora y la polea conducida aparecen en los anexos 13, 14 y 15 respectivamente.



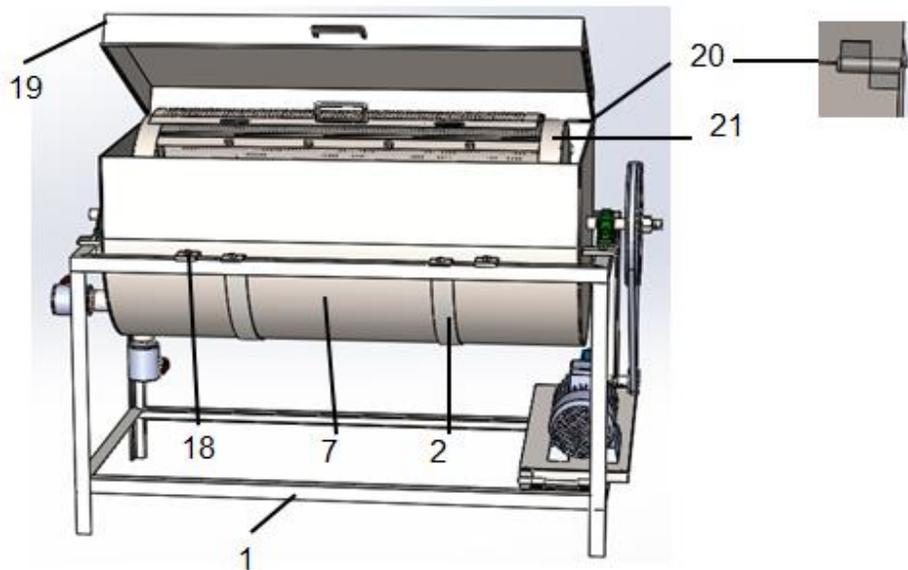
**Figura 3.4 Sistema motoriz**

**El árbol central de la máquina** (pieza No.16): es el encargado de transmitir el movimiento a las paletas que lavarán y descascararán el grano. Dicho eje tiene una longitud de 1370 mm y conformado por cuatro escalones. El escalón donde va ensamblada la polea conducida mediante un chaveta, presenta un diámetro de 24 mm y una longitud de 80 mm, con su extremo roscado **M24**. El escalón siguiente tiene un diámetro de 25 mm y una longitud de 70 mm. El mismo sirve de apoyo axial a la polea conducida y es donde se monta uno de los pedestales del rodamiento **VPS-25** seleccionados por el catálogo “Chumaceras Milimétricas” (Browning, 2006). El escalón central (de diámetro 30 mm y longitud 1160 mm) contiene dos chaveteros para fijar y transmitir el movimiento a los soportes de las paletas. Por último, en el escalón del otro extremo va montado el otro pedestal de rodamiento **VPS-25** que tiene un diámetro de 25 mm y una longitud de 60 mm.

### **3.1.3 Sistema de lavado.**

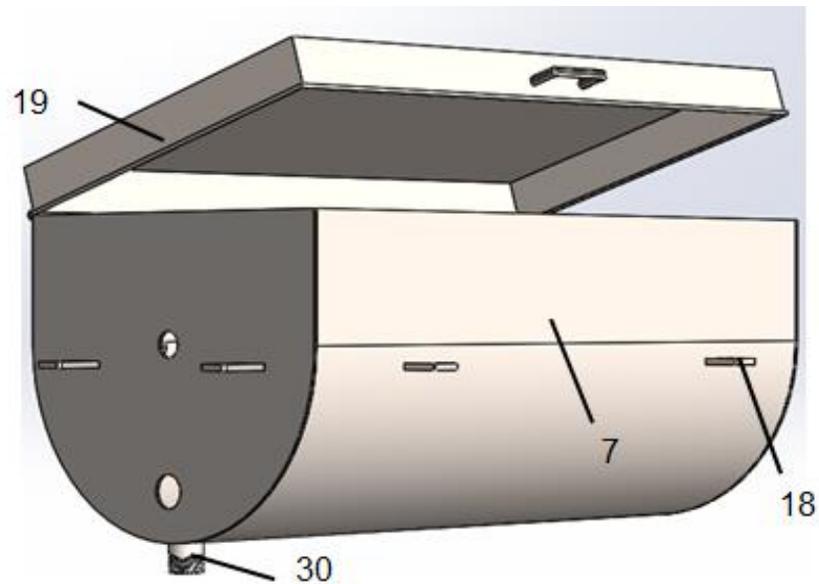
El sistema de lavado, que se muestra en la figura 3.5, es el que se ocupa de limpiar y descascarar el grano de sorgo. El mismo se compone de un **depósito para agua** (pieza

No.7) montado en la estructura y fijado por ocho **pestañas** (pieza No.18), las cuales están soldadas a las paredes del mismo. El depósito es asentado en los dos **soportes** (pieza No. 2) que se encuentran fijados a la estructura de angulares (pieza No.1) por tornillos **M10**. También cuenta con una **tapa** en la parte superior (pieza No.19) que se fija a una de las paredes de este en su parte superior por dos **bisagras** (pieza No.20). En el interior del depósito se sitúa el **cilindro perforado** (pieza No.21). El plano de pieza de la tapa del depósito aparece en el anexo 6.



**Figura 3.5: Sistema de lavado.**

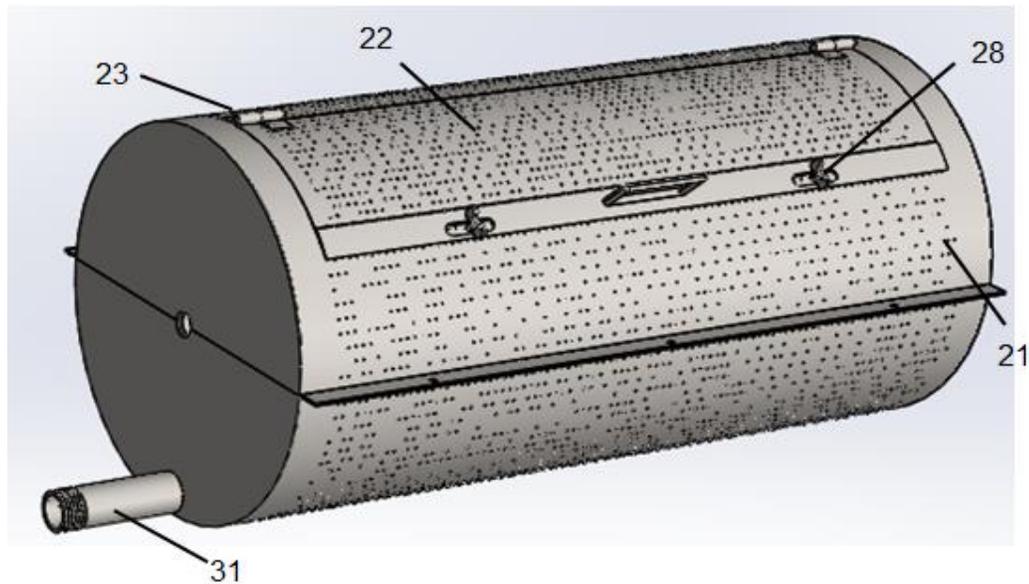
El **depósito** (pieza No.7) es el encargado de contener el agua empleada para el lavado del grano. Como se puede apreciar en la figura 3.6 tiene una estructura rectangular en la parte superior y cilíndrica en la parte inferior. En sus caras planas laterales presentan dos orificios centrales concéntricos de 32 mm de diámetro, por donde pasa el árbol central de la máquina. El orificio inferior mostrado en la figura 3.6 tiene un diámetro de 52 mm, y es donde se coloca la tubería para la salida del grano. Por otra parte, para la fijación del depósito a la estructura, se colocan ocho **pestañas** (pieza No.18) soldadas en su superficie exterior. Al depósito, se le coloca una **tapa** (pieza No.19), para que no se derrame agua durante el proceso de lavado. Dicha tapa está articulada por dos bisagras laterales (pieza No. 20). En el fondo del depósito se tiene soldada una **tubería** (pieza No.30) de diámetro 52 mm donde se conecta una válvula para regular la salida del agua contaminada durante cada etapa de lavado.



**Figura 3.6: Depósito de agua.**

El **cilindro interno** (pieza No.21 de la figura 3.5) es mostrado de manera detallada en la figura 3.7. Este cilindro es uno de los componentes principales de la máquina ya que en su interior se moverán las paletas que lavan y descascaran el grano. Su función principal es contener y retener el grano en su interior; pero permitiendo la entrada del agua y la salida de la gluma durante el proceso de lavado. Para ello cuenta con una superficie perforada con agujeros de 2 mm de diámetro, por la que debe salir solamente la gluma, debido a que el tamaño del grano es de aproximadamente 3 mm de diámetro.

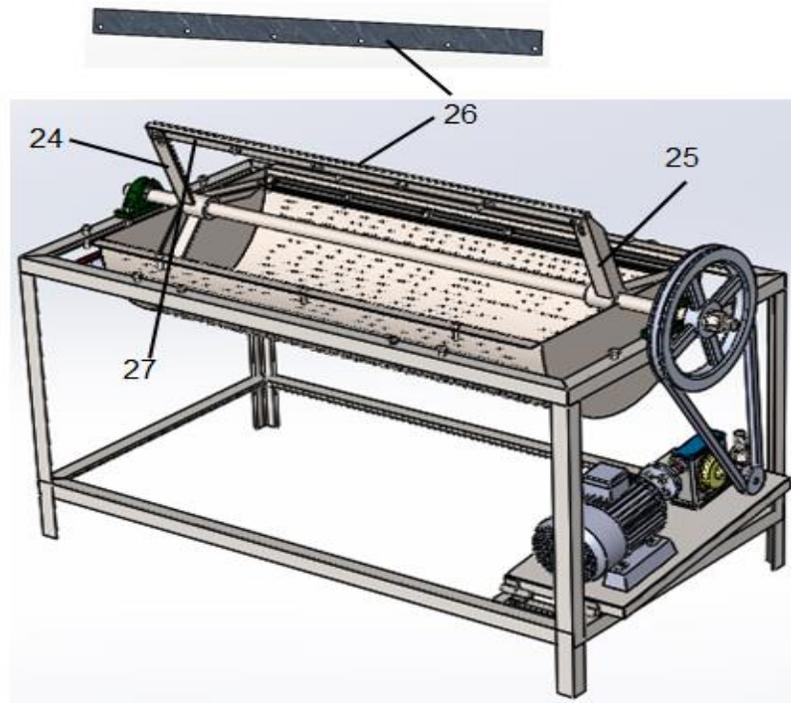
También cuenta con una abertura en la parte superior para introducir el grano, además de una **tapa** (pieza No.22) que está articulada mediante dos **bisagras** (pieza No.23) al borde de la abertura del cilindro. Para cerrar completamente la tapa se incorporan los tornillos **M8** soldados al borde del cilindro y se fijan por dos **tuercas de mariposas M8** (pieza No.28) que pasan por las ranuras de la tapa. Por otra parte, el cilindro está dividido a la mitad para facilitar su montaje dentro del depósito y ensamble de las paletas en su interior. En la parte inferior del cilindro va soldada una **tubería** (pieza No.31) de 52 mm de diámetro con una rosca M52 en la punta donde se conecta la válvula para extraer el grano al final del proceso de lavado. El plano de piezas del cilindro ( cilindro superior y cilindro inferior), la tapa del cilindro y la bisagra ( hoja de la bisagra y pasador de unión) se muestran en los anexos 10, 11, 12, 22 y 23 respectivamente.



**Figura 3.7: Cilindro interno.**

Como se puede apreciar en la figura 3.8, en el interior del cilindro se encuentra el **árbol central de la máquina** (pieza No.16 de la figura 3.4), donde se montan las paletas encargadas de batir el grano. Las paletas son tres, distribuidas radialmente, que giran en dos **soportes radiales** (piezas No.24 y 25) que poseen en sus extremos unas ranuras, donde se fijan las **bandas de caucho flexibles** (pieza No.26). Las bandas de caucho son sostenidas, a su vez, entre dos **placas rectangulares** (pieza No.27) de acero, de dimensiones 980x5x30 mm, por medio de seis tornillos con tuercas **M10** distribuidos uniformemente. Estas láminas con las bandas se montan en los soportes, los cuales en sus extremos, presentan ranuras que permiten ajustar las bandas con respecto a las paredes interiores del cilindro.

Las placas rectangulares fijadas a los soportes radiales tienen una separación de las paredes interiores del cilindro de aproximadamente 9 mm con el fin de permitir que el grano pase por dicha separación, pero bajo el efecto del empuje y rozamiento ligero de las bandas de caucho con el cilindro. Esto provoca el arrastre del grano y el agua en un movimiento continuo, que debido a la fricción que se genera, lograría lavar y desprender la gluma del grano de sorgo.



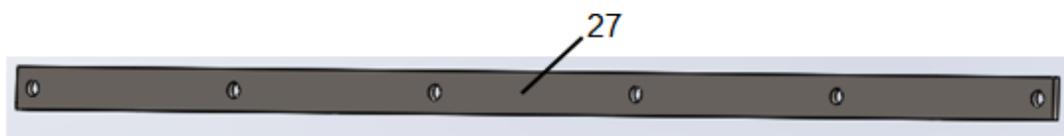
**Figura 3.8: Funcionamiento de las paletas en el interior del cilindro.**

Las **bandas de caucho** que se ilustran en la figura 3.9 (pieza No. 26), al ser de un material flexible permite generar la fricción sin dañar el grano. Su forma es rectangular con 980 mm de largo, 50 mm de ancho y 3 mm de espesor, poseen seis agujeros en su longitud para su fijación a las láminas de acero.



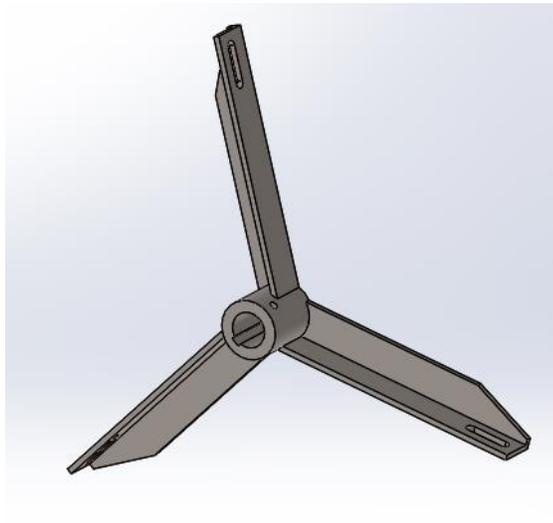
**Figura 3.9: Banda de caucho.**

Las placas de acero (figura 3.10), al igual que las de caucho presentan una forma rectangular con orificios a lo largo de su longitud con el fin de sostener las bandas de caucho. El plano de piezas de las placas rectangulares se muestra en el anexo 17.



**Figura 3.10: Placa rectangular.**

El Soporte radial, está compuesto por tres perfiles angulares distribuidos radialmente y soldados en un centro, como se muestra en la figura 3.11. En los extremos presenta ranuras donde van fijadas las bandas por tornillos **M10**, que sirven para ajustar la distancia entre las paletas y la pared interior del cilindro, logrando tener un mayor o menor rozamiento, según se necesite. El plano de piezas del soporte radial se encuentra en el anexo 16.



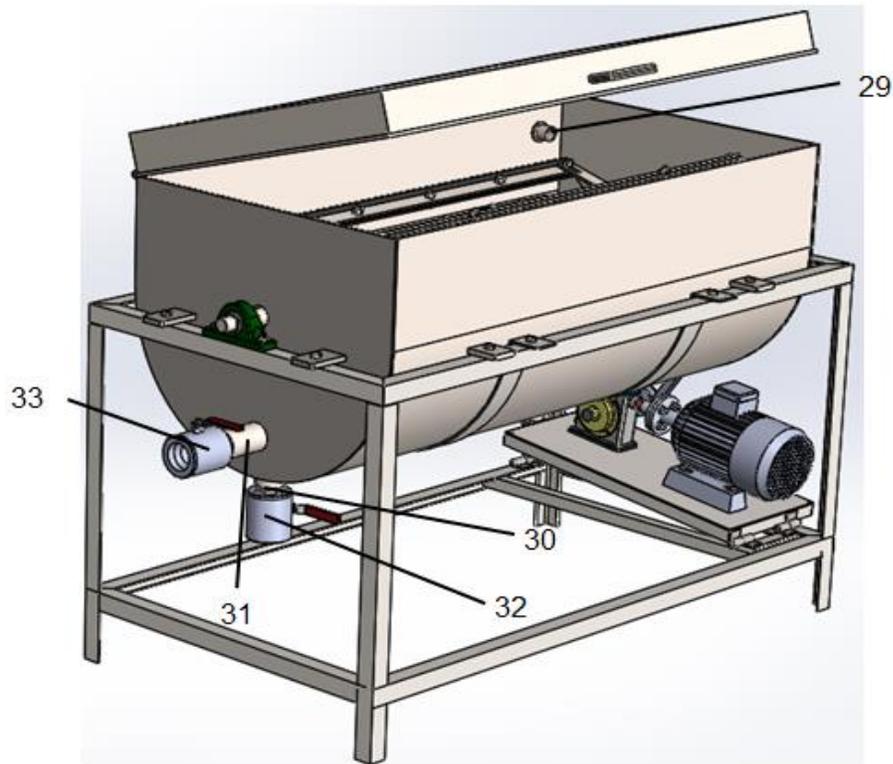
**Figura 3.11: Soporte radial.**

### **3.1.4 Sistema de suministro de agua y drenaje.**

El sistema de suministro de agua y drenaje se muestra en la figura 3.12. El mismo es el encargado de permitir la entrada y salida del agua, así como del grano lavado. Está compuesto por tres dispositivos. Primeramente en la parte superior de uno de los laterales del depósito, va instalada una **tubería de abastecimiento** (pieza No.29) por donde se suministra el agua a la máquina. El plano de pieza de la misma se encuentra en el anexo 18.

El segundo dispositivo lo constituye la **tubería de salida del agua contaminada** (pieza No.30). La cual va soldada al orificio ubicado en el fondo del depósito y tiene un diámetro de 52 mm con su extremo roscado M52, donde se conecta una **válvula** (pieza No.32) con el fin de controlar el flujo de salida del agua. La válvula es seleccionada por el catálogo “Lista de Productos estándar KSB Argentina, 2012” (KBS Argentina, 2012). En la superficie lateral del depósito se incluye un orificio por donde se conecta

una **tubería para la salida del grano** (pieza No.31) desde el cilindro. La misma está soldada y presenta un diámetro de 52 mm con una rosca M52, donde va conectada otra **válvula** (pieza No.33) que permite la salida del grano con el agua limpia, luego de culminado el proceso de lavado.



**Figura 3.12: Sistema de drenaje.**

### **3.2 Descripción del funcionamiento de la máquina.**

Para el funcionamiento de la máquina lavadora de grano de sorgo, después de abiertas las tapas del depósito y el cilindro respectivamente, se vierten en su interior los granos de sorgo, teniendo en cuenta que la capacidad de diseño (aproximadamente 46 kg que equivalen a un quintal). Se suministra el agua al depósito hasta una altura por debajo del eje central que mueve las paletas, alcanzando un nivel de 38%, superior al del grano que debe ser alrededor del 35% del volumen del cilindro. Esto se recomienda para evitar que el agua se derrame en caso de un cierre deficiente. Posteriormente, después de cerrado el depósito, se conecta el equipo a la fuente de energía eléctrica. El movimiento rotacional de las paletas transita desde el motor con potencia de 1,5 kW y 1750 rpm que lo transmite al árbol de entrada del reductor sinfín a través del

acoplamiento por bridas. El reductor sinfín con una relación de transmisión de 15,5 permite reducir, el movimiento rotacional a la salida, a una velocidad angular a 133 rpm. Consecutivamente mediante la transmisión por correa (con una relación de transmisión de 3) se transmite el movimiento al árbol central, dando paso a una reducción de velocidad hasta aproximadamente 37,66 rpm. De esta forma rotan las bandas de caucho colocada en los extremos de las paletas, generando el rozamiento entre el grano sumergido en el agua, con las bandas y la pared interior del cilindro. Esta velocidad de 37,66 rpm garantiza un movimiento relativamente lento, que permite el lavado y descascarado eficiente del grano de sorgo.

En dependencia del grado de contaminación e impurezas contenida en el grano este proceso se realiza varias veces, hasta que los granos estén totalmente limpios y sin gluma, para posteriormente extraerlos por la válvula que está conectada directamente al cilindro.

### **3.3 Selección de materiales empleados para la construcción de la máquina lavadora de sorgo.**

Para la selección de los materiales de la máquina se tuvo en cuenta principalmente las características geométricas de cada pieza y el área de trabajo de las mismas. Por lo tanto, todas las piezas que entran en contacto directo con el grano y el agua se fabricarán de acero inoxidable AISI 304 (piezas No. 7, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30 y 31) aunque la pieza No.26 se fabricará de caucho. Las otras piezas de la máquina serán de acero AISI 1020 (piezas No.1, 2, 3, 4, 5, 6 y 17), y aleaciones de aluminio (piezas No.13 y 15)

En la tabla 3.1 se muestran tres columnas donde en la primera columna se ubican las piezas de la máquina, en la segunda columna se sitúan los tipos de perfiles y láminas de acero que se utilizarán para la fabricación de cada pieza y. por último en la tercera columna se encuentra el consumo de materiales que se necesita para elaborar las piezas.

**Tabla 3.1: Materiales necesarios para la fabricación de las piezas de la máquina.**

Componentes de la máquina	Materiales empleados	Consumo de materiales
Estructura	Perfil angular de 35x35x5 mm acero AISI 1020	17 m
Soporte motriz		
Soporte radial		
Soporte del depósito	Chapa de 4 mm de espesor acero AISI 1020 laminado	0,3 m <sup>2</sup>
Bisagras del sistema motriz	Chapa de 2 mm de espesor acero AISI 1020 laminado	0,01 m <sup>2</sup>
Tornillo tensor	Barras de 30 mm de diámetro AISI 1020 laminado	0,03 m
Bisagras del depósito	Chapa de 2 mm de espesor de acero inoxidable AISI 304	8 m <sup>2</sup>
Bisagras del cilindro		
Depósito		
Placas rectangulares		
Tapa del depósito		
Cilindro	Chapas de 1 mm de espesor	5 m <sup>2</sup>
Tapa del cilindro		
Eje central	Barra de 35 mm de diámetro de acero inoxidable AISI 304	1,5 m
Pasadores de bisagras del sistema motriz	Barras de 10 mm de diámetro de acero AISI 1020	0,25 m
Pasadores de bisagras del cilindro y el depósito	Barras de 10 mm de diámetro de acero inoxidable AISI 304	0,3 m
Polea conductora	Aleación de aluminio 1060-H12	fundición
Polea conducida		
Bandas	Chapa de 980 mm de largo por 30 de ancho y 3 mm de espesor de caucho	3 m

### **3.4 Conclusiones Parciales**

- Se diseñó la máquina MLS-2019. Versión 1.0 que permitirá el lavado y eliminación de la gluma de los granos de sorgo blanco para una capacidad de 46 kg. Para ello se empleó el software CAD SolidWorks versión 2018, lo cual garantizó rapidez y precisión en la modelación y el dimensionamiento.
- La máquina diseñada se estructuró en un módulo de piezas que al ensamblarse no sobrepasan una altura de 1020 mm, un ancho de 700 mm, un largo de 1470 mm y un peso de 155 kg.
- Los materiales que se proponen para la fabricación de la máquina se seleccionaron principalmente según los requerimientos y funcionalidad de cada componente en cuanto a parámetros de explotación, tecnológicos y económicos, siendo el acero inoxidable AISI 304 el más empleado de acuerdo a la necesidad de garantizar la resistencia a la corrosión para evitar la contaminación de los granos durante el proceso de lavado.

## **Conclusiones Generales**

- Se realizó el análisis bibliográfico sobre el estado del arte del grano de sorgo, donde se pudo conocer las características y propiedades que tiene este cereal, así como su uso tanto en el consumo humano como en el animal.
- . Se comprobó en la literatura consultada que existen diferentes tipos de máquinas para la limpieza y lavado de diversos cereales. Entre ellas se encuentran lavadoras de maíz y de otros cereales, cribadoras de granos, etc. En este sentido no se encontró una máquina empleada específicamente para el lavado del sorgo blanco a pequeña escala.
- Se establecieron las premisas preliminares a tener en cuenta para el diseño conceptual de la máquina lavadora de sorgo. Para ello se partió de los principios de funcionamiento y características de máquinas similares para el procesamiento de granos propuestas en el primer capítulo.
- Se determinaron y definieron los parámetros dimensionales, cinemáticos y dinámicos de la máquina para el lavado y descascarado del grano de sorgo.
- Se desarrolló el diseño de la máquina MLS-2019. Versión 1.0 que permitirá el lavado y eliminación de la gluma de los granos de sorgo blanco para una capacidad de 46 kg. Para ello se empleó el software CAD SolidWorks versión 2018, lo cual garantizó rapidez y precisión en la modelación y el dimensionamiento de la máquina.
- Se elaboraron los planos de piezas y plano de ensamble de la máquina para el lavado de granos de sorgo blanco con toda la documentación técnica necesaria para su fabricación.

**Recomendaciones**

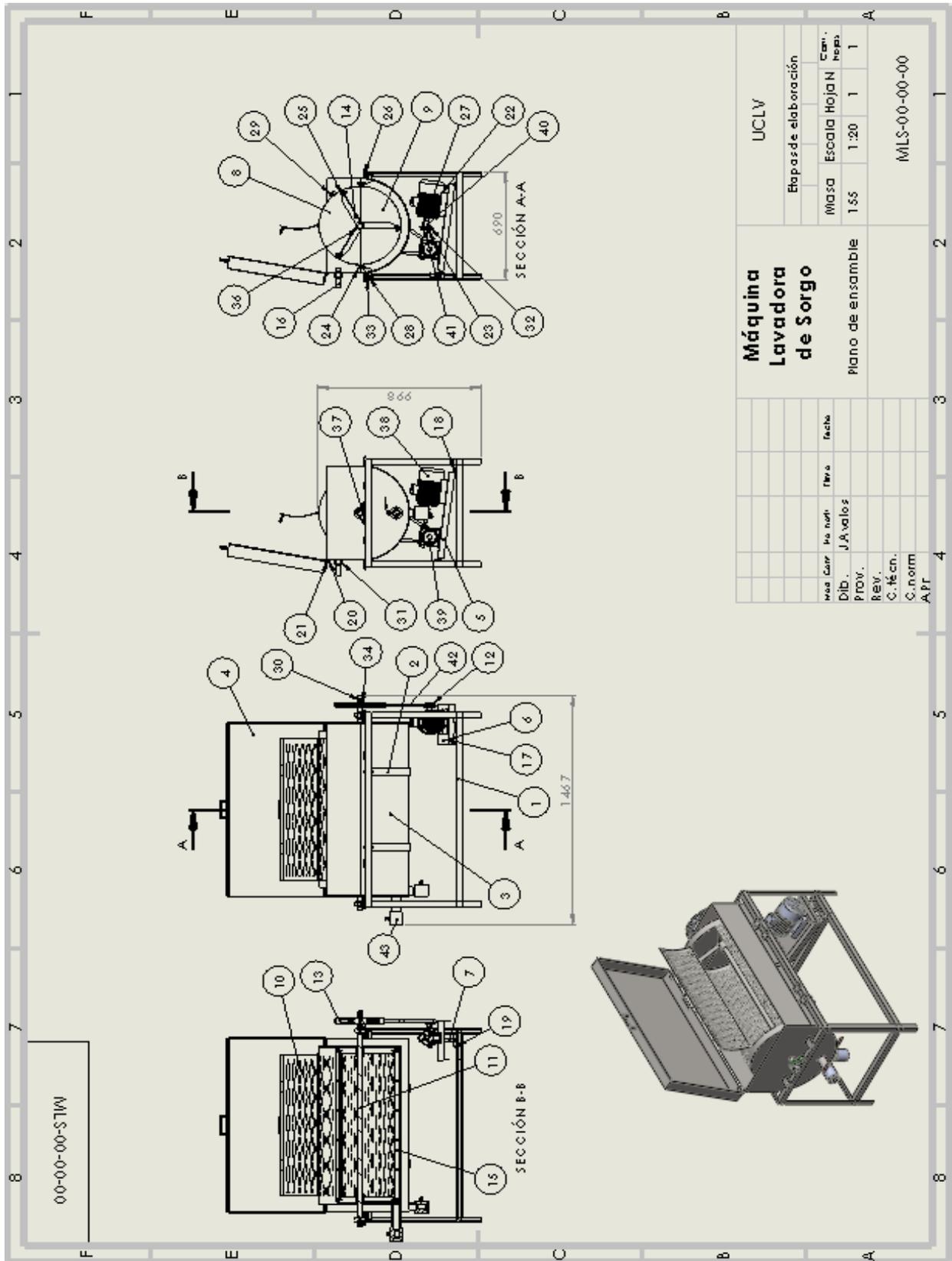
- Definir la tecnología de fabricación de cada componente con vista a desarrollar un prototipo de la máquina lavadora de sorgo blanco MLS-2019. Versión 1.0.
- Dar continuidad al trabajo con el diseño de una máquina secadora de granos de sorgo.

**Referencias Bibliográficas.**

1. (Aguirre - Arenas et al., 1998).  
URL:<https://www.google.com/search?ei=enfQXNnXCIO55gLAI4GYBg&q=%28Aguirre+-+Arenas+et+al.%2C+1998%29%3B+sorgo&oq.pdf>
2. Alimentos, A. d. (2018). "El Sorgo: características, valor nutricional, propiedades, y mucho más." URL: [https://www.engormix.com/agricultura/articulos/El\\_Sorgo\\_características,\\_valor\\_nutricional,\\_propiedades,\\_y\\_mucho\\_más.htm](https://www.engormix.com/agricultura/articulos/El_Sorgo_características,_valor_nutricional,_propiedades,_y_mucho_más.htm)
3. (Browning, 2006) "Chumaceras Milimétricas" Catálogo Browning. URL: [www.emerson-ept.com](http://www.emerson-ept.com)
4. (Calderón de Zacatares 2012). "Utilización de la harina de sorgo en la alimentación de los niños "celíacos" en la provincia de Villa Clara, República de Cuba". URL: <https://www.researchgate.net/publication/280071902>
5. (Catálogo-Fama-Mantenimiento, 2018) "Grupos motrices de reducción" Fabrica de accesorios y mecanismos auxiliares LTDA. URL: <http://www.industriasfama.com/wp-content/uploads/2018/09/Catalogo-Fama-Mantenimiento.pdf>
6. (CENTA (2007). "GUIA TECNICA SORGO.pdf." <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/GUIA%20TECNICA%20SORGO.pdf>
7. Christiansen, K. (2012). "Manual para la Molienda de Sorgo o Maicillo Usando Molinos CTI.pdf." URL: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1015&context=intormilpubs>
8. (FAO, 2005). URL: [https://scholar.google.com/cu/scholar?q=\(FAO,+2005\).+sorgo&hl=es&as\\_sdt.pdf](https://scholar.google.com/cu/scholar?q=(FAO,+2005).+sorgo&hl=es&as_sdt.pdf)
9. F.A.O.), D. e. p. l. (2018). "Limpieza\_de\_granos". <https://studylib.es/doc/811400/sistemas-de-limpieza-y-recepcion-de-granos-1>
10. García Atance, G. (2001). "EL SORGO PARA GRANO." [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1982\\_07.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1982_07.pdf)
11. (Intranet FIMI UCLV, 2019) URL: [Intranet//10.12.1.66/FIMI/Carrera /CDR/Ing .Mecánica /4To/Segundo.Semestre/Elementos.de.Máquinas.II/Materiales.Docentes/Correas](http://Intranet//10.12.1.66/FIMI/Carrera /CDR/Ing .Mecánica /4To/Segundo.Semestre/Elementos.de.Máquinas.II/Materiales.Docentes/Correas)
12. (KBS Argentina, 2012) "Lista de Productos estándar KSB Argentina, 2012" KSB Compañía Sudamericana de Bombas S.A URL: [www.ksb.com.ar](http://www.ksb.com.ar)
13. (KLINGER SAIDI SPAIN, 2016) "Catálogo de Producto Bridas y Accesorios" URL: [www.saidi.es | www.klinger-international.com](http://www.saidi.es | www.klinger-international.com)

14. (La ingeniería en el desarrollo, 2019) "Características físicas de los productos" URL: <httpwww.fao.org3x5041sx5041S09.htm>
15. L. CORONA G., G. D. M. M. (2017). "Procesamiento de los granos." <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/libromendoza-procesamiento-granos-t40786.htm>
16. Ling, A. (2018). "Máquina de cribado de grano." <http://www.machineryshops.com/es/column/Maquinaria%20Para%20Granos.html>
17. Liu, N. (2018). "Lavadora comercial de grano de capacidad de procesamiento de 100kg." <https://spanish.alibaba.com/product-detail/100kg-processing-capacity-grain-washing-machine-commercial-rice-washer-60813548613.html>
18. MONTES GARCÍA, N. G. G., Miguel Ángel; CASTILLO TOVAR, Hipólito ; PECINA QUINTERO, Víctor; ANAYA LÓPEZ, José Luis (2010). URL: [https://\(Sorgo \[Sorghum bicolor \(L.\) Moench\] blanco: alternativa para la alimentación humana /207-1-2019/865.pdf\)](https://(Sorgo [Sorghum bicolor (L.) Moench] blanco: alternativa para la alimentación humana /207-1-2019/865.pdf)).
19. Pérez, A. S., O.; Iglesias, J.; Wencomo, Hilda B.; Reyes, F.; Oquendo; G.; Milián, Idolkys (2010). ([https://www.engormix.com/articulos/ Caracterización y potencialidades del grano de sorgo \(Sorghum bicolor L. Moench\).htm](https://www.engormix.com/articulos/Caracterización_y_potencialidades_del_grano_de_sorgo_(Sorghum_bicolor_L._Moench).htm))
20. Rodríguez, A.N. *et al.* Agricultura Urbana: Una expresión de la agricultura agraria cubana. En: Las Investigaciones agropecuarias en Cuba cien años después. Editorial Científico-Técnica. La Habana, Cuba. p.115. 2006
21. (Ruiz Álvarez 2013). URL: [https://www.google.com/search?ei=n3vQXKasFuXA5gLhx7XADQ&q=%28Ruiz+%C3%81lvarez+2013%29.sorgo&oq=%28Ruiz+%C3%81lvarez+2013%29.sorgo&gs\\_l.pdf](https://www.google.com/search?ei=n3vQXKasFuXA5gLhx7XADQ&q=%28Ruiz+%C3%81lvarez+2013%29.sorgo&oq=%28Ruiz+%C3%81lvarez+2013%29.sorgo&gs_l.pdf)
22. Sánchez Ortiz, J. J. (2018). "Propiedades del sorgo." (<https://www.google.com/search?q=propiedades+del+sorgo>)
23. Saucedo Castillo, O. M., et al. (2012). "UTILIZACIÓN DE LA HARINA DE SORGO EN LA ALIMENTACIÓN DE LOS NIÑOS CELÍACOS EN LA PROVINCIA VILLA CLARA."
24. (Sollid and Khosla, 2005). URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/4b82/6ea9ccc857b2eac32e2ffee2b81ab9de65fe.pdf>

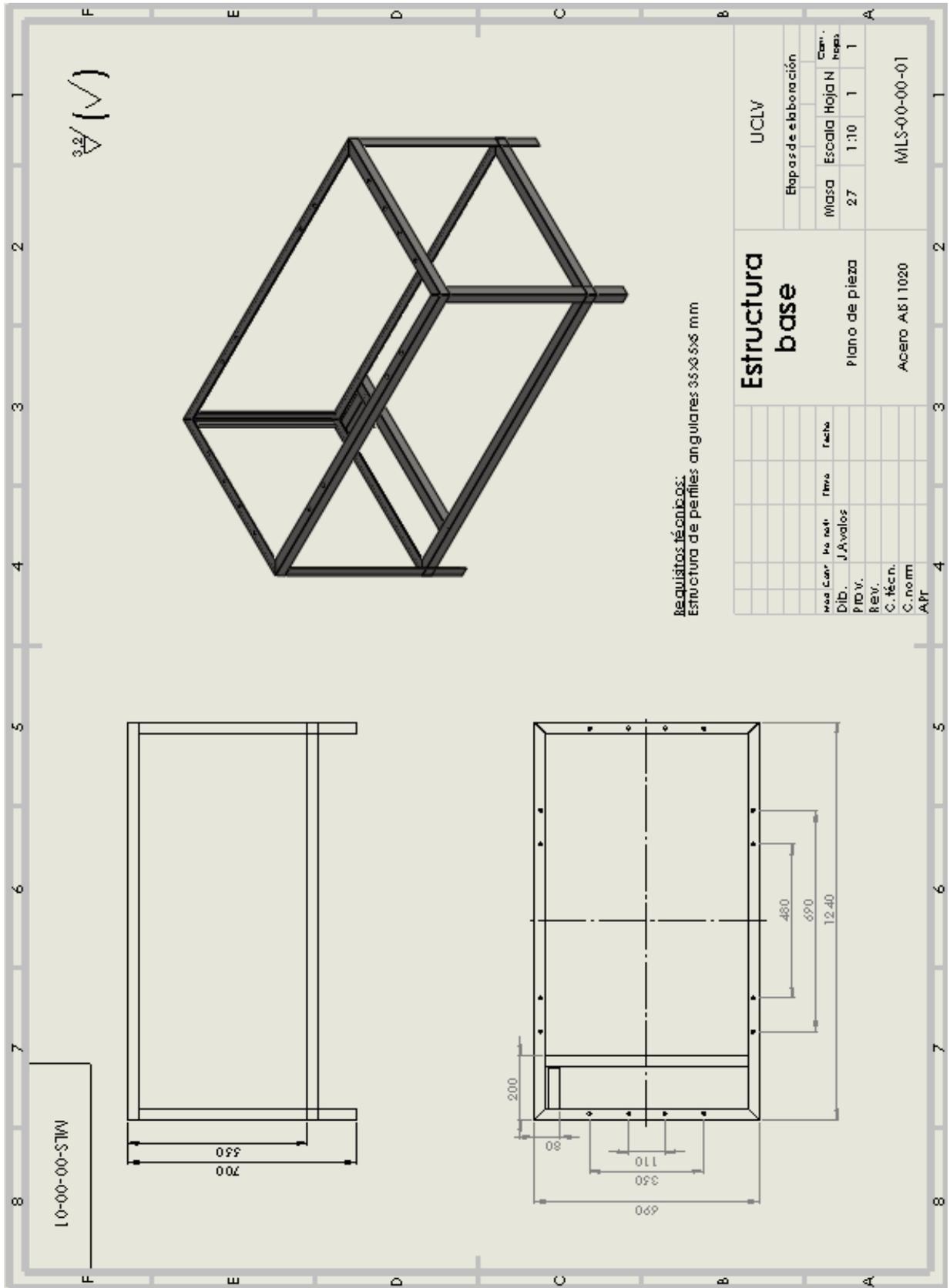
Anexos: Anexo1



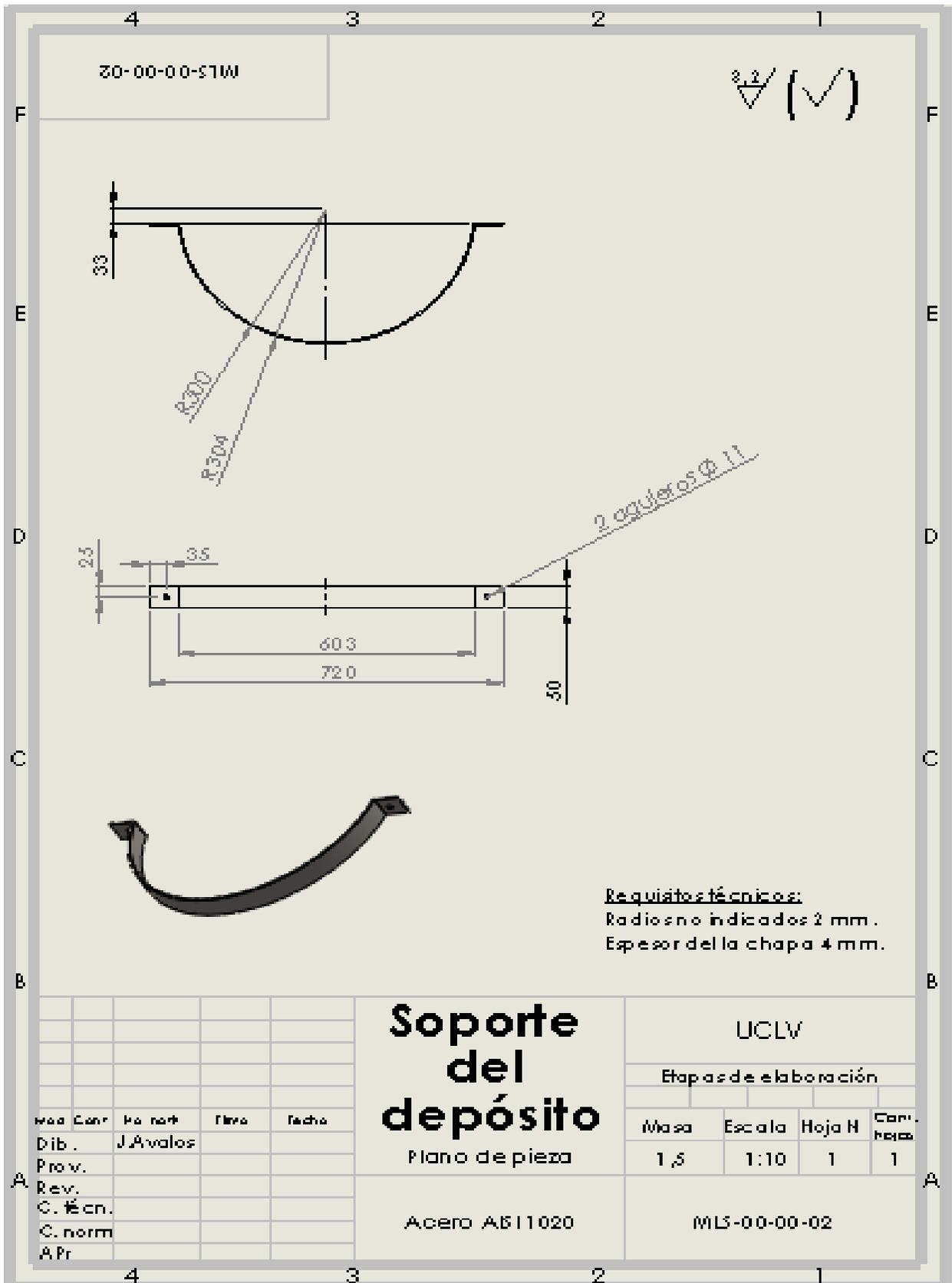


Formato		Tona		Posición		Código		Denominación		Cantidad		Observaciones			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14		
<b>Artículos Normalizados</b>															
		22						Tomillo M8x1.0x50-B 8676		8					
		23						Tomillo M8x30x22-B 4762		4					
		24						Tomillo M8x30-B 4762		6					
		25						Tomillo M10x30-B 4018		18					
		26						Tomillo M10x45x26-B 4014		16					
		27						Tuerca M8-B 4034		12					
		28						Tuerca M10-B 4034		34					
		29						Tuerca mariposa M8-KS 81014-28 C1		2					
		30						Tuerca M24-B 4034		3					
		31						Tuerca M30-B 4034		1					
		32						Arandela 9,3-B 10673		4					
		33						Arandela 11-B 7089		34					
		34						Arandela 24-B 7089		3					
		35						Chaveta 8x5x25-B 2491		2					
		36						Chaveta 8x5x56-B 2491		2					
<b>Otros artículos</b>															
		37						Chumacera Browning VP8 25		2					
		38						Motor eléctrico IEC G56H		1					
		39						Reductor sin fin VS Tamaño 60		1					
		40						Brida eje del motor		1					
		41						Brida eje del reductor		1					
		42						Comea tipo B		1					
		43						Válvula P R O FIN VT2		2					
Mod. Contr.		No. part.		Revis.		Fecha		<b>Máquina Lavadora de Sorgo</b> Especificación Técnica				UCLV Etapas de elab.    Hoja No.			
Dib.		J. Avalos													
Prov.												PPS-00-00-00			
Rev.															
C. técn.															
C. norm.															
APP															

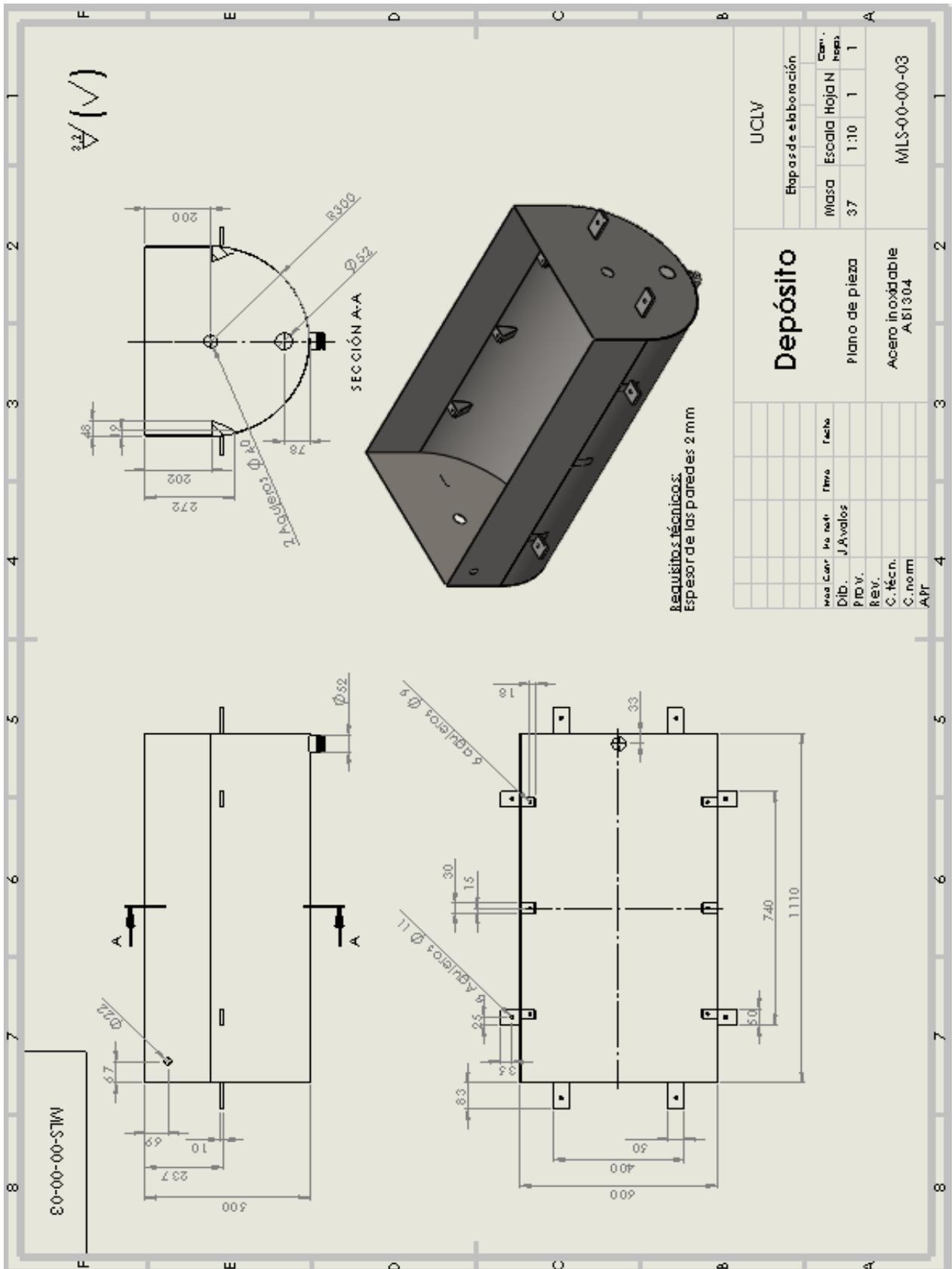
Anexo 3



Anexo 4

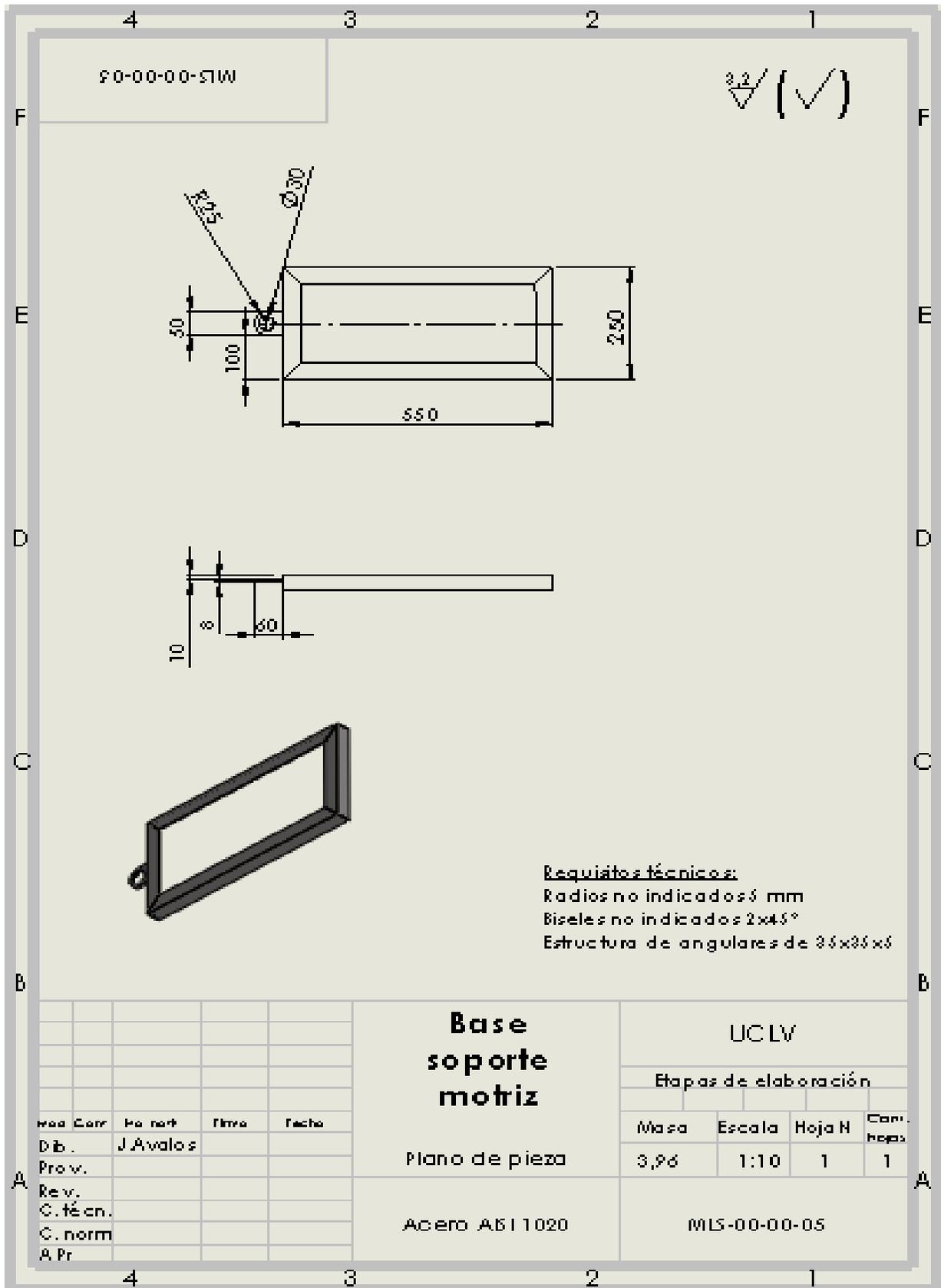


Anexo 5

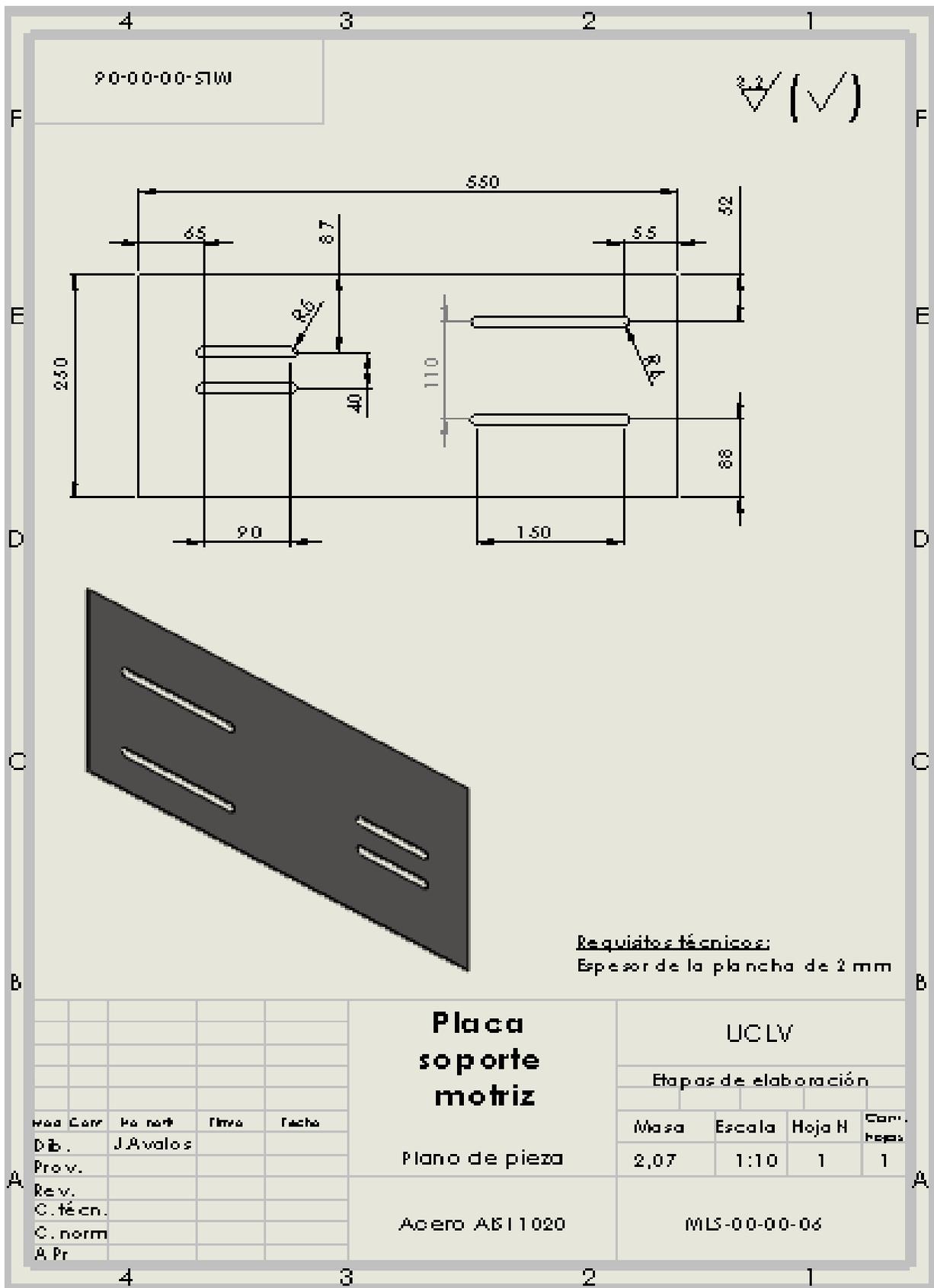




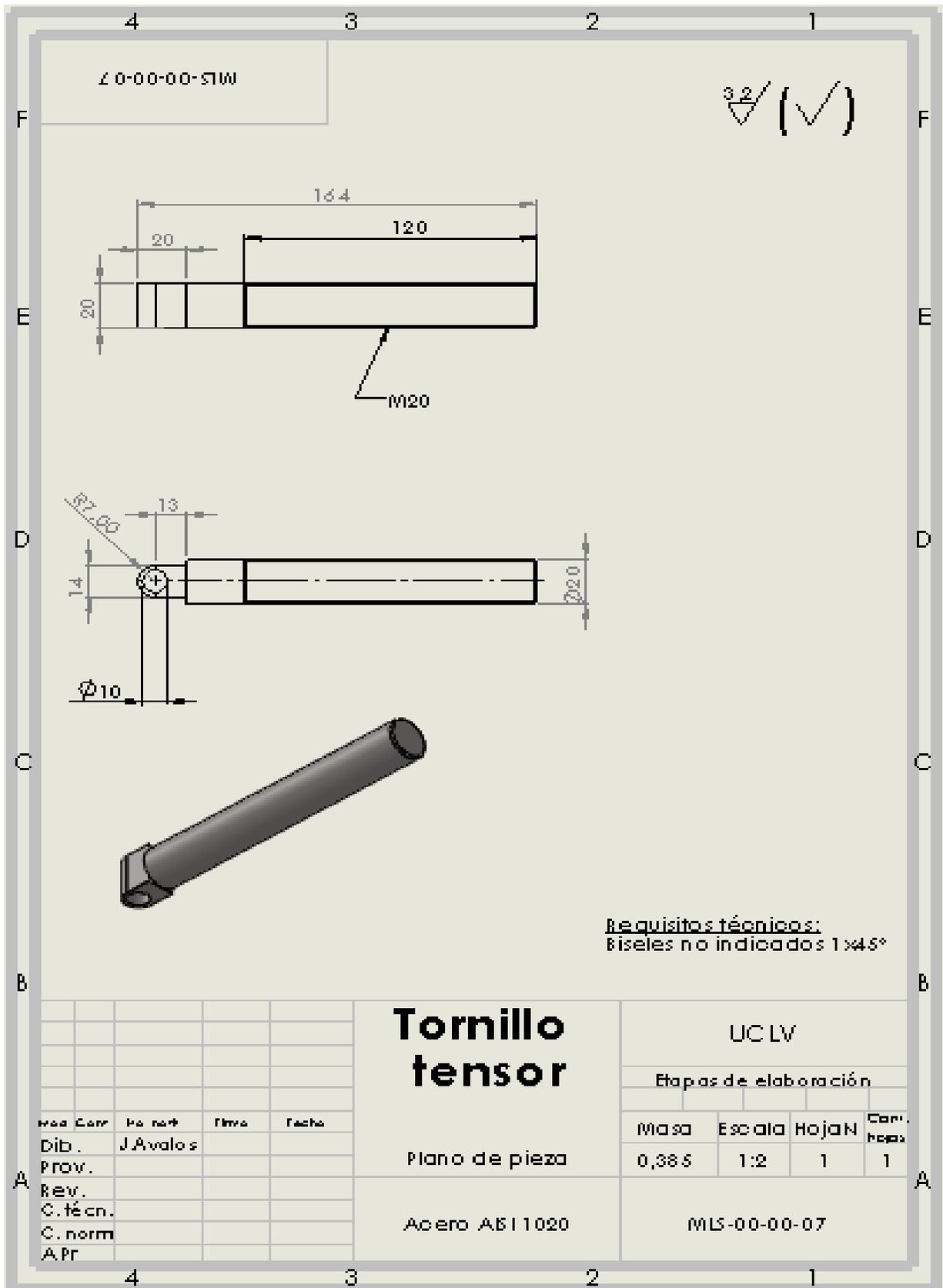
Anexo 7



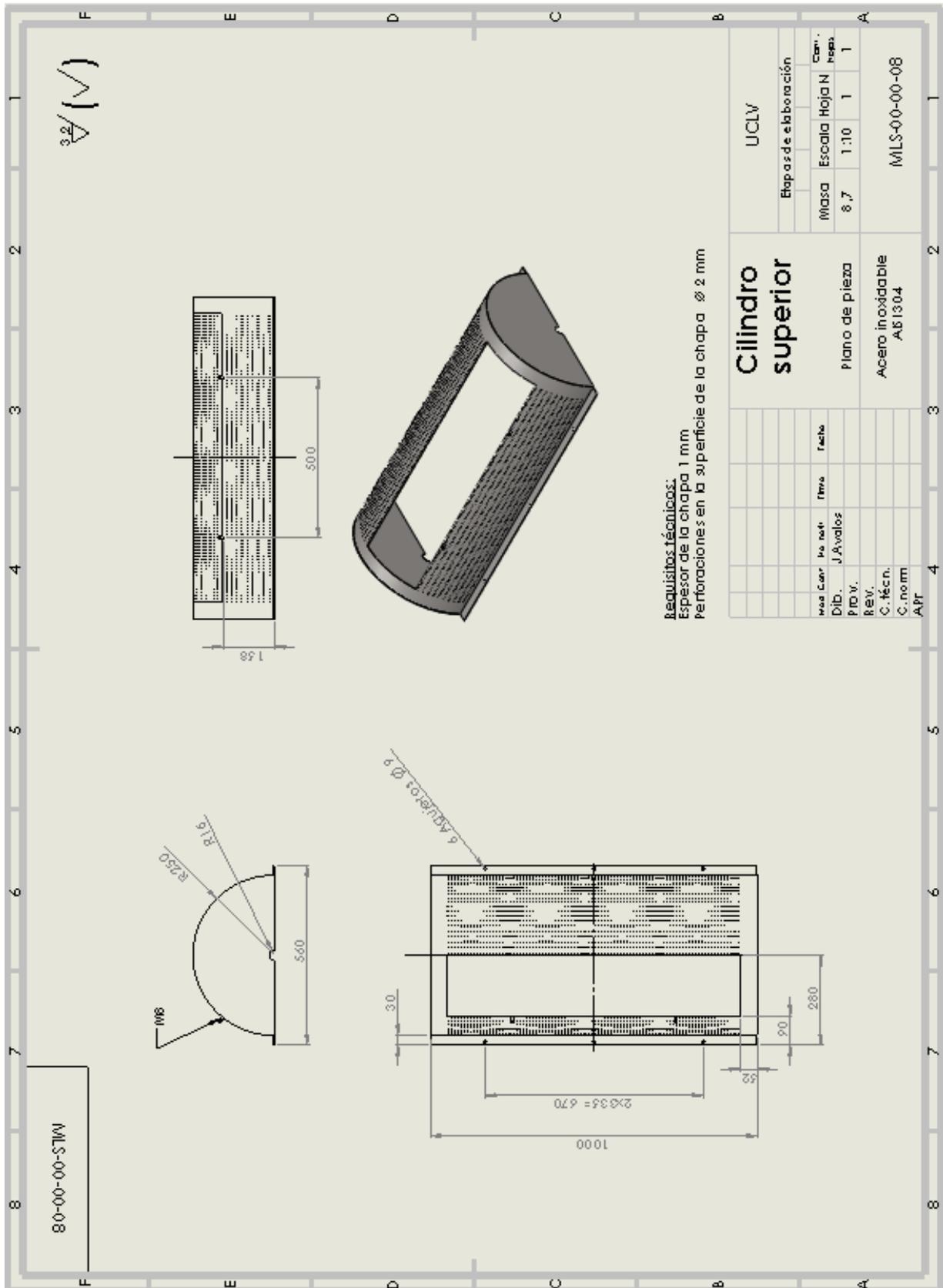
Anexo 8



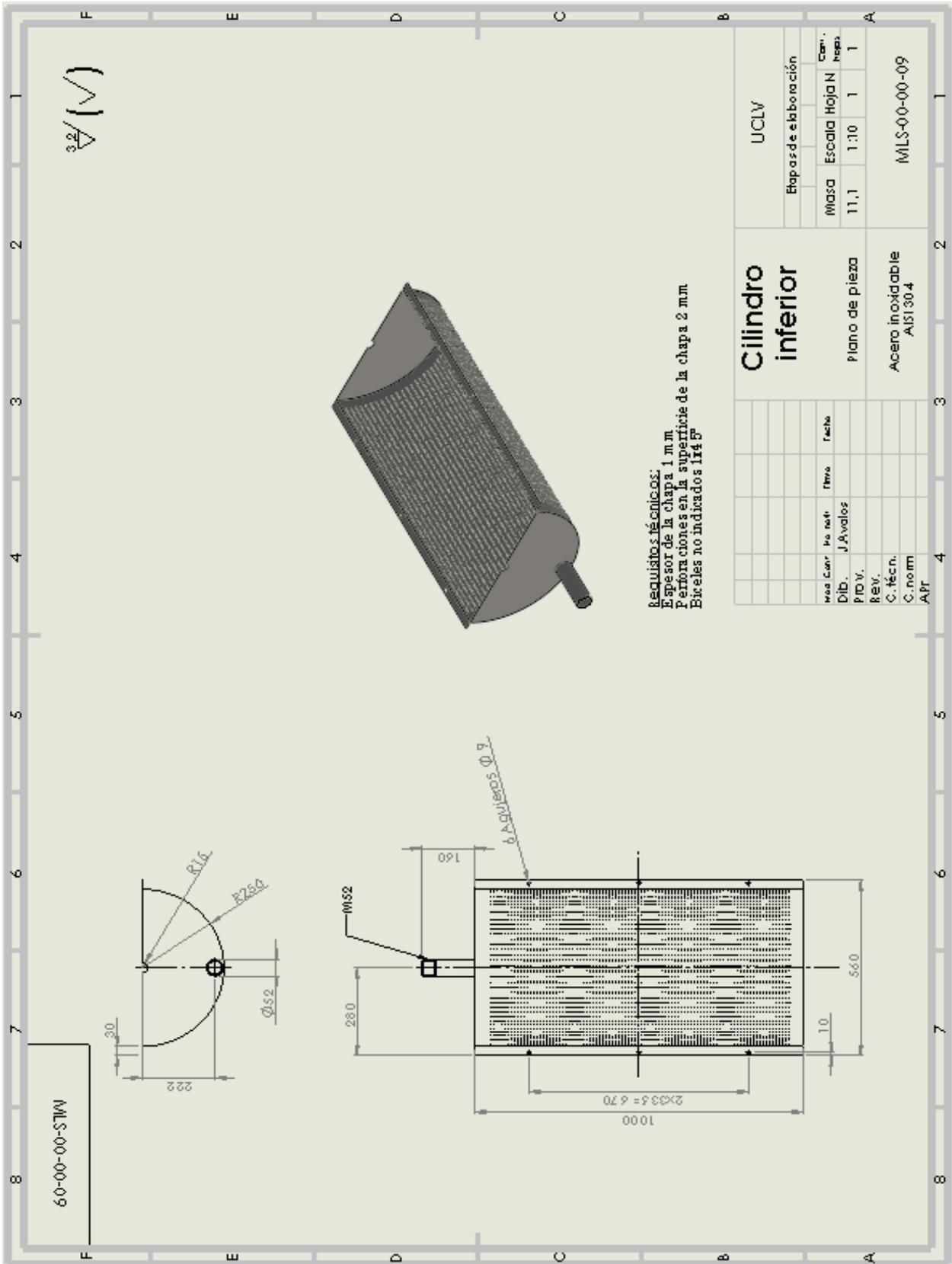
Anexo 9



Anexo 10

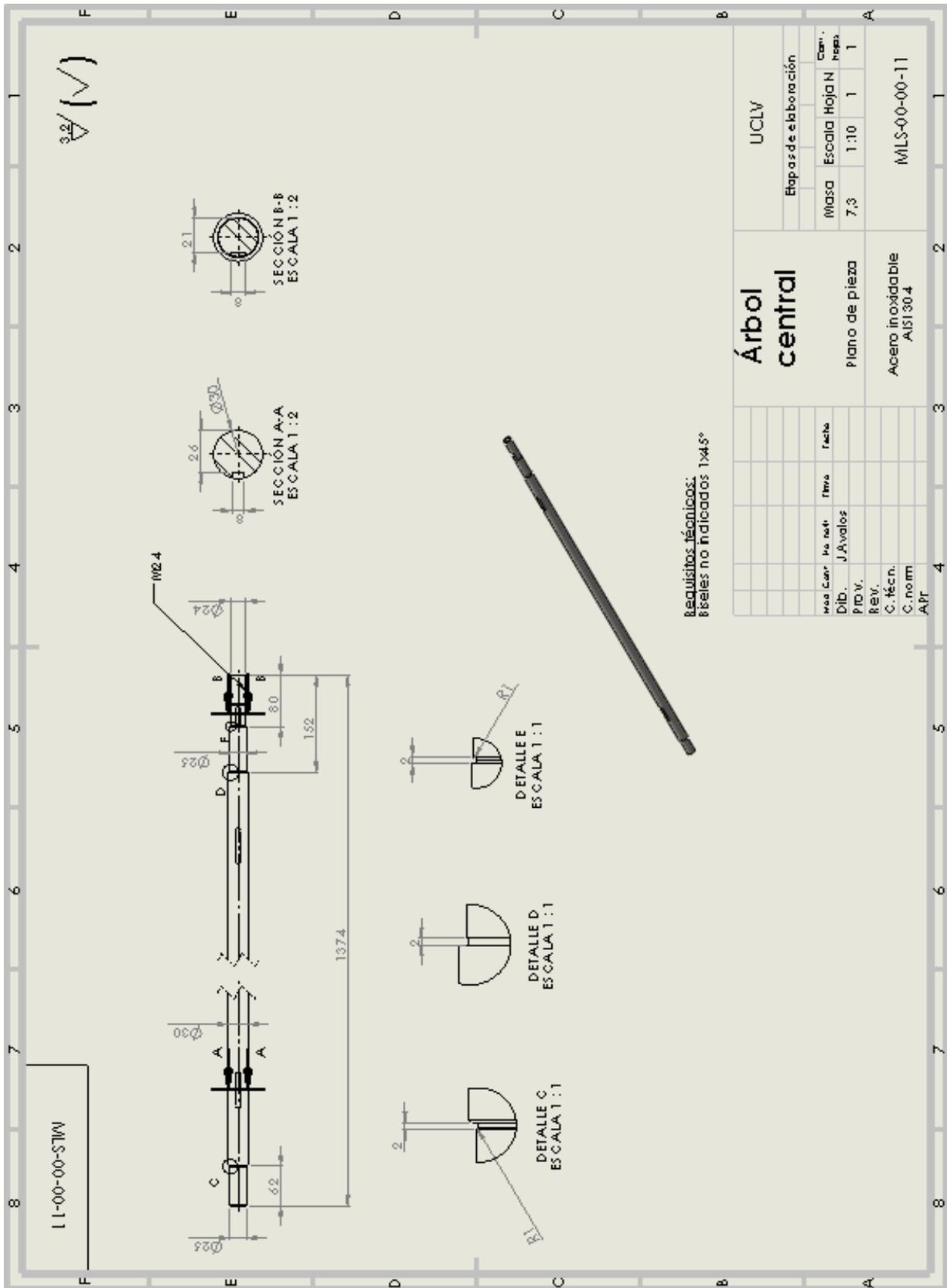


Anexo 11

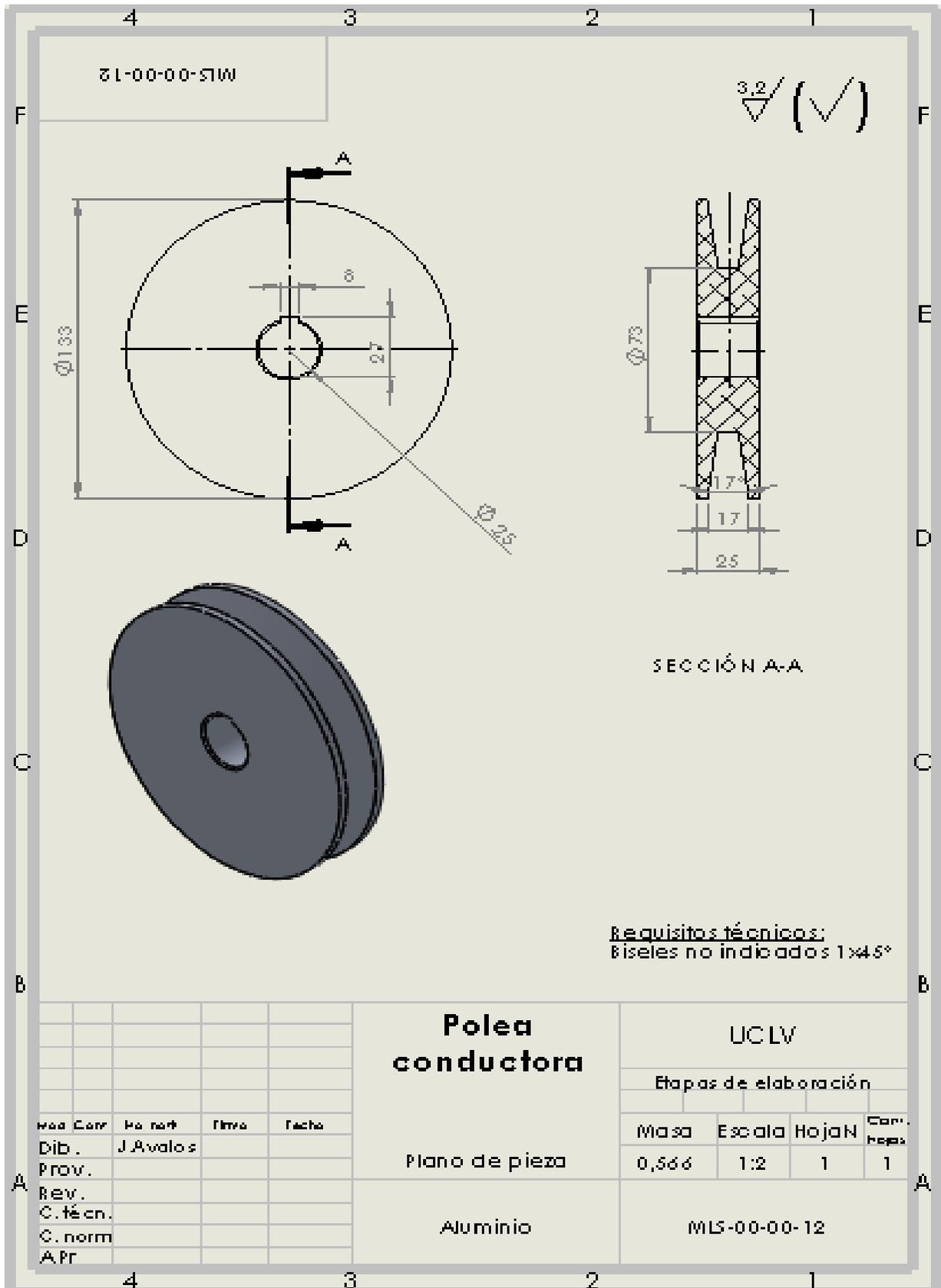




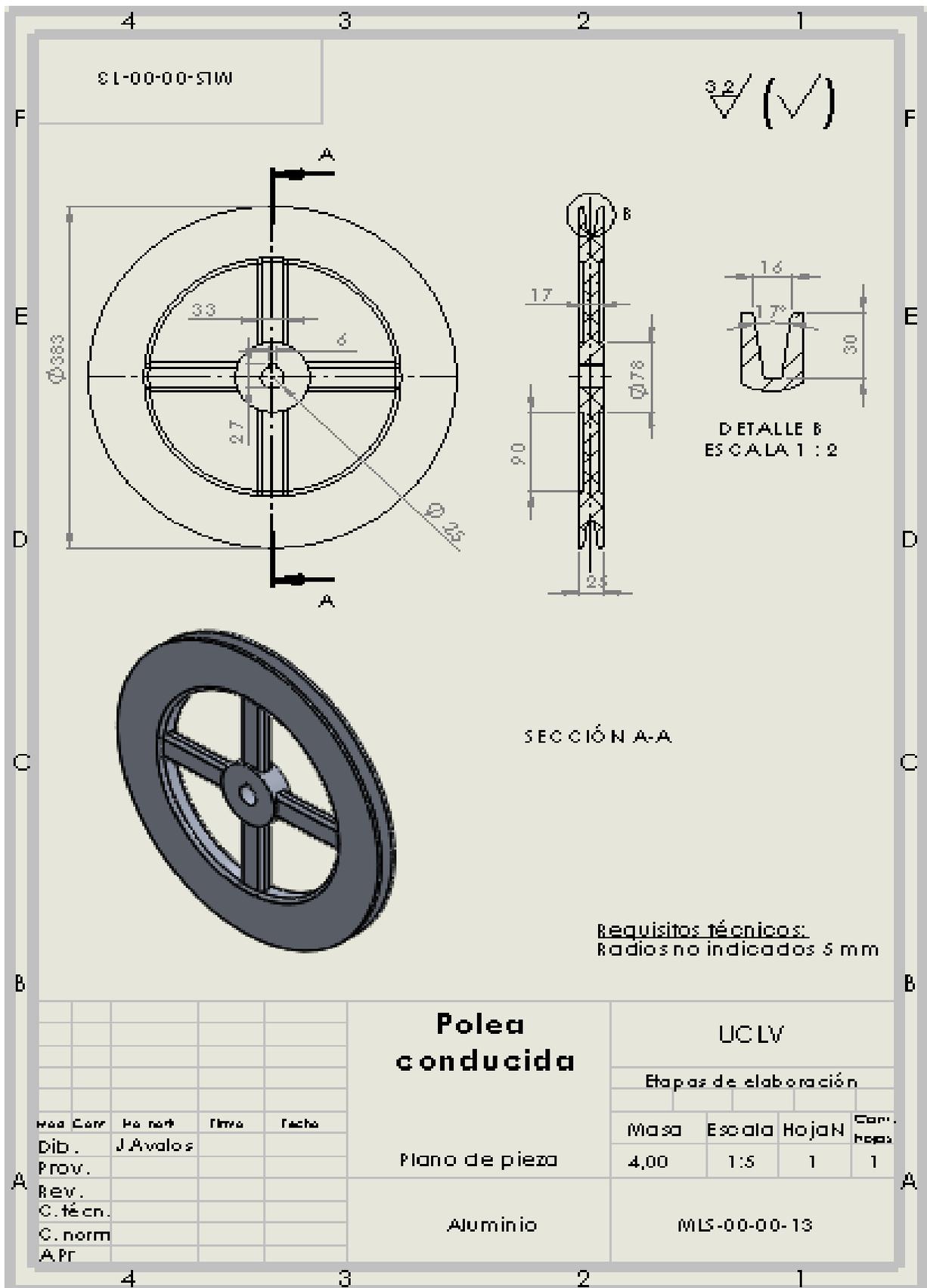
Anexo 13



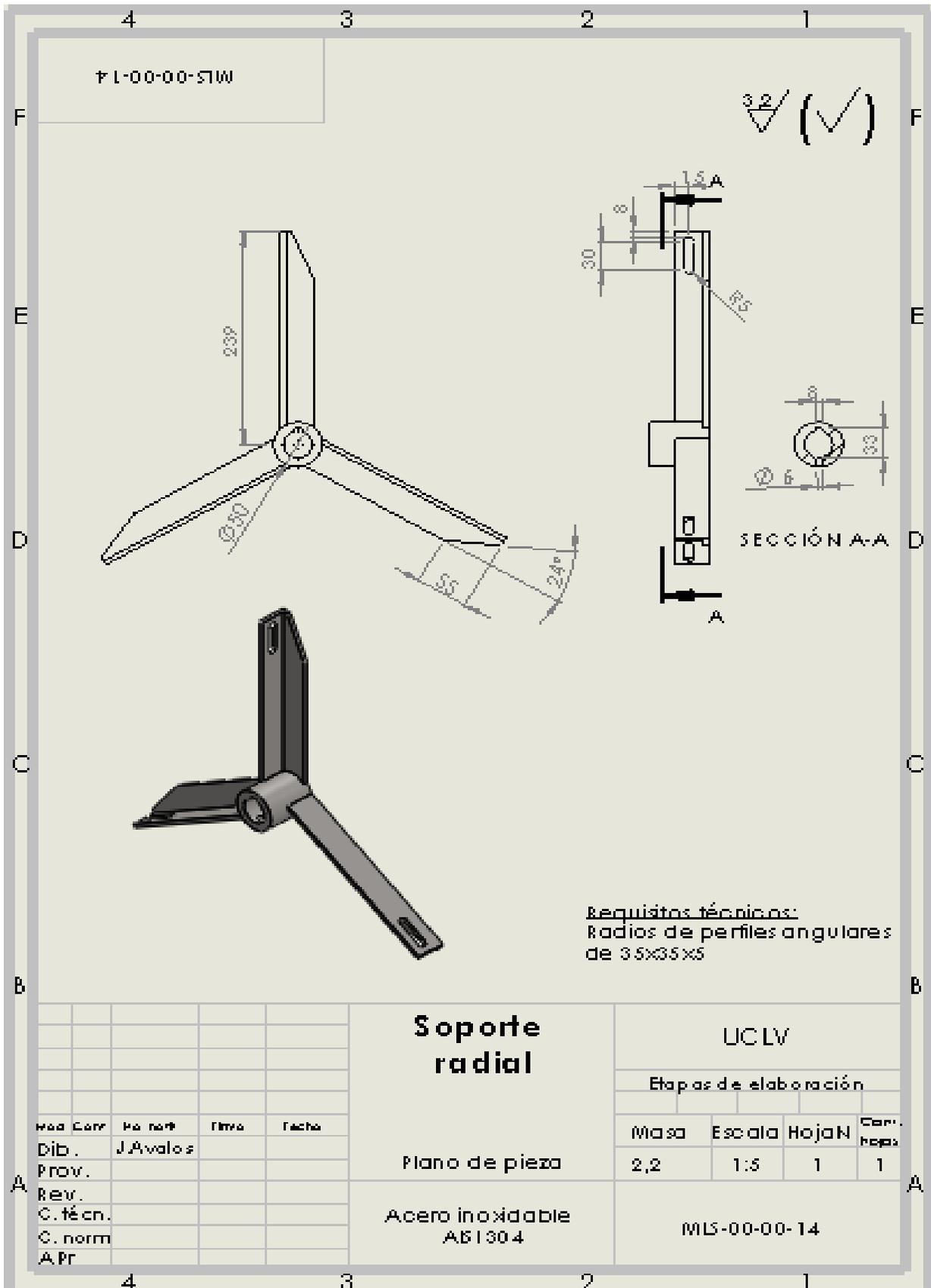
Anexo 14



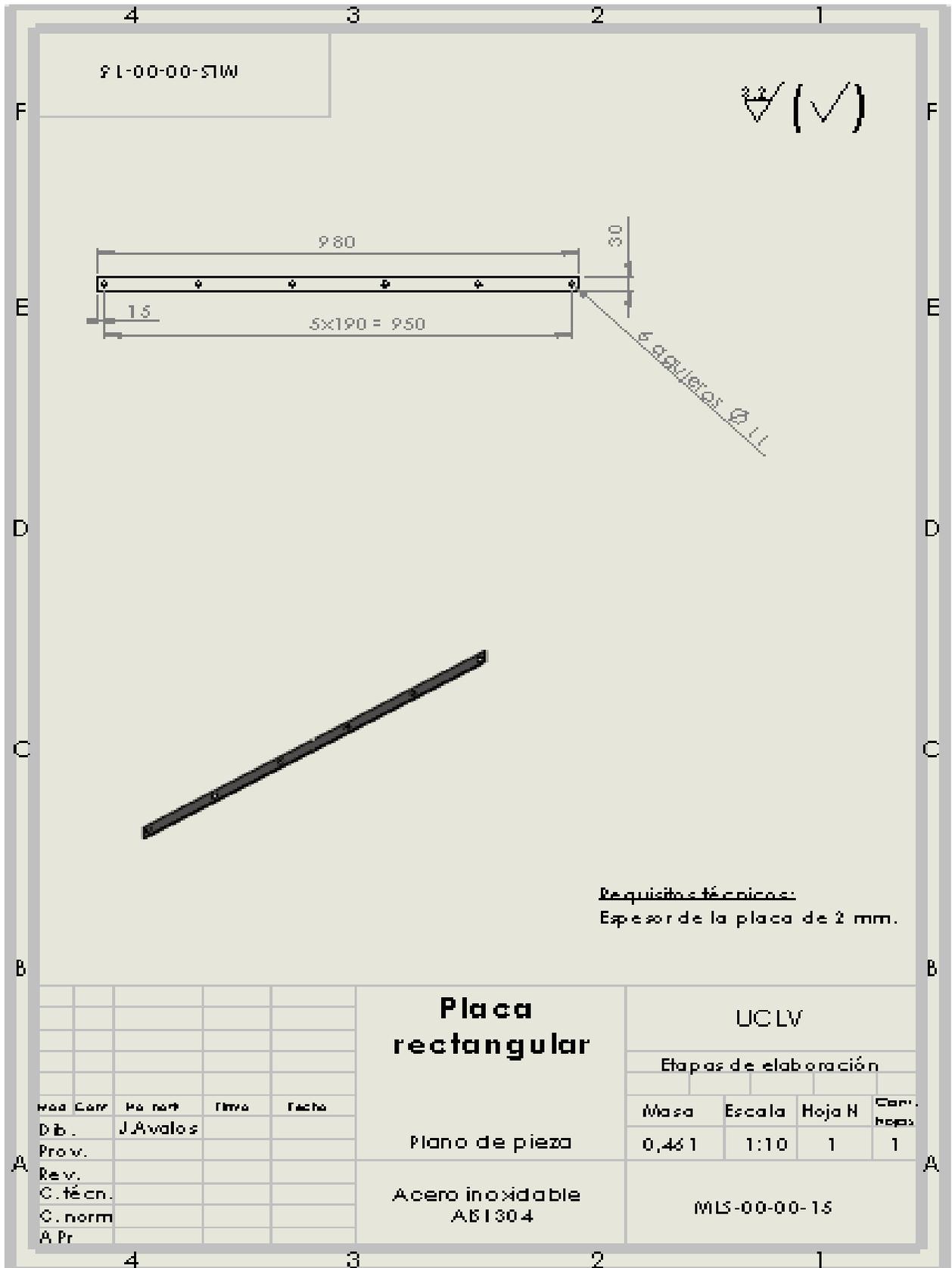
Anexo 15



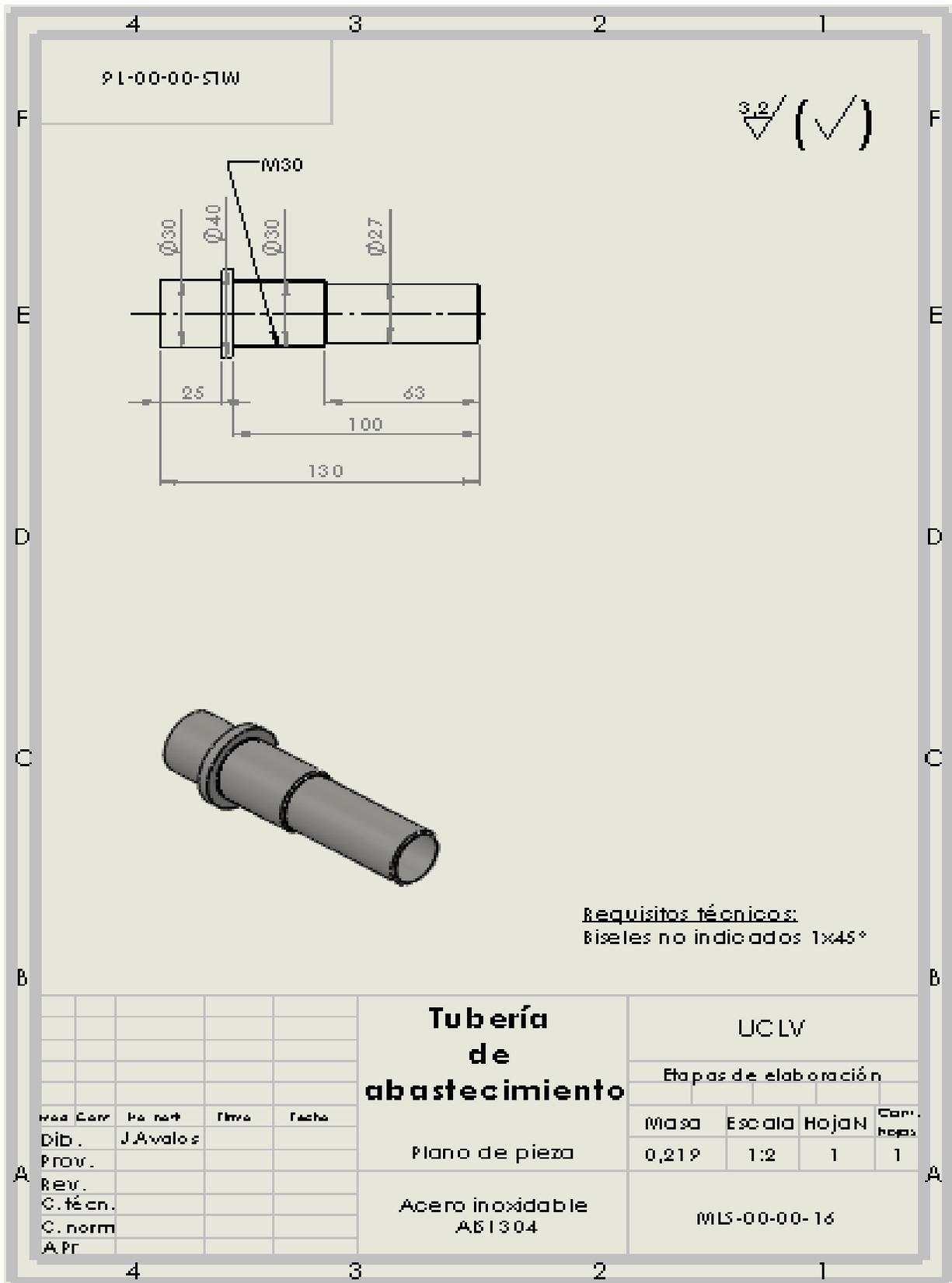
Anexo 16



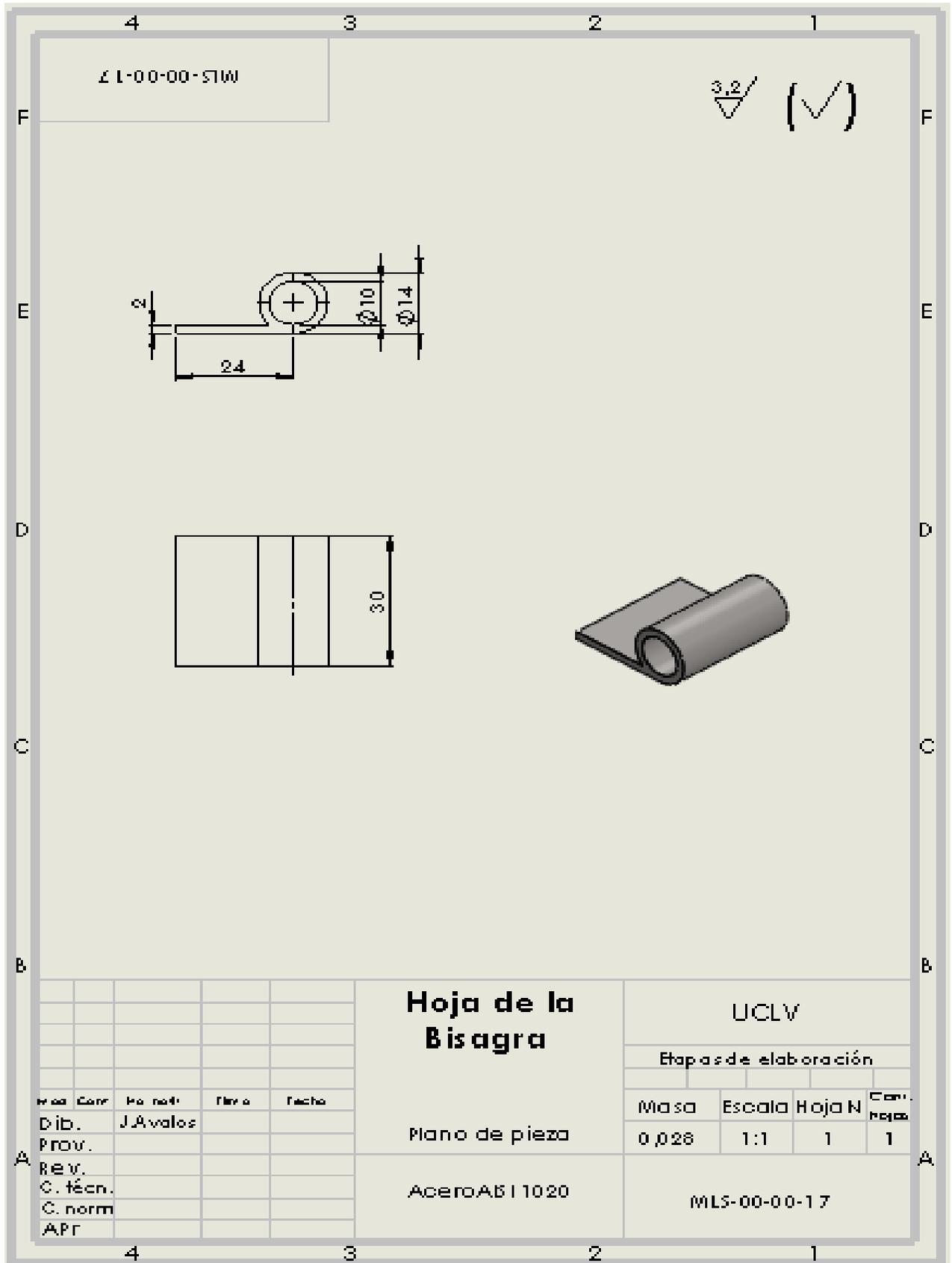
Anexo 17



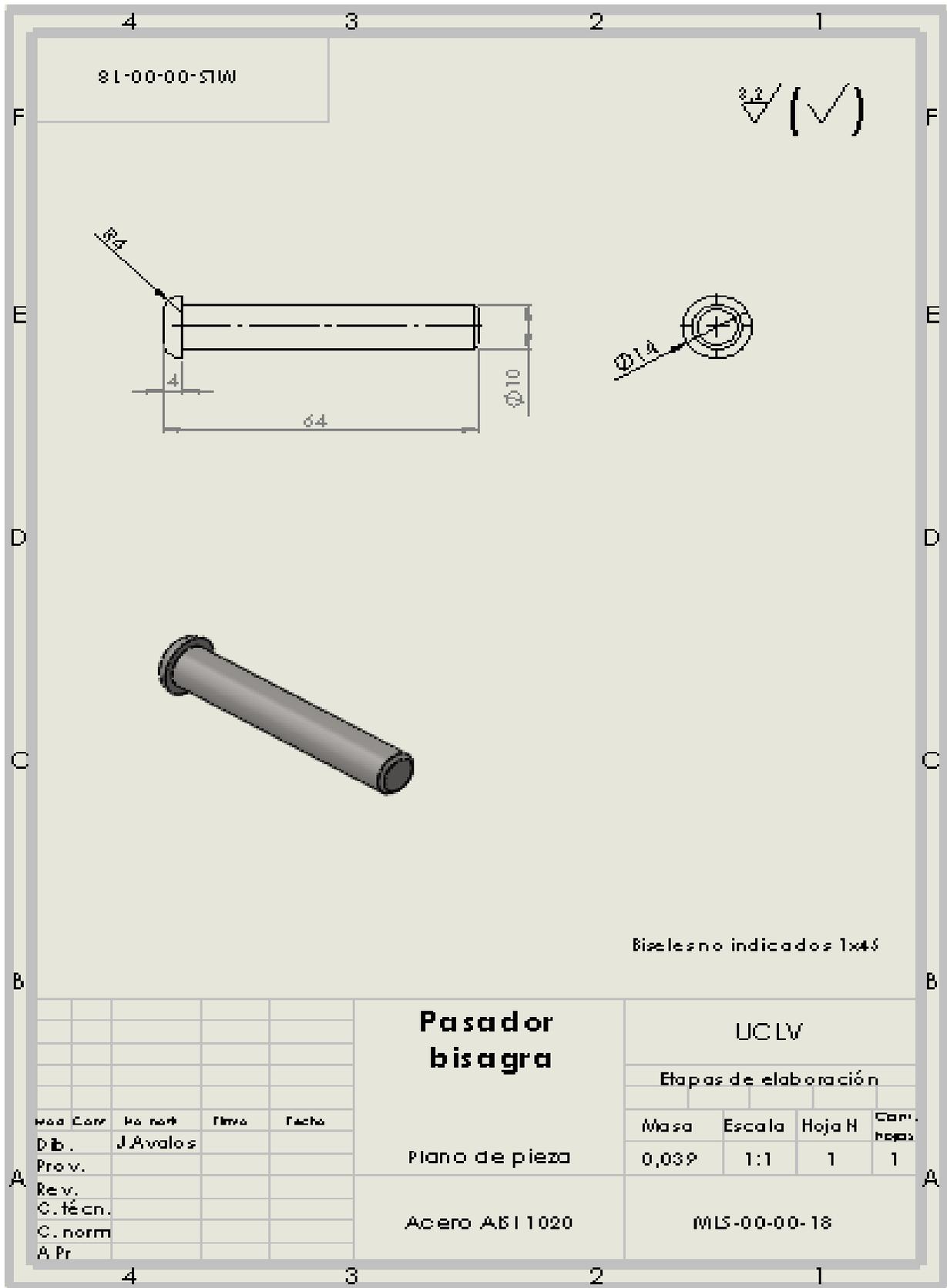
Anexo 18



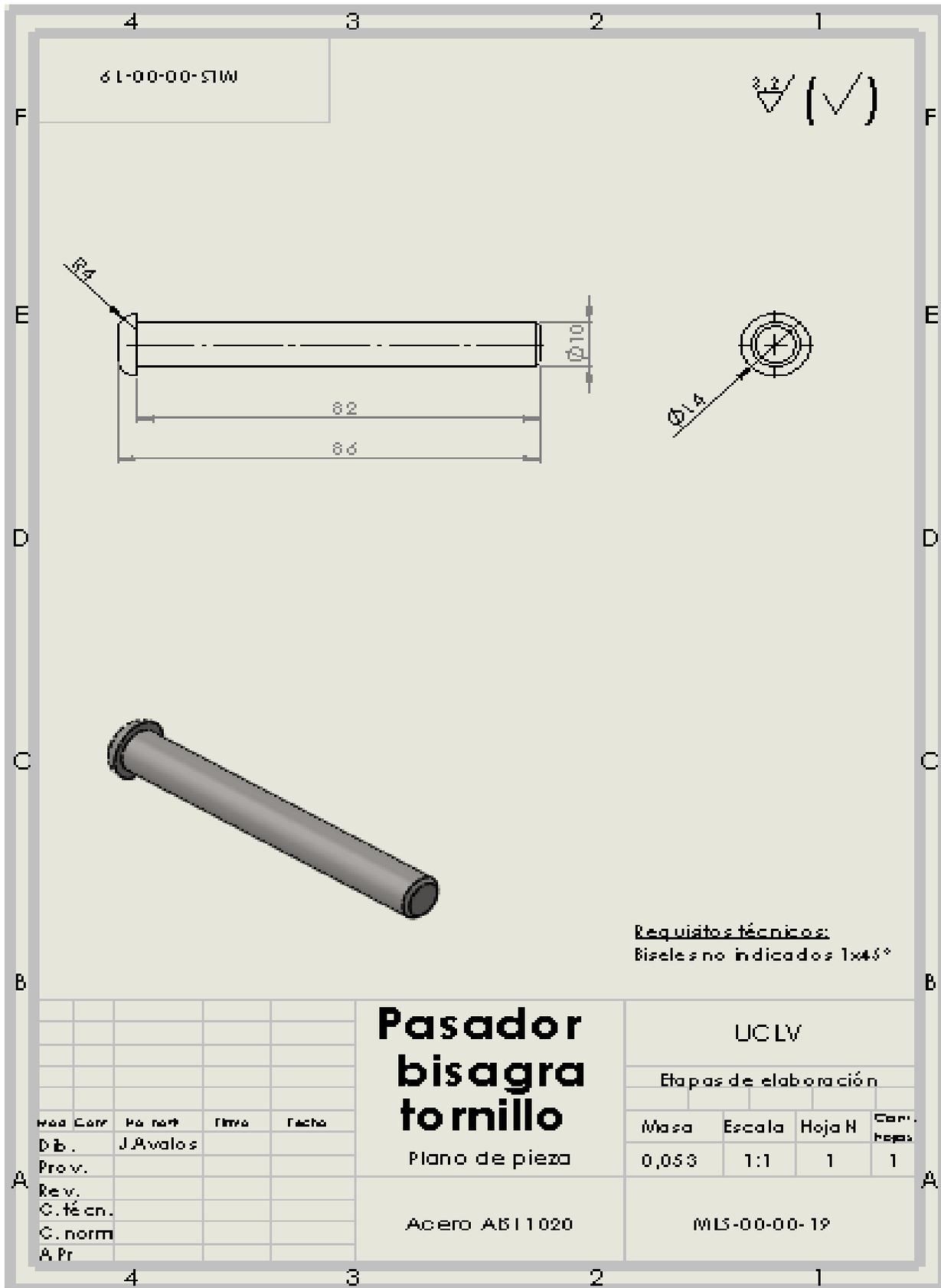
Anexo 19



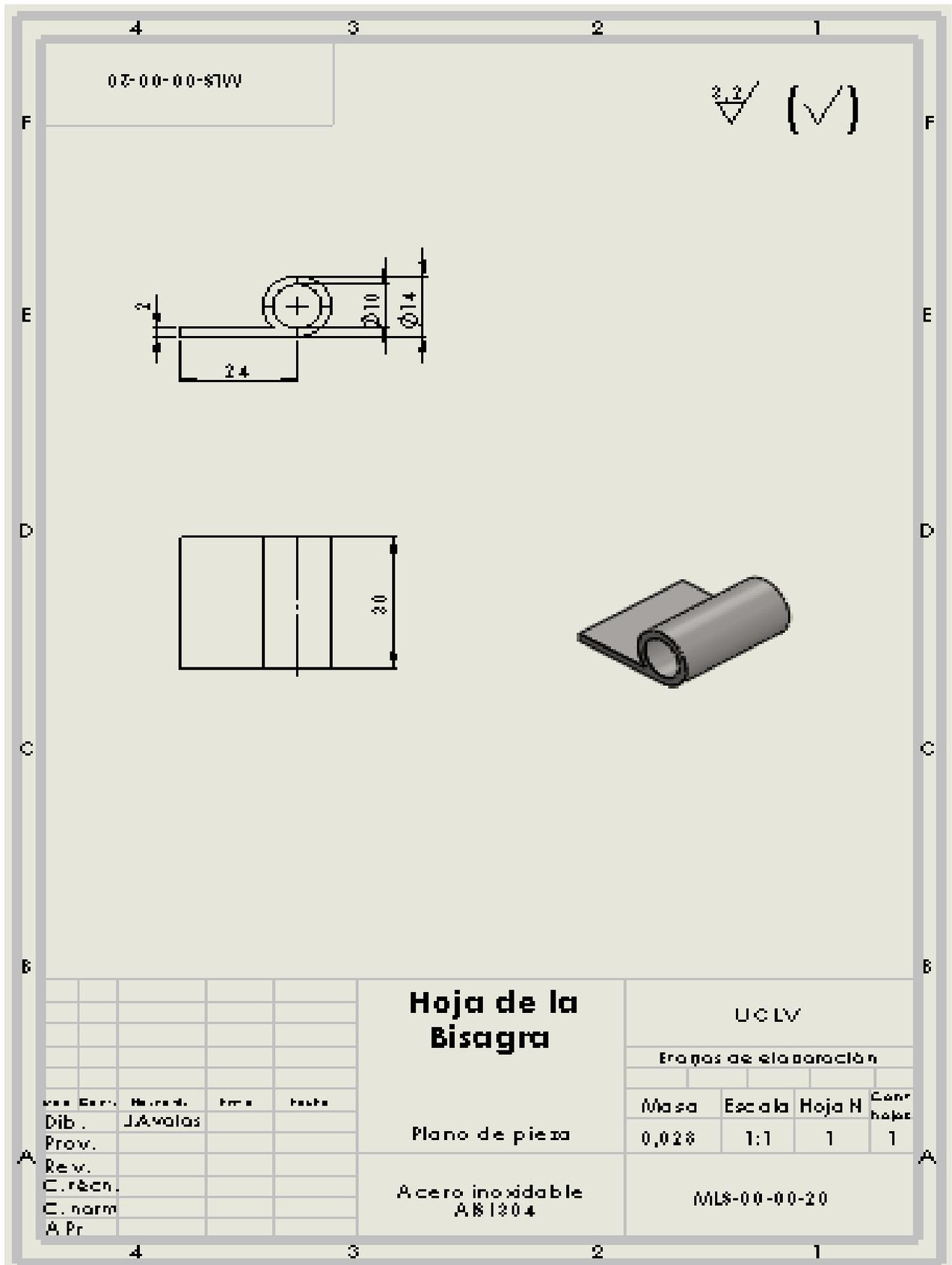
Anexo 20



Anexo 21



Anexo 22



Anexo 23

