



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**  
**Facultad Regional Concepción del Uruguay**  
**INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROYECTO FINAL DE CARRERA**  
**( P F C )**

Prototipo de ensayo en materiales sometidos al desgaste  
por el grano de arroz con cáscara

Proyecto N°: PFC 1904A

Autores: Ana Justina Maskavizan

Tutor: Ing. Julio César Cimetta

Dirección de Proyectos:  
Ing. Gustavo Puente  
Ing. Aníbal De Carli

**AÑO 2020**

## **Resumen ejecutivo**

Los granos de arroz con cáscara poseen una alta abrasividad, que daña y desgasta la maquinaria empleada para la cosecha y manipulación. Esta propiedad difiere según la variedad de arroz considerada. En la actualidad, no existe un método, protocolo de ensayo o normativa con sensibilidad suficiente para diferenciar el desgaste producto del contacto y fricción con el arroz con cáscara. En este proyecto se construyó y puso en funcionamiento un equipo prototipo diseñado para determinar los niveles de abrasividad de distintas variedades de este cultivo. Se realizaron pruebas empleando diversos materiales, formas geométricas, cantidades de granos, velocidades y tiempos de contacto. En función de los resultados obtenidos, se definieron los parámetros óptimos de ensayo para medir esta característica y se determinó el nivel de desgaste producido por las variedades Memby Porá INTA CL y Don Juan INTA. El desgaste debido al contacto con granos de arroz Memby Porá INTA CL fue mayor que el producido por los granos de arroz Don Juan INTA. Además, se propusieron modificaciones y mejoras en el diseño del equipo considerando las condiciones experimentales definidas y los inconvenientes encontrados durante la puesta en funcionamiento.

Palabras clave: abrasividad, arroz con cáscara, desgaste abrasivo, cosecha y poscosecha, equipo de medición de abrasividad.

## **Abstract**

Paddy rice grains have a high abrasiveness, which damages and wears the machinery used for harvesting and handling. This feature differs according to the variety of rice considered. Currently, there is no method, test protocol or regulation sensitive enough to distinguish wearing resulting from contact and friction with paddy rice. In this project, a prototype equipment designed to measure abrasiveness levels of different varieties of this crop was built and put into operation. Test were performed using varying materials, geometric shapes, amounts of grains, speeds and contact times. Based on the results obtained, optimal test parameters were defined for measuring this property and the level of wear produced by the varieties Memby Porá INTA CL and Don Juan INTA was determined. The wear due to the contact with Memby Porá INTA CL rice grains was higher than that produced by Don Juan INTA rice grains. Additionally, changes and improvements to the equipment designed were proposed, taking into account the experimental conditions defined and the issues found during the operationalization.

Key words: abrasiveness, paddy rice, abrasive wear, harvest and postharvest, abrasiveness measuring equipment.

## **Dedicatoria**

A toda mi familia, mis papás, mi hermana y mis abuelos.

A todas las personas que contribuyeron de una u otra manera en mi formación tanto profesional como personal.

A mi nonno, Cocó y Beethoven, las estrellas que guían mi camino.

## **Agradecimientos**

A toda mi familia, en especial mis papás y mi hermana, por la paciencia, el apoyo y la ayuda brindada durante todos mis años de estudio, además de todas las enseñanzas y buenos momentos compartidos. A Pancho y Tita por su compañía incondicional.

A la comunidad de Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, por todas las enseñanzas, las anécdotas y los buenos momentos.

A los docentes de la carrera Ingeniería Electromecánica por brindarme las herramientas y el conocimiento necesario para avanzar en mi formación.

A mi tutor de proyecto, Ing. Julio Cimetta, por su asesoramiento, confianza, buena voluntad y paciencia para la realización de este trabajo.

A los docentes de la asignatura Proyecto Final, Ing. Gustavo Puente e Ing. Aníbal De Carli, por la orientación y ayuda otorgada para concretar este proyecto.

Al Ing. Raúl Charadía por ser el tutor de la Práctica Profesional Supervisada que dio origen a este proyecto.

A la Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, por la financiación para concretar el equipo prototipo. En especial al Dr. Alberto Livore, por haberme presentado la idea generadora del estudio, su asesoramiento, predisposición y su acompañamiento a lo largo de la ejecución de este trabajo. Y la Esp. Lic. Claudia Liberman, el MSc. José Colazo y el Ing. M.Sc. Hernán Ferrari por el asesoramiento, la ayuda y las herramientas brindadas.

A todas las personas que contribuyeron de alguna manera en mi formación personal y profesional.

A todos ellos, muchas gracias.

## Índice

Resumen ejecutivo .....	1
Abstract .....	2
Dedicatoria .....	3
Agradecimientos.....	3
Índice.....	4
Capítulo 1. Introducción y situación problemática .....	5
Capítulo 2. Objetivos, alcances y plan de trabajos.....	11
Capítulo 3. Ingeniería del equipo de ensayo.....	15
Capítulo 4. Puesta en funcionamiento, ensayos y resultados .....	106
Capítulo 5. Conclusiones .....	132
Capítulo 6. Referencias .....	134
Anexo I. Normativa de aplicación.....	141
Anexo II. Sistema de codificación .....	142
Anexo III. Glosario .....	145
Anexo IV. Marco teórico.....	146

## **Capítulo 1. Introducción y situación problemática**

Capítulo 1. Introducción y situación problemática .....	5
Introducción .....	6
Estado del arte .....	8
Prototipo de ensayo.....	8
Situación problemática .....	9
Justificación y oportunidad de trabajo .....	10

## Introducción

El arroz resulta ser uno de los principales cultivos mundiales y una importante fuente de ingreso para muchos productores agropecuarios y trabajadores rurales.

En Argentina, las principales provincias productoras corresponden con el Litoral: Entre Ríos, Corrientes, Santa Fe, Chaco y Formosa, tal como se observa en el mapa mostrado en la figura 1.1, según el nivel de producción de cada departamento de las provincias antes mencionadas.

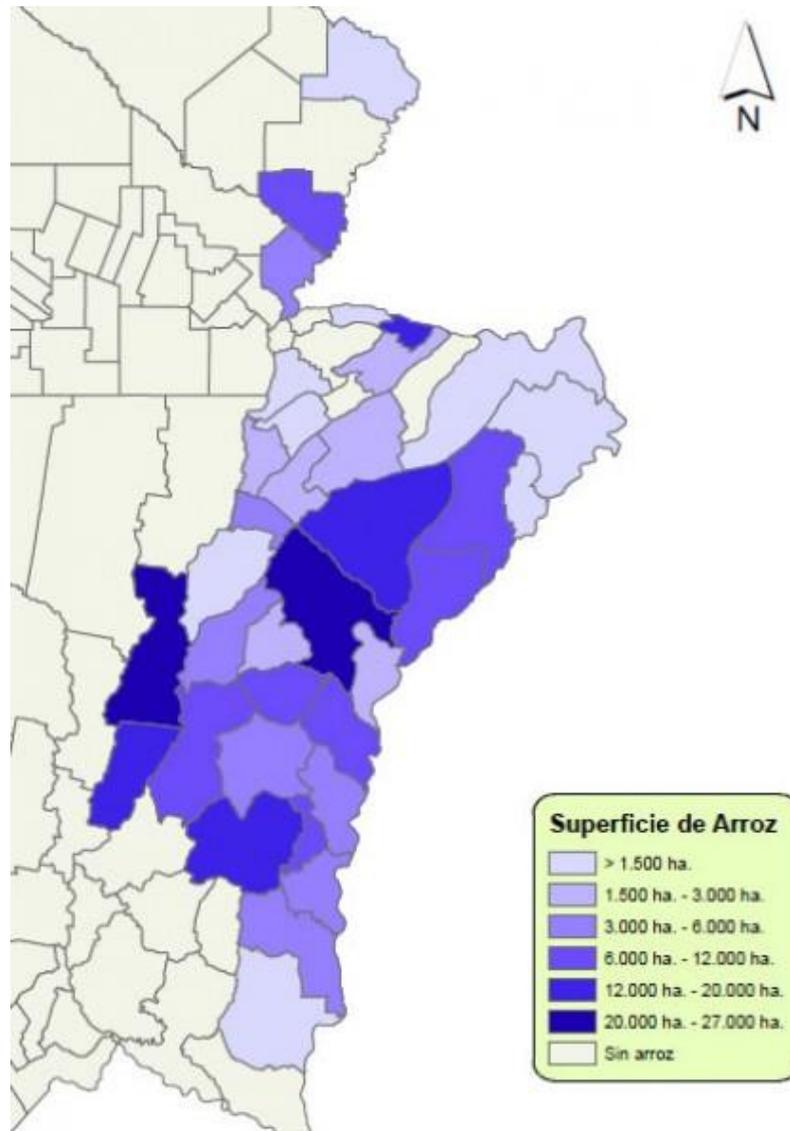


Figura 1.1. Superficie cultivada de arroz República Argentina para la campaña agrícola 2012/13 (Fuente: Bolsa de Cereales de Entre Ríos: Informe Semanal N° 539 [1]).

En particular, en Entre Ríos, las zonas de mayor cultivo de arroz corresponden al noreste y centro – este de la provincia, como puede observarse en los datos de producción de la campaña 2018/2019 mostrados en la figura 1.2. La producción total en este ciclo corresponde a 426370 toneladas según la información de la Bolsa de Cereales de Entre Ríos.

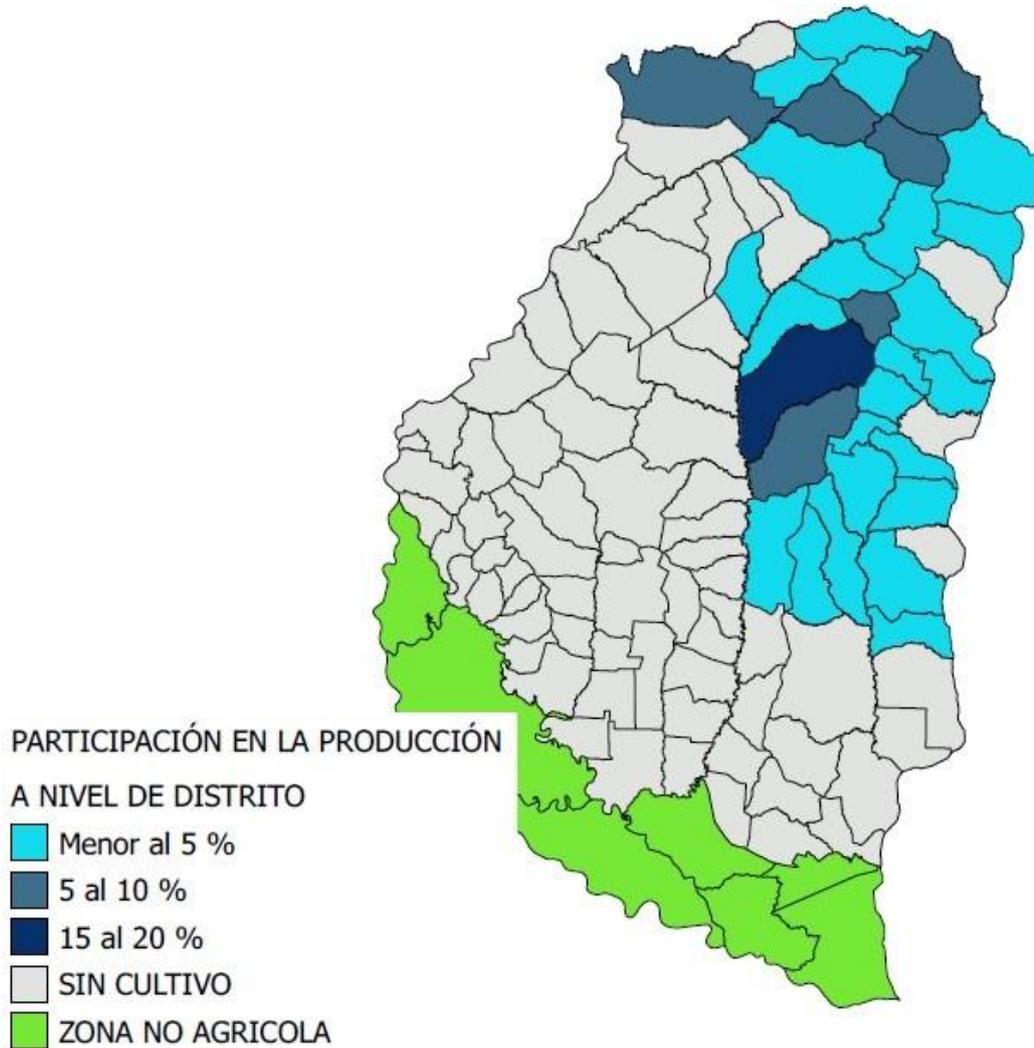


Figura 1.2. Distribución de la producción de arroz en Entre Ríos, campaña 2018/2019.

(Fuente: Bolsa de cereales de Entre Ríos [2]).

La principal dificultad a la hora de sembrar, cosechar y manipular los granos de arroz cáscara corresponde con las propiedades mecánicas y tribológicas de la cáscara de arroz, que resulta ser abrasiva y desgasta la maquinaria empleada.

Este efecto nocivo en los equipos representa un aumento en los costos de mantenimiento y afecta el rendimiento de la producción. El uso de máquinas deterioradas conlleva a un aumento en la cantidad de granos partidos y una disminución en la calidad del cereal, impactando negativamente en la retribución del productor.

Es en el marco de esta situación y en colaboración con el Instituto de Tecnología Agropecuaria (INTA) que se desarrolla el presente proyecto. El cual posee la finalidad de identificar el nivel de abrasividad correspondiente a las distintas variedades de arroz cultivadas en la zona de estudio y proponer mejoras en la maquinaria de manipulación e industrialización de este cereal para el aumento de la rentabilidad y la productividad.

## Estado del arte

A la fecha de ejecución del proyecto, se han diseñado y probado métodos para la determinación del grado de abrasividad de distintos tipos de suelos o minerales. Sin embargo, no existe un método, protocolo de ensayo o normativa con la sensibilidad suficiente como para permitir la diferenciación del desgaste producto del movimiento relativo entre un material y el arroz con cáscara.

Es en base a los métodos existentes de medición de abrasividad de material particulado, los cuales se detallan el *anexo IV: marco teórico*, que se propone el diseño del prototipo experimental.

## Prototipo de ensayo

Con motivo de la Práctica Profesional Supervisada, requisito para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico en la Universidad Tecnológica Nacional, se diseñó un equipo prototipo. Se construyó (figura 1.3) y se utilizó para realizar las pruebas cuyos resultados se detallan en *capítulo 4: puesta en funcionamiento, ensayos y resultados*. A su vez, los inconvenientes encontrados y la definición de los parámetros del ensayo propuesto para determinar la abrasividad de los granos de arroz con cáscara motivaron las modificaciones y mejoras impuestas al sistema que se especifican y describen en la Ingeniería básica y de detalles.

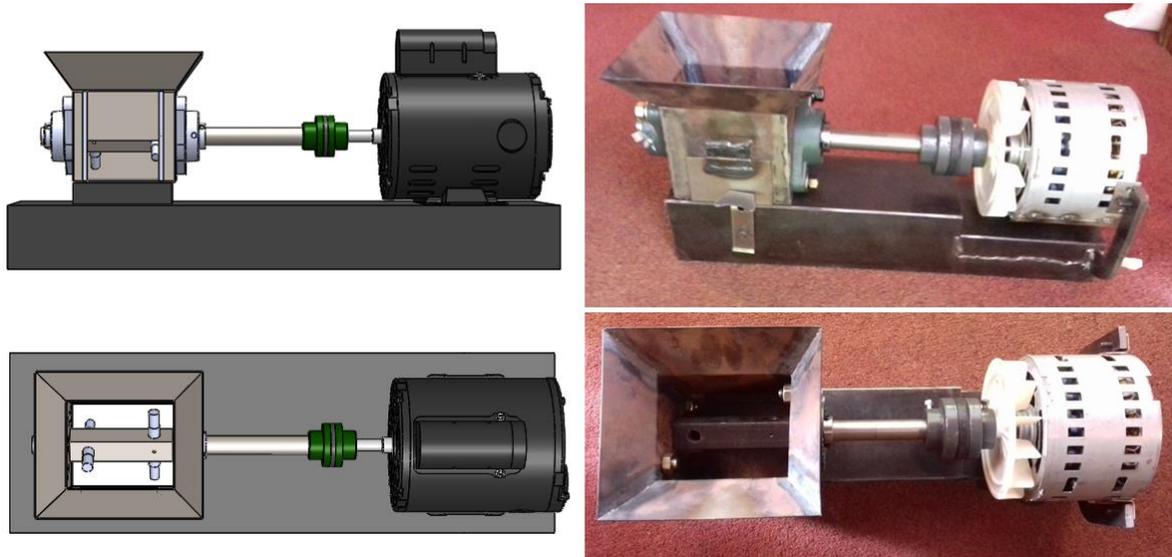


Figura 1.3. Vista 3D y fotografías del modelo diseñado con motivo de la Práctica Profesional Supervisada y construido para el desarrollo de este trabajo.

### Situación problemática

- **La abrasividad del arroz produce el desgaste de la maquinaria**, lo que obliga al contratista a realizar un mantenimiento más frecuente de la máquina frente a otro tipo de cultivos, requiriendo el reemplazo de ciertas piezas o su reparación. Impactando, en muchos casos, en elevados costos de las actividades de cosecha y poscosecha disminuyendo la rentabilidad final del cereal.
- **No existe un método normalizado para la determinación del carácter abrasivo de los granos de arroz con cáscara de diferentes variedades**, ni es posible la fundamentación de un estudio que determine la causa del mismo.
- **Se desconoce la razón por la cual existen variedades de arroz con diferentes características tribológicas**, únicamente se han planteado hipótesis al respecto.

## **Justificación y oportunidad de trabajo**

**Apoyo económico y el interés en el proyecto por parte del INTA**, se realizó una Práctica Profesional Supervisada (PPS) en la cual se definió un diseño preliminar y un presupuesto de materiales con la finalidad de, a futuro, permitir la construcción de un equipo prototipo capaz de medir el grado de abrasividad de las distintas variedades de arroz cáscara disponibles en la Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay (EEA Concepción del Uruguay) dependiente del organismo susodicho.

**Posibilidad de construir este prototipo para el establecimiento de los parámetros de un ensayo** factible de normalizar para extender su uso fuera del ámbito en el cual se desarrolló y crear una base de datos dinámica.

**La definición de un método que permita establecer los niveles de desgaste originados por el contacto con este cereal** con un grado de sensibilidad y repetibilidad suficiente como para registrar diferencias entre las variedades posee una gran aplicabilidad, no solamente a la agricultura, sino también a la ingeniería civil, la geología y la industria petrolera, entre otros.

**Posibilidad de diseñar maquinaria con mayor resistencia al desgaste**, mediante la modificación de los materiales y la geometría de las mismas, aplicando conocimientos de resistencia de materiales, mecánica y el proyecto de elementos de máquinas, disminuyendo el mantenimiento requerido, reduciendo los costos de reparación y reacondicionamiento y aumentando su vida útil.

## **Capítulo 2. Objetivos, alcances y plan de trabajos**

Capítulo 2. Objetivos, alcances y plan de trabajos.....	11
Objetivos .....	12
Objetivo general .....	12
Objetivos específicos.....	12
Alcances .....	13
Impactos .....	13
Para la ciencia y la investigación .....	13
Para el diseño, la ingeniería y la industria.....	14
Para el contratista.....	14

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

- Proponer un método de ensayo para el registro y la comparación del nivel de abrasión provocado por las distintas variedades del grano de arroz con cáscara.

### **Objetivos específicos**

#### Ingeniería

- Diseñar, presupuestar y construir un prototipo de una máquina automatizada con control de tiempos para la determinación del nivel de abrasividad del grano de arroz cáscara.
- Proponer mejoras en el diseño de la maquinaria y sus piezas componentes que se encuentren en contacto con el grano de arroz cáscara.

#### Investigación

- Redactar un procedimiento de ensayo y registro estandarizable.
- Especificar los parámetros del ensayo para la clasificación de las variedades de arroz según sus grados de abrasión.
- Determinar los niveles de abrasividad de las diversas variedades de arroz cáscara suministradas por la EEA Concepción del Uruguay, INTA.

## Alcances

El presente proyecto abarcará los siguientes ítems:

- Ingeniería de detalle del equipo diseñado, con parada automática y control de tiempos, para la determinación del desgaste producto del movimiento relativo entre el grano de arroz cáscara y una muestra de un material determinado.
- Presupuesto del diseño propuesto.
- Procedimiento de ensayo y registro estandarizable para la clasificación de las variedades de arroz cáscara disponibles en la EEA Concepción del Uruguay – INTA.
- Ingeniería básica de las soluciones planteadas en las maquinarias en contacto con este cereal para la disminución del daño y aumento de la vida útil.

No comprenderá los siguientes aspectos:

- Estudios realizados para la justificación del carácter abrasivo del grano de arroz cáscara.
- Aplicación del ensayo a otros materiales (otro tipo de granos o cereales, suelos, áridos, entre otros).

## Impactos

### Para la ciencia y la investigación:

- Conocimiento del comportamiento tribológico entre los materiales metálicos y el grano de arroz con cáscara.
- Método de ensayo y una escala de clasificación de resultados que permita la comparación entre materiales.
- Aplicabilidad del ensayo a otros materiales de importancia involucrados en otras disciplinas.

**Para el diseño, la ingeniería y la industria:**

- Formación de una base de datos cooperativa y dinámica que sirva como fuente de información para el diseño, selección de materiales, tratamientos y geometrías de los equipos e instalaciones.
- Establecimiento de un antecedente de estudio que permita obtener resultados concretos para fundamentar la modificación, producción y los diseños empleados en la fabricación de maquinaria agrícola, desarrollando tecnologías y disminuyendo los costos de mantenimiento.

**Para el contratista:**

- Mayor certeza en la determinación de los costos de mantenimiento de los equipos por reemplazo o reparación de piezas al cabo de cierto número de campañas de siembra y cosecha.
- Aumento de la calidad y la productividad del cultivo, aumentando la rentabilidad de este grano, mitigando los efectos del desgaste, disminuyendo el porcentaje de granos partidos y mejorando la retribución del productor.

## **Capítulo 3. Ingeniería del equipo de ensayo**

Capítulo 3. Ingeniería del equipo de ensayo.....	15
Capítulo 3.1. Ingeniería básica.....	16
Solución.....	16
Detalle del equipo.....	16
Secuencia de funcionamiento.....	21
Mejoras propuestas para las piezas en contacto con el grano.....	25

## Capítulo 3.1. Ingeniería básica

### Solución

Con la finalidad de implementar un ensayo normalizado que permita clasificar las diferentes variedades de arroz según el grado de abrasividad se construye el prototipo de equipo diseñado previamente [Maskavizan, A. J., 2019. Informe final de Práctica Profesional Supervisada]. Sobre este prototipo se propusieron y realizaron modificaciones con el objetivo de ajustarlo a los requerimientos del ensayo y solucionar las dificultades presentadas durante la puesta en funcionamiento y desarrollo del trabajo.

### Detalles del equipo

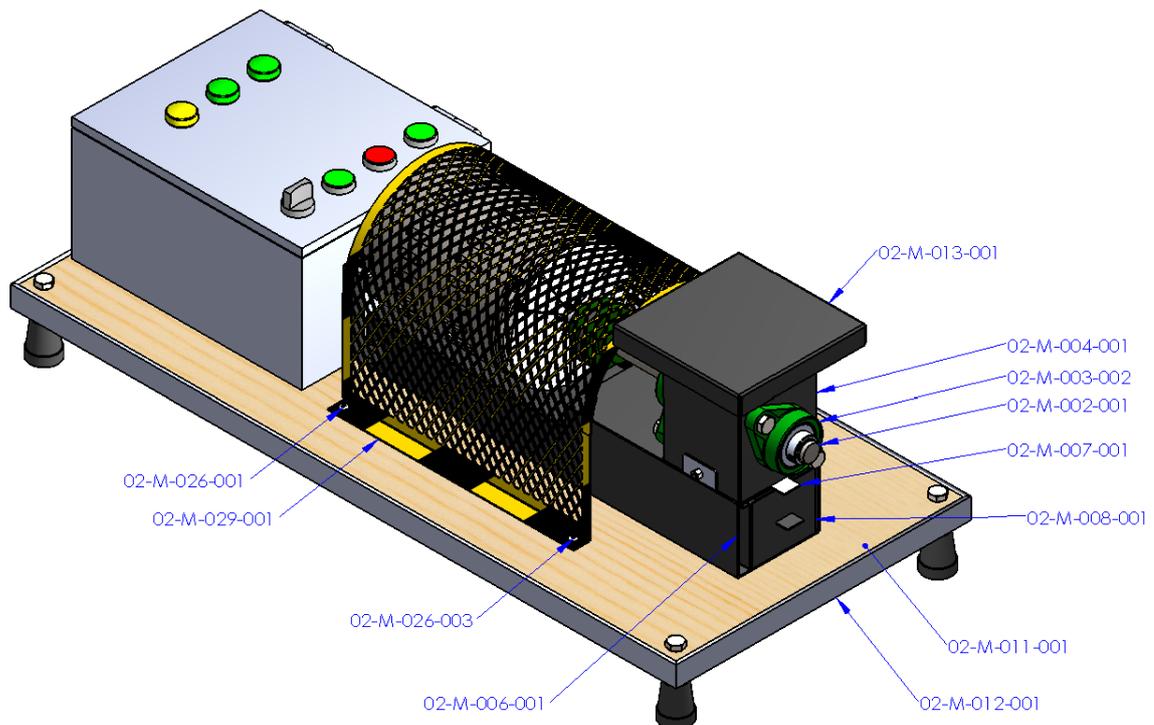


Figura 3.1.1. Vista isométrica del equipo diseñado y modificado.

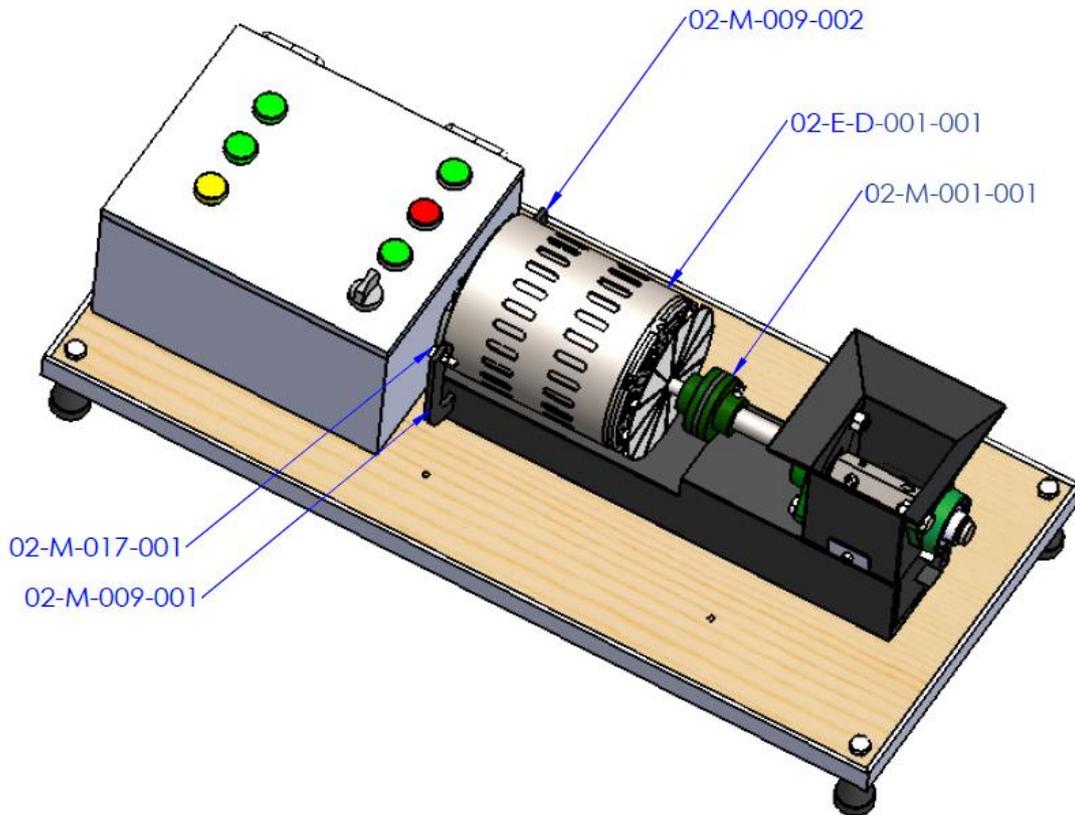


Figura 3.1.2. Vista del equipo diseñado y modificado sin cubierta ni tapa.

El equipo (figuras 3.1.1 y 3.1.2) consiste en un eje (cód. 02-M-002-001) al cual se fijan los testigos o muestras de material a desgastar (figura 3.1.3). El mismo se encuentra vinculado al eje de salida de un motor de inducción monofásico (cód. 02-E-D-001-001) a través de un acoplamiento. Este eje rota a la velocidad nominal del motor, parte del mismo atraviesa un recipiente (cód. 02-M-004-001) en el cual se coloca una cantidad conocida de arroz con cáscara (figura 3.1.4). Al rotar, las muestras se desgastan, siendo posible medir la masa perdida a través de la diferencia entre el peso registrado antes y después del ensayo.

El eje se encuentra sostenido por dos rodamientos (cód. 02-M-003-001 y 02-M-003-002) a ambos lados del recipiente. Una cubierta protectora realizada en metal desplegado evita el contacto del operario con las partes en movimiento del equipo (cód. 02-M-029-001).

El motor es accionado por un pulsador y se encuentra protegido contra sobrecargas y cortocircuitos mediante un guardamotor. A su vez, requiere de un condensador para el arranque del mismo. Con el objetivo de mejorar los resultados del ensayo, se propone una

inversión de giro temporizada mediante relés. Estos elementos se ubican en una caja estanca fijada en la parte posterior del motor sobre la base del equipo.

La carga del arroz con cáscara es realizada por la parte superior del recipiente, mientras que el mismo consta de una cara inferior removible (cód. 02-M-007-001) que permite la descarga del grano a un contenedor que se ubica en la parte inferior (cód. 02-M-008-001), el cual puede ser extraído para la rápida remoción del arroz ya ensayado (figura 3.1.5).

El sistema completo se fija a una base realizada con caños estructurales (cód. 02-M-006-001), la cual facilita la alineación del motor, el eje y los rodamientos. A su vez, esta se asegura mediante tornillos a una placa de madera con un armazón de perfil angular de acero (cód. 02-M-011-001 y 02-M-012-001) que le brinda un mayor momento de inercia y evita vibraciones que pudiesen resultar peligrosas. Esta estructura posee apoyos regulables en altura que permiten la nivelación del equipo sobre la superficie que se coloque (figura 3.1.6).

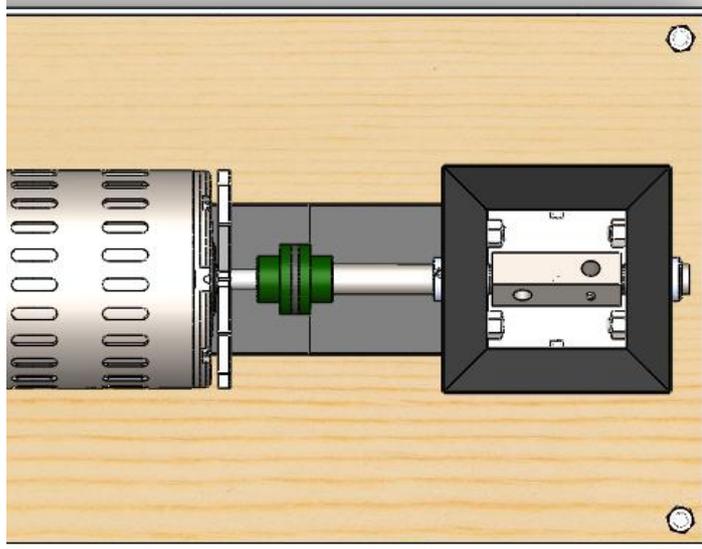


Figura 3.1.3. Detalle del eje, vista superior del equipo.

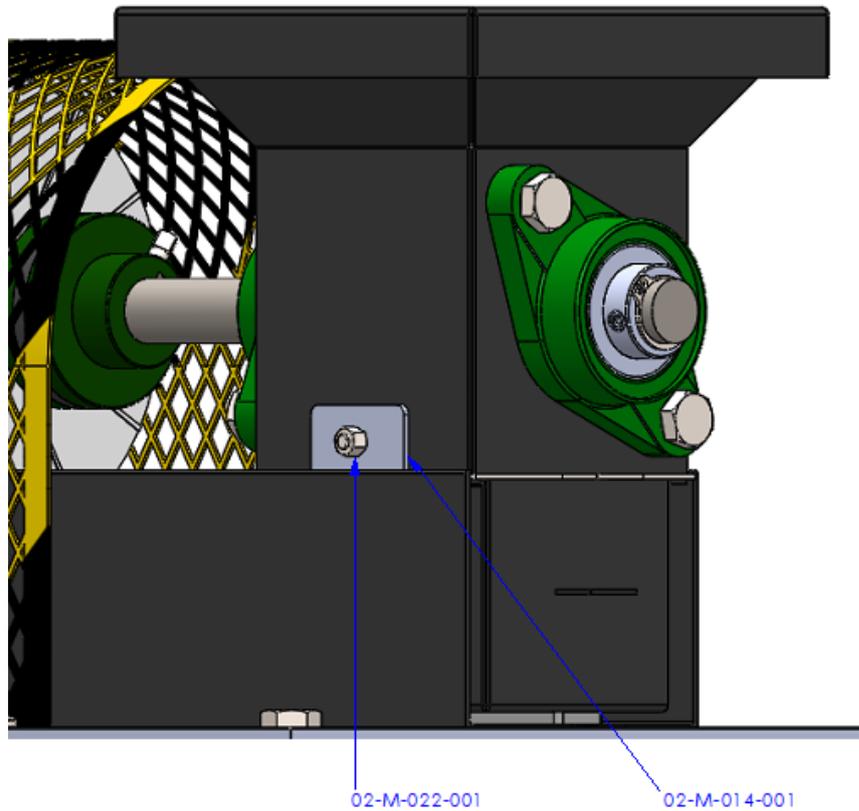


Figura 3.1.4. Detalle del recipiente que contiene el arroz durante el ensayo.

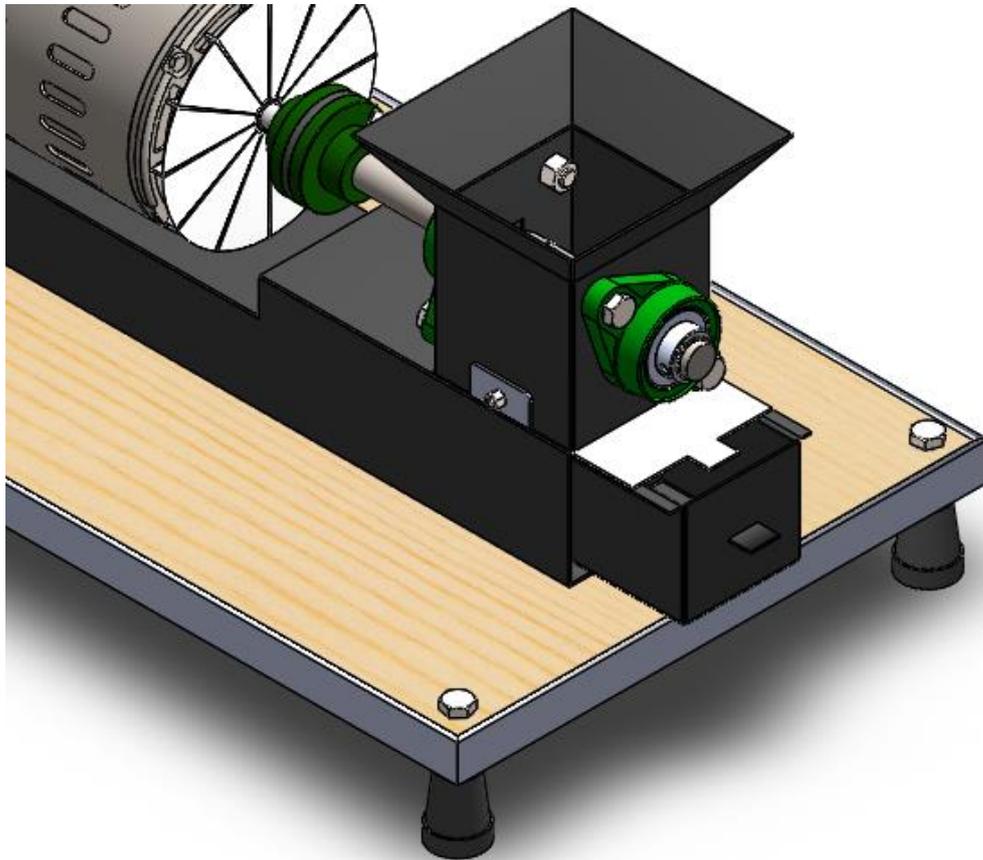


Figura 3.1.5. Detalle de la cara inferior removible y el contenedor para la descarga del arroz.

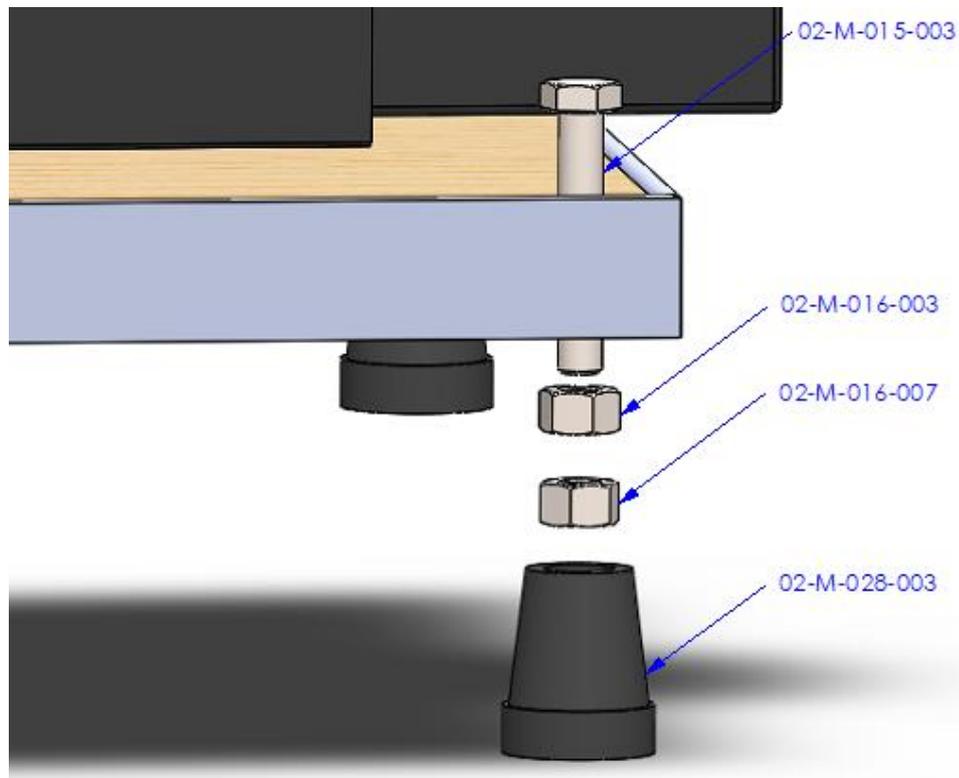


Figura 3.1.6. Vista explosionada de los apoyos regulables en altura.

### Secuencia de funcionamiento

Para la realización de los ensayos se deben respetar los pasos que se listan a continuación. Debido a que este equipo se diseña con el objetivo de realizar una prueba de laboratorio se considera la utilización de una balanza de precisión y una probeta para la carga de arroz con cáscara.

Paso 1. Preparar los testigos o muestras de material a desgastar. Los mismos deben ser adecuados al tamaño del recipiente y rotulados para su identificación.

Paso 2. Pesar los testigos. Previo al ensayo se deberán pesar las muestras a desgastar mediante una balanza de precisión con el objetivo de conocer la masa inicial de los mismos y establecer la diferencia de peso una vez finalizado el ensayo.

Paso 3. Ajustar los testigos al eje. Los testigos se colocan en las aberturas del eje en la fracción de sección cuadrada realizadas para tal fin, se debe procurar que

los mismos posean un área expuesta de igual magnitud a ambos lados del eje (figura 3.1.7). El ajuste se realiza mediante tornillos que presionan un aro de plástico flexible.

Paso 4. Enrasar una determinada cantidad de arroz cáscara de la variedad a estudiar en una probeta. Esto permite utilizar un volumen de grano conocido que se estandariza para todos los ensayos. El arroz se coloca en el recipiente para comenzar el ensayo.

Paso 5. Conectar la alimentación del motor. Para dar inicio al ensayo se deberá conectar el motor a la corriente y accionar el pulsador. Pasada la mitad del tiempo establecido para el ensayo se conmutará automáticamente el sentido de giro del mismo. Una vez transcurrido el tiempo total, el sistema se conmuta a la posición abierta. Se debe procurar desconectar el motor de la corriente antes de manipular el equipo.

Paso 6. Extraer los testigos y la muestra de arroz ya ensayada de la máquina. Para ello se remueve la cara inferior del recipiente y se extrae el contenedor situado en el interior de la estructura de soporte. Se desajustan los tornillos para la extracción de los testigos ya ensayados.

Paso 7. Pesar nuevamente los testigos, preferentemente, en la misma balanza que la utilizada inicialmente y en igualdad de condiciones, y determinar la masa perdida mediante la diferencia de peso antes y después del ensayo como una medida de la abrasividad de la variedad de arroz estudiada.

Con los datos obtenidos a partir de las sucesivas mediciones es posible generar una base de datos para las diferentes variedades de arroz. Esto permite fundamentar futuros trabajos de investigación con el objetivo de identificar las razones por las cuales existen variedades más abrasivas que otras.

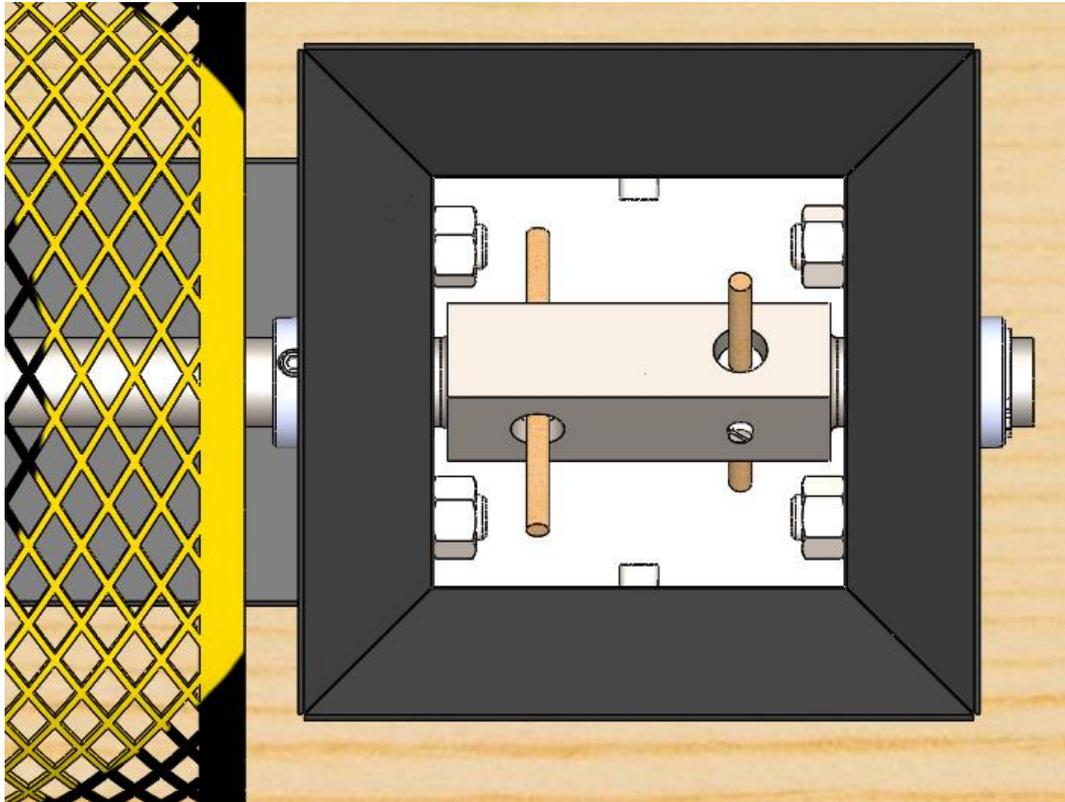


Figura 3.1.7. Detalle de la ubicación de los testigos en el eje.

El diagrama de bloques de la figura 3.1.8 resume los pasos a seguir para realizar el ensayo.

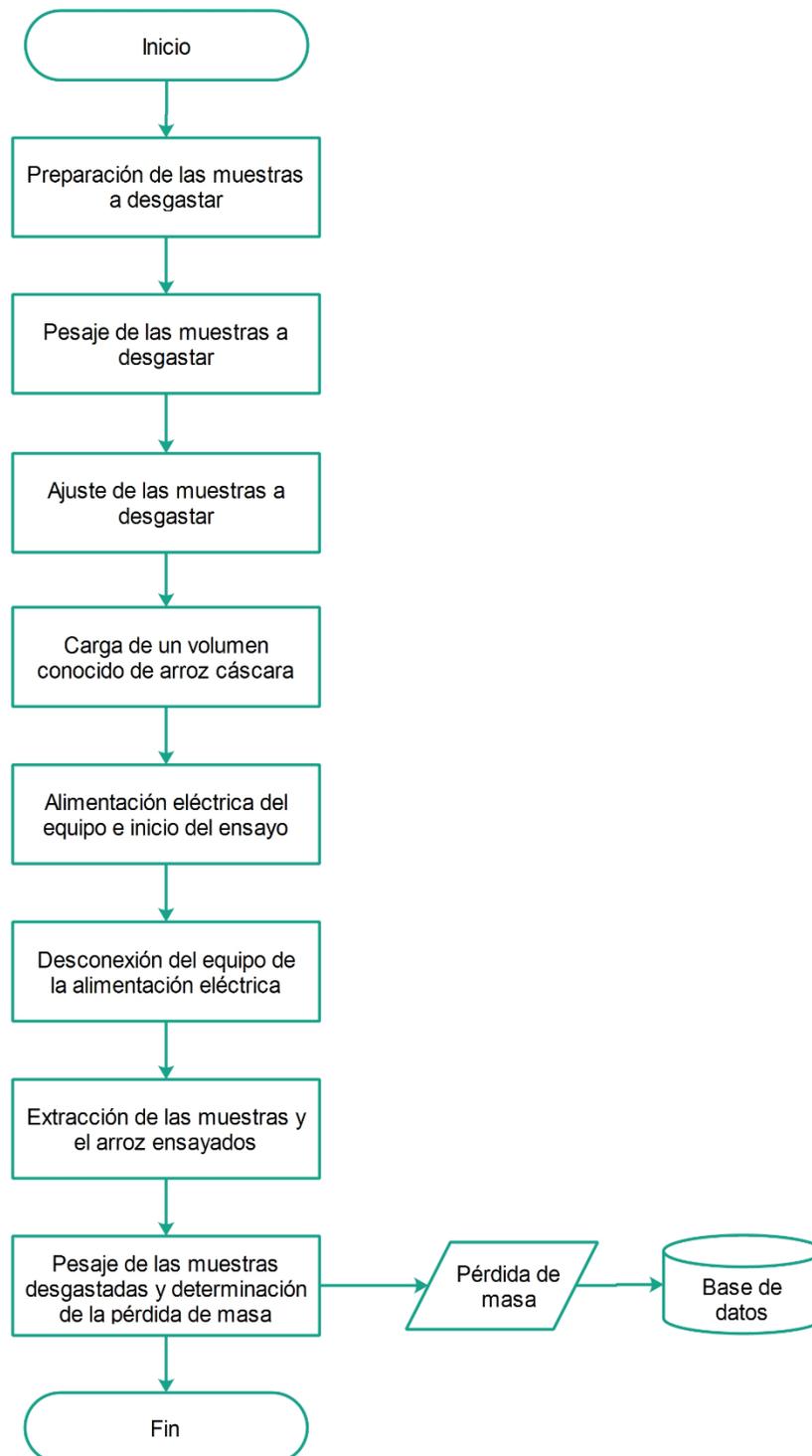


Figura 3.1.8. Diagrama de bloques del ensayo.

### Mejoras propuestas para las piezas en contacto con el grano

Para las piezas de acero en contacto con el grano de arroz con cáscara durante los procesos de cosecha y poscosecha se propone la cementación. Este tratamiento térmico modifica la composición superficial de los aceros de bajo porcentaje de carbono mediante el aumento del contenido de este elemento en la superficie. Es un procedimiento de bajo costo, que permite obtener piezas con superficies duras y resistentes al desgaste con un núcleo central tenaz que soporta golpes y vibraciones. Asimismo, es aplicable a piezas de geometrías complejas, ya que no produce grandes deformaciones. Esto es útil en el caso de ciertas piezas de las máquinas cosechadoras como las cuchillas y puntones de la barra de corte y los cabezales de trilla. También es aplicable a las piezas de los mecanismos de transporte como las hélices de las roscas transportadoras.

Las piezas de acero de gran complejidad y alta exigencia pueden someterse a una carbonitruración. Este tratamiento térmico favorece el endurecimiento superficial por la presencia de nitrógeno, lo cual mejora la homogeneidad de la capa superficial del material y aumenta la templabilidad. Esto representa una ventaja ya que las deformaciones de las piezas son menores, y, en algunos casos, es posible evitar las operaciones de rectificación posteriores.

En el caso de los ductos para el transporte del grano mediante roscas transportadoras, transportadores a cadena y tubos a la salida de los distribuidores, se propone la colocación de recubrimientos de caucho o poliméricos. Este tipo de materiales posee menor rugosidad superficial que el acero empleado para la construcción de los ductos y bajo costo, con lo cual es fácilmente reemplazable al deteriorarse y se evita una posible rotura y pérdida del material. Esta misma solución es aplicable a los pantalones y, en particular, al cabezal de los elevadores a cangilones.

Se sugiere la utilización de cangilones de acero con bordes reforzados, ya que poseen más material y son recomendados para materiales abrasivos. También es posible colocar cangilones de acero inoxidable AISI 304, sin embargo, estos poseen un costo mayor, por lo que deberá realizarse un estudio de inversión al considerar dicha opción.

## Capítulo 3.2. Ingeniería de detalles

Capítulo 3.2. Ingeniería de detalles .....	26
Referencias .....	27
Ingeniería de detalles mecánica .....	30
Acoplamiento .....	30
Eje de sujeción de los testigos .....	32
Rodamientos .....	34
Sellos de rodamientos .....	35
Recipiente contenedor del arroz durante el ensayo .....	36
Base del motor y el recipiente .....	39
Contenedor para la descarga de arroz .....	41
Soporte del equipo .....	43
Cubierta de seguridad .....	45
Bulones, tuercas y otros accesorios .....	46
Ingeniería de detalles eléctrica .....	47
Motor .....	47
Circuito eléctrico .....	48
Componentes del circuito eléctrico .....	50
Análisis de costos .....	57
Costo de materiales .....	57

## Referencias

Las figuras 3.2.1.a y b muestran las diferentes partes que componen el equipo y sus códigos de referencia. En la figura 3.2.2 se detallan los componentes del tablero eléctrico.

a

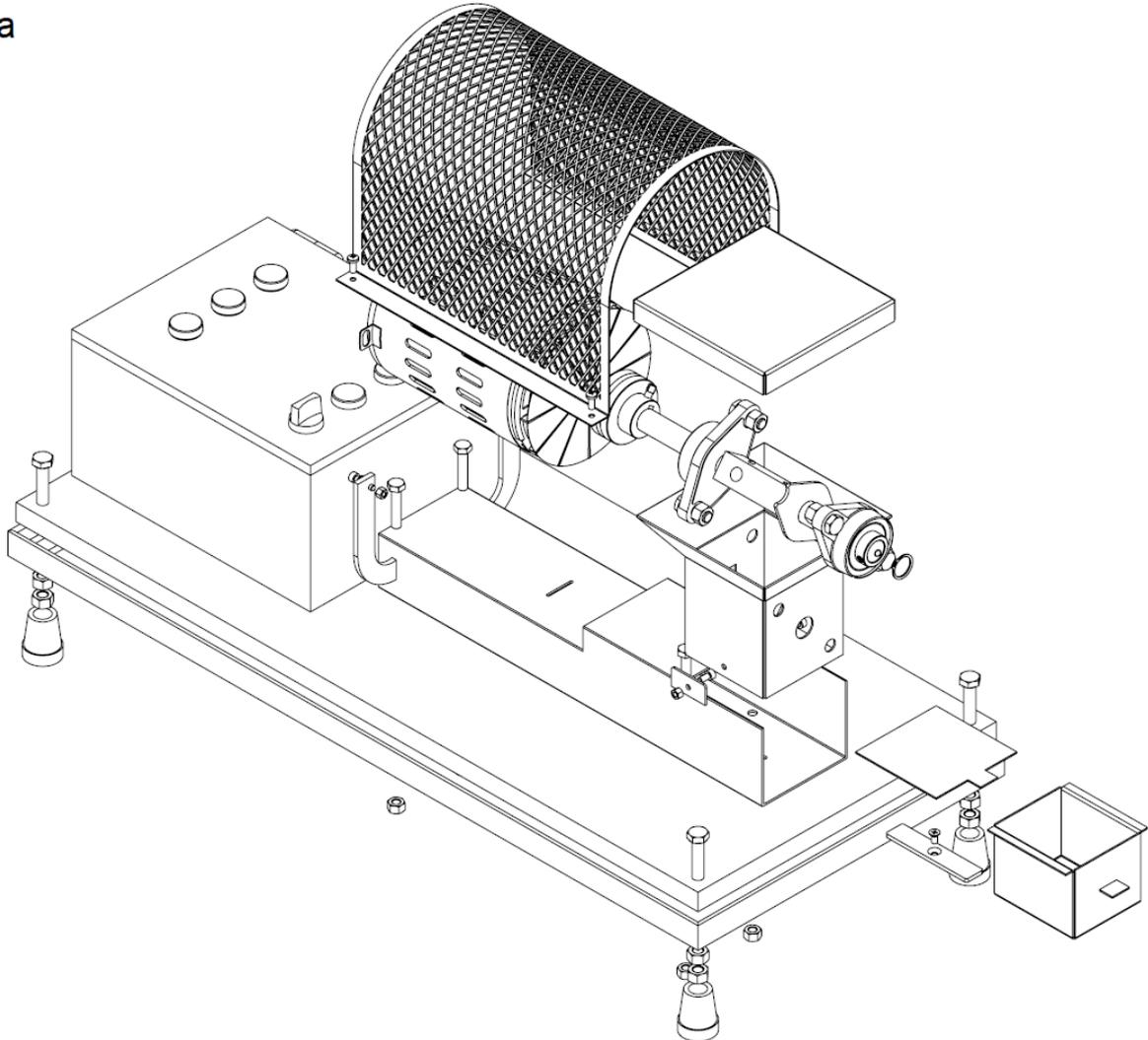


Figura 3.2.1.a. Despiece del equipo.

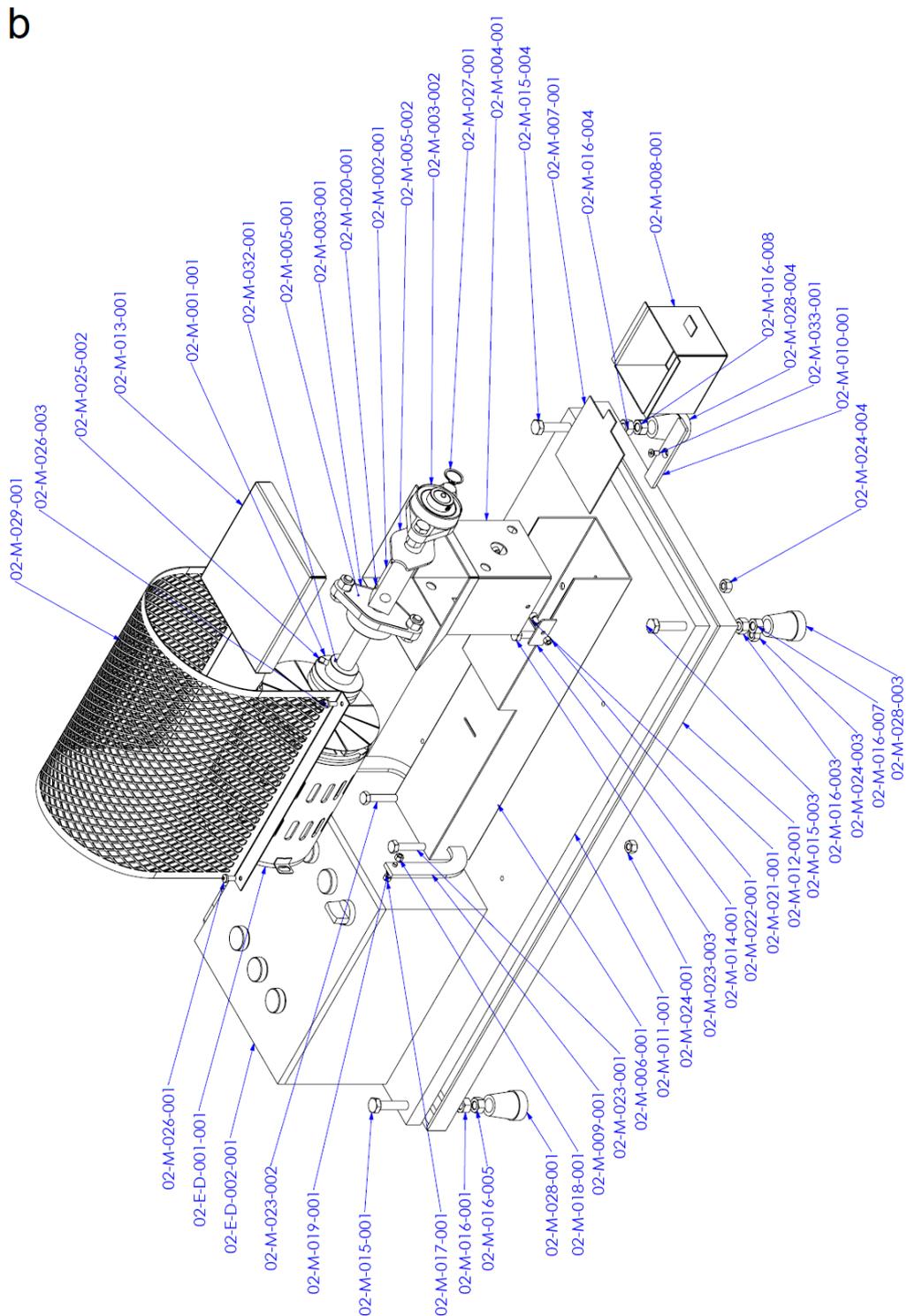


Figura 3.2.1.b. Despiece del equipo con referencias a códigos.

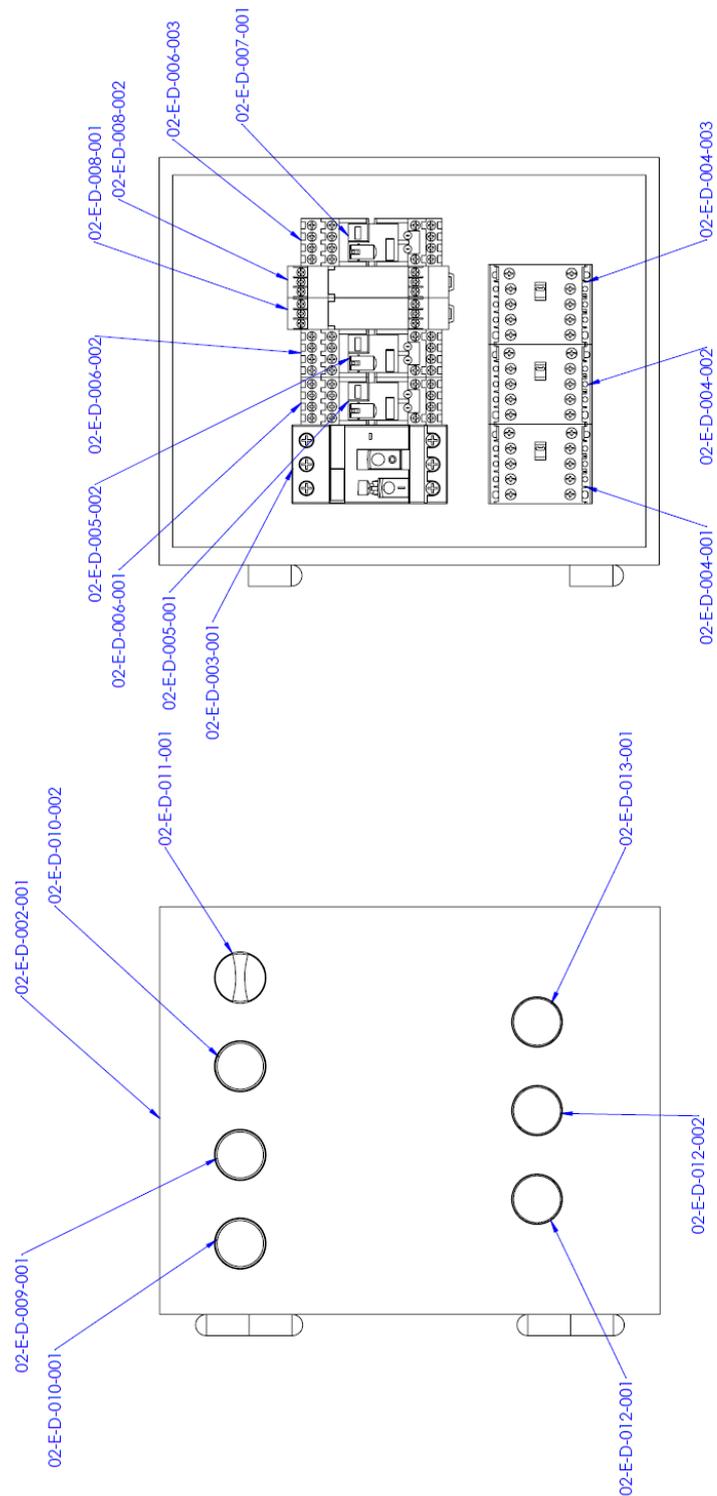


Figura 3.2.2. Detalle del tablero eléctrico.

## Ingeniería de detalles mecánica

### Acoplamiento

Códigos de referencia: 02-M-001-001, 02-M-031-001, 02-M-032-001, 02-M-025-001, 02-M-025-002.

Planos de referencia: D-F-001, D-M-001, D-M-004.

Se emplea un acoplamiento flexible para la transmisión del momento torsor producido por el motor, al eje de sujeción de los testigos a ensayar.

Se selecciona un acoplamiento a disco de goma y tela serie D (figuras 3.2.3 y 3.2.4), modelo D-60-00, que admite un diámetro máximo de eje de 20 mm, y transmite una potencia de 0,75 HP a 1500 rpm, la cual es mayor que la potencia nominal del motor: 0,25 HP.



Figura 3.2.3. Acoplamiento flexible a disco de goma y tela. (Fuente: Angel Larreina S.A. [4])

Sus dimensiones corresponden a: diámetro total de 60 mm, largo total de 60 mm, diámetro de la masa de 35 mm y su fijación es mediante 4 pernos de 8 mm de diámetro.

El mismo se fija a los dos ejes mediante chaveteros normalizados cuyas dimensiones son:

Para el eje de salida del motor, cuyo diámetro es de 11 mm, la sección de la chaveta corresponde a un cuadrado de 4 mm x 4 mm de lado. La profundidad de la ranura en el eje es 2,5 mm y la longitud corresponde al largo de la masa del acoplamiento, la cual es 23 mm.

Para el eje de fijación de los testigos, cuyo diámetro es de 20 mm, la sección de la chaveta es de 6 mm x 6 mm, la profundidad de la ranura en el eje es de 3,5 mm y la longitud es de 23 mm, correspondiente a la longitud de la masa del acoplamiento.

Los chaveteros del acoplamiento se fijan en posición mediante tornillos prisioneros de cabeza cuadrada según norma DIN 479, de diámetro nominal M6 y longitud 20 mm (figura 3.2.4).

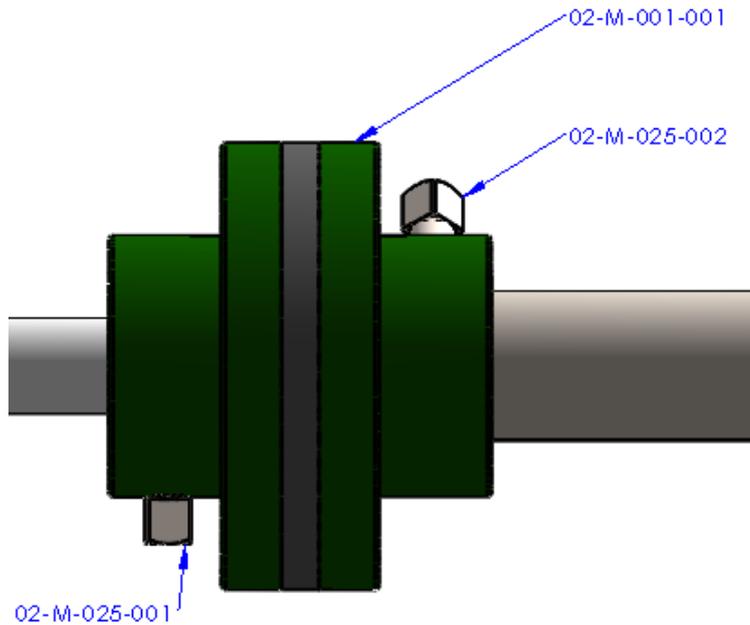


Figura 3.2.4. Detalle del acoplamiento.

### Eje de sujeción de los testigos

Códigos de referencia: 02-M-002-001, 02-M-020-001, 02-M-020-002, 02-M-030-001, 02-M-030-002, 02-M-027-001.

Planos de referencia: D-F-002, D-M-001, D-M-004

El eje de fijación se fabrica a partir de una barra de acero SAE 1010 de sección cuadrada, una pulgada de lado [12].

El mismo tiene una longitud total de 250 mm. Se mecaniza una sección circular de 20 mm de diámetro en 120 mm de longitud en el extremo de unión al acoplamiento y 45 mm en el extremo opuesto.

Se realizan dos orificios pasantes de 12 mm de diámetro con una distancia entre centros de 45 mm, ubicados en caras perpendiculares, equidistantes del borde mecanizado de la fracción del eje de sección cuadrada, con dos orificios roscados para la colocación de tornillos M3 (figura 3.2.5).

Para el ajuste de los testigos al eje correspondiente se emplean dos tornillos de cabeza cilíndrica con hexágono interior (tipo Allen), según norma DIN 912, de diámetro nominal M3 y longitud 10 mm, grado 8.8 (figura 3.2.5).

Se coloca un anillo de retención para ejes normalizado según DIN 471, diámetro nominal 20A. Este anillo se instala en una ranura mecanizada en el eje de fijación de los testigos (figura 3.2.12).

La tolerancia del eje debe ser clase h6.

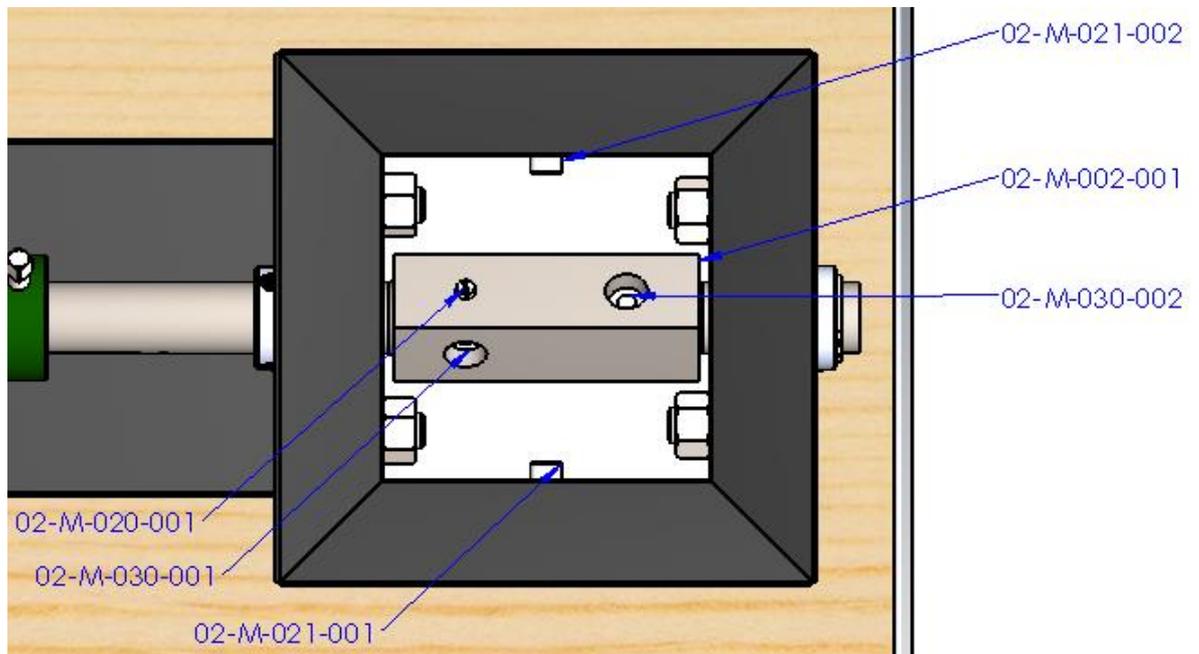


Figura 3.2.5. Detalle del eje de sujeción de los testigos.

Rodamientos

Códigos de referencia: 02-M-003-001 y 02-M-003-002.

Planos de referencias: D-M-001, D-M-004.

Se propone la colocación de dos rodamientos con soporte ovalado, cuya pista interna posee un diámetro de 20 mm. Los mismos corresponden al modelo UCFL 204 y cumplen con la norma ISO 9628 (figura 3.2.6 y 3.2.12).

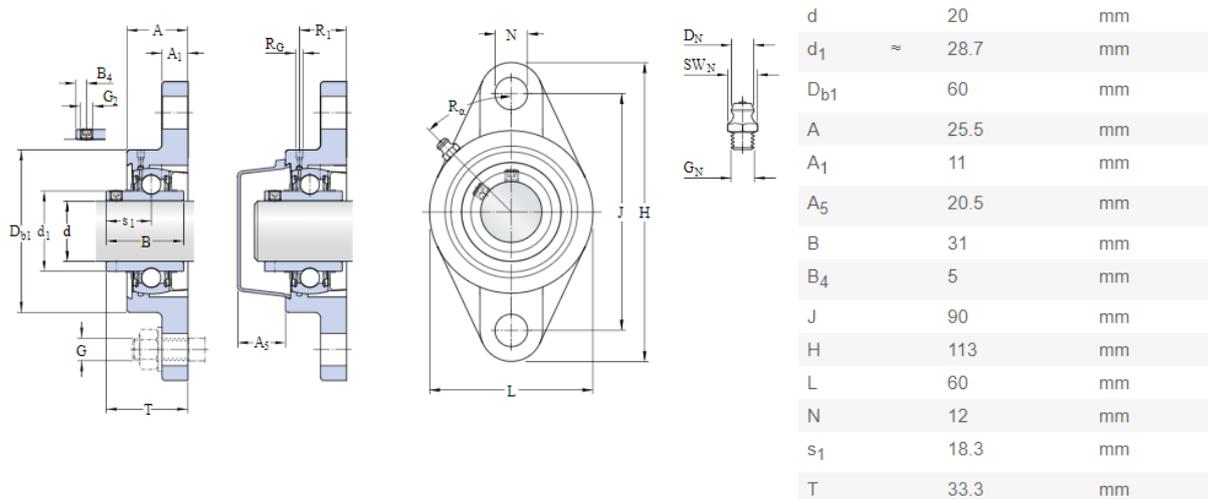


Figura 3.2.6. Rodamientos UCFL 204, dimensiones principales. (Fuente: SKF [5])

Estos soportes emplean rodamientos tipo Y, los mismos corresponden a rodamientos rígidos de bolas sellados con una superficie exterior esférica y un aro interior extendido. La tolerancia del aro interior del rodamiento corresponde a una desviación del diámetro medio del agujero con respecto al nominal superior de 18 µm e inferior de 5 µm. El juego radial interno para los rodamientos es de 12 µm como mínimo y 28 µm como máximo. El modelo de rodamiento corresponde al YAR 204-2F.

La lubricación se realiza mediante grasa estándar VT307.

Los rodamientos se fijan al recipiente contenedor del arroz durante el ensayo mediante dos bulones normalizados M8.

En este caso se realiza la fijación del rodamiento al eje mediante prisioneros (figura 3.2.7).

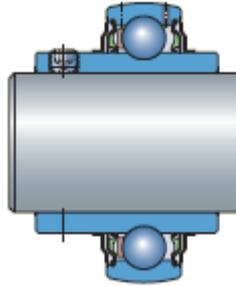


Figura 3.2.7. Rodamientos tipo Y con fijación mediante prisioneros. (Fuente: SKF [5])

### Sellos de rodamientos

Códigos de referencia: 02-M-005-001 y 02-M-005-002.

Se plantillan dos sellos de papel Adamite de 1,6 mm de espesor [8] y del tamaño del interior de los rodamientos con el objetivo de evitar el depósito de arroz y polvillo en las cavidades de los mismos (figura 3.2.8).

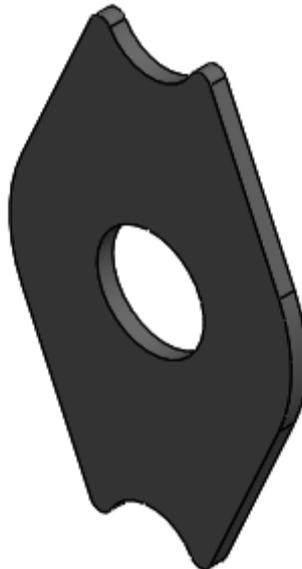


Figura 3.2.8. Sellos de rodamientos.

Recipiente contenedor del arroz durante el ensayo

Códigos de referencia: 02-M-004-001, 02-M-007-001, 02-M-013-001, 02-M-021-001, 02-M-021-002, 02-M-022-001, 02-M-022-002.

Planos de referencia: D-F-003, D-F-005, D-F-010, D-M-001, D-M-004.

El recipiente contenedor de arroz posee forma de tolva, con fondo removible para la extracción del arroz una vez ensayado. El mismo se fabrica de chapa de acero al carbono calibre 14 [14] y se pinta con pintura antioxidante. El recipiente debe poseer dos orificios para permitir la colocación del eje de sujeción de los testigos y los orificios correspondientes para la fijación de los rodamientos (figura 3.2.9).

Para fijar el recipiente a la base, se utilizan dos tornillos según normativa DIN 912: tornillos de cabeza cilíndrica con hexágono interior, de diámetro nominal M5 y longitud 10 mm, grado 8.8, ajustados mediante tuercas hexagonales DIN 934, de diámetro M5 y grado 6 (figura 3.2.12).

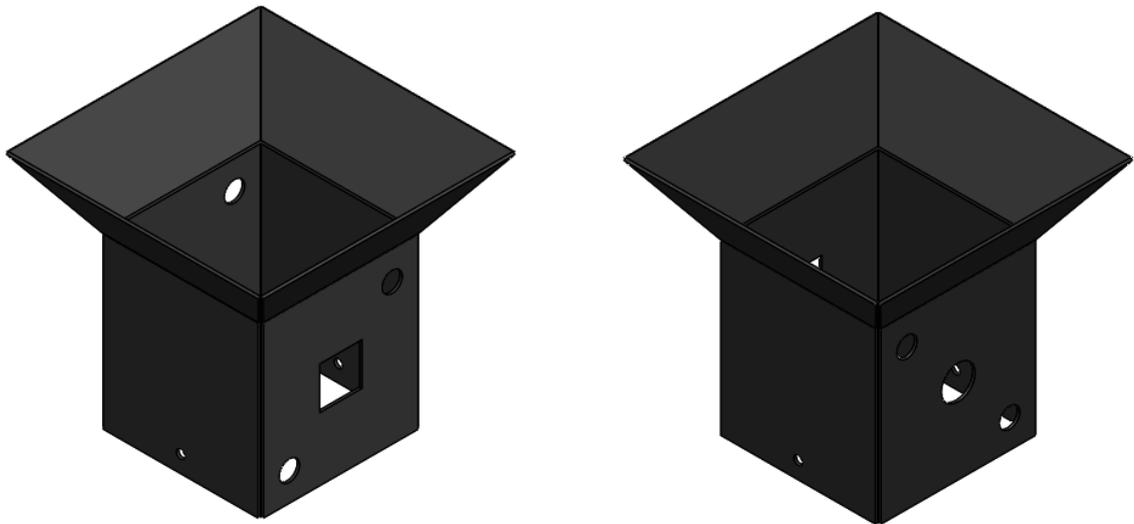


Figura 3.2.9. Recipiente para contener el arroz durante el ensayo.

La base del recipiente es removible para la descarga del arroz. Esta se fabrica con la misma chapa de acero al carbono que el recipiente y posee una pestaña soldada para sujetarla al quitarla del equipo.

La forma geométrica del recipiente corresponde a un prisma de base cuadrada de 90 mm de lado y 100 mm de altura. A su vez, los lados poseen 50 mm adicionales para lograr el plegado de la chapa en forma de tolva, con una inclinación de 55°.

El recipiente consta de una tapa de chapa de acero calibre 14, siendo su cara mayor cuadrada de 152 mm de lado, con pestañas adicionales de 20 mm (figura 3.2.10 y 3.2.11).

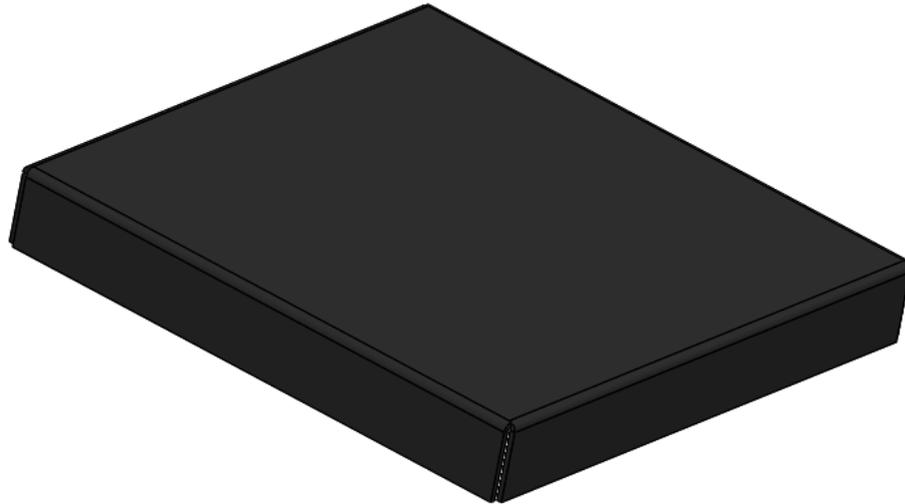


Figura 3.2.10. Tapa del recipiente.

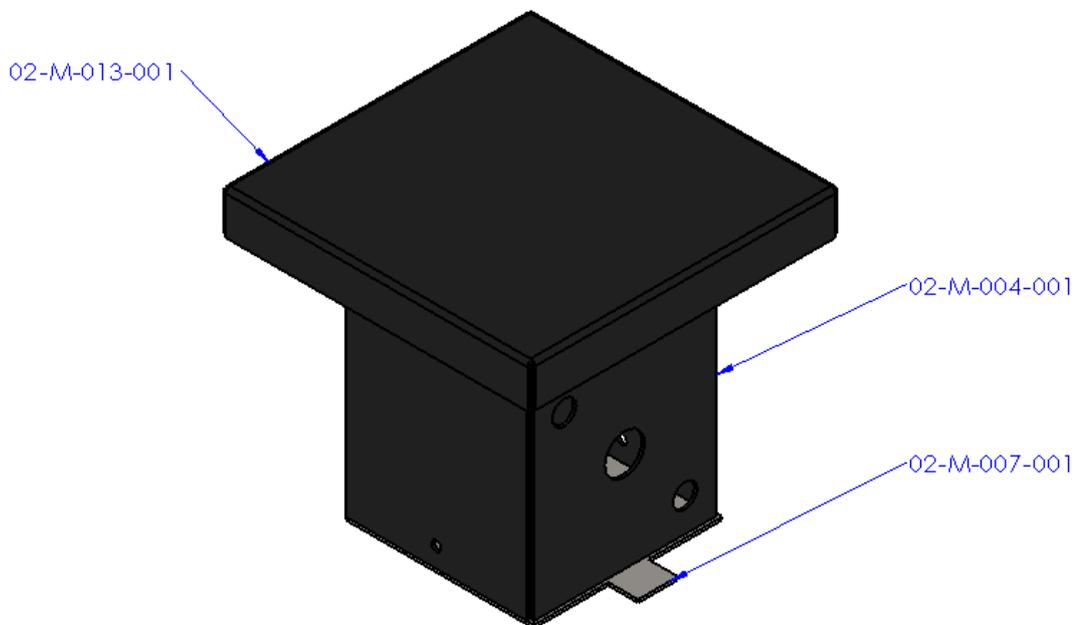


Figura 3.2.11. Recipiente con base y tapa.

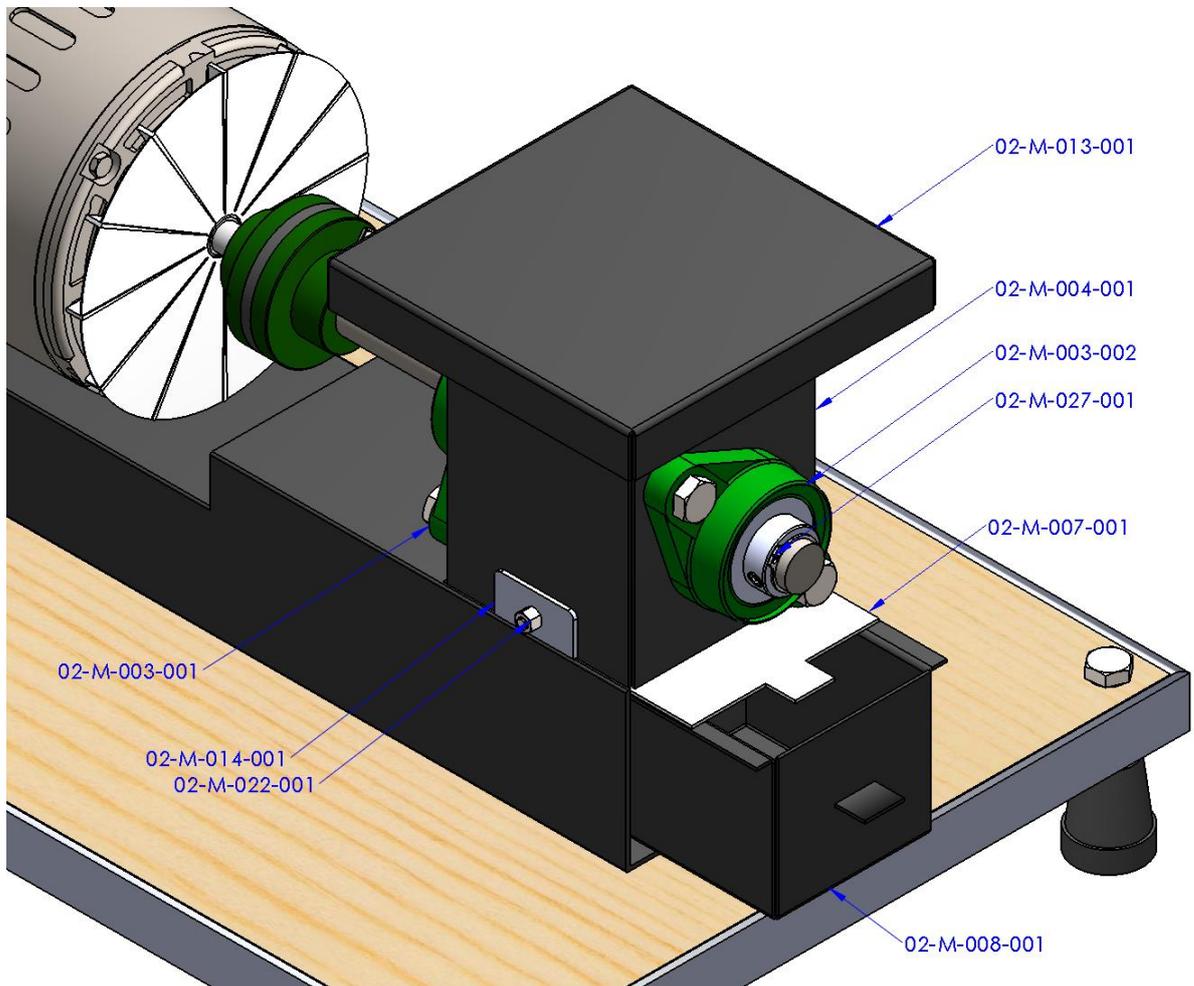


Figura 3.2.12. Detalle del recipiente, la base removible y las partes asociadas al mismo.

### Base del motor y el recipiente

Códigos de referencia: 02-M-006-001, 02-M-014-001, 02-M-014-002, 02-M-009-001, 02-M-009-002, 02-M-023-001, 02-M-023-002, 02-M-023-003, 02-M-023-004, 02-M-024-001, 02-M-024-002, 02-M-024-003, 02-M-024-004.

Planos de referencia: D-F-004, D-F-006, D-F-003, D-M-001, D-M-002, D-M-004.

La base para la fijación del motor y el recipiente se fabrica a partir de un tubo estructural de acero al carbono de dimensiones 100 x 100 x 2 mm [14] siendo su longitud total de 450 mm. Al mismo se sueldan las placas para la unión del motor y del recipiente mediante tornillos. Estas corresponden a dos placas de chapa de acero al carbono calibre 14 de forma rectangular, siendo sus lados de 40 mm y 20 mm (figura 3.2.12 y 3.2.13). Se utiliza una planchuela de hierro de sección 1 x 3/16 pulgadas plegada en forma de U y dividida en dos partes iguales para fijar el motor a la base. Las mismas son soldadas a ambos lados del tubo estructural (figura 3.2.13) y poseen dos orificios de 5 mm para la colocación de los tornillos de fijación del motor. Esta base es cubierta con pintura antioxidante.

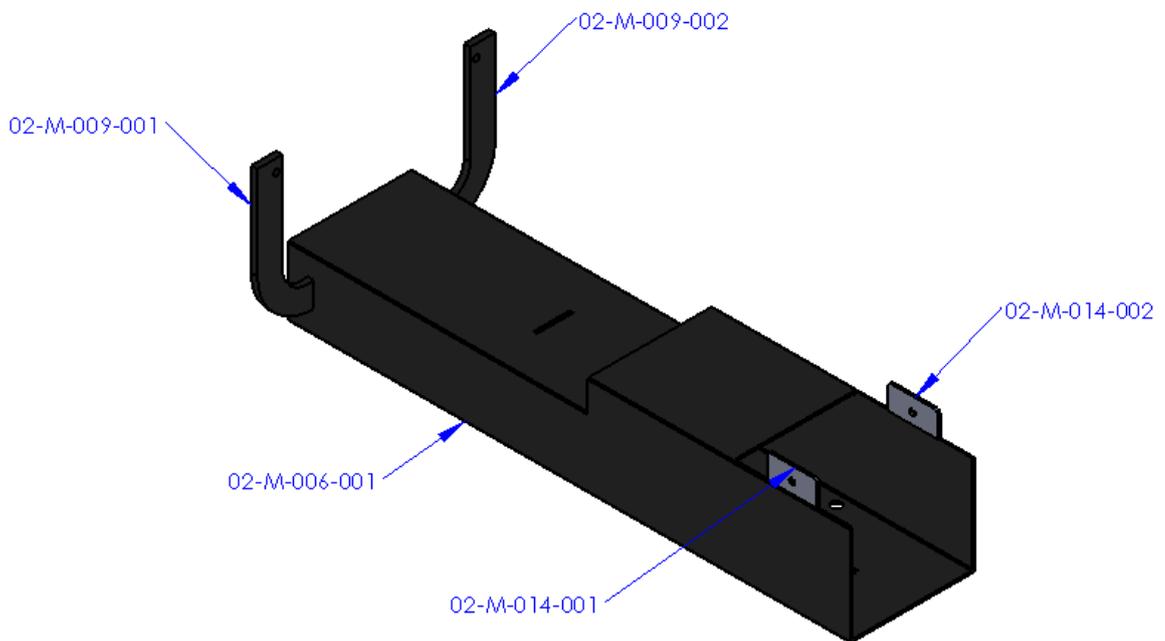


Figura 3.2.13. Base para la fijación del motor y el recipiente.

La base de tubo estructural se fija a la placa de MDF mediante bulones hexagonales según norma DIN 931 de diámetro nominal M8 y longitud 40 mm, grado 8.8, asegurados mediante tuercas hexagonales normalizadas según DIN 934, diámetro nominal M8 y grado 8 [11].

### Contenedor para la descarga de arroz

Códigos de referencia: 02-M-008-001, 02-M-010-001, 02-M-033-001.

Planos de referencia: D-F-005, D-F-007, D-M-002, D-M-004.

El recipiente cuenta con un contenedor inferior en el cual se recolecta el grano ya ensayado. El mismo posee una guía inferior de poliamida 6 [9] (figura 3.2.14), cuyas dimensiones son: 95 mm de longitud, 20 mm de ancho y 3,77 mm de espesor, por lo que se fabrica a partir de una plancha de 4 mm de espesor. Esta guía se fija en posición mediante un tornillo de cabeza fresada normalizado según DIN 965, diámetro M5 y longitud 10 mm [11].

El contenedor para la descarga posee dos pestañas a ambos lados que sostienen la base removible. Posee forma prismática, siendo su base rectangular, de lados 95 mm y 80 mm y su altura de 70 mm. Las pestañas poseen una longitud de 8 mm (figura 3.2.15). Asimismo, posee una placa soldada para permitir su extracción.

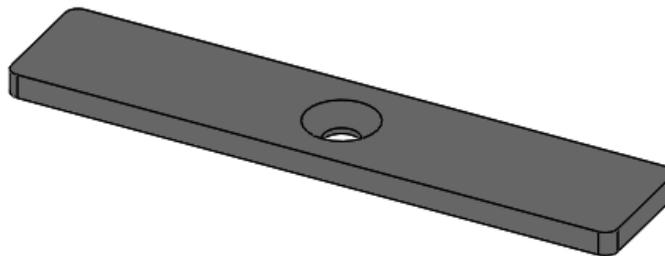


Figura 3.2.14. Guía de poliamida 6.

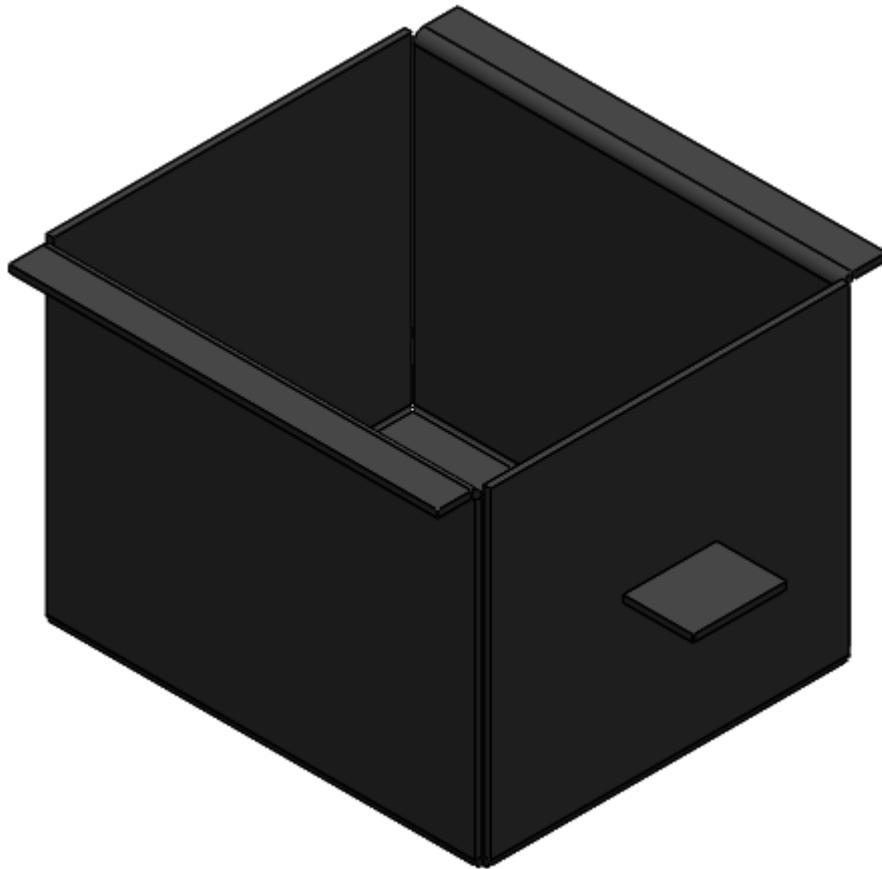


Figura 3.2.15. Contenedor para la descarga de arroz.

### Soporte del equipo

Códigos de referencia: 02-M-011-001, 02-M-012-001, 02-M-028-001, 02-M-028-002, 02-M-028-003, 02-M-028-004.

Planos de referencia: D-F-008, D-F-009, D-M-002, D-M-004.

La base del motor y el recipiente se fijan a una placa de MDF de 20 mm de espesor [10], 800 mm de largo y 350 mm de ancho. La misma se coloca en un armazón de perfil de acero ángulo alas iguales de dimensiones 1 x 3/16 pulgadas. Ambas partes poseen cuatro perforaciones en las esquinas con el objetivo de colocar bulones con dos tuercas para la regulación en altura de los apoyos [11].

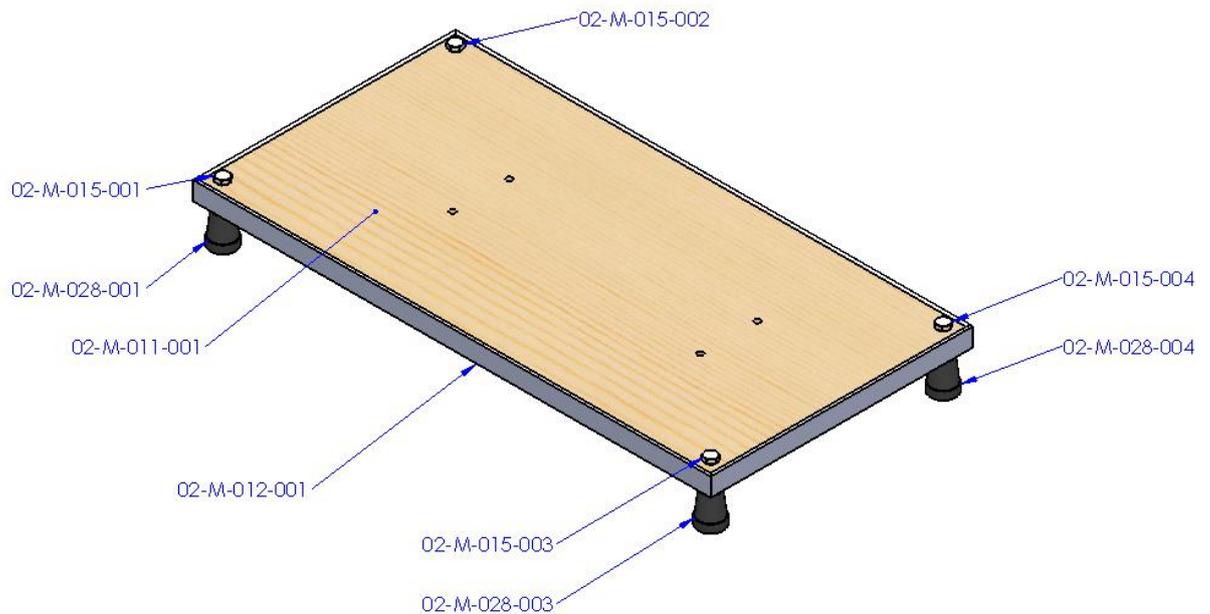


Figura 3.2.16. Soporte del equipo.

Códigos de referencia: 02-M-015-001, 02-M-015-002, 02-M-015-003, 02-M-015-004, 02-M-016-001, 02-M-016-002, 02-M-016-003, 02-M-016-004, 02-M-016-005, 02-M-016-006, 02-M-016-007, 02-M-016-008

Planos de referencia: D-M-002, D-M-004.

Los bulones para los apoyos regulables del soporte del equipo responden a la normativa DIN 931: bulones de cabeza hexagonal, dimensiones métricas M10, 60 mm de longitud, grado 8.8 [11].

Los soportes de esta base se apoyan sobre regatones de goma de 25 mm de diámetro [15] (figura 3.2.16 y figura 3.2.17).

Se colocan dos tuercas por apoyo, las mismas corresponden a tuercas hexagonales DIN 934, dimensiones métricas M10, grado 6 [11] (figura 3.2.17).

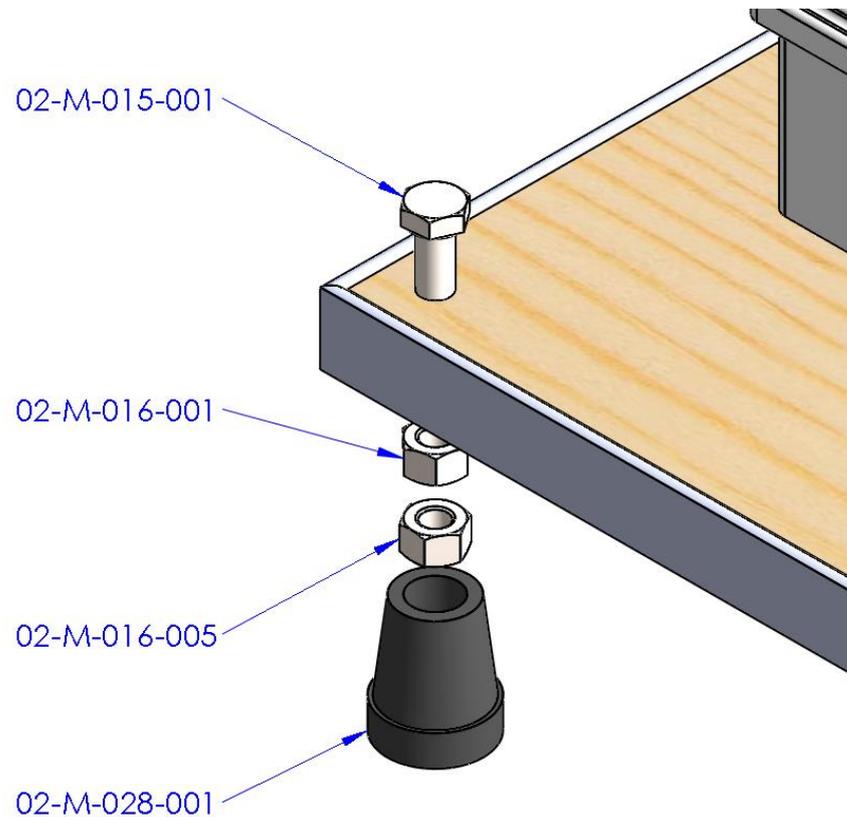


Figura 3.2.17. Vista explosionada de los apoyos regulables.

### Cubierta de seguridad

Códigos de referencia: 02-M-029-001 02-M-026-001, 02-M-026-002, 02-M-026-003, 02-M-026-004.

Planos de referencia: D-F-011, D-M-004.

Para garantizar la seguridad de los operarios, se coloca una cubierta de metal desplegado SAE 200-12-20 [14], la misma se cubre con un patrón rayado negro y amarillo, lo cual indica advertencia y precaución (figura 3.2.18). La cubierta posee forma de U, siendo su diámetro de aproximadamente 16 cm y su longitud de 30 cm.

Para la fijación de la cubierta de seguridad se emplean tornillos de cabeza cilíndrica, hendidura en cruz tipo Philips, según normativa DIN 7981, de diámetro nominal 8 y longitud 1/2 pulgadas [13] (figura 3.2.18).

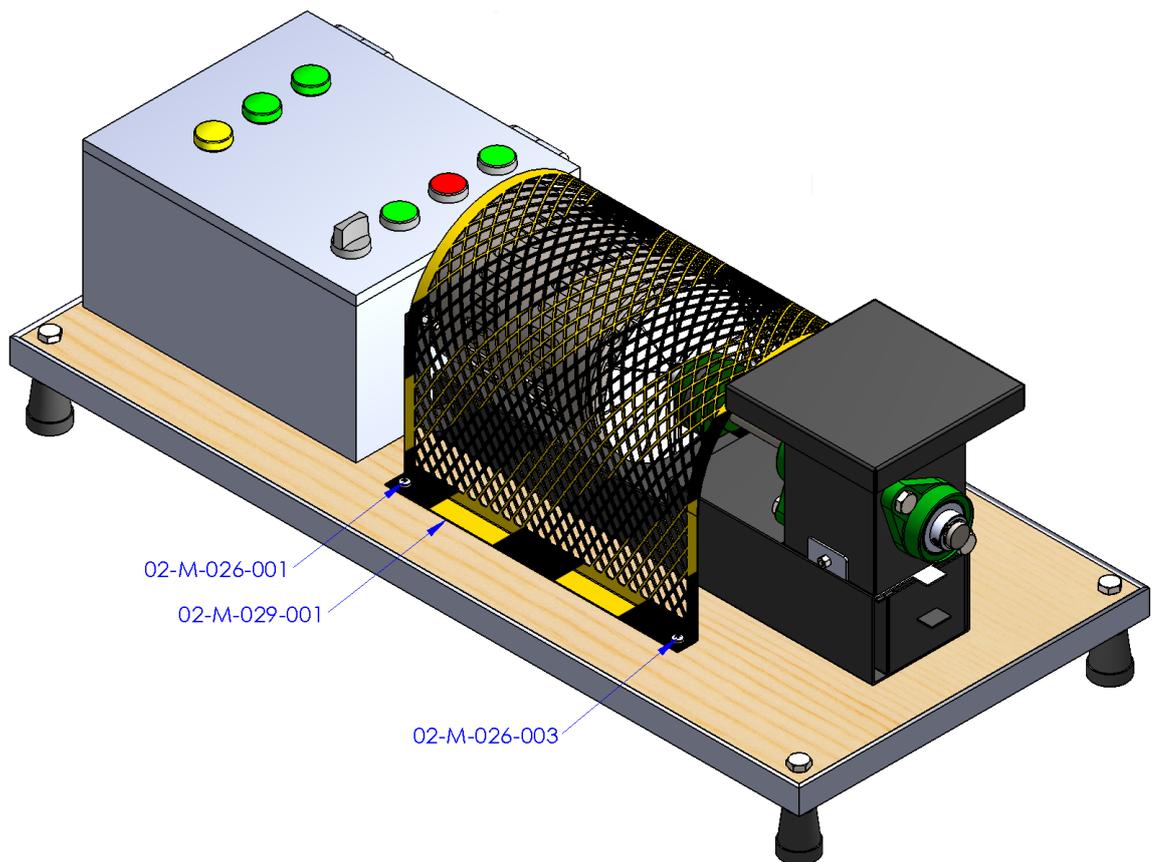


Figura 3.2.18. Cubierta de seguridad.

Bulones, tuercas y otros accesorios

Códigos de referencia: 02-M-017-001, 02-M-017-002, 02-M-017-003, 02-M-018-001, 02-M-018-002, 02-M-018-003, 02-M-019-001, 02-M-019-002.

Planos de referencia: D-M-001, D-M-002, D-M-004.

Para la fijación del motor a la base se emplean tornillos de cabeza cilíndrica con hexágono interior (tipo Allen), los cuales corresponden a la normativa DIN 912, diámetro nominal M5, 20 mm de longitud, grado 8.8 [11]. Se mantienen en posición mediante tuercas hexagonales DIN 934, de diámetro M5, grado 6. Se emplean arandelas planas de acero para el apoyo y fijación de los tornillos (figura 3.2.19).

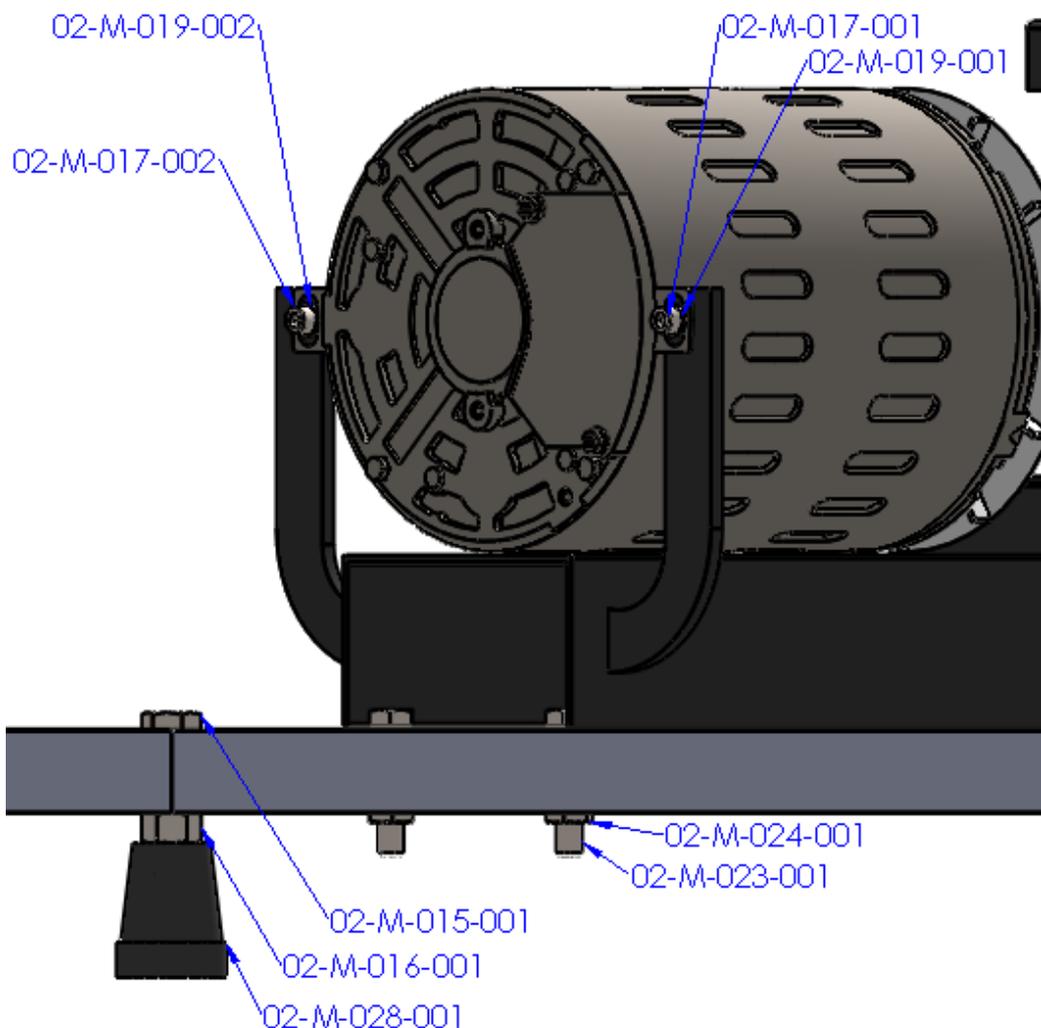


Figura 3.2.19. Detalle de la fijación del motor y la base.

## Ingeniería de detalles eléctrica

### Motor

Código de referencia: 02-E-D-001-001.

Planos de referencia: D-M-001, D-M-004.

El motor seleccionado corresponde a un motor eléctrico de inducción, cuya potencia es de 0,25 HP (0,18 kW). La tensión nominal corresponde a 220 V y la corriente a 2,5 A [17].

La velocidad de rotación nominal es de 1425 rpm y el torque es de 0,123 kg m.

Este motor está especificado para rotar en ambos sentidos, lo cual es necesario considerando la descripción del ensayo a realizar presentada previamente.

Las fuerzas en la fundación corresponden a: tracción máxima de  $4 \overline{kg}$  y compresión máxima de  $13 \overline{kg}$  [17].

Debido a que corresponde a un motor de inducción monofásico, se requiere un par de arranque externo. Para ello, estos motores incorporan un capacitor permanente en el circuito auxiliar. El esquema de conexión de este capacitor se muestra en la figura 3.2.20.

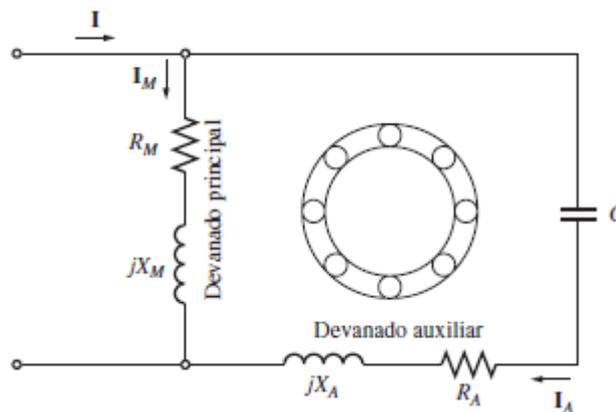


Figura 3.2.20. Esquema de conexión de los motores de inducción con capacitor permanente  
(Fuente: S. J. Chapman, 2012 [6]).

Según el fabricante, el capacitor puede estar incluido en el motor comercial o se conecta de forma independiente.

Circuito eléctrico

El circuito eléctrico propuesto para el control del motor monofásico según los requerimientos del ensayo se esquematiza en las figuras 3.2.21 y 3.2.22.

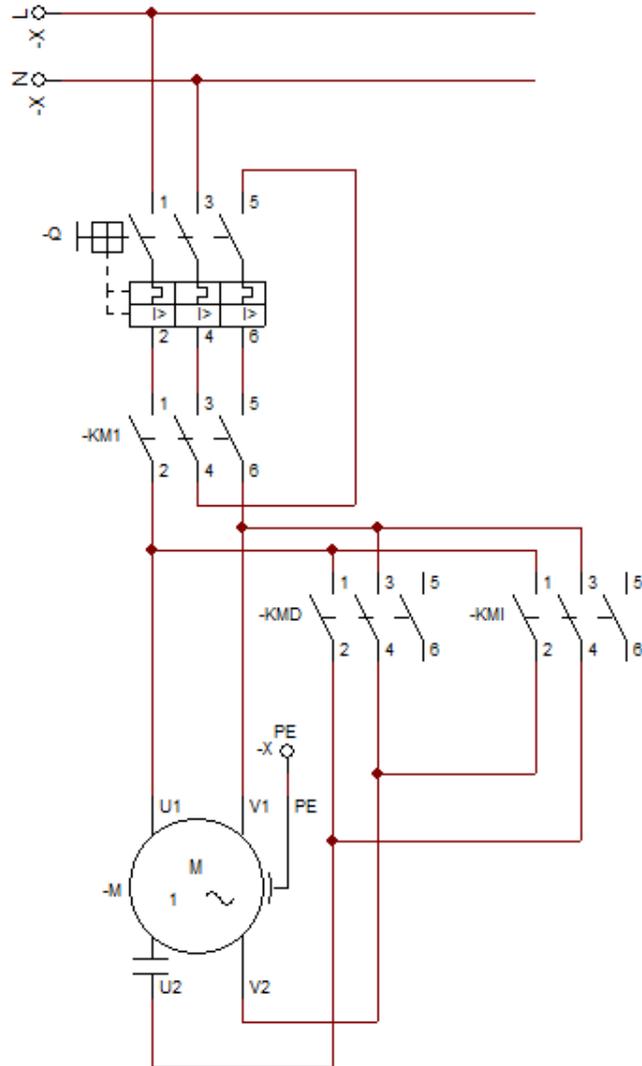


Figura 3.2.21. Esquema de conexión del motor.

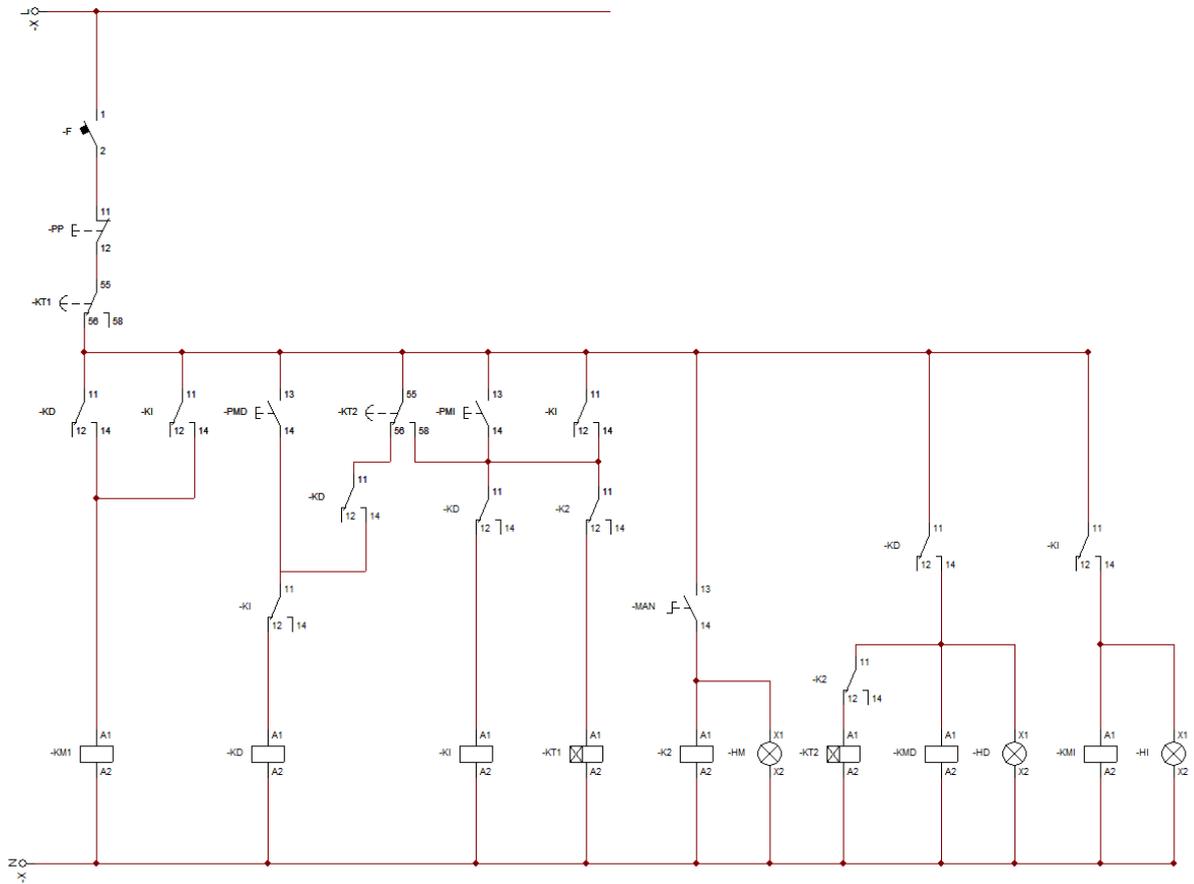


Figura 3.2.22. Esquema del circuito de control del motor.

### Componentes del circuito eléctrico

#### Guardamotor

Código de referencia: 02-E-D-003-001.

Planos de referencia: D-M-003, D-E-001.

Para la protección del motor eléctrico se selecciona un guardamotor magnetotérmico de tres polos, corriente nominal ajustable de 1,6 a 2,5 A. En la figura 3.2.23 se muestra el esquema de conexión [18].

Para una tensión de 400 V a 50 Hz la potencia nominal admisible del motor es de 0,75 kW.

El poder de corte es de 100 kA a tensión nominal 230 V, frecuencia 50 Hz, según IEC 60947-2.

La corriente de disparo magnética (protección contra cortocircuitos) corresponde a 33,5 A.

La potencia total disipada por polo corresponde a 2,5 W y sus dimensiones son: 89 mm de alto, 45 mm de ancho y 78,5 mm de profundidad.

La fijación del componente se realiza mediante riel DIN.

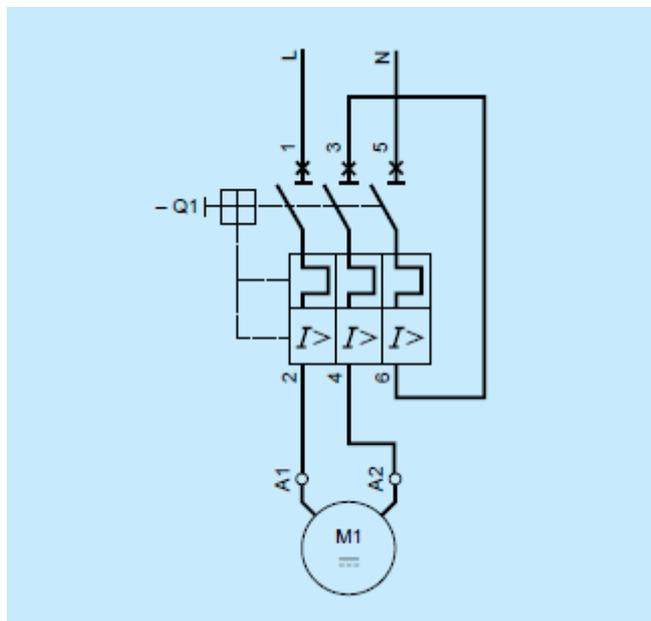


Figura 3.2.23. Esquema conexión de un guardamotor de tres polos para un motor monofásico (Fuente: Schneider Electric, 1999 [7]).

### Contactores

Códigos de referencia: 02-E-D-004-001, 02-E-D-004-002, 02-E-D-004-003.

Planos de referencia: D-M-003, D-E-001, D-E-002.

Para el control del sentido de giro del motor se implementa el uso de tres contactores: un contactor de arranque, uno de marcha derecha y uno de marcha izquierda. Los mismos corresponden a contactores de control de motores, de tres polos (figura 3.2.24).

La tensión nominal del circuito de control corresponde a 220 V a una frecuencia de 50 Hz.

La potencia admisible del motor a controlar corresponde a 1,5 kW para una tensión nominal de 220 V – 50 Hz y la corriente nominal a 6 A [18].

La disipación de calor corresponde a 1,3 W.

Las dimensiones del componente son 58 mm de alto, 45 mm de ancho y 57 mm de profundidad. Su conexión se realiza mediante riel DIN.



Figura 3.2.24. Minicontactores de tres polos, 220 V – 50 Hz (Fuente: Schneider Electric [18]).

### Relés de control

Códigos de referencia: 02-E-D-005-001, 02-E-D-005-002, 02-E-D-006-001, 02-E-D-006-002, 02-E-D-007-001.

Planos de referencia: D-M-003, D-E-001, D-E-002.

Para el control de los contactores, dado que la corriente que circula por el circuito de control es pequeña, se seleccionan relés de conexión.

Los relés propuestos en este caso corresponden a relés miniatura de tensión nominal del circuito de control 230 V, frecuencia 50 Hz. La corriente resistiva nominal admitida es de 6 A.

Se requieren dos modelos de relés: con 4 y 2 contactos tipo C. Los contactos tipo C son contactos combinados compuestos de un contacto normalmente cerrado y un contacto normalmente abierto con un terminal común (figura 3.2.25).

La potencia disipada por el funcionamiento es de aproximadamente 1,2 W [18].

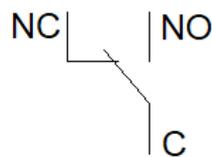


Figura 3.2.25. Contactos tipo C o C/O.

Estos relés requieren de un zócalo para la conexión de los terminales o pines del relé y poseen una intensidad de corriente nominal de 6 A (figura 3.2.26).

Los zócalos se fijan en posición mediante riel DIN y su ancho corresponde a 27 mm.



Figura 3.2.26. Relé y zócalo para relé (Fuente: Schneider Electric [18]).

### Temporizadores

Códigos de referencia: 02-E-D-008-001, 02-E-D-008-002.

Planos de referencia: D-M-003, D-E-001, D-E-002.

Con el objetivo de realizar el control de tiempo del ensayo, se utilizan relés temporizadores electrónicos (figura 3.3.27). Estos permiten activarse durante un determinado intervalo de tiempo, ajustado por el operador.

Los controles de tiempo electrónicos multifunción seleccionados permiten un ajuste de tiempo de hasta 30 horas, poseen una tensión de trabajo de hasta 240 V de corriente alterna (frecuencia de 50 Hz) y una corriente máxima de 5 A en sus contactos [19].

La disipación de potencia de estos elementos corresponde a 2 VA.

El montaje de los relés temporizadores se realiza sobre riel DIN, siendo sus dimensiones de 18 mm de ancho, 90 mm de alto y 65 mm de profundidad.



Figura 3.2.27. Control electrónico de tiempo multifunción (Fuente: THOMELEC [19]).

Pulsadores y señalización

Códigos de referencia: 02-E-D-009-001, 02-E-D-010-001, 02-E-D-010-002, 02-E-D-011-001, 02-E-D-012-001, 02-E-D-013-001.

Planos de referencia: D-M-003, D-E-001, D-E-002.

Para el accionamiento del circuito de comando que permite el inicio del ensayo, se propone la utilización de pulsadores y llaves selectoras. Los mismos corresponden a:

Una llave selectora de dos posiciones fijas de accionamiento de un contacto normal abierto que permita la conmutación entre el funcionamiento automático y el control manual del equipo. En el funcionamiento automático, al accionar el botón de marcha comienza la secuencia del ensayo: rotación derecha, parada, rotación izquierda y parada definitiva. Mientras que, el funcionamiento manual le brinda la posibilidad al operario de accionar el motor en cualquier sentido de forma indeterminada.

Dos pulsadores rasantes color verde compuestos de un contacto normal abierto. Uno de ellos corresponde al botón de inicio del ensayo de forma automática, por defecto, marcha a derecha. El pulsador restante permite el accionamiento del motor en sentido de rotación izquierda cuando el equipo se encuentra en modo manual.

Un pulsador rasante color rojo compuesto de un contacto normal cerrado para permitir la parada del motor en el caso de una emergencia o en el caso de utilizar el equipo con control manual.

A su vez, se propone la utilización de pilotos luminosos para la señalización de la conexión de las distintas bobinas. Se plantea el uso de dos pilotos LED color verde para indicar la energización de las bobinas de marcha del motor y un piloto color amarillo para indicar la conmutación al control manual del equipo.

### Gabinete eléctrico

Código de referencia: 02-E-D-002-001.

Planos de referencia: D-M-003, D-M-004.

Para la colocación de los componentes del circuito eléctrico detallados previamente se propone la utilización de un gabinete estanco, construido acorde a la norma IRAM 62670, grado de protección IP 65 según norma CEI 60529 (protección completa contra polvos y chorros de agua).

Sus dimensiones totales son: ancho, 230 mm; alto, 280 mm y profundidad, 140 mm. En el mismo se colocan 30 cm de riel normalizado según norma DIN para la fijación de los componentes [20].

El gabinete fue seleccionado considerando el espacio necesario para una cómoda conexión de los componentes eléctricos. Asimismo, se verificó la correcta disipación del calor generado durante el funcionamiento normal del equipo según la Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles AEA 90364, parte 7, sección 771. La potencia máxima disipable del gabinete seleccionado corresponde a 22 W.

En la figura 3.2.28 y 3.2.29 se detallan las vistas frontales interior y exterior del tablero eléctrico.

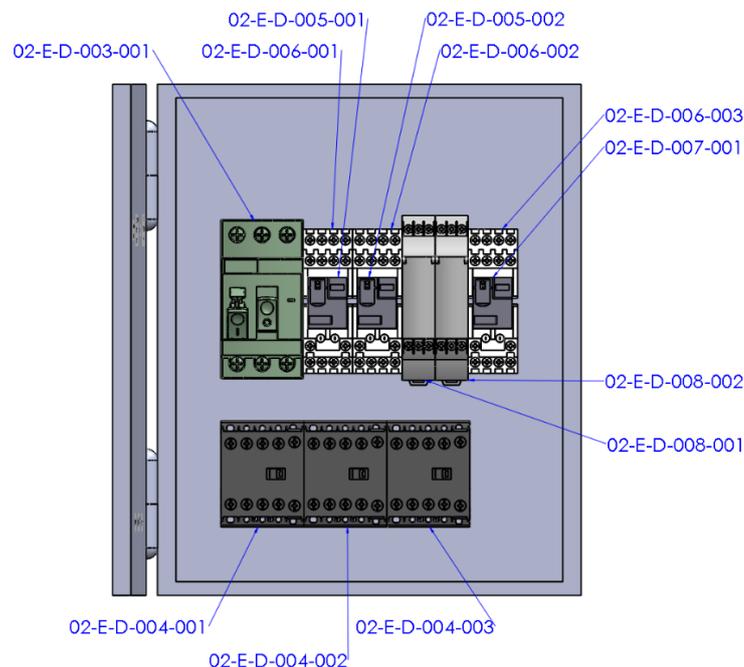


Figura 3.2.28. Vista interior del gabinete eléctrico.

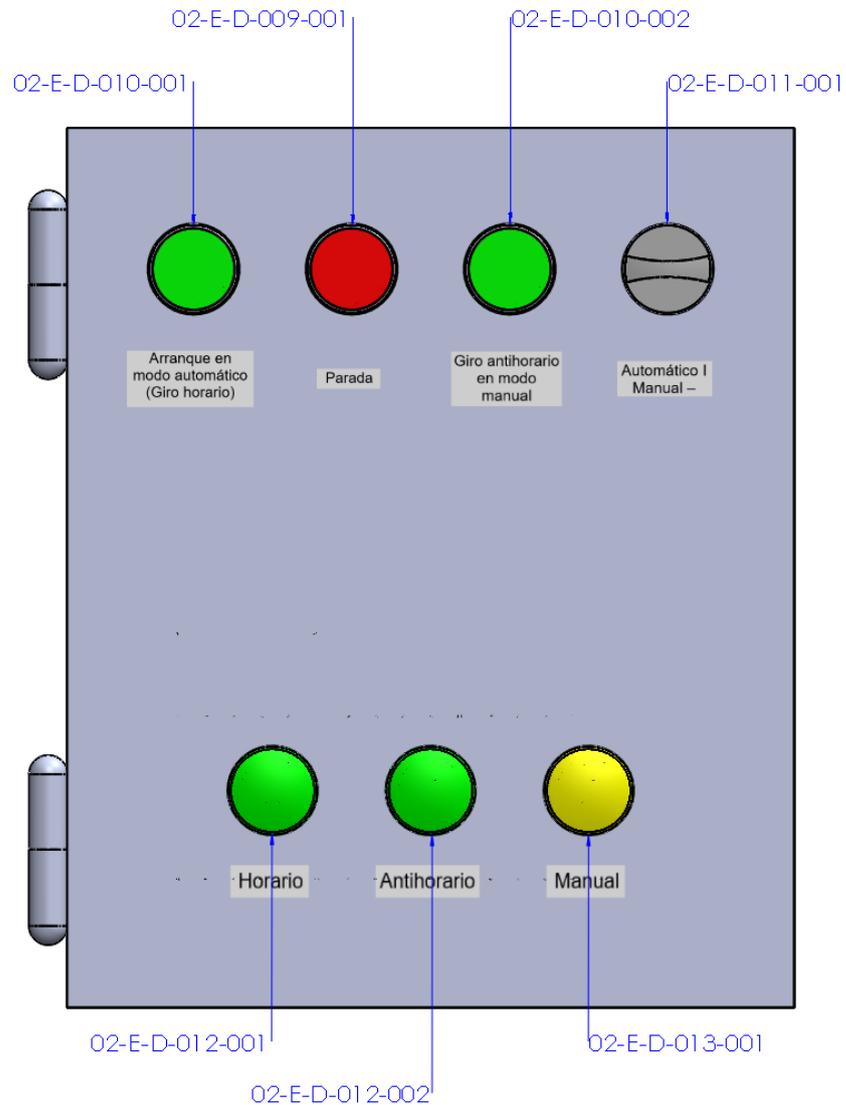


Figura 3.2.29. Vista exterior del gabinete eléctrico.

### Conductores

Se propone la utilización de conductores normalizados según IRAM NM 247-3 de sección 2,5 mm<sup>2</sup> para la ejecución de todas las conexiones.

## **Análisis de costos**

### Costo de materiales

En la tabla 3.2.a se resumen los costos de los materiales correspondientes al área mecánica. En la tabla 3.2.b, se detallan los costos de los componentes eléctricos. Se mencionan las marcas y fabricantes ofrecidas por los proveedores en el momento que se realizó la investigación, con lo cual, los precios listados corresponden a los elementos disponibles en los comercios considerados como referencia. De ninguna manera esto excluye los productos ofrecidos por otros fabricantes con iguales prestaciones y características.

El presupuesto es de carácter orientativo y tiene el objetivo de estimar el costo total del equipo diseñado en este trabajo.

Los precios se listan en dólares estadounidenses (*USD*) considerando la cotización del peso (*ARS*) dada por el Banco de la Nación Argentina el día en que se realizó la consulta.

Tabla 3.2.a. Costos de materiales pertenecientes al área mecánica.

<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Proveedor consultado</b>	<b>Código del proveedor</b>	<b>Costo (USD)</b>
02-M-001-001	Acoplamiento a disco de goma semi-elástico	Acoplamientos ROTULAR / Todo acoples S.R.L.	D-60-00	19,54
02-M-002-001	Eje de fijación de los testigos	-	-	1,60
02-M-003-001	Rodamiento con soporte ovalado	SKF	UCFL 204	7,14
02-M-003-002	Rodamiento con soporte ovalado	SKF	UCFL 204	7,14
02-M-004-001	Recipiente contenedor de arroz durante el ensayo	-	-	1,80
02-M-005-001	Sello de rodamiento	Imperial S.A.	Papel Adamite x 1,6 mm	0,24
02-M-005-002	Sello de rodamiento	Imperial S.A.	Papel Adamite x 1,6 mm	0,24
02-M-006-001	Base del motor y recipiente	-	-	4,85
02-M-007-001	Base removible del recipiente	-	-	0,19
02-M-008-001	Contenedor para la descarga del arroz	-	-	1,17
02-M-009-001	Soporte del motor	-	-	0,34
02-M-009-002	Soporte del motor	-	-	0,34
02-M-010-001	Guía del contenedor de descarga del arroz	NTH	Plancha 4mm Poliamida 6	2,09
02-M-011-001	Base de MDF	EGGER	Placa de MDF de 20 mm de espesor	6,58

<b>Preparó:</b> Maskavizan, Ana Justina	<b>Revisó:</b>	<b>Aprobó:</b>	<b>Página 58 de 200</b>
--	----------------	----------------	-------------------------

Continuación tabla 3.2.a.

02-M-012-001	Armazón de soporte de la base	Acindar	Perfil ángulo alas iguales 1 x 3/16"	4,75
02-M-013-001	Tapa del recipiente	-	-	0,75
02-M-014-001	Placa de sujeción del recipiente a la base	-	-	0,20
02-M-014-002	Placa de sujeción del recipiente a la base	-	-	0,20
02-M-015-001	Bulon hexagonal DIN 931 para apoyo regulable	FERCOR	M10X60 (1060)	0,27
02-M-015-002	Bulon hexagonal DIN 931 para apoyo regulable	FERCOR	M10X60 (1060)	0,27
02-M-015-003	Bulon hexagonal DIN 931 para apoyo regulable	FERCOR	M10X60 (1060)	0,27
02-M-015-004	Bulon hexagonal DIN 931 para apoyo regulable	FERCOR	M10X60 (1060)	0,27
02-M-016-001	Tuerca hexagonal DIN 934 para apoyo regulable	FERCOR	M10 grado 6 (HA310)	0,17
02-M-016-002	Tuerca hexagonal DIN 934 para apoyo regulable	FERCOR	M10 grado 6 (HA310)	0,17
02-M-016-003	Tuerca hexagonal DIN 934 para apoyo regulable	FERCOR	M10 grado 6 (HA310)	0,17
02-M-016-004	Tuerca hexagonal DIN 934 para apoyo regulable	FERCOR	M10 grado 6 (HA310)	0,17
02-M-016-005	Tuerca hexagonal DIN 934 para apoyo regulable	FERCOR	M10 grado 6 (HA310)	0,17
02-M-016-006	Tuerca hexagonal DIN 934 para apoyo regulable	FERCOR	M10 grado 6 (HA310)	0,17
02-M-016-007	Tuerca hexagonal DIN 934 para apoyo regulable	FERCOR	M10 grado 6 (HA310)	0,17

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 59 de 200
-------------------------------------	---------	---------	------------------

Continuación tabla 3.2.a.

02-M-016-008	Tuerca hexagonal DIN 934 para apoyo regulable	FERCOR	M10 grado 6 (HA310)	0,17
02-M-017-001	Tornillo DIN 912 de sujeción del motor	FERCOR	M5x20	0,18
02-M-017-002	Tornillo DIN 912 de sujeción del motor	FERCOR	M5x20	0,18
02-M-017-003	Tornillo DIN 912 de sujeción del motor	FERCOR	M5x20	0,18
02-M-018-001	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción del motor	FERCOR	M5 grado 6 (HA305)	0,03
02-M-018-002	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción del motor	FERCOR	M5 grado 6 (HA305)	0,03
02-M-018-003	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción del motor	FERCOR	M5 grado 6 (HA305)	0,03
02-M-019-001	Arandela plana de acero para sujeción del motor	FERCOR	051412	0,01
02-M-019-002	Arandela plana de acero para sujeción del motor	FERCOR	051412	0,01
02-M-020-001	Tornillo DIN 912 ajuste de las probetas	FERCOR	M3x10 0310	0,06
02-M-020-002	Tornillo DIN 912 ajuste de las probetas	FERCOR	M3x10 0310	0,06
02-M-021-001	Tornillo DIN 912 de sujeción del recipiente de arroz	FERCOR	M5x10 0510	0,05
02-M-021-002	Tornillo DIN 912 de sujeción del recipiente de arroz	FERCOR	M5x10 0510	0,05
02-M-022-001	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción del recipiente de arroz	FERCOR	M5 grado 6 (HA305)	0,03
02-M-022-002	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción del recipiente de arroz	FERCOR	M5 grado 6 (HA305)	0,03

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 60 de 200
-------------------------------------	---------	---------	------------------

Prototipo de ensayo en materiales sometidos al desgaste por el grano de arroz con cáscara  
 Capítulo 3.2 Ingeniería de Detalles

PFC-1904A  
 ID-Rev.01

Continuación tabla 3.2.a.

02-M-023-001	Bulón hexagonal DIN 931 para sujeción de la base a la placa de MDF	FERCOR	M8x40 (0840)	0,16
02-M-023-002	Bulón hexagonal DIN 931 para sujeción de la base a la placa de MDF	FERCOR	M8x40 (0840)	0,16
02-M-023-003	Bulón hexagonal DIN 931 para sujeción de la base a la placa de MDF	FERCOR	M8x40 (0840)	0,16
02-M-023-004	Bulón hexagonal DIN 931 para sujeción de la base a la placa de MDF	FERCOR	M8x40 (0840)	0,16
02-M-024-001	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción de la base a la placa de MDF	FERCOR	M8 grado 8 (HA308)	0,04
02-M-024-002	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción de la base a la placa de MDF	FERCOR	M8 grado 8 (HA308)	0,04
02-M-024-003	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción de la base a la placa de MDF	FERCOR	M8 grado 8 (HA308)	0,04
02-M-024-004	Tuerca hexagonal DIN 934 para sujeción de la base a la placa de MDF	FERCOR	M8 grado 8 (HA308)	0,04
02-M-025-001	Prisionero cabeza cuadrada DIN 479 para fijación del acoplamiento	FERCOR	M6x20 0620	0,08
02-M-025-002	Prisionero cabeza cuadrada DIN 479 para fijación del acoplamiento	FERCOR	M6x20 0620	0,08

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 61 de 200
-------------------------------------	---------	---------	------------------

Prototipo de ensayo en materiales sometidos al desgaste por el grano de arroz con cáscara  
 Capítulo 3.2 Ingeniería de Detalles

PFC-1904A  
 ID-Rev.01

Continuación tabla 3.2.a.

02-M-026-001	Tornillo de fijación de la cubierta DIN 7981	Metalúrgica Argentor	8x1/2	0,04
02-M-026-002	Tornillo de fijación de la cubierta DIN 7981	Metalúrgica Argentor	8x1/2	0,04
02-M-026-003	Tornillo de fijación de la cubierta DIN 7981	Metalúrgica Argentor	8x1/2	0,04
02-M-026-004	Tornillo de fijación de la cubierta DIN 7981	Metalúrgica Argentor	8x1/2	0,04
02-M-027-001	Anillo de retención DIN 471 para ejes	FERCOR	20Ax1,2 (020)	0,12
02-M-028-001	Regatón de goma para apoyo de 25 mm	SOLOGOMA	Regatón 25 mm	0,92
02-M-028-002	Regatón de goma para apoyo de 25 mm	SOLOGOMA	Regatón 25 mm	0,92
02-M-028-003	Regatón de goma para apoyo de 25 mm	SOLOGOMA	Regatón 25 mm	0,92
02-M-028-004	Regatón de goma para apoyo de 25 mm	SOLOGOMA	Regatón 25 mm	0,92
02-M-029-001	Cubierta de metal desplegado SAE 200-12-20	Hierros Torrent	200-12-20	2,32
02-M-030-001	Cilindro de PVC flexible para la fijación de las probetas	Soluciones MRO	M120731	0,03
02-M-030-002	Cilindro de PVC flexible para la fijación de las probetas	Soluciones MRO	M120731	0,03
02-M-031-001	Chaveta acero SAE 1010 4 x 4 mm, 23 mm de longitud	Hierros Torrent	-	0,06
02-M-032-001	Chaveta acero SAE 1010 6 x 6 mm, 23 mm de longitud	Hierros Torrent	-	0,06
02-M-033-001	Tornillo DIN 965 para fijación de la guía del contenedor	FERCOR	M5x10 0510	0,05
<b>Costo total</b>				<b>70,02</b>

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 62 de 200
-------------------------------------	---------	---------	------------------

Tabla 3.2.b. Costos de materiales pertenecientes al área eléctrica.

Código	Descripción	Proveedor consultado	Código del proveedor	Costo (USD)
02-E-D-001-001	Motor eléctrico monofásico de inducción	WEG	10371354	60,15
02-E-D-002-001	Gabinete estanco	GENROD	17232814	29,76
02-E-D-003-001	Guardamotor magnetotérmico	Schneider Electric	GV2ME07	49,70
02-E-D-004-001	Minicontactor 220V 50 Hz 6 A	Schneider Electric	LC1K0601M7	16,18
02-E-D-004-002	Minicontactor 220V 50 Hz 6 A	Schneider Electric	LC1K0601M7	16,18
02-E-D-004-003	Minicontactor 220V 50 Hz 6 A	Schneider Electric	LC1K0601M7	16,18
02-E-D-005-001	Relé de conexión miniatura 4 NANC 230 V 50 Hz	Schneider Electric	RXM4AB1P7	12,60
02-E-D-005-002	Relé de conexión miniatura 4 NANC 230 V 50 Hz	Schneider Electric	RXM4AB1P7	12,60
02-E-D-007-001	Relé de conexión miniatura 2 NANC 230 V 50 Hz	Schneider Electric	RXM2LB1P7	7,94
02-E-D-006-001	Zócalo para relé de conexión 2 - 4 NANC	Schneider Electric	RXZE2M114M	7,94
02-E-D-006-002	Zócalo para relé de conexión 2 - 4 NANC	Schneider Electric	RXZE2M114M	7,94
02-E-D-006-003	Zócalo para relé de conexión 2 - 4 NANC	Schneider Electric	RXZE2M114M	7,94
02-E-D-008-001	Control de tiempo electrónico multifunción 220 V 50 Hz	THOMELEC	ZRMX.G	43,88
02-E-D-008-002	Control de tiempo electrónico multifunción 220 V 50 Hz	THOMELEC	ZRMX.G	43,88

Continuación tabla 3.2.b.

02-E-D-009-001	Pulsador rasante 1NC Color rojo	Schneider Electric	XB7NA42	4,60
02-E-D-010-001	Pulsador rasante 1NA Color verde	Schneider Electric	XB7NA31	4,60
02-E-D-010-002	Pulsador rasante 1NA Color verde	Schneider Electric	XB7NA31	4,60
02-E-D-011-001	Llave selectora 2 posiciones fijas 1NA	Schneider Electric	XB7ND21	6,35
02-E-D-012-001	Piloto LED color verde	Schneider Electric	XB7EV63P	4,76
02-E-D-012-002	Piloto LED color verde	Schneider Electric	XB7EV63P	4,76
02-E-D-013-001	Piloto LED color amarillo	Schneider Electric	XB7EV65P	4,76
<b>Costo total</b>				<b>367,29</b>

El costo total de los componentes del equipo corresponde a USD 437,31.

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 64 de 200
-------------------------------------	---------	---------	------------------

### Capítulo 3.3. Memoria de cálculo

Capítulo 3.3. Memoria de cálculo .....	65
Justificación de las mejoras en el diseño .....	66
02-M-002: Eje de sujeción de los testigos.....	67
Verificación del motor .....	69
Determinación de las dimensiones mínimas .....	71
Verificación a las cargas estáticas .....	73
Verificación a las cargas dinámicas .....	75
02-M-001: Acoplamiento.....	78
Cálculo de las chavetas .....	79
02-M-003: Rodamientos .....	82
02-M-004: Recipiente contenedor de arroz durante el ensayo.....	85
02-M-007 y 02-M-008: Fondo del recipiente .....	86
02-M-017: Tornillos de sujeción del motor .....	87
02-M-015 y 02-M-016: Bulones y tuercas de apoyo.....	89
Automatización del equipo.....	92
Selección de los componentes eléctricos .....	97
02-E-D-003: Guardamotor .....	97
02-E-D-004: Contactores .....	98
02-E-D-005 y 02-E-D-007: Relés de conexión .....	98
02-E-D-006: Zócalo para relés de conexión.....	100
02-E-D-008: Control de tiempo electrónico multifunción .....	101
02-E-D-009, 02-E-D-010 y 02-E-D-011: Pulsadores y llave selectora.....	102
02-E-D-012 y 02-E-D-013: Pilotos luminosos.....	103
02-E-D-002: Gabinete estanco .....	103
Conductores .....	105

### Justificación de las mejoras en el diseño

El diseño del equipo descrito en este trabajo se basa en el prototipo construido como parte de la Práctica Profesional Supervisada correspondiente a la carrera Ingeniería Electromecánica. Las modificaciones introducidas responden a los inconvenientes encontrados durante la puesta en funcionamiento del equipo. Estas son:

Colocación de una base de MDF con apoyos regulables en altura de forma independiente. El objetivo de la base es el aumento del momento de inercia del equipo para limitar las vibraciones y eliminar el riesgo de caída durante el funcionamiento. Los apoyos regulables permiten la alineación del motor, el eje y el recipiente, evitando la acumulación del grano de arroz y logrando un movimiento homogéneo.

Protección de las partes metálicas del equipo con pintura antioxidante, con la finalidad de que no se deterioren.

Diseño de un circuito eléctrico que automatice el ensayo para facilitar su ejecución. Esto requiere de un estudio de costos y factibilidad de colocación para elegir la opción más conveniente. Asimismo, para garantizar la seguridad de los usuarios, se selecciona un gabinete estanco aislado con el objetivo de evitar el contacto con las partes en tensión.

Colocación de una cubierta de protección. Se proyecta una cubierta de metal desplegado a modo de una barrera física entre el operario y las partes en movimiento del equipo, aumentando la seguridad.

Utilización de un recipiente adicional y una base removible para incrementar la velocidad de descarga de los granos de arroz una vez finalizado el ensayo. Esta modificación se incorpora a partir de advertir la dificultad al descargar el arroz luego de la prueba.

Disminución del volumen de la tolva contenedora de arroz durante el ensayo. Dado que se plantea la extensión de la aplicación del ensayo a variedades durante su período de investigación y desarrollo, se pretende reducir la cantidad de arroz requerida por ensayo. Para ello, se disminuye el largo del recipiente, logrando así disminuir su volumen interno. No se modifica el ancho ni la altura dada su relación con el motor, la base del motor y las dimensiones de los rodamientos.

### 02-M-002: Eje de sujeción de los testigos

El cálculo de la resistencia mecánica del eje se realiza considerando como cargas el peso propio del eje y el momento torsor transmitido por la rotación del motor.

El material empleado para la construcción del eje corresponde a acero grado SAE 1010, cuyas características corresponden a [21,22]:

- Peso específico:  $Pe = 7870 \frac{\overline{kg}}{m^3} \left( \frac{1 m}{100 cm} \right)^3 = 0,00787 \frac{\overline{kg}}{cm^3}$ .
- Límite de ruptura:  $\sigma_r = 3600 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$ .
- Límite de fluencia:  $\sigma_f = 2000 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$ .

El peso del eje se obtiene considerando el volumen de material, siendo las dimensiones las mostradas en la figura 3.3.1.

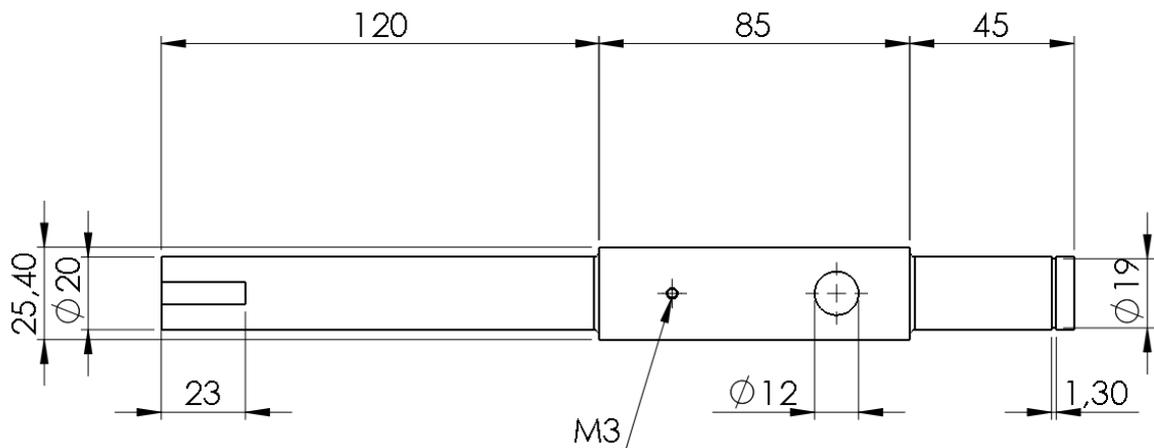


Figura 3.3.1. Dimensiones del eje, en milímetros.

Los rodamientos sostienen al eje en los extremos de la fracción de sección cuadrada. El centro de masa y el volumen se obtuvieron mediante el software SOLIDWORKS. El centro de masa se ubica en el centro geométrico de la sección del eje, a una distancia de 133,83 mm desde el extremo izquierdo.

El volumen de material empleado es  $100,4 \text{ cm}^3$ , con lo cual, aplicando la ecuación 3.3.1, es posible obtener el peso ( $P$ ) del eje, siendo  $P_e$  el peso específico del material y  $V$  el volumen.

$$P = P_e V \quad (3.3.1)$$

El peso del eje corresponde a  $0,79 \overrightarrow{\text{kg}}$ .

El diagrama de cuerpo libre considerando las reacciones en los rodamientos se observa en la figura 3.3.2.a. En la figura 3.3.2.b se grafica la distribución de momentos flectores debido a las cargas consideradas.

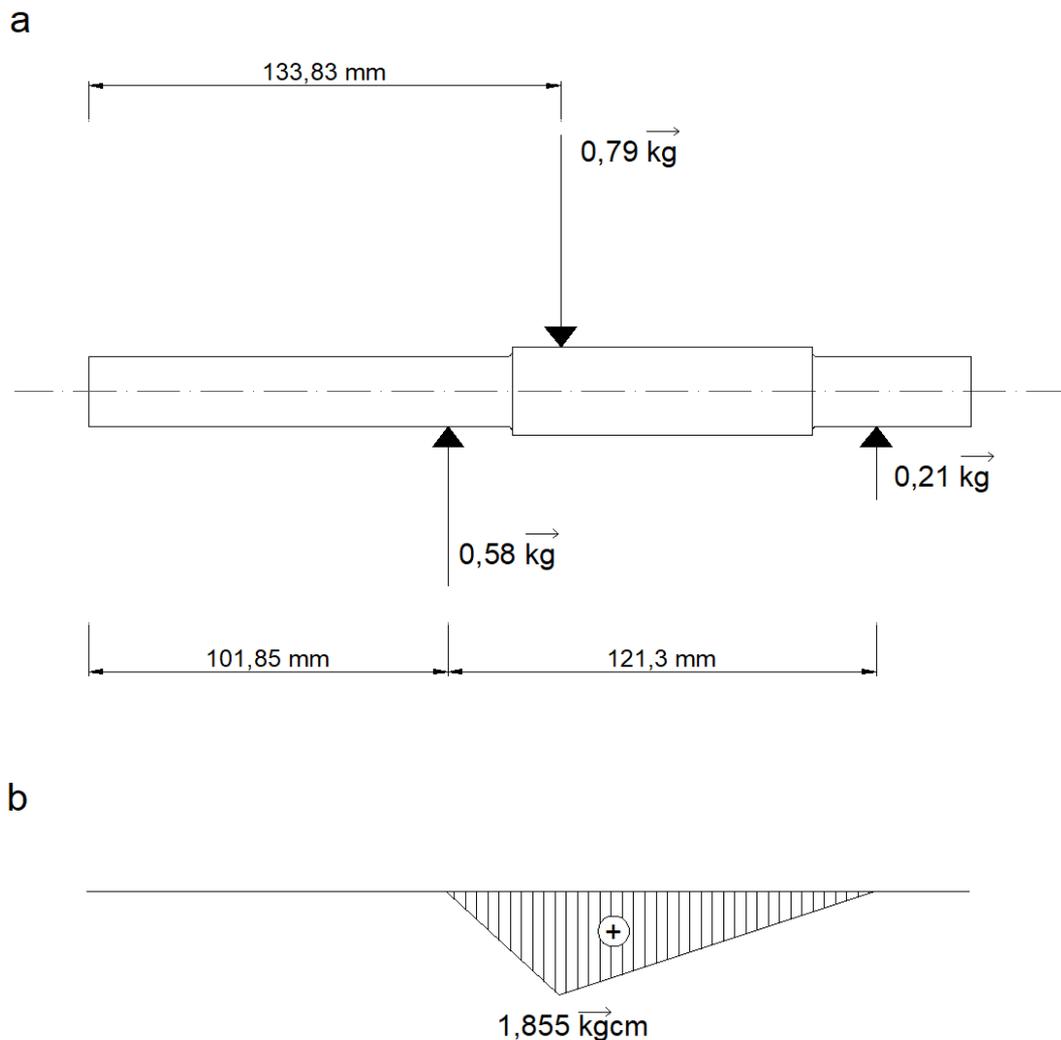


Figura 3.3.2.a. Diagrama de cuerpo libre del eje, b. Diagrama de momento flector.

### Verificación del motor

El proceso de diseño parte desde el eje de sujeción de los testigos, definido considerando los requerimientos del ensayo propuesto.

El motor se selecciona en función de la disponibilidad comercial. Los aspectos que se tienen en cuenta son: la velocidad en el eje de salida, el montaje en el equipo y la posibilidad de colocación de un acoplamiento que transmita el movimiento del motor al eje dimensionado.

El torque necesario se calcula considerando el eje como dos cilindros y un prisma rectangular, cuyas dimensiones se detallan en la figura 3.3.3. El momento requerido depende de la aceleración angular  $\alpha$  y el momento de inercia  $I_x$  del cuerpo alrededor de un eje que pasa por el centro geométrico de la sección. La ecuación 3.3.2 indica la fórmula para el cálculo del torque necesario [23].

$$T_0 = I_x \alpha \quad (3.3.2)$$

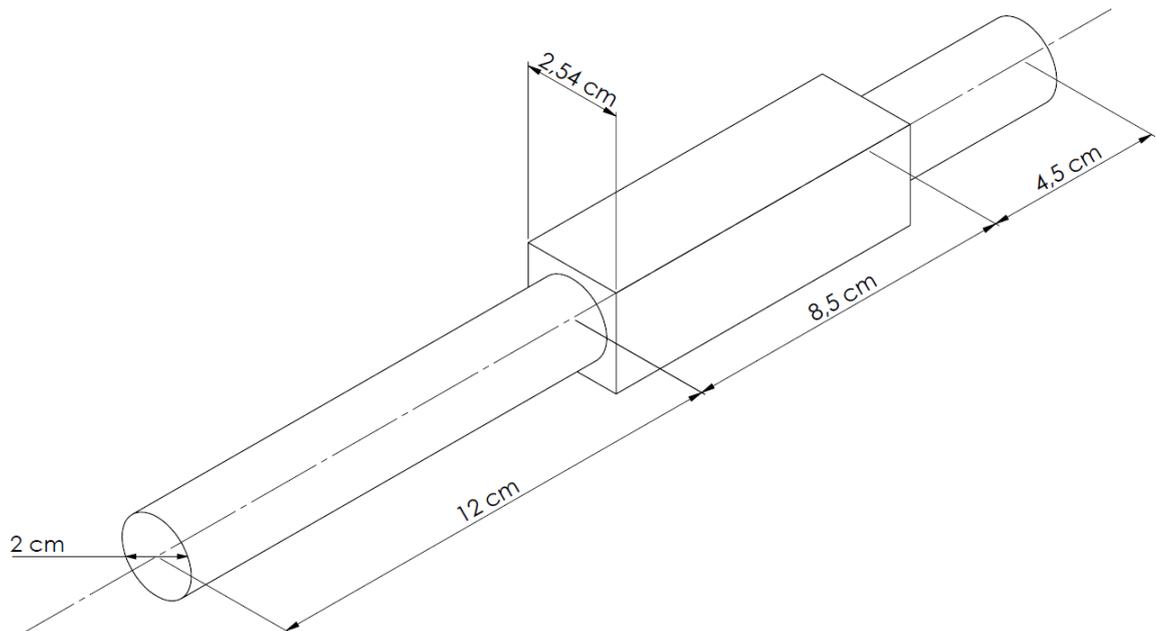


Figura 3.3.3. Esquema y dimensiones del eje simplificado para el cálculo del momento de inercia de la pieza.

Se adopta como hipótesis que el grano de arroz opone una resistencia pequeña a la rotación del eje. Esto se asume a partir de observaciones experimentales y surge de la consideración de que el nivel de material en el recipiente no supera el borde inferior del eje.

El cálculo del momento de inercia se realiza considerando las fórmulas dadas por F. P. Beer y E. R. Johnston, 2010 [24]. La figura 3.3.4 muestra las fórmulas de cálculo de los momentos de inercia de un prisma rectangular y un cilindro.

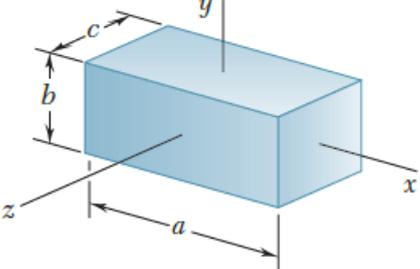
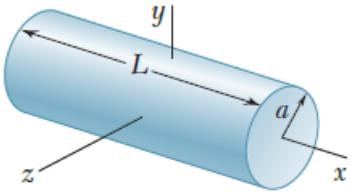
	$I_x = \frac{1}{12} m(b^2 + c^2)$ $I_y = \frac{1}{12} m(c^2 + a^2)$ $I_z = \frac{1}{12} m(a^2 + b^2)$
	$I_x = \frac{1}{2} ma^2$ $I_y = I_z = \frac{1}{12} m(3a^2 + L^2)$

Figura 3.3.4. Fórmulas de cálculo de los momentos de inercia de cuerpos rígidos (Fuente: F. P. Beer y E. R. Johnston, 2010 [24]).

Para un cuerpo que consiste de varias formas simples, el momento de inercia del cuerpo con respecto a un eje dado puede obtenerse calculando los momentos de inercia de cada forma simple con respecto a ese eje y sumando los resultados [24]. Aplicando este razonamiento, el cuerpo analizado se separa en tres formas para el cálculo. El momento de inercia resultante corresponde a  $I_x = 6,68 \cdot 10^{-5} \text{ kg m}^2$ .

La velocidad final de eje es de  $1400 \text{ rpm} = 146,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ . Adoptando un tiempo de aceleración desde  $0 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$  a la velocidad final de  $1 \text{ s}$ , la aceleración angular del cuerpo corresponde a  $\alpha = 146,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2}$ .

Para la determinación del torque necesario en el arranque, se adopta un coeficiente de seguridad de 1,5 debido a que se aplicaron simplificaciones en el proceso de cálculo. El torque necesario en el arranque posee un valor de  $T_0 = 0,015 \text{ kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} = 0,0015 \overline{\text{kg m}}$ .

Los datos del motor se obtienen de su hoja de especificaciones. En la misma se indica que el torque de arranque es 320 % del torque nominal, cuyo valor es  $0,123 \overline{\text{kg m}}$ , con lo cual el torque en el arranque es  $0,3936 \overline{\text{kg m}}$  [17].

Como el torque en el arranque entregado es mucho mayor que el requerido, se verifica la potencia del motor seleccionado.

Con la finalidad de dimensionar el eje para la condición más desfavorable, se calcula el momento torsor considerando que el motor funciona a su potencia nominal. Esta potencia corresponde a la máxima que puede entregar el motor y es  $0,25 \text{ HP}$ . La velocidad considerada para el cálculo del momento torsor según la ecuación 3.3.3 es la nominal del motor, la cual es  $1400 \text{ rpm}$ .

$$M_t = \frac{71620 \text{ N}}{n} \quad (3.3.3)$$

En la ecuación 3.3.3,  $N$  es la potencia en CV, y  $n$  es la velocidad en  $\text{rpm}$ .

En este caso, el momento torsor posee el valor:  $M_t = 12,94 \overline{\text{kg cm}}$ .

#### Determinación de las dimensiones mínimas

Para verificar la resistencia del eje diseñado, se considera una tensión admisible a cargas de tipo simétrica según la ecuación 3.3.4, adoptando lo expuesto por V. Dobrovolski, 1970 [25].

$$\sigma_{adm III} = \frac{0,33}{3,8} \sigma_r \quad (3.3.4)$$

La tensión admisible posee el valor de  $\sigma_{adm III} = 312,63 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$ .

Considerando el ciclo de carga al cual se encuentra sometido el eje, se determina el coeficiente según el ciclo pulsante, el cual posee el valor de  $\alpha = \frac{1}{1,7} = 0,588$ .

Para el cálculo de las dimensiones mínimas de las secciones del eje se debe tener en cuenta el momento reducido, que surge de la combinación de los momentos flector y torsor. En este caso, se considera el máximo momento flector (figura 3.3.2.b) y el momento torsor calculado según la ecuación 3.3.3. La fórmula para el cálculo del momento reducido se detalla en la ecuación 3.3.5.

$$M_{red} = \sqrt{M_f^2 + (\alpha M_t)^2} \quad (3.3.5)$$

El momento reducido posee el valor:  $M_{red} = 7,83 \overline{\text{kg cm}}$

Las dimensiones mínimas del eje se determinan a partir de la condición de resistencia mecánica, la cual se resumen en la ecuación 3.3.6.

$$M_r = W \sigma_{adm III} \quad (3.3.6)$$

En esta,  $W$  corresponde al módulo resistente de la sección, en el caso de secciones circulares, el módulo resistente está dado por la ecuación 3.3.7, mientras que para secciones cuadradas se aplica la ecuación 3.3.8.

$$W_{circular} = \frac{\pi d^3}{32} \quad (3.3.7)$$

Siendo  $d$  el diámetro de la sección.

$$W_{cuadrada} = \frac{l^3}{6} \quad (3.3.8)$$

Siendo  $l$  el lado de la sección.

El diámetro mínimo para la sección circular considerando el momento reducido

calculado previamente es:  $d = \sqrt[3]{\frac{M_r 32}{\sigma_{adm III} \pi}} = 0,63 \text{ cm}$ .

El lado mínimo de la sección cuadrada corresponde a:  $l = \sqrt[3]{\frac{M_r 6}{\sigma_{adm III}}} = 0,53 \text{ cm}$ .

El diámetro utilizado para el diseño es  $2 \text{ cm}$ , mientras que el lado de la sección cuadrada corresponde a 1 pulgada ( $2,54 \text{ cm}$ ). En ambos casos las dimensiones son mayores que las requeridas por cálculo.

### Verificación a las cargas estáticas

A continuación, se presenta la verificación de la resistencia mecánica del eje ante cargas estáticas y dinámicas, según lo expuesto por P. A. Stiopin, 1976 [26], teniendo en cuenta las dimensiones adoptadas para el diseño.

Debido a que las cargas reales o las propiedades del material pueden ser más desfavorables que las consideradas para el cálculo de la pieza se deben adoptar coeficientes de seguridad. Estos coeficientes garantizan que las tensiones a las cuales se somete la pieza sean menores que los límites que puedan generar rotura o deformaciones incompatibles con el uso. Son introducidos para conseguir un funcionamiento seguro de las piezas a pesar de las posibles desviaciones desfavorables de las condiciones de trabajo respecto de las de cálculo.

Los coeficientes normativos están impuestos por las normas de diseño de las construcciones y responden a los requerimientos de seguridad y reserva de resistencia. La tensión admisible, para cualquier régimen de carga, se determina según la ecuación 3.3.9.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{lim}}{\eta} \quad (3.3.9)$$

Siendo  $\eta$  el coeficiente normativo y  $\sigma_{lim}$  la tensión admisible del material.

Los coeficientes normativos se pueden descomponer en tres coeficientes parciales, mostrados en la ecuación 3.3.10.

$$\eta = \eta_1 \eta_2 \eta_3 \quad (3.3.10)$$

El coeficiente  $\eta_1$  considera los errores en la determinación de las cargas y tensiones. En este caso las cargas son pocas y se las identifica claramente con lo cual se adopta el coeficiente  $\eta_1 = 1, 2$ .

El coeficiente  $\eta_2$  tiene en cuenta la heterogeneidad del material, para cargas estáticas teniendo en cuenta las propiedades del acero empleado, es  $\eta_{2s} = 1, 5$ . Para el caso de cargas dinámicas se adopta el mismo valor,  $\eta_{2d} = 1, 5$ , dado que el material del eje puede considerarse homogéneo.

El coeficiente  $\eta_3$  considera las condiciones de trabajo y el grado de responsabilidad de la pieza. Dado que la rotura del eje no conlleva importantes riesgos se adopta el valor  $\eta_3 = 1,1$

Con lo cual los coeficientes estático y dinámico poseen el valor  $\eta = 1,98$ .

Para la verificación de la resistencia a las cargas estáticas, se deben determinar las tensiones máximas a las cuales está sometida la pieza.

Las tensiones normales y tangenciales máximas se calculan según las fórmulas mostradas en las ecuaciones 3.3.11 y 3.3.12 respectivamente.

$$\sigma_{max} = \frac{M_f}{W} \quad (3.3.11)$$

$$\tau_{max} = \frac{M_t}{W_0} \quad (3.3.12)$$

En la cual  $W_0$  corresponde al módulo polar de la sección.

Para la sección circular se tiene:  $\sigma_{max} = 2,362 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$  y  $\tau_{max} = 8,238 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$ .

Para la sección cuadrada:  $\sigma_{max} = 0,68 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$  y  $\tau_{max} = 6,7 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$ .

Luego, los coeficientes de seguridad se determinan según lo indicado en las ecuaciones 3.3.13 y 3.3.14.

$$\eta_{sf} = \frac{\sigma_f}{\sigma_{max}} \quad (3.3.13)$$

$$\eta_{st} = \frac{\tau_f}{\tau_{max}} \quad (3.3.14)$$

Siendo la tensión de fluencia, considerando lo expuesto por P. A. Stiopin, 1976 [26]:

$$\tau_f = 0,5 \sigma_f = 1000 \frac{\overline{kg}}{cm^2}.$$

Cuando las piezas están sometidas a flexión y torsión, el coeficiente estático se determina según la ecuación 3.3.15.

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 74 de 200
-------------------------------------	---------	---------	------------------

$$\eta_s = \frac{\eta_{sf} \eta_{st}}{\sqrt{\eta_{sf}^2 + \eta_{st}^2}} \quad (3.3.15)$$

Para las dos secciones, los coeficientes de seguridad estáticos verifican ser mucho mayores que el coeficiente normativo determinado según la ecuación 3.3.10, por lo que se asegura la resistencia del eje diseñado.

### Verificación a las cargas dinámicas

Para la verificación de la resistencia a la fatiga o cargas dinámicas se debe considerar el límite de resistencia a la fatiga por ciclo simétrico normal y tangencial, los cuales se determinan a través de las ecuaciones 3.3.16 y 3.3.17.

$$\sigma_{-1} = 0,43 \sigma_r \quad (3.3.16)$$

$$\tau_{-1} = 0,22 \sigma_r \quad (3.3.17)$$

Los valores se adoptan según lo publicado por V. Dobrovolski, 1970 [25].

En este caso, los límites de resistencia a la fatiga corresponden a  $\sigma_{-1} = 1548 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$  y

$$\tau_{-1} = 792 \frac{\overline{kg}}{cm^2}.$$

Dado que el eje se encuentra en rotación, las tensiones en los distintos puntos de la pieza varían con el tiempo. En el caso del momento flector, debido a que las cargas no cambian de dirección, se considera un ciclo simétrico, la amplitud del ciclo corresponde a  $\sigma_a = \sigma_{max}$  y tensión media  $\sigma_m = 0$ . Para el momento torsor, el ciclo descrito por las tensiones corresponde a un ciclo pulsante, en el cual  $\tau_a = \tau_m = \frac{\tau_{max}}{2}$ .

Luego, los puntos críticos en los cuales existe concentración de tensiones se resumen en la tabla 3.3.a.

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 75 de 200
-------------------------------------	---------	---------	------------------

Tabla 3.3.a. Resumen de las tensiones en los puntos críticos.

Punto crítico de concentración de tensiones	$\sigma_a$	$\sigma_m$	$\tau_a$	$\tau_m$
(1) Ranura para chaveta	0	0	$4,12 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$	$4,12 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$
(2) Cambio de sección	$1 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$	0	$4,12 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$	$4,12 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$
(3) Orificio para la colocación de los testigos	$0,68 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$	0	$3,35 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$	$3,35 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$
(4) Ranura para anillo de retención	0	0	$4,12 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$	$4,12 \frac{\overline{kg}}{cm^2}$

Los coeficientes de seguridad que se deben contrastar con el coeficiente normativo se calculan mediante las ecuaciones 3.3.18 y 3.3.19.

$$\eta_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_{\sigma} \sigma_a}{\varepsilon_{\sigma} \beta} + \psi_{\sigma} \sigma_m} \quad (3.3.18)$$

$$\eta_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_{\tau} \tau_a}{\varepsilon_{\tau} \beta} + \psi_{\tau} \tau_m} \quad (3.3.19)$$

En las ecuaciones 3.3.18 y 3.3.19,  $k$  corresponde al coeficiente efectivo de concentración de tensiones, que tiene en cuenta la disminución de la resistencia a la fatiga por variación de forma de la pieza.  $\varepsilon$  es el coeficiente de influencia de las dimensiones absolutas de la sección.  $\beta$  depende de la calidad de la superficie y la terminación superficial de la pieza.  $\psi$  es el coeficiente que caracteriza la sensibilidad del material a la asimetría del ciclo. Los valores se determinan según lo publicado por P. A. Stopin [26] y W. D. Pilkey [27].

En las tablas 3.3.b y 3.3.c se resumen los coeficientes para cada caso.

Tabla 3.3.b. Valores de los coeficientes para las ecuaciones 3.3.17 y 3.3.18 según los casos críticos de concentración de tensiones.

Punto crítico	(1)	(2)	(3)	(4)
$k_{\sigma}$	1,1	1,7	2	1,45
$\varepsilon_{\sigma}$	0,93	0,93	0,9	0,94
$\beta$	0,86	0,86	0,86	0,86
$\psi_{\sigma}$	0	0	0	0
$k_{\tau}$	0,9	1,24	1,24	1,2
$\varepsilon_{\tau}$	0,93	0,93	0,9	0,94
$\psi_{\tau}$	0	0	0	0

Tabla 3.3.c. Coeficientes de seguridad en los puntos críticos de concentración de tensiones.

Punto crítico de concentración de tensiones	$\eta_{\sigma}$	$\eta_{\tau}$
(1) Ranura para chaveta	-	120
(2) Cambio de sección	728	124
(3) Orificio para la colocación de los testigos	881	147
(4) Ranura para anillo de retención	-	159

En todos los casos se demuestra que el coeficiente de seguridad supera el coeficiente normativo determinado previamente.

### 02-M-001: Acoplamiento

El acoplamiento se selecciona en función de la potencia a transmitir. En este caso, el motor posee una potencia nominal de  $0,25 \text{ HP}$  y una velocidad nominal de  $1400 \text{ rpm}$ . Estas dos condiciones corresponden a los máximos valores de los parámetros que es capaz de alcanzar el equipo. A su vez, el diámetro del alojamiento para el eje debe ser de  $20 \text{ mm}$ . Considerando estos requerimientos se selecciona un acoplamiento a disco de goma/tela que permite absorber pequeñas desalineaciones.

El acoplamiento consta de dos mitades de fundición gris, con 4 pernos de acero para la sujeción que actúan sobre un disco de goma flexible. Estos acoplamientos permiten la transmisión de hasta  $0,75 \text{ HP}$  a una velocidad de  $1500 \text{ rpm}$ .

En la figura 3.3.5 se observa una imagen del acoplamiento y sus cotas principales, y en la tabla 3.3.d se detallan las dimensiones principales.

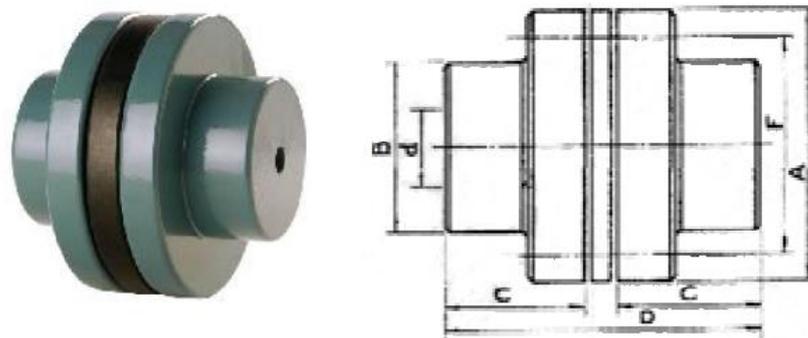


Figura 3.3.5. Figura y dimensiones del acoplamiento seleccionado (Fuente: ROTULAR [4]).

Tabla 3.3.d. Dimensiones del acoplamiento seleccionado (Fuente: ROTULAR [4]).

Dimensiones							Potencia transmitida en HP				
D máx	A	B	C	D	F	Cantidad de pernos	1000 rpm	1500 rpm	2000 rpm	3000 rpm	Max rpm
20	60	35	23	60	40	4	0,5	0,75	1	1,5	6300

### Cálculo de las chavetas

Para la determinación de la longitud de las chavetas considerando la resistencia de los materiales utilizados, se adoptó lo expuesto por H. N. Cosme, 1977 [28] y la norma DIN 6885.

Se propone la utilización de acero SAE 1010 para las chavetas. Las propiedades mecánicas de este material se emplearon en la determinación de la resistencia del eje:

- Límite de ruptura:  $\sigma_r = 3600 \frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}$ .
- Límite de fluencia:  $\sigma_f = 2000 \frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}$ .

Las longitudes de las chavetas se determinarán para los dos ejes: el eje de salida del motor y el de sujeción de los testigos.

El eje de sujeción de los testigos posee un diámetro de  $20\text{ mm}$ , con lo cual las dimensiones de la chaveta normalizada son: ancho:  $b = 6\text{ mm}$  y alto:  $h = 6\text{ mm}$ . El alto de la ranura en el eje corresponde a  $t_1 = 3,5\text{ mm}$  mientras que en la masa del acoplamiento es de  $t_2 = 2,8\text{ mm}$ .

En el caso del eje de salida del motor, cuyo diámetro es de  $11\text{ mm}$ , el ancho de la chaveta es:  $b = 4\text{ mm}$  y el alto:  $h = 4\text{ mm}$ . La ranura en el eje corresponde a  $t_1 = 2,5\text{ mm}$  y en la masa del acoplamiento  $t_2 = 1,8\text{ mm}$ .

El momento torsor posee el mismo valor que el determinado en el caso del eje de sujeción de los testigos:  $M_t = 12,94 \overrightarrow{kg\text{ cm}}$ .

Considerando lo expuesto por V. Dobrovolski, 1970 [25], la tensión admisible en el caso de ciclos pulsantes se determina en la ecuación 3.3.20.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_r}{3 \cdot 1,7} \quad (3.3.20)$$

Con lo cual, la tensión admisible adoptada corresponde a  $\sigma_{adm} = 705,88 \frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}$ .

Luego, según P. A. Stiopin, 1976 [26], la tensión admisible de corte se determina como la mitad de la tensión admisible normal,  $\tau_{adm} = 0,5 \sigma_{adm} = 352,9 \frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}$ .

La tensión admisible al aplastamiento se especifica en H. N. Cosme, 1977 [28], y corresponde a la mitad de la tensión de fluencia:  $\sigma_{adm\ ap} = 0,5 \sigma_f = 1000 \frac{\overrightarrow{kg}}{cm^2}$ .

La ecuación 3.3.21 indica la fórmula para el cálculo de la longitud considerando las tensiones de corte.

$$L = \frac{2 M_t}{d \tau_{adm} b} \quad (3.3.21)$$

Para la determinación de la longitud de la chaveta considerando la resistencia al aplastamiento, se deben establecer las dimensiones reales con la finalidad de calcular el área sometida a la tensión de aplastamiento.

Para ello, se considera la figura 3.3.6, en la cual se muestra el esquema de las dimensiones de la chaveta, permitiendo comprender de manera sencilla el desarrollo de las ecuaciones 3.3.22.

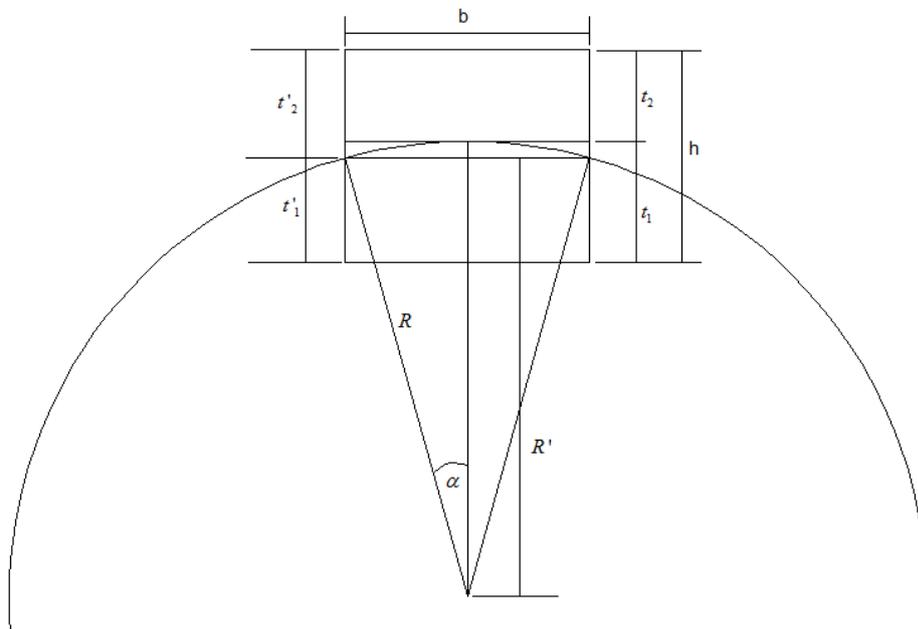


Figura 3.3.6. Esquema de las dimensiones de la chaveta en el eje.

$$\begin{aligned} \operatorname{sen}(\alpha) &= \frac{b}{d} \\ R' &= R \cos(\alpha) \\ t_1' &= R' - (R - t_1) \\ t_2' &= h - t_1' \end{aligned} \quad (3.3.22)$$

Luego, las longitudes mínimas considerando las tensiones de aplastamiento se calculan mediante las fórmulas mostradas en la ecuación 3.3.23.

$$\begin{aligned} L_1 &= \frac{2 M_t}{d t_1' \sigma_{adm\ ap}} \\ L_2 &= \frac{2 M_t}{d t_2' \sigma_{adm\ ap}} \end{aligned} \quad (3.3.23)$$

Los resultados de estos desarrollos se resumen en la tabla 3.3.e.

Tabla 3.3.e. Longitudes mínimas de las chavetas.

	$L$	$L_1$	$L_2$
Eje de sujeción de los testigos	0,611 mm	0,43 mm	0,44 mm
Eje de salida del motor	1,67 mm	1,1 mm	1,3 mm

Se adopta una longitud total de 23 mm, considerando que esta longitud corresponde a la totalidad de la masa del acoplamiento, lo que facilita el mecanizado de las partes.

### 02-M-003: Rodamientos

Para la selección y verificación de los rodamientos se utiliza como referencia lo publicado por el fabricante SKF [29].

Los rodamientos se seleccionan en función del diámetro del eje y la disponibilidad comercial. Dado que el diámetro del eje corresponde a  $20\text{ mm}$ , y con el objetivo de colocar los rodamientos fácilmente en un alojamiento normalizado, se seleccionan unidades de rodamientos a bolas con pestaña ovalada modelo UCFL 204, mostrados en la figura 3.3.7.



Figura 3.3.7. Rodamiento UCFL. (Fuente: SKF [5]).

La vida nominal de los rodamientos se determina según la norma ISO 281. La vida normal en horas de funcionamiento con una confiabilidad del 90 % se calcula según la ecuación 3.3.24.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \left( \frac{C}{P} \right)^p \quad (3.3.24)$$

En la ecuación 3.3.24,  $C$  corresponde a la capacidad de carga dinámica básica en  $kN$  y expresa la carga del rodamiento que dará lugar a una vida útil nominal básica según ISO

281 de 1 millón de revoluciones. Para los rodamientos seleccionados, la capacidad de carga dinámica básica corresponde a 12,7 kN.

$P$  es la carga dinámica equivalente del rodamiento en  $kN$ . La carga dinámica equivalente del rodamiento se define como una carga hipotética, constante en magnitud y sentido, que actúa radialmente sobre los rodamientos radiales y axialmente en los rodamientos axiales. Esta carga, al ser aplicada sobre el rodamiento, influye sobre la vida útil de igual forma que las cargas reales a las que está sometida. En este caso, los rodamientos poseen una sola hilera de bolas, por lo que las cargas axiales adicionales solo afectan la carga dinámica si la relación entre la carga axial y la carga radial supera un determinado valor límite. Debido a que se desconoce con exactitud el valor de la carga axial que absorben los rodamientos y se considera que no existen grandes cargas axiales, se considera como carga dinámica equivalente a la carga radial que soporta cada rodamiento.

$n$  es la velocidad de rotación del eje en  $rpm$ .

$p$  corresponde al exponente de la ecuación de vida útil, y posee el valor  $p = 3$  para los rodamientos de bolas.

La vida útil nominal de los rodamientos empleados, con una seguridad del 90 %, siendo las cargas dinámicas equivalentes para el rodamiento 02-M-003-001 de 0,006  $kN$ , y para el rodamiento 02-M-003-002 de 0,002  $kN$ , son de  $1,33 \cdot 10^{11}$  horas y  $2,79 \cdot 10^{12}$  horas respectivamente. Estos tiempos superan ampliamente el tiempo de funcionamiento requerido durante la totalidad del tiempo que se espera usar el equipo, con lo cual, no se requerirá que sean reemplazados.

Los rodamientos necesitan relubricación cuando la vida útil de la grasa es inferior a la prevista del rodamiento. El intervalo de relubricación es la cantidad estimada de horas de funcionamiento adecuado de una grasa y depende del tipo y tamaño del rodamiento, la velocidad, la temperatura, el tipo de grasa y el espacio y el entorno del rodamiento. En la figura 3.3.8 se detalla el nomograma empleado para la determinación del intervalo de relubricación. Para las condiciones de trabajo de los rodamientos seleccionados en este trabajo se tiene un intervalo de relubricación de aproximadamente 22000 horas.

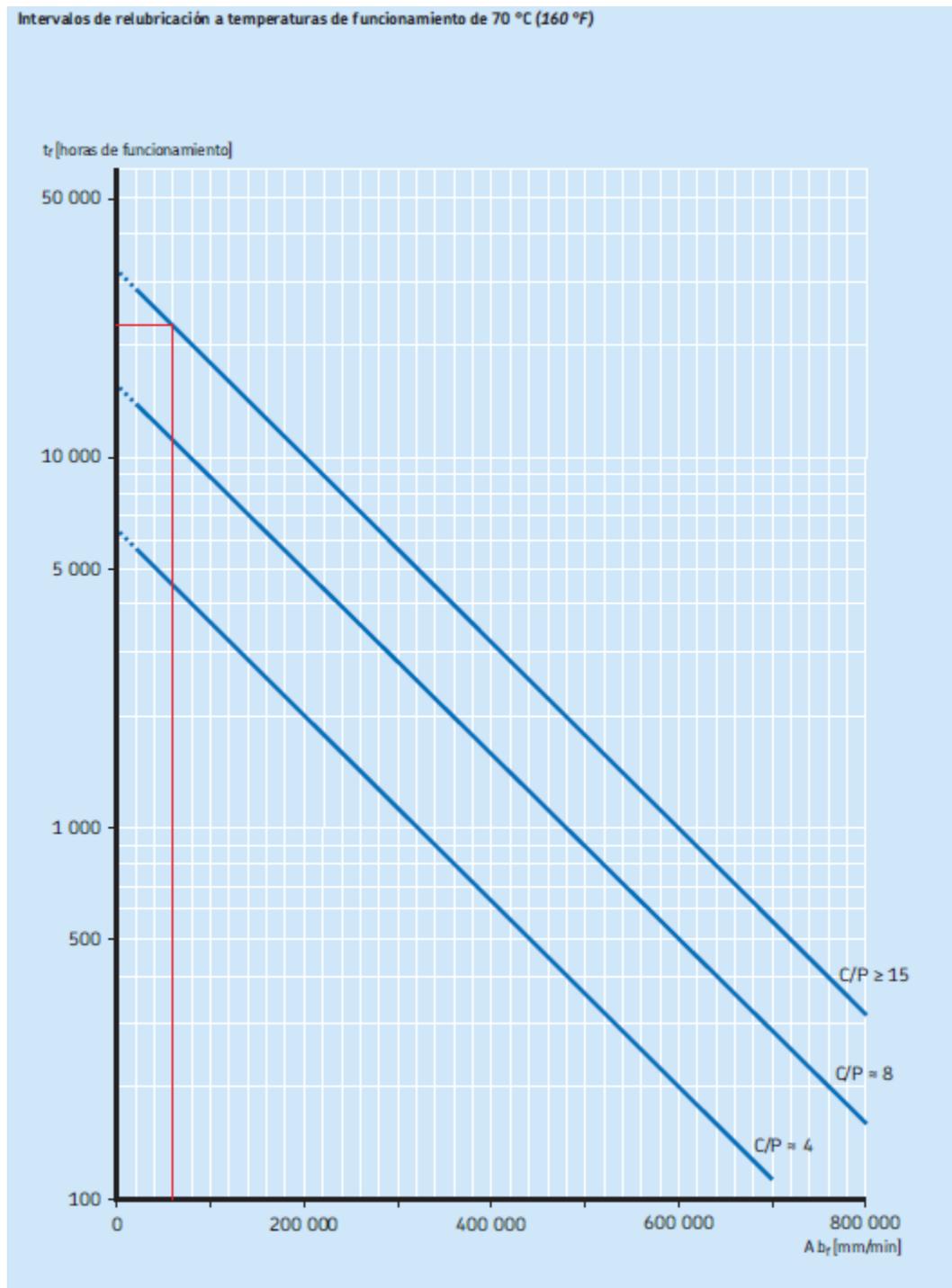


Figura 3.3.8. Nomograma para la determinación del intervalo de relubricación, en el cual  
 $A = n 0,5(d + D)$  (Fuente: SKF [29]).

### 02-M-004: Recipiente contenedor de arroz durante el ensayo

Con el objetivo de que el ensayo se realice con una cantidad razonable de granos de arroz, el recipiente que lo contiene durante el ensayo debe tener el tamaño adecuado. Considerando la densidad aparente aproximada del arroz con cáscara, la cual, experimentalmente, se obtuvo en promedio  $0,6 \frac{g}{cm^3}$ .

Se propone la utilización de un contenedor prismático, con sus caras laterales cuadradas. Teniendo en cuenta las dimensiones de los rodamientos seleccionados, se propone la utilización de caras de  $90 \text{ mm}$  de lado. Los rodamientos poseen una longitud de  $113 \text{ mm}$ , siendo la diagonal de la cara de  $127 \text{ mm}$ , con lo cual, el área es suficiente para colocar cómodamente los rodamientos seleccionados.

El arroz no debe superar el nivel del borde inferior del eje de sujeción de los testigos para permitir la rotación del mismo sin gran resistencia, lo cual disminuye la potencia consumida por el motor. El borde inferior del eje se ubica a una distancia de  $3,75 \text{ cm}$  del borde inferior del recipiente, considerando las dimensiones de los rodamientos en función de la ubicación de los mismos definida previamente. Por lo tanto, para disminuir la resistencia impuesta por el arroz, se propone una altura de  $2,75 \text{ cm}$  de arroz sobre el fondo removible del recipiente.

Considerando los lados de la base del recipiente, los cuales son de  $90 \text{ mm}$  ( $9 \text{ cm}$ ), el volumen que ocupa el arroz corresponde a  $9 \text{ cm} \cdot 9 \text{ cm} \cdot 2,75 \text{ cm} = 222,75 \text{ cm}^3$ . Con el objetivo de colocar una cantidad fácilmente mensurable de granos, se propone la utilización de  $200 \text{ cm}^3$  por ensayo, lo cual resulta en una masa de, aproximadamente,  $120 \text{ g}$ . Esta cantidad de arroz resulta ser aceptable para la realización de pruebas con variedades de arroz que se encuentren en proceso de investigación y desarrollo. Para facilitar la carga del grano, se incorpora una terminación con lados inclinados a  $55^\circ$  en forma de tolva.

Este recipiente se realiza de chapa de acero calibre 14 y se recubre con pintura antioxidante para evitar su deterioro.

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 85 de 200
-------------------------------------	---------	---------	------------------

### **02-M-007 y 02-M-008: Fondo del recipiente**

A su vez, para descarga el arroz una vez ensayado, se modifica el sistema de descarga del primer diseño, colocando un fondo removible con un recipiente de recolección en la parte inferior. El fondo y el recipiente para la recolección se realizan de la misma chapa de acero utilizada para la construcción del recipiente contenedor de arroz durante el ensayo. Las dimensiones del fondo corresponden a los lados del recipiente, los cuales miden  $90\text{ mm}$ .

El recipiente para contener el material descargado posee dos pestañas para sostener en posición el fondo removible. La base del contenedor posee forma rectangular, siendo sus lados de  $80\text{ mm}$  y  $95\text{ mm}$ , mientras que la altura corresponde a  $70\text{ mm}$ . Las pestañas poseen una longitud de  $8\text{ mm}$ .

Tanto el fondo como el recipiente de descarga poseen placas soldadas para sostenerlos y permitir su colocación y extracción.

### 02-M-017: Tornillos de sujeción del motor

Los tornillos que sujetan el motor deben soportar el esfuerzo cortante producto del propio peso del motor y el momento torsor que este genera al rotar.

El peso del motor se obtiene de sus características técnicas, el mismo es  $8,6 \overline{kg}$ . Se asume que el peso se reparte de igual forma en los tres tornillos que lo sostienen, con lo cual, cada tornillo se encuentra sometido a  $2,87 \overline{kg}$ .

Considerando el momento torsor calculado en 02-M-002: *Eje de sujeción de los testigos*, el cual posee el valor de  $M_t = 12,94 \overline{kg\ cm}$  y el radio de colocación de los tornillos con respecto al eje del motor, que posee un valor de 8 cm, es posible determinar la fuerza de corte actuante según la ecuación 3.3.25.

$$F_c = \frac{M_t}{r} \quad (3.3.25)$$

El valor de esta fuerza corresponde a  $1,62 \overline{kg}$ .

Se adopta un coeficiente de seguridad de 1,5 para garantizar que los tornillos no fallarán ante vibraciones o cargas no contempladas en el cálculo. Por tal motivo, la fuerza de corte empleada para dimensionar los tornillos es  $6,73 \overline{kg}$ .

Para el dimensionamiento de los tornillos se adopta lo expuesto por G. Niemann, 1973 [30]. La ecuación 3.3.26 permite relacionar la fuerza que soporta el tornillo con su diámetro considerando la tensión tangencial admisible del material.

$$\tau_{adm} = \frac{F_c}{A} = \frac{F_c}{\frac{\pi d^2}{4}} \quad (3.3.26)$$

En la ecuación 3.3.26,  $d$  corresponde al diámetro del tornillo.

Para tornillos de ajuste, la tensión tangencial admisible, según G. Niemann, 1973 [30], se determina a través de la ecuación 3.3.27.

$$\tau_{adm} = 0,42 \sigma_F \quad (3.3.27)$$

En la ecuación 3.3.27,  $\sigma_F$  corresponde a la tensión de fluencia del material. Se adopta como material de los tornillos acero de bajo carbono, considerando que se encuentran normalizados, se adopta el grado de acero 4.6, que corresponde con la menor resistencia

para roscas métricas normalizadas. La tensión de fluencia, según R. G. Budynas, 2008 [31],

corresponde a  $\sigma_F = 240 \text{ MPa} = 2449 \frac{\overrightarrow{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$ .

Por lo tanto, la tensión tangencial admisible del material corresponde a  $\tau_{adm} = 1028,6 \frac{\overrightarrow{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$ .

Despejando el diámetro de la ecuación 3.3.26, se obtiene la ecuación 3.3.28, la cual permite conocer el tamaño del tornillo necesario.

$$d = \sqrt{\frac{4 F_c}{\tau_{adm} \pi}} \quad (3.3.28)$$

El diámetro mínimo necesario de los tornillos de fijación del motor es de  $0,091 \text{ cm} = 0,91 \text{ mm}$ . Se adoptan tornillos tamaño M5, para los cuales el núcleo posee un diámetro de  $3,888 \text{ mm}$ , el paso corresponde a  $0,8 \text{ mm}$  y la altura de la rosca a  $0,556 \text{ mm}$ .

### 02-M-015 y 02-M-016: Bulones y tuercas de apoyo

Para el dimensionamiento de las tuercas y bulones correspondientes al apoyo, es necesario establecer la fuerza que soportan. En este caso, las fuerzas corresponden a la suma de los pesos de los componentes, los que se resumen en la tabla 3.3.f.

Debido a que la geometría del equipo es compleja y los componentes poseen diferentes densidades, es difícil determinar el centro de masa. Por tal motivo, se asume que las cargas se distribuyen de manera uniforme en los apoyos. Es debido a esta simplificación y la existencia de cargas como tornillos y tuercas de fijación que no se consideraron en la tabla 3.3.f, que se adopta un coeficiente de seguridad de 1,3 para el peso total calculado.

Teniendo en cuenta el coeficiente de seguridad, la carga total que soportan los apoyos es de  $35,36 \overline{kg}$ , esta carga se distribuye en cuatro tornillos de fijación, con lo cual, cada uno soporta  $8,84 \overline{kg}$ .

La rosca tanto de los bulones como de las tuercas de los apoyos está sometida a presión superficial y esfuerzo cortante, dada la dirección de la fuerza. Para la determinación de la altura de la tuerca, se aplica lo publicado por G. Niemann, 1973 [30].

La ecuación 3.3.29 permite determinar el diámetro del núcleo ( $d_1$ ) del bulón.

$$\sigma_{adm} = \frac{4 P}{\pi d_1^2}$$
$$d_1 = \sqrt{\frac{4 P}{\pi \sigma_{adm}}}$$
(3.3.29)

El símbolo  $P$  en la ecuación 3.3.28 corresponde a la carga normal soportada por el bulón, y  $\sigma_{adm}$  a la tensión admisible del material.

Se adopta como material, al igual que en el caso de los tornillos de sujeción del motor, acero de bajo carbono, grado 4.6.

La tensión admisible del material se considera 0,6 veces la tensión de fluencia dado que las cargas a las cuales están sometidos los bulones son principalmente estáticas, con lo cual  $\sigma_{adm} = 0,6 \sigma_F$ .

Tabla 3.3.f. Pesos de los componentes del equipo.

Código	Descripción	Peso ( $\bar{kg}$ )
02-M-001	Acoplamiento a disco de goma semi-elástico	0,500
02-M-002	Eje de fijación de los testigos	0,790
02-M-003	Rodamientos con soporte ovalado	0,880
02-M-004	Recipiente contenedor de arroz durante el ensayo	0,936
02-M-006	Base del motor y recipiente	2,700
02-M-007	Base removible del recipiente	0,146
02-M-008	Contenedor para la descarga del arroz	0,511
02-M-009	Soportes del motor	0,199
02-M-011	Base de MDF	3,354
02-M-012	Armazón de soporte de la base	4,022
02-M-013	Tapa del recipiente	0,566
02-M-029	Cubierta de metal desplegado	0,653
02-E-D-001	Motor eléctrico monofásico de inducción	8,600
02-E-D-002	Gabinete estanco	2,000
02-E-D-003	Guardamotor magnetotérmico	0,260
02-E-D-004	Minicontactores	0,540
02-E-D-005; 007	Relés de conexión	0,111
02-E-D-006	Zócalos para Relé	0,168
02-E-D-008	Controles de tiempo electrónico	0,120
02-E-D-009; 010; 011	Pulsadores	0,089
02-E-D-012; 013	Pilotos LED	0,054
<b>Total</b>		<b>27,199</b>

Con una tensión de fluencia  $\sigma_F = 240 \text{ MPa} = 2449 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$ , la tensión admisible corresponde a  $\sigma_{adm} = 1469,4 \frac{\overline{\text{kg}}}{\text{cm}^2}$ . Con estos datos, el diámetro del núcleo mínimo requerido para soportar la carga  $P$  es de  $0,0875 \text{ cm} = 0,875 \text{ mm}$ .

Se seleccionan bulones métricos de diámetro M10, normalizados según DIN 931, cuyo diámetro de núcleo es  $8,052 \text{ mm}$ , el paso es  $1,5 \text{ mm}$  y la altura de la rosca corresponde a  $0,974 \text{ mm}$ .

En la ecuación 3.3.30, se determina la altura de la tuerca para soportar los esfuerzos determinados anteriormente.

$$\sigma = \frac{4 P}{\pi d_1^2} \tag{3.3.30}$$
$$m = d_1 \frac{1}{4} \frac{\sigma h d}{P t_2 d_2}$$

En la ecuación 3.3.30,  $h$  corresponde al paso de la rosca,  $t_2$  a la profundidad portante de la rosca,  $d_2$  al diámetro medio de la rosca y  $d$  al diámetro exterior de la rosca.

Considerando los datos normalizados para el tipo de rosca seleccionado, la altura mínima de la tuerca corresponde a  $0,54 \text{ mm}$  por cálculo. La altura de las tuercas normalizadas según DIN 934 corresponde a  $8 \text{ mm}$ .

### Automatización del equipo

Un equipo automático brinda mayores facilidades al operador, ya que no requiere que este dedique la totalidad de su atención al ensayo. Asimismo, considerando que se tiene como objetivo estandarizar el ensayo, disminuye el riesgo de introducción de errores por parte del operador, garantizando la igualdad de los tiempos de funcionamiento.

Sin embargo, dado que puede requerirse la modificación de los parámetros tiempo de ensayo o sentido de giro, se debe ofrecer la posibilidad de desconectar fácilmente el funcionamiento automático sin modificar el circuito eléctrico propuesto.

Considerando que la corriente nominal del motor eléctrico seleccionado es  $2,5 A$ , se compararon dos opciones para la automatización del sistema: mediante un circuito de mando con relés de conexión y temporizadores electrónicos, o mediante la utilización de un relé programable.

El costo total de los componentes eléctricos necesarios para realizar las funciones propuestas corresponde a *USD 179,15*. El costo de un relé programable con la funcionalidad requerida para llevar a cabo las acciones planteadas es de aproximadamente *USD 240*. Se selecciona la opción del circuito de comando conformado por relés de conexión y temporizadores electrónicos ya que es más económica y, a su vez, incrementa la facilidad de mantenimiento y reemplazo de los componentes.

El circuito planteado contempla la protección del motor mediante un guardamotor magnetotérmico, ya que es específico para este tipo de máquinas eléctricas. Los guardamotors comerciales poseen tres polos, sin embargo, pueden ser utilizados para la protección de motores monofásicos. En la figura 3.3.9 se muestra el esquema de conexión del circuito de potencia del equipo diseñado.

Para el accionamiento del motor en distintos sentidos de giro se utilizan contactores comandados a distancia.

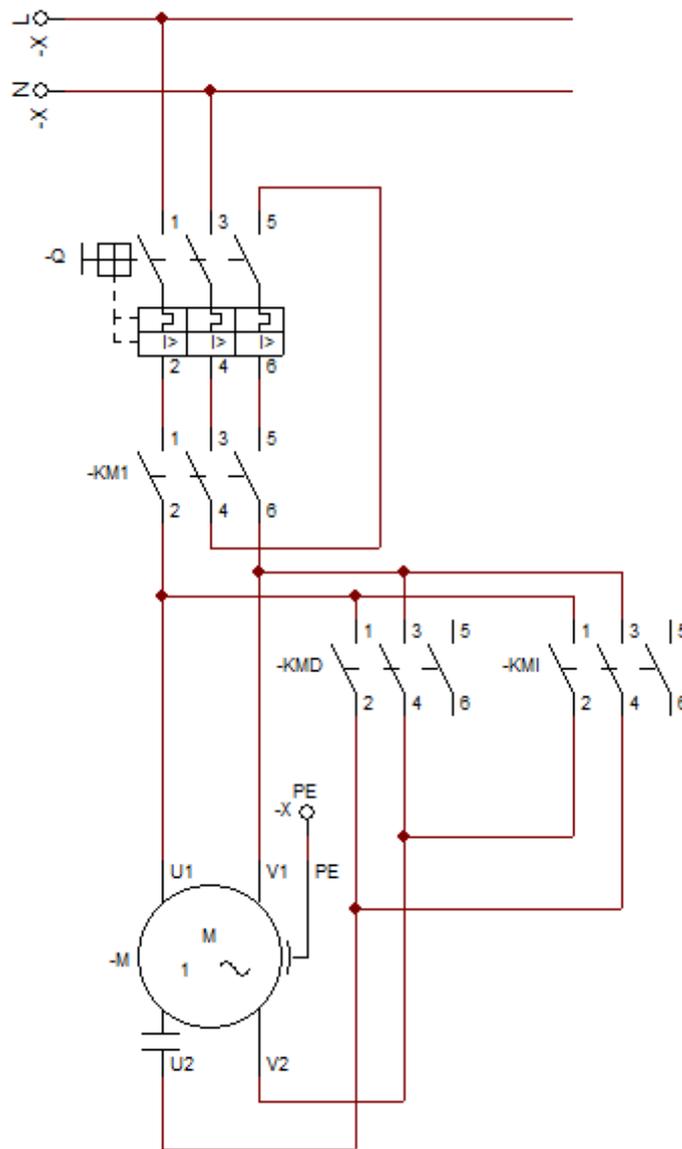


Figura 3.3.9. Circuito de potencia del equipo diseñado.

La figura 3.3.10 esquematiza el circuito de comando del sistema, indicando los contactos auxiliares y las bobinas de los diferentes componentes en forma simbólica.

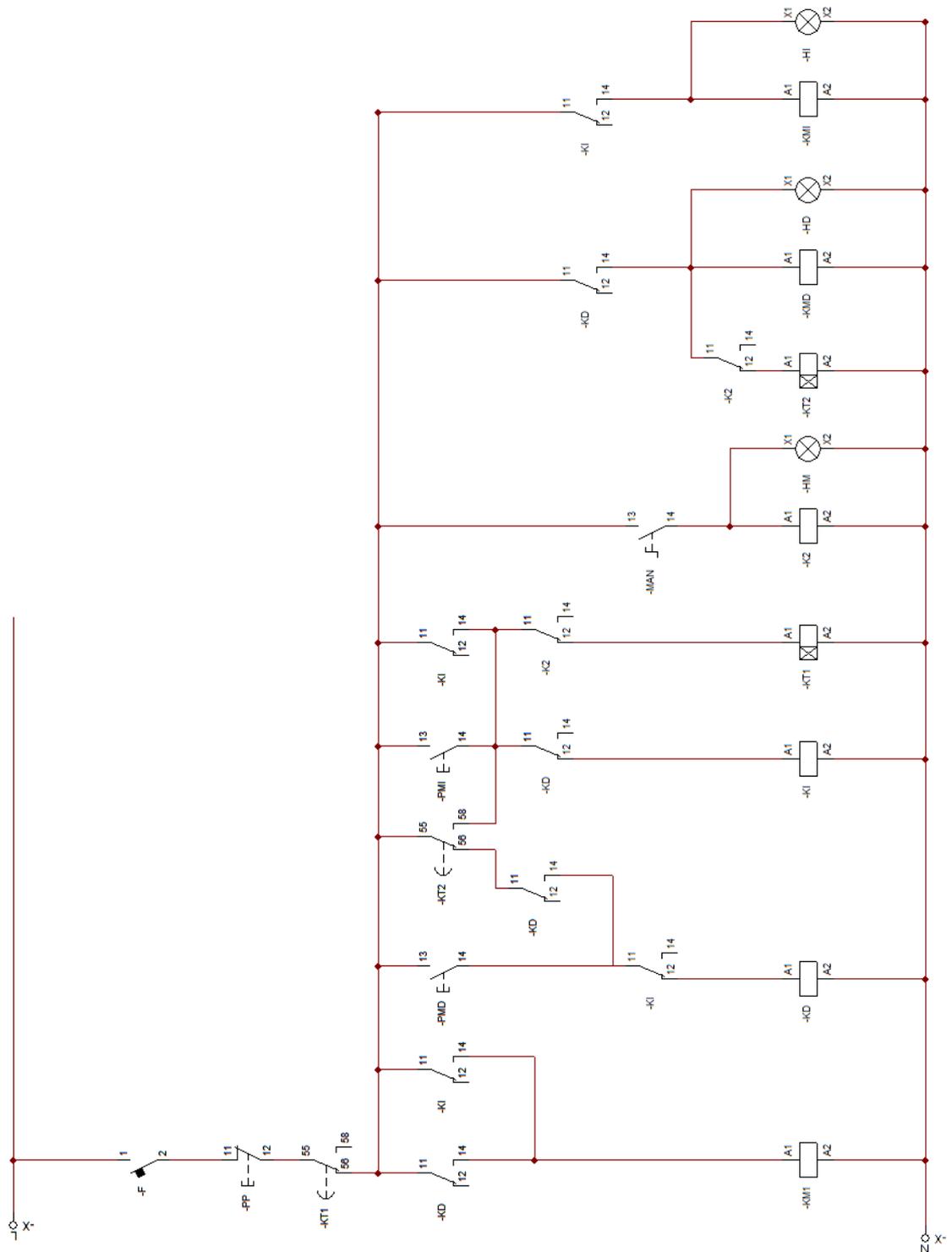


Figura 3.3.10. Circuito de comando del sistema diseñado.

El accionamiento del circuito en modo automático se realiza mediante el pulsador normal abierto de marcha derecha (*PMD*). Esto energiza el relé de marcha derecha (*KD*) que conmuta sus contactos y retiene el estado del relé de marcha derecha. La línea que energiza la bobina del relé de marcha derecha presenta un contacto tipo C, conectado en normal cerrado, del relé de marcha izquierda (*KI*) para evitar un cortocircuito en caso de energización de las bobinas de los dos relés. Al accionarse *KD* también se activa el relé temporizador (*KT2*), el cual comienza a contabilizar el tiempo establecido para la rotación en sentido derecho. La conmutación del relé de marcha derecha energiza la bobina de los contactores de marcha derecha del motor (*KMD*) y de cierre del circuito del motor (*KM1*), encendiendo el motor.

Cuando el temporizador electrónico (*KT2*) alcanza el tiempo establecido para la conmutación, cambia de estado, desenergizando la bobina del relé de marcha derecha (*KD*) y activando el relé de marcha izquierda (*KI*). Esto provoca la apertura del circuito que alimenta la bobina del contactor de marcha derecha (*KMD*) y cierra el circuito de alimentación del contactor de marcha izquierda (*KMI*) invirtiendo el sentido de giro del motor. El circuito de alimentación del motor se mantiene cerrado por el contacto auxiliar, conectado en forma normal abierta, de *KI*. El circuito de accionamiento del relé de marcha izquierda posee un contacto tipo C del relé de marcha derecha, conectado en forma normal cerrada, para evitar que ambos relés se energicen en simultáneo. A su vez, al accionarse (*KI*), se activa el temporizador electrónico (*KT1*), el cual controla el tiempo de giro en sentido izquierdo del motor. Cuando el temporizador alcanza el tiempo establecido, conmuta sus contactos, provocando la apertura del circuito completo, el cual vuelve a su estado inicial para un nuevo ensayo.

Con la finalidad de limitar el número de intervenciones en el circuito eléctrico, se propone la colocación de una llave conmutadora de dos posiciones (*MAN*) que controla la alimentación del relé de accionamiento manual (*K2*). Cuando la bobina del relé *K2* se encuentra energizada, se desconectan los temporizadores electrónicos. Esto permite

accionar el motor en cualquiera de los dos sentidos de giro mediante los pulsadores normales abiertos de marcha derecha (*PMD*) y marcha izquierda (*PMI*) durante un tiempo indeterminado.

El circuito posee un pulsador normal cerrado de parada (*PP*) en caso que sea necesario detener el equipo, en funcionamiento automático, ante una emergencia, o, en funcionamiento manual, para finalizar la prueba.

Los pilotos luminosos (*HM*; *HD*; *HI*) indican el estado de las bobinas del relé de accionamiento manual y de los contactores con el objetivo brindarle información al usuario del funcionamiento del equipo.

### Selección de los componentes eléctricos

#### 02-E-D-003: Guardamotor

Para la selección del guardamotor se tuvo en cuenta la corriente nominal consumida por el motor, la cual corresponde a 2,5 A. Los guardamotors son dispositivos electromecánicos, que protegen los motores contra las sobrecargas, los cortocircuitos y la falta de una fase. Poseen instrumentos tanto para la protección térmica como contra cortocircuitos.

Para el caso analizado, se selecciona un guardamotor de corriente nominal 1,6 A a 2,5 A, que admite una potencia de motor de hasta 0,75 kW a 400 V – 50 Hz. El poder de corte se encuentra normalizado según la norma europea IEC 60947-2, y es de 100 kA a 230 V – 50 Hz. La corriente de disparo magnética corresponde a 33,5 A y admite hasta 100000 ciclos.

Se selecciona, a modo de referencia, un producto comercial del fabricante Schneider Electric, modelo GV2ME07: Guardamotor magnetotérmico 3P 1,6/2,5 A. La disipación de calor de estos elementos 2,5 W / polo. Las curvas de corte de este dispositivo se muestran en la figura 3.3.11.

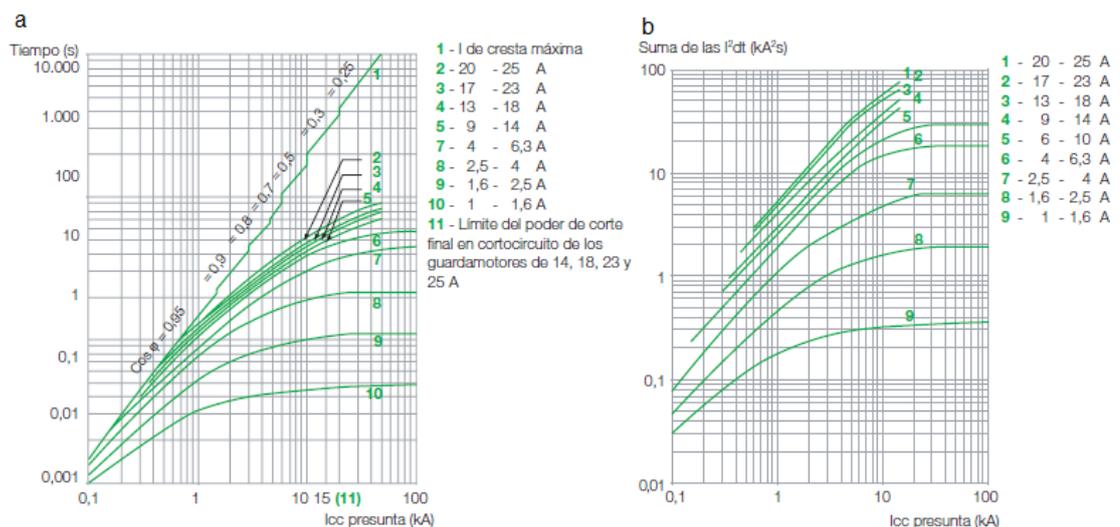


Figura 3.3.11. (a) Limitación de la corriente de cortocircuito trifásica (curva 9). (b) Esfuerzo térmico en  $kA^2s$  en la zona de acción magnética (fuente: Schneider Electric [32]).

#### 02-E-D-004: Contactores

Para el accionamiento del circuito de potencia, debido a que el motor posee un factor de potencia aproximado de 0,43 al 50 % de la potencia, considerando que, según los cálculos realizados previamente, el motor no funciona al máximo de su capacidad. Por tal motivo, la corriente posee una importante componente inductiva que deben soportar los contactores de conexión y desconexión.

Debido a que, comercialmente, hay mayor disponibilidad de contactores trifásicos, se utilizan dos de los tres polos para controlar los motores monofásicos. Los contactos principales poseen una intensidad asignada de empleo de 6 A. Se seleccionan accesorios con alimentación de la bobina a 220 V – 50 Hz para evitar el empleo de un transformador para el circuito de comando, que aumentaría los costos y requeriría mayor complejidad en la instalación eléctrica.

Los contactores seleccionados permiten controlar motores de hasta 1,5 kW – 220 V – 50 Hz y tienen un consumo de 30 VA en el arranque y 4,5 VA en funcionamiento estable. La disipación de potencia corresponde a 1,3 W .

En este trabajo, se seleccionan como referencia minicontactores ofrecidos por el fabricante Schneider Electric, modelo LC1K0601M7 [18].

#### 02-E-D-005 y 02-E-D-007: Relés de conexión

Para el control del circuito de potencia se seleccionan relés de conexión o enchufables, debido a que son compactos y versátiles. Debido a que la corriente que deben manejar es baja, son muy útiles para la automatización del circuito diseñado.

En este caso se requieren dos relés con 4 contactos tipo C, los cuales poseen un contacto normal cerrado y un contacto normal abierto unidos a un terminal común (figura 3.3.12). Debido a la configuración del circuito de comando planteada, se utilizan los contactos tipo C como normales abiertos o normales cerrados según sea necesario. Estos relés se emplean para controlar el accionamiento del motor en los distintos sentidos de giro.

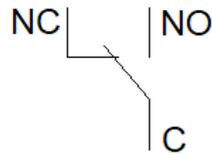


Figura 3.3.12. Contacto tipo C.

La referencia comercial seleccionada en este caso corresponde a los relés modelo RXM4AB1P7 (figura 3.3.13.a) del fabricante Schneider Electric. Los contactos de estos relés admiten hasta  $6 A$  resistivos a  $250 V - 50 Hz$ . El consumo aproximado de las bobinas es de  $1,2 VA$ .

Asimismo, se requiere un relé de dos contactos tipo C para la conmutación del accionamiento automático al manual. El modelo comercial seleccionado es el RXM2LB1P7 del proveedor Schneider Electric [18]. Este relé posee una corriente nominal resistiva de  $5 A$  a  $250 V$ . El consumo aproximado de la bobina es de  $1,2 VA$ .

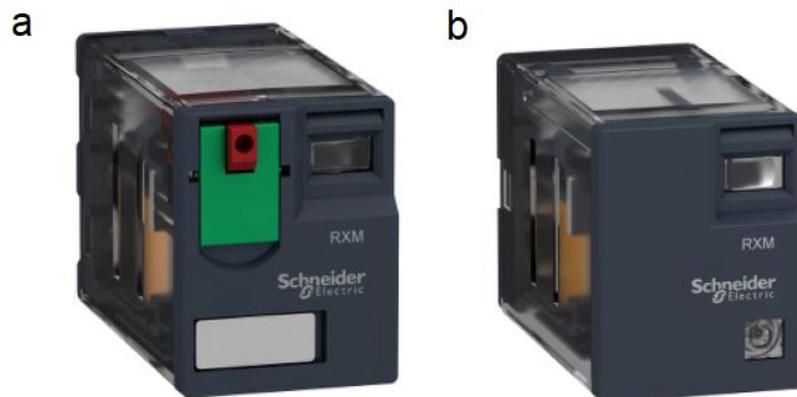


Figura 3.3.13. (a) Relé de conexión modelo RXM4AB1P7, (b) relé de conexión modelo RXM2LB1P7 (Fuente: Schneider Electric [18]).

02-E-D-006: Zócalo para relés de conexión

Los relés de conexión requieren de un zócalo con posibilidad de fijarse al tablero eléctrico que permita la conexión de los pines con los conductores correspondientes. Este tipo de elementos posee borneras para la unión de los conductores y enchufes para la conexión de los relés (figura 3.3.14).



Figura 3.3.14. Zócalo para relé enchufable (Fuente: Schneider Electric [18]).

Los zócalos deben permitir el paso de la corriente nominal de los contactos del relé, por lo tanto, se requieren dos zócalos que admitan  $6 A$  para el caso de los relés de cuatro contactos auxiliares y  $5 A$  para los relés de dos contactos.

En este trabajo, se seleccionan como referencia zócalos para relés enchufables RXM modelo RXZE2M114M del fabricante Schneider Electric [18] ya que corresponden con los ofrecidos para el modelo de relé seleccionado. Estos zócalos admiten una corriente nominal de  $6 A$  a  $250 V - 50 Hz$  y permiten la conexión de relés de dos y cuatro contactos, por lo que se usan para los dos modelos detallados anteriormente.

02-E-D-008: Control de tiempo electrónico multifunción

Para la automatización del equipo se requiere la inversión de marcha y la parada luego de un tiempo determinado por las condiciones de ensayo. Para lograr este objetivo, se propone la utilización de controladores de tiempo electrónicos multifunción. Estos controladores modifican su estado luego de un determinado tiempo desde su energización.

Los controladores de tiempo electrónicos seleccionados como referencia en este proyecto corresponden al modelo ZRMX.G del fabricante THOMELEC [19]. Los mismos poseen un contacto tipo C que cambia de posición según el modo de operación seleccionado. En la figura 3.3.15 se muestra el modo de conexión y el programa adecuado para cumplir con los requerimientos del circuito de comando.

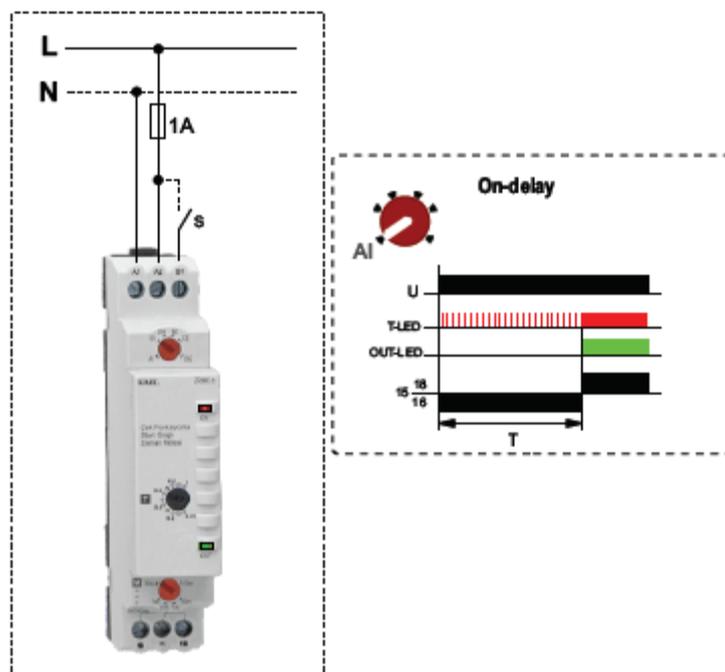


Figura 3.3.15. Control de tiempo electrónico, forma de conexión y programa utilizado  
(Fuente: THOMELEC [19]).

El circuito diseñado consta de dos controles de tiempo, uno de ellos ( $KT2$ ) se alimenta al accionar el pulsador de marcha automática ( $PMD$ ) y, luego del tiempo preestablecido, conmuta el contacto, desenergizando la bobina del relé de marcha derecha ( $KD$ ) y activando el de marcha izquierda ( $KI$ ). El otro control ( $KT1$ ) se activa al energizarse el relé de marcha izquierda ( $KI$ ) y conmuta el contacto al alcanzar el tiempo indicado, abriendo la totalidad del circuito y regresándolo a la situación inicial.

Estos controles consumen un total de  $2 VA$  y poseen una corriente máxima admisible de  $5 A$  a  $250 V - 50 Hz$ . Su montaje se realiza sobre riel normalizado según DIN en el tablero eléctrico.

#### 02-E-D-009, 02-E-D-010 y 02-E-D-011: Pulsadores y llave selectora

Para el accionamiento del circuito, tanto en modo automático como manual, se emplean pulsadores normales abiertos, los cuales requieren un contacto auxiliar de los relés para realizar en enclavamiento. Estos se solicitan en color verde.

Estos pulsadores poseen una corriente admisible de  $4 A$ , sin embargo, el tiempo que se encuentran soportando dicha corriente es de algunos segundos.

Los pulsadores de referencia empleados corresponden al modelo XB7NA31 del fabricante Schneider Electric [18].

Para la parada del sistema, en caso de emergencia o en modo manual, se utiliza un pulsador normal cerrado, de color rojo. Este produce la apertura de la alimentación del circuito y posee una corriente admisible de  $4 A$ . El modelo considerado como referencia es XB7NA42 del proveedor Schneider Electric.

Se requiere un elemento para cambiar del accionamiento automático al manual, para ello se utiliza una llave selectora de dos posiciones a  $90^\circ$ , compuesta de un contacto normal cerrado. La corriente admisible de la llave corresponde a  $4 A$ . La referencia analizada en este caso es el modelo XB7ND21 del fabricante Schneider Electric [18].

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 102 de 200
-------------------------------------	---------	---------	-------------------

### 02-E-D-012 y 02-E-D-013: Pilotos luminosos

Con el objetivo de informar el estado del circuito (sentido de giro del motor y accionamiento manual) se propone la utilización de tres pilotos luminosos LED. Dos se solicitan en color verde para la indicación del sentido de giro del motor, y uno en color amarillo para indicar que el circuito se encuentra en funcionamiento manual.

Los modelos correspondientes utilizados como referencia son XB7EV63P para el piloto LED de color verde y XB7EV65P para el amarillo [18].

### 02-E-D-002: Gabinete estanco

El gabinete estanco que contiene a los elementos del circuito eléctrico se selecciona considerando el espacio requerido para alojar y conectar de forma cómoda y segura todos los componentes del circuito eléctrico. El gabinete seleccionado se verifica según la disipación de potencia necesaria ya que la circulación de corriente genera calor que ha de eliminarse de forma segura.

Considerando las dimensiones de cada uno de los elementos y el espacio necesario para las conexiones, se selecciona un gabinete estanco normalizado según IRAM 62670, grado de protección IP 65 según CEI 60529: protección completa contra polvo y chorros de agua.

Este gabinete posee  $23\text{ cm}$  de ancho,  $28\text{ cm}$  de alto y  $14\text{ cm}$  de profundidad. Este posee una superficie disponible de  $644\text{ cm}^2$ , siendo el área requerida por los componentes del circuito eléctrico de  $223,65\text{ cm}^2$  lo que resulta en un porcentaje de ocupación de, aproximadamente,  $35\%$ . Este gabinete posee una disipación de potencia calorífica de  $22\text{ W}$ .

Para la verificación de la disipación de potencia, se adopta lo expuesto por la Asociación Electrotécnica Argentina, 2006, en la Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles, parte 7, sección 771 (AEA 90364-7-771).

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 103 de 200
-------------------------------------	---------	---------	-------------------

La potencia total disipada en el tablero se calcula según la fórmula mostrada en la ecuación 3.3.31. En esta ecuación,  $P_{dp}$  corresponde a la potencia disipada por los elementos del tablero,  $0,2 P_{dp}$  a la potencia disipada por las conexiones, tomacorrientes, relés, interruptores, entre otros, y  $P_{au}$  es la potencia disipada por otros dispositivos y aparatos eléctricos.

$$P_{tot} = P_{dp} + 0,2 P_{dp} + P_{au} \quad (3.3.31)$$

La potencia total disipada por los elementos del tablero,  $P_{dp}$ , se calcula teniendo en cuenta los coeficientes de utilización  $K_e$  y de simultaneidad  $K$ . En el caso analizado en este trabajo, es posible saber con exactitud bajo qué circunstancias se tendrá el mayor número de elementos activos con más generación de calor. Esta situación ocurre durante el funcionamiento automático, en el cual se encuentran energizados el guardamotor, dos contactores, un relé y un control de tiempo electrónico. Por tal motivo, el factor de simultaneidad se adopta  $K = 1$  y se considera la potencia disipada por los elementos activos al mismo tiempo.

La potencia disipada por los cinco elementos determinados corresponde a  $13,3 W$ .

Debido a que los elementos eléctricos no se encuentran siempre solicitados en su nivel nominal de corriente, se considera el factor de utilización convencional  $K_e = 0,85$  ya que no se sabe con exactitud la corriente que realmente circula por cada uno de los elementos.

Considerando el factor de utilización, la potencia total disipada corresponde a  $P_{dp} = 11,3 W$ .

La potencia disipada por las conexiones se asume como el 20 % del calor generado por los elementos del tablero, con lo cual esta es  $2,26 W$ . Asimismo, se asume que los pulsadores, llave selectora y pilotos LED generan un estimado del 30 % de la potencia disipada por los elementos del tablero, con lo cual, la potencia auxiliar será  $P_{au} = 3,39 W$ .

Con los términos calculados es posible reemplazar en la ecuación 3.3.31, obteniéndose una potencia total cuyo valor es  $P_{tot} = 16,96 W \cong 17 W$ .

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 104 de 200
-------------------------------------	---------	---------	-------------------

El gabinete seleccionado posee una potencia máxima disipable de  $P_{de} = 22 W$ , como  $P_{de} > P_{tot}$ , este queda verificado a la disipación de potencia térmica generada durante el funcionamiento normal del equipo.

En este trabajo, se emplea como referencia el gabinete modelo 17232814 del fabricante GENROD que cumple con las características detalladas [20].

### Conductores

La determinación de la sección de los conductores requerida para alimentar el motor eléctrico, se considera la ecuación 3.3.32. En esta ecuación,  $I_n$  corresponde la intensidad nominal de corriente de alimentación del motor e  $I_d$  a la intensidad de arranque.

$$I_{dis} = I_n + \frac{I_d}{3} \quad (3.3.32)$$

Para el motor seleccionado, la corriente nominal es  $2,5 A$  y la corriente de arranque es  $10,8 A$ , con lo cual, la corriente de diseño corresponde a  $I_{dis} = 6,1 A$ .

El equipo diseñado se debe conectar a un circuito de tomacorrientes de uso general. Por tal motivo, se adopta como sección mínima admisible, la establecida por la Asociación Electrotécnica Argentina en Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles, parte 7, sección 771 (AEA 90364-7-771) [33] para estos circuitos, la cual corresponde a  $2,5 mm^2$ .

Ya que el equipo se utilizará en interiores, sin exposición a altas temperaturas o atmósferas que puedan deteriorar la aislación de los conductores, se propone la utilización de conductores normalizados según IRAM NM 247-3. Estos conductores admiten una corriente de  $21 A$  según AEA 90364-7-771, la cual es mayor a la corriente de diseño.

La longitud de los conductores no supera  $3 m$  con lo cual la caída de tensión no es considerable para el caso analizado.

Se propone la estandarización de estos conductores para todas las conexiones eléctricas. Debido a que el consumo del circuito de comando es menor a  $1 A$  se considera que el conductor verifica térmicamente ante las cargas consideradas.

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 105 de 200
-------------------------------------	---------	---------	-------------------

## **Capítulo 4. Puesta en funcionamiento, ensayos y resultados**

Capítulo 4. Puesta en funcionamiento, ensayos y resultados .....	106
Capítulo 4.1. Materiales y métodos .....	107
Capítulo 4.2. Resultados .....	114
Condiciones de ensayo .....	114
Resultados de ensayos .....	117
Resultados de las pruebas estadísticas.....	125
Capítulo 4.3. Discusión .....	127

## Capítulo 4.1. Materiales y métodos

Los ensayos se llevaron a cabo empleando el prototipo de ensayo diseñado con motivo de la práctica profesional supervisada de la carrera Ingeniería Electromecánica.

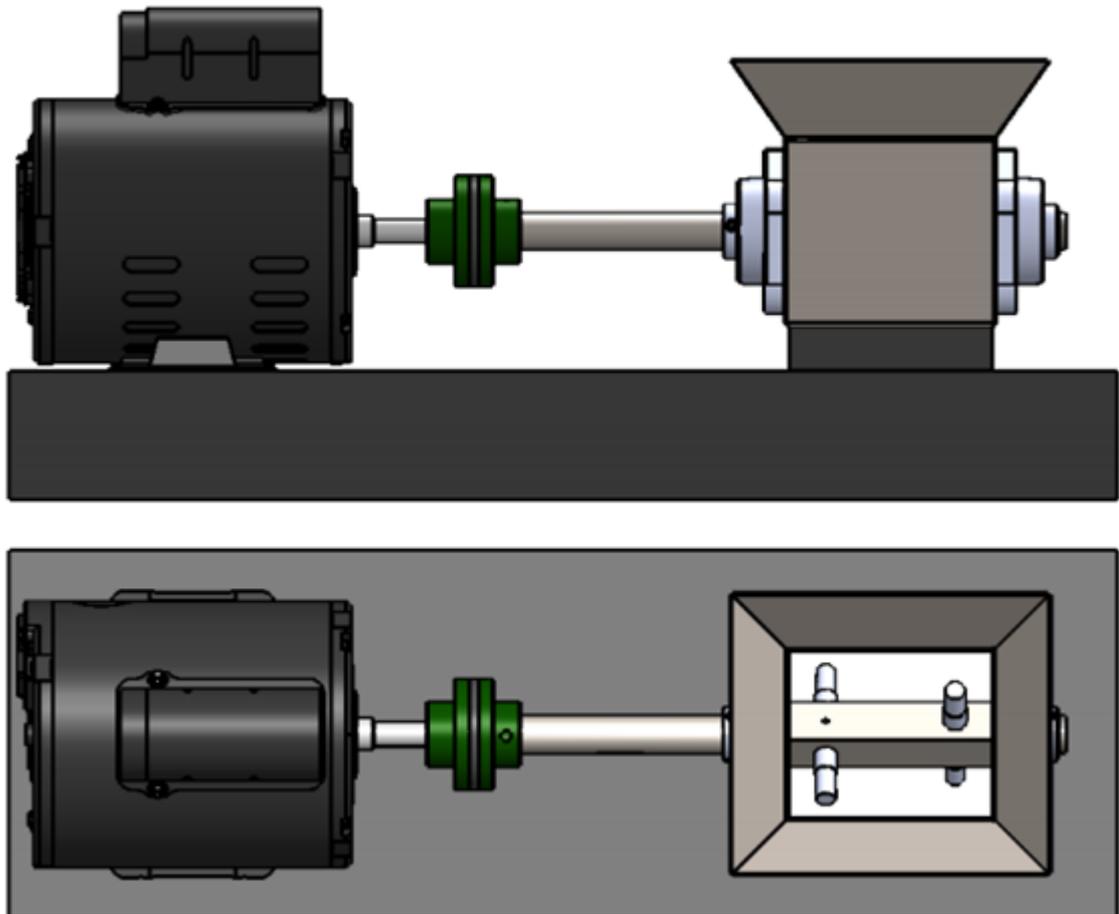


Figura 4.1.1. Representación en 3D del prototipo diseñado con motivo de la Práctica Profesional Supervisada.

El arroz se coloca en el recipiente, mientras que los testigos a desgastar se fijan al eje conectado al motor. El motor eléctrico impulsa el eje del equipo transmitiéndole un momento torsor. Al rotar, los testigos se encuentran en movimiento relativo respecto de los granos de arroz, los cuales, a su vez, son agitados dentro del recipiente, logrando una renovación de las superficies en contacto con el material a desgastar.

En este trabajo se estudiaron dos variedades de arroz largo fino: Memby Porá INTA CL y Don Juan INTA. Los mismos se evaluaron con testigos de diversas formas y materiales comerciales, combinando diferentes lapsos de tiempo, velocidades y sentidos de giro para determinar las características óptimas. Los parámetros de los ensayos se resumen en la tabla 4.1.a. Todos los ensayos fueron realizados en las condiciones ambientales del día en que se llevaron a cabo.

Tabla 4.1.a. Resumen de las condiciones de los ensayos realizados.

Código del ensayo	Masa / volumen de arroz	Material del testigo	Forma del testigo	Velocidad de rotación	Sentido de rotación	Tiempo de ensayo
I-001/170719	200 g	Aluminio	Anular, diámetro 9 mm, longitud 70 mm	60 rpm	Horario	20 minutos
I-002/250719	200 g	Aluminio	Anular, diámetro 9 mm, longitud 70 mm	200 rpm	Horario	60 minutos
I-003/140819	200 g	Aluminio	Anular, diámetro 9 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	40 minutos
I-004/240819	200 g	Aluminio	Anular, diámetro 9 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	60 minutos
I-005/060919	200 g	Aluminio	Rectangular, 10 mm x 5 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	30 minutos
I-006/190919	200 g	Madera de pino	Circular, diámetro 6 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	60 minutos
I-007/300919	200 g	Madera balsa	Cuadrada, 6 mm x 6 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	40 minutos
I-008/071019	200 g	Madera balsa	Cuadrada, 6 mm x 6 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	15 minutos
					Antihorario	15 minutos

Prototipo de ensayo en materiales sometidos al desgaste  
por el grano de arroz con cáscara  
Capítulo 4.1 Materiales y métodos

PFC-1904A  
MM-Rev.00

Continuación tabla 4.1.a.

I-009/231019	150 g	Madera balsa	Cuadrada, 6 mm x 6 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	10 minutos
					Antihorario	10 minutos
I-010/231019	150 g	Madera balsa	Cuadrada, 3 mm x 3 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	10 minutos
I-011/090120	300 mL	Madera balsa	Circular, diámetro 4 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	15 minutos
					Antihorario	15 minutos
I-012/130120	300 mL	Madera balsa	Circular, diámetro 4 mm, longitud 80 mm	1400 rpm	Horario	10 minutos
					Antihorario	10 minutos
I-013/170120	150 g	Madera balsa	Cuadrada, 6 mm x 6 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	10 minutos
					Antihorario	10 minutos
I-014/100120	300 mL	Madera balsa	Cuadrada, 6 mm x 6 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	10 minutos
					Antihorario	10 minutos
I-015/200120	150 g	Madera balsa	Cuadrada, 6 mm x 6 mm, longitud 80 mm	1400 rpm	Horario	10 minutos
					Antihorario	10 minutos
I-016/270120	150 g	Madera balsa	Cuadrada, 6 mm x 6 mm, longitud 80 mm	1400 rpm	Horario	10 minutos
					Antihorario	10 minutos
I-017/060220	300 mL	Madera balsa	Cuadrada, 6 mm x 6 mm, longitud 70 mm	1400 rpm	Horario	10 minutos
					Antihorario	10 minutos

El grano de arroz se analizó con cáscara, limpio de hojas, restos de plantas y otros elementos extraños y con un contenido de humedad de aproximadamente 14 % (condiciones

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 109 de 200
-------------------------------------	---------	---------	-------------------

de almacenamiento). Según el ensayo realizado, se pesaron 150 g de arroz en una balanza o se enrasaron 300 mL del material en una probeta de vidrio.

La abrasividad del grano de arroz de las dos variedades estudiadas se determinó a partir de la masa perdida. Para esto, los testigos se pesaron previa y posteriormente al ensayo en una balanza analítica digital (OHAUS, Pioneer Analytical, resolución: 0,0001 g). Cada testigo se pesó cuatro veces en orden aleatorio y en diferentes posiciones, el promedio de estas mediciones se utilizó para la determinación, con mayor representatividad, de la diferencia de masa.

Para cada muestra de arroz ensayada se tienen dos testigos o probetas. Los ensayos fueron replicados en los casos en los cuales se detectó una pérdida de masa de una magnitud considerablemente mayor para descartar errores de proceso.

Los testigos se ajustaron al eje del equipo procurando que sus extremos se encuentren equidistantes de las paredes del recipiente contenedor del arroz durante el ensayo para garantizar la repetibilidad. En el caso de los testigos de sección cuadrada se aseguró que los lados sean paralelos a las caras del eje de sujeción.

Para la determinación de las condiciones de ensayo óptimas, se compararon las medias de la pérdida de masa de las dos poblaciones de arroz estudiadas. Considerando los requerimientos para la prueba estadística, se verificó la normalidad de los datos.

Debido a que se desconoce la desviación estándar de la población y las muestras son pequeñas ( $n \leq 30$ ), los datos fueron analizados estadísticamente con la distribución  $t$  de Student [34]. El planteo de un test de hipótesis bajo dichas condiciones, permitió determinar la existencia de diferencias significativas entre las medias de las poblaciones de arroz estudiadas. Para la determinación de la fórmula de cálculo del estadístico de prueba a utilizarse en el test  $t$ , se realizaron análisis de homocedasticidad.

La prueba de homocedasticidad o de igualdad de dos varianzas poblacionales permite determinar si las varianzas de las dos poblaciones analizadas pueden suponerse iguales. Esta prueba utiliza la distribución de probabilidades  $F$  de Snedecor [35].

La hipótesis nula considerada corresponde a  $H_0: \sigma_a^2 = \sigma_b^2 \Rightarrow H_0: \frac{\sigma_a^2}{\sigma_b^2} = 1$  siendo  $\sigma_a^2$  y  $\sigma_b^2$  las varianzas de las poblaciones  $a$  y  $b$  mientras que la hipótesis alternativa es  $H_1: \sigma_a^2 \neq \sigma_b^2 \Rightarrow H_1: \frac{\sigma_a^2}{\sigma_b^2} \neq 1$ .

El estadístico de prueba corresponde a:

$$F = \frac{s_a^2 / \sigma_a^2}{s_b^2 / \sigma_b^2} \quad (4.1.1)$$

Siendo  $s_a^2$  y  $s_b^2$  las varianzas muestrales. Bajo el supuesto de la hipótesis nula, el estadístico de prueba es:

$$F = \frac{s_a^2}{s_b^2} \quad (4.1.2)$$

El estadístico tiene distribución  $F$  con  $n_a - 1$  y  $n_b - 1$  grados de libertad, siendo  $n_a$  y  $n_b$  el tamaño de las muestras. Adoptando el criterio de considerar en el numerador de  $F$  la mayor varianza muestral, la prueba de homocedasticidad, antes bilateral, será unilateral derecha. Las hipótesis planteadas corresponderán a  $H_0: \frac{\sigma_a^2}{\sigma_b^2} \leq 1$  y  $H_1: \frac{\sigma_a^2}{\sigma_b^2} > 1$ . Con un nivel de significación  $\alpha$ , el valor crítico del estadístico es  $F^* = F_{\alpha; (n_a-1); (n_b-1)}$  [36].

Luego, si  $F \geq F^*$  se rechaza la hipótesis nula, mientras que si  $F < F^*$  no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula con lo cual las muestras provienen de dos poblaciones con idénticas varianzas.

Considerando los resultados de los análisis previos, se procede a aplicar la prueba  $t$  de Student. Siendo  $\mu_a$  y  $\mu_b$  las medias de la pérdida de masa para las poblaciones  $a$  y  $b$ , la hipótesis nula planteada es  $H_0: \mu_a = \mu_b$ , mientras que la hipótesis alternativa es  $H_1: \mu_a \neq \mu_b$ .

En el caso que se compruebe que las varianzas son iguales, el estadístico se calcula como:

$$t = \frac{(\bar{x}_a - \bar{x}_b) - (\mu_a - \mu_b)}{\sqrt{s^2 \left( \frac{1}{n_a} + \frac{1}{n_b} \right)}} \quad (4.1.3)$$

En la ecuación (4.1.3),  $s^2$  es la varianza combinada:

$$s^2 = \frac{s_a^2 (n_a - 1) + s_b^2 (n_b - 1)}{n_a + n_b - 2} \quad (4.1.4)$$

Siendo los grados de libertad de la distribución:

$$v = n_a + n_b - 2 \quad (4.1.5)$$

En cambio, si la hipótesis nula de la prueba de homocedasticidad se rechaza, el estadístico de prueba es:

$$t = \frac{(\bar{x}_a - \bar{x}_b) - (\mu_a - \mu_b)}{\sqrt{\frac{s_a^2}{n_a} + \frac{s_b^2}{n_b}}} \quad (4.1.6)$$

Y los grados de libertad:

$$v = \frac{\left( \frac{s_a^2}{n_a} + \frac{s_b^2}{n_b} \right)^2}{\frac{\left( \frac{s_a^2}{n_a} \right)^2}{n_a - 1} + \frac{\left( \frac{s_b^2}{n_b} \right)^2}{n_b - 1}} \quad (4.1.7)$$

El resultado de los grados de libertad se redondea al próximo menor entero [37].

Para un nivel de significación  $\alpha$ , el estadístico crítico corresponde a  $t^* = t_{\frac{\alpha}{2}; v}$ .

Luego, la regla de decisión indica, si  $-t^* \leq t \leq t^*$ , no se rechaza la hipótesis nula, mientras que si  $t < -t^*$  o  $t > t^*$  se rechaza la hipótesis nula.

Los resultados de los ensayos representativos del estudio realizado se presentaron en forma de diagramas de caja. Estos diagramas permiten visualizar de manera más sencilla y

rápida los principales resultados obtenidos. Son especialmente útiles para el análisis de muestras pequeñas y evitan la pérdida de información de los datos más alejados de la media. Asimismo, se los prefiere frente a otras representaciones gráficas, como los histogramas, para distribuciones asimétricas o irregulares ya que presentan información sobre los cuartiles, los datos atípicos y la asimetría de la muestra [34].

## Capítulo 4.2. Resultados

Se realizaron diferentes experimentos con el objetivo de determinar aquellas condiciones de ensayo que permitieran registrar de manera cuantitativa el desgaste producido por el movimiento del arroz con cáscara contra distintas superficies (tabla 4.2.a). Considerando los datos obtenidos, se continuó con la comparación entre las variedades de arroz analizadas, adoptando las condiciones de los ensayos en los cuales se advirtió mayor sensibilidad.

### Condiciones de ensayo

En la tabla 4.2.a se resumen los resultados obtenidos para los diferentes materiales de testigos, empleados en diferentes condiciones de ensayo, para la variedad de arroz Memby Porá INTA CL.

Las mayores pérdidas de masa se presentaron al emplear madera balsa de sección cuadrada, como es el caso del ensayo I-015/200120. Mientras que las menores, en comparación con la masa inicial del testigo, se registraron al utilizar aluminio de sección anular. Los porcentajes de masa perdida con respecto a la masa inicial brindan un indicio sobre la resistencia del material de los testigos al desgaste.

El incremento del tiempo de ensayo aumenta la diferencia de masa en el caso de los testigos de aluminio, no así en el caso de los de madera balsa. Al analizar los resultados obtenidos en los ensayos I-007/300919 y I-008/071019 se observa que no existe diferencia en la masa perdida al disminuir el tiempo en 10 minutos.

Se implementó la modificación del sentido de giro durante el transcurso del ensayo dado que se advirtió un desgaste desigual en las caras o lados opuestos de las probetas. Al invertir la rotación se logró una mayor uniformidad de la pérdida de masa.

El empleo de testigos de mayor longitud presenta la ventaja de un aumento en la pérdida de masa, sin embargo, incrementa el riesgo de rotura las probetas durante el ensayo, lo cual obliga a descartar las muestras. Al emplear testigos de 80 mm de longitud ocurrió la rotura de 2 de los 6 ensayados.

Tabla 4.2.a. Resumen de los resultados obtenidos para las distintas condiciones ensayadas considerando la variedad de arroz Memby Porá INTA CL.

Ensayo	Muestras de arroz	Pérdida de masa promedio (mg)	Media geométrica del porcentaje <sup>a</sup>
I-001/170719	I-001/170719-A01	10	0,17
I-002/250719	I-002/250719-A01	50	0,83
I-003/140819	I-003/140819-A01	45	0,79
I-004/240819	I-004/240819-A01	70	1,17
I-005/060919	I-005/060919-A01	20	0,61
I-006/190919	I-006/190919-A01	65	2,78
I-007/300919	I-007/300919-A01	100	17,71
I-008/071019	I-008/071019-A01	100	19,33
I-009/231019	I-009/231019-A01	60	10,95
I-010/231019	I-010/231019-A01	10	7,41
I-011/090120	I-011/090120-A01 a A05	50,6	20,62
I-012/130120	I-012/130120-A01 y A02	67,3	15,28
I-015/200120	I-015/200120-A01 a A03	91,8	17,17
I-017/060220	I-017/060220-A01 a A03	53,4	8,22

<sup>a</sup> El porcentaje corresponde a la pérdida de masa respecto a la masa inicial de los testigos.

La madera balsa presenta la mayor pérdida de masa ante las mismas condiciones que los demás materiales, como demuestran los resultados de los ensayos I-005/060919, I-006/190919 y I-007/300919. Esto también se verifica visualmente en la figura 4.2.1, en la cual se presentan fotografías de los testigos antes y después de ser ensayados, observándose una notoria disminución del volumen para los testigos de madera balsa.

Considerando los aspectos antes expuestos, se repitieron aquellos ensayos que arrojaron los resultados más prometedores.

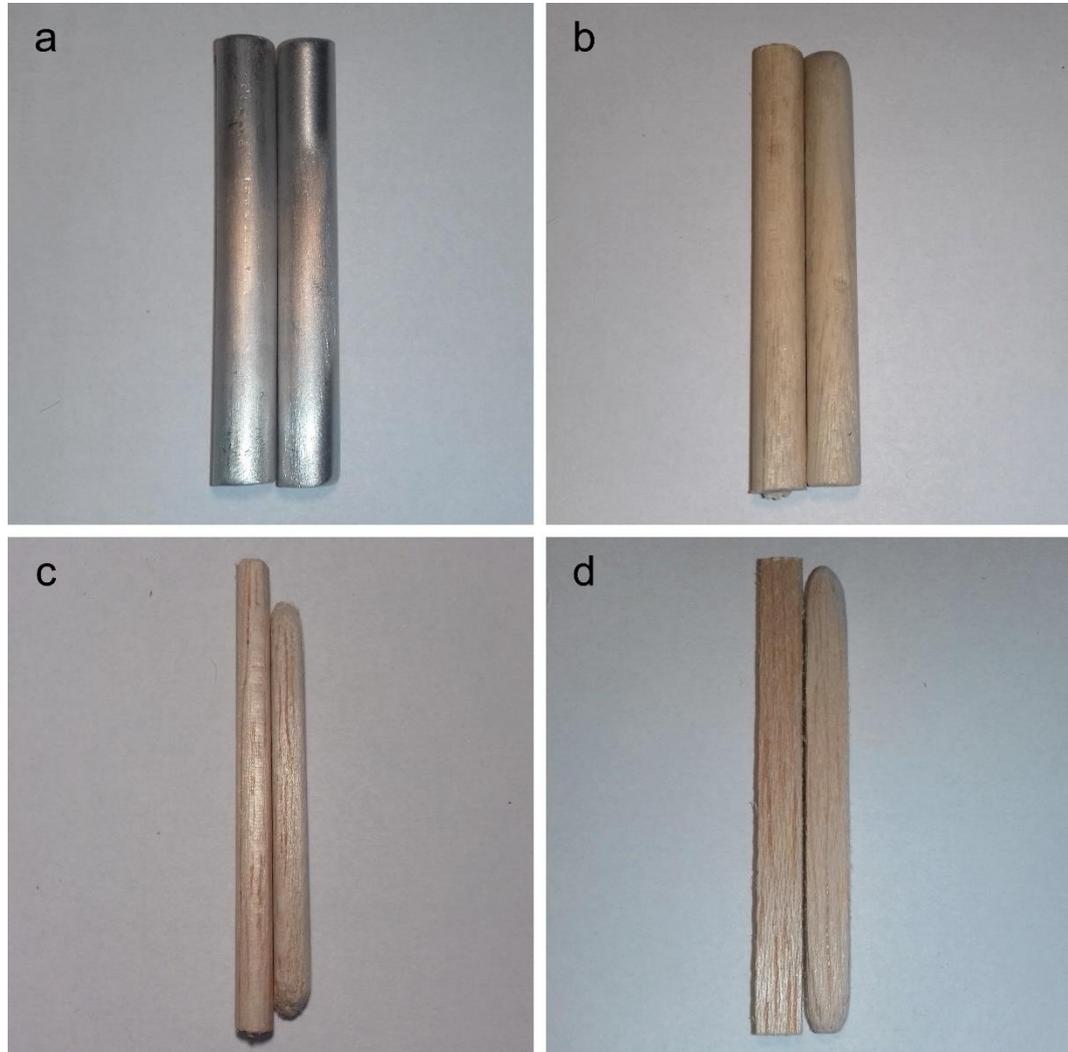


Figura 4.2.1. Fotografías de los testigos antes (izquierda) y después de ensayados (derecha) de (a) ensayo I-004/240819, (b) I-006/190919, (c) I-011/090120 y (d) I-017/060220.

## Resultados de ensayos

### Ensayo I-013/170120

Condiciones de ensayo:

- Material del testigo: Madera balsa.
- Sección del testigo: cuadrada, 6 mm x 6 mm.
- Longitud de los testigos: 70 mm.
- Tiempo de ensayo: total: 20 minutos (10 minutos en sentido horario seguidos de 10 minutos en sentido antihorario).
- Velocidad: 1400 rpm.

Muestras de arroz:

Tabla 4.2.b. Muestras de arroz del ensayo I-013/170120

	<b>Identificación</b>	<b>Masa (g)</b>
Memby Porá INTA CL	I-013/170120-A01	150,14
	I-013/170120-A02	149,63
	I-013/170120-A03	150,33
Don Juan INTA	I-013/170120-B01	149,91
	I-013/170120-B02	150,19
	I-013/170120-B03	150,58

Tabla 4.2.c. Resultados del ensayo I-013/170120 para el arroz Memby Porá INTA CL.

Identificación	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Diferencia (mg)	Porcentaje de la masa inicial (%)
I-013/170120-A01-01	546,8	513,6	33,3	6,088
I-013/170120-A01-02	547,2	513,7	33,5	6,115
I-013/170120-A02-01	546,9	512,7	34,2	6,261
I-013/170120-A02-02	544,1	513,4	30,7	5,638
I-013/170120-A03-01	548,7	510,9	37,8	6,892
I-013/170120-A03-02	547,7	514,4	33,3	6,082
			33,8 <sup>a</sup>	6,1685 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Promedio, <sup>b</sup> media geométrica.

Tabla 4.2.d. Resultados del ensayo I-013/170120 para el arroz Don Juan INTA.

Identificación	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Diferencia (mg)	Porcentaje de la masa inicial (%)
I-013/170120-B01-01	545,4	523,4	22,0	4,034
I-013/170120-B01-02	544,8	524,5	20,3	3,722
I-013/170120-B02-01	558,2	538,5	19,7	3,528
I-013/170120-B02-02	560,6	543,8	16,8	2,992
I-013/170120-B03-01	556,4	532,2	24,2	4,341
I-013/170120-B03-02	557,1	534,3	22,8	4,088
			20,9 <sup>a</sup>	3,757 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Promedio, <sup>b</sup> media geométrica.

Datos estadísticos de las muestras:

Medias y varianzas:

Considerando los resultados con arroz Memby Porá INTA CL:  $\bar{x}_a = 33,8 \text{ mg}$ ,  
 $s_a^2 = 5,35 \text{ mg}^2$

Considerando los resultados con arroz Don Juan INTA:  $\bar{x}_b = 20,9 \text{ mg}$ ,  $s_b^2 = 6,83 \text{ mg}^2$ .

Ensayo I-014/100120

Condiciones de ensayo:

- Material del testigo: Madera balsa.
- Sección del testigo: cuadrada, 6 mm x 6 mm.
- Longitud de los testigos: 70 mm.
- Tiempo de ensayo: total: 20 minutos (10 minutos en sentido horario seguidos de 10 minutos en sentido antihorario).
- Velocidad: 1400 rpm.

Muestras de arroz:

- Volumen: 300 mL

Tabla 4.2.e. Muestras de arroz del ensayo I-014/100120

	Identificación	Masa (g)
Memby Porá INTA CL	I-014/100120-A01	177,14
	I-014/100120-A02	177,88
Don Juan INTA	I-014/100120-B01	196,09
	I-014/100120-B02	195,88

Tabla 4.2.f. Resultados del ensayo I-014/100120 para el arroz Memby Porá INTA CL.

Identificación	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Diferencia (mg)	Porcentaje de la masa inicial (%)
I-014/100120-A01-01	663,9	605,4	58,5	8,815
I-014/100120-A01-02	668,9	606,5	62,4	9,325
I-014/100120-A02-01	714,3	630,6	83,7	11,715
I-014/100120-A02-02	716,6	632,6	84,0	11,721
			72,1 <sup>a</sup>	10,307 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Promedio, <sup>b</sup> media geométrica.

Tabla 4.2.g. Resultados del ensayo I-014/100120 para el arroz Don Juan INTA.

Identificación	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Diferencia (mg)	Porcentaje de la masa inicial (%)
I-014/100120-B01-01	697,9	630,6	67,3	9,637
I-014/100120-B01-02	697,3	632,6	64,7	9,279
I-014/100120-B02-01	699,3	640,8	58,5	8,364
I-014/100120-B02-02	701,8	634,1	67,7	9,649
			64,5 <sup>a</sup>	9,217 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Promedio, <sup>b</sup> media geométrica.

Datos estadísticos de las muestras:

Medias y varianzas:

Considerando los resultados con arroz Memby Porá INTA CL:  $\bar{x}_a = 72,1 \text{ mg}$ ,  $s_a^2 = 184,73 \text{ mg}^2$ .

Considerando los resultados con arroz Don Juan INTA:  $\bar{x}_b = 64,5 \text{ mg}$ ,  $s_b^2 = 18,03 \text{ mg}^2$

#### Ensayo I-015/200120<sup>1</sup>

Condiciones de ensayo:

- Material del testigo: Madera balsa.
- Sección del testigo: cuadrada, 6 mm x 6 mm.
- Longitud de los testigos: 80 mm.
- Tiempo de ensayo: total: 20 minutos (10 minutos en sentido horario seguidos de 10 minutos en sentido antihorario).
- Velocidad: 1400 rpm.

<sup>1</sup> Los resultados de los ensayos I-015/200120 e I-016/270120 se combinaron dado que fueron realizados en igualdad de condiciones.

Muestras de arroz:

Tabla 4.2.h. Muestras de arroz del ensayo I-015/200120

	Identificación	Masa (g)
Memby Porá INTA CL	I-015/200120-A01	150,06
	I-015/200120-A02	150,71
	I-015/200120-A03	150,28
	I-015/200120-A04	150,20
Don Juan INTA	I-015/200120-B01	150,00
	I-015/200120-B02	150,15
	I-015/200120-B03	150,71
	I-015/200120-B04	150,78

Tabla 4.2.i. Resultados del ensayo I-015/200120 para el arroz Memby Porá INTA CL.

Identificación	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Diferencia (mg)	Porcentaje de la masa inicial (%)
I-015/200120-A01-01	799,1	692,5	106,5	13,331
I-015/200120-A01-02	787,6	692,1	95,6	12,135
I-015/200120-A02-01	413,2	320,8	92,4	22,365
I-015/200120-A02-02	414,0	326,4	87,5	21,144
I-015/200120-A03-01	431,9	348,6	83,4	19,303
I-015/200120-A03-02	424,5	331,4	93,0	21,917
I-015/200120-A04-01	668,4	576,5	91,9	13,749
I-015/200120-A04-02	496,0	411,9	84,1	16,947
			91,8 <sup>a</sup>	17,166 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Promedio, <sup>b</sup> media geométrica.

Tabla 4.2.j. Resultados del ensayo I-015/200120 para el arroz Don Juan INTA.

Identificación	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Diferencia (mg)	Porcentaje de la masa inicial (%)
I-015/200120-B01-01	780,6	689,2	91,4	11,712
I-015/200120-B01-02	421,4	342,1	79,3	18,815
I-015/200120-B02-01	415,6	339,7	75,9	18,268
I-015/200120-B02-02	432,7	352,1	80,6	18,627
I-015/200120-B03-01	966,7	913,5	53,2	5,501
I-015/200120-B03-02	1024,9	969,1	55,8	5,445
I-015/200120-B04-01	730,6	659,8	70,7	9,681
I-015/200120-B04-02	685,4	622,2	63,2	9,225
			71,3 <sup>a</sup>	10,909 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Promedio, <sup>b</sup> media geométrica.

Datos estadísticos de la muestra:

Medias y varianzas:

Considerando los resultados con arroz Memby Porá INTA CL:  $\bar{x}_a = 91,8 \text{ mg}$ ,  $s_a^2 = 54,61 \text{ mg}^2$ .

Considerando los resultados con arroz Don Juan INTA:  $\bar{x}_b = 71,3 \text{ mg}$ ,  $s_b^2 = 172,97 \text{ mg}^2$ .

#### Ensayo I-017/060320

Condiciones de ensayo:

- Material del testigo: Madera balsa.
- Sección del testigo: cuadrada, 6 mm x 6 mm.
- Longitud de los testigos: 70 mm.
- Tiempo de ensayo: total: 20 minutos (10 minutos en sentido horario seguidos de 10 minutos en sentido antihorario).
- Velocidad: 1400 rpm.

Muestras de arroz:

- Volumen: 300 mL

Tabla 4.2.k. Muestras de arroz del ensayo I-017/060320

	Identificación	Masa (g)
Memby Porá INTA CL	I-017/060320-A01	179,46
	I-017/060320-A02	177,84
	I-017/060320-A03	177,25
Don Juan INTA	I-017/060320-B01	185,89
	I-017/060320-B02	186,75
	I-017/060320-B03	188,70

Tabla 4.2.l. Resultados del ensayo I-017/060320 para el arroz Memby Porá INTA CL.

Identificación	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Diferencia (mg)	Porcentaje de la masa inicial (%)
I-017/060320-A01-01	544,9	494,5	50,3	9,236
I-017/060320-A01-02	670,2	614,0	56,2	8,386
I-017/060320-A02-01	622,6	568,6	54,1	8,685
I-017/060320-A02-02	680,7	624,1	56,6	8,312
I-017/060320-A03-01	627,6	581,1	46,6	7,417
I-017/060320-A03-02	762,4	705,7	56,7	7,437
			53,4 <sup>a</sup>	8,2197 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Promedio, <sup>b</sup> media geométrica.

Tabla 4.2.m. Resultados del ensayo I-017/060320 para el arroz Don Juan INTA.

Identificación	Masa inicial (mg)	Masa final (mg)	Diferencia (mg)	Porcentaje de la masa inicial (%)
I-017/060320-B01-01	593,8	553,3	40,4	6,808
I-017/060320-B01-02	672,8	627,0	45,8	6,807
I-017/060320-B02-01	625,5	579,8	45,7	7,306
I-017/060320-B02-02	696,8	648,1	48,8	6,996
I-017/060320-B03-01	646,1	607,7	38,4	5,944
I-017/060320-B03-02	745,5	708,5	37,0	4,963
			42,7 <sup>a</sup>	6,4180 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Promedio, <sup>b</sup> media geométrica.

Datos estadísticos de la muestra:

Medias y varianzas:

Considerando los resultados con arroz Memby Porá INTA CL:  $\bar{x}_a = 53,4 \text{ mg}$ ,  
 $s_a^2 = 17,13 \text{ mg}^2$ .

Considerando los resultados con arroz Don Juan INTA:  $\bar{x}_b = 42,7 \text{ mg}$ ,  $s_b^2 = 22,27 \text{ mg}^2$

### Resultados de las pruebas estadísticas

Las pruebas estadísticas de normalidad indicaron que las poblaciones de arroz Memby Porá INTA CL y Don Juan INTA se ajustan a una distribución normal.

En la tabla 4.2.n se resumen los resultados del análisis estadístico de los datos presentados en las tablas anteriores.

Tabla 4.2.n. Resultado del análisis estadístico de los datos.

Ensayo	Prueba de homocedasticidad			Prueba t		
	Estadístico de prueba ( $F$ )	Estadístico crítico ( $F^*$ ) <sup>a</sup>	Rechazo de hipótesis nula	Estadístico de prueba ( $t$ )	Estadístico crítico ( $t^*$ ) <sup>b</sup>	Rechazo de hipótesis nula
I-013/170120	1,28	5,05	No	9,02	2,23	Sí
I-014/100120	10,25	9,28	Sí	1,068	2,91	No
I-015/200120	3,17	3,79	No	3,849	2,145	Sí
I-017/060320	1,3	5,05	No	4,18	2,23	Sí

<sup>a</sup> Con un nivel de significación  $\alpha = 5\%$  acumulado a derecha.

<sup>b</sup> Con un nivel de significación  $\alpha = 5\%$  en ambos extremos de la distribución.

Se observa que en el ensayo I-014/100120 la variabilidad de los datos resultó mucho mayor para el arroz Memby Porá INTA CL que para la variedad Don Juan INTA, siendo las varianzas  $s_a^2 = 184,73 \text{ mg}^2$  y  $s_b^2 = 18,03 \text{ mg}^2$ . Esto se ve reflejado en el resultado de la prueba de homocedasticidad, en la cual se rechaza la hipótesis nula  $H_0 : \sigma_a^2 = \sigma_b^2$ . Es por ello que, aunque existe una diferencia entre los promedios de la masa perdida para las muestras de las dos variedades de arroz ( $\bar{x}_a = 72,1 \text{ mg}$  para el arroz Memby Porá INTA CL contra  $\bar{x}_b = 64,5 \text{ mg}$  para el arroz Don Juan INTA) no existe suficiente evidencia para inferir una diferencia significativa entre las medias de las poblaciones ( $-t^* \leq t \leq t^*$ ).

Los datos de los dos ensayos considerados representativos de las condiciones analizadas en este proyecto (I-013/170120 e I-017/060320) se resumen en diagramas de caja en la figura 4.2.2.

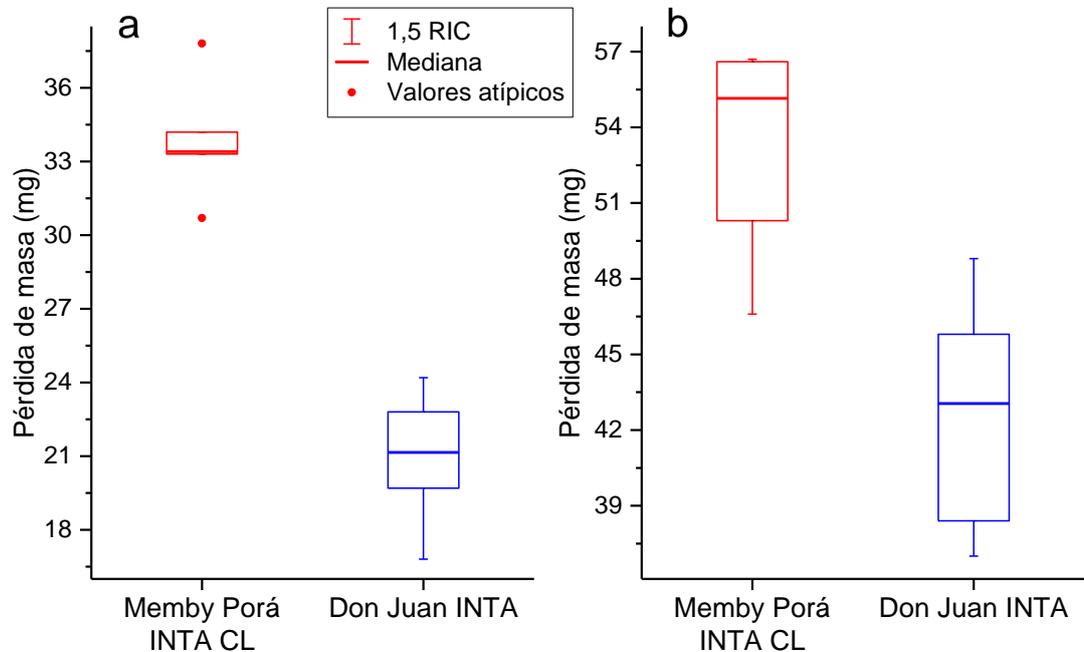


Figura 4.2.2. Resultados de los ensayos (a) I-013/170120 y (b) I-017/060320.

Se observa una mayor asimetría para las muestras de arroz Memby Porá INTA CL en ambos ensayos (figuras 4.2.2.a y b) dado que la mediana no se encuentra en la línea central de la caja. Para el ensayo I-013/170120 se observa que existe una concentración de los datos entre el cuartil 1 y la mediana (aproximadamente 33,4 mg), lo cual indica una asimetría positiva. A su vez, es el único que presenta datos fuera del rango comprendido entre una vez y media la amplitud intercuartílica respecto de los cuartiles (valores atípicos). En el caso del ensayo I-017/060320 se observa una asimetría negativa, dado que los datos menores a la mediana se encuentran más dispersos. En cambio, los datos para la variedad Don Juan INTA presentan mayor simetría en ambos ensayos, principalmente en el ensayo I-013/170120 en el cual la mediana es aproximadamente la línea media de la caja. En el caso de los datos del ensayo I-017/060320, se observa una leve asimetría negativa. Para este arroz, no se presentaron valores atípicos.

## Capítulo 4.3. Discusión

El objetivo general de este trabajo consistió en proponer un método de ensayo para la comparación de los niveles de abrasión y desgaste producidos por diferentes variedades de arroz con cáscara.

Específicamente, se construyó un prototipo de equipo con el fin de efectuar distintas pruebas y determinar los parámetros de ensayo óptimos para clasificar las variedades de arroz estudiadas. En este trabajo se analizaron dos variedades de arroz: Memby Porá INTA CL y Don Juan INTA. Se realizaron distintos ensayos, modificando el material de los testigos a desgastar, su forma geométrica, el tiempo, la velocidad y el sentido de giro.

A partir de los estudios llevados a cabo, se establecieron los parámetros óptimos para identificar la diferencia en el desgaste producido por las dos variedades mencionadas, considerando los requerimientos establecidos para el ensayo. Se propusieron modificaciones al diseño del equipo de ensayo basadas en el análisis de los resultados y las condiciones de operación del prototipo construido para este trabajo.

Las experiencias realizadas con diferentes materiales indican un aumento en la pérdida de masa inversamente proporcional a su dureza y resistencia. Para un mismo lapso de tiempo, la pérdida absoluta de masa para testigos de madera balsa, cuyo módulo de ruptura reportado por G. Moncayo et al., 2018 [38] es de aproximadamente  $154 \text{ kg/cm}^2$ , fue mayor. Mientras que, para madera de pino, con un módulo de ruptura de  $300 \text{ kg/cm}^2$  de acuerdo con R. Ramos et al., 2016 [39], la pérdida de masa fue menor. La menor diferencia de masa se registró para el caso de los testigos de aluminio, siendo su resistencia última a la tracción de  $1122,4 \text{ kg/cm}^2$  según lo publicado por E. R. Johnston et al., 2009 [40].

A su vez, la forma geométrica de los testigos influye en los resultados obtenidos. Al utilizar testigos de aluminio de sección rectangular no se observó una mayor pérdida de masa que en el caso de los de sección anular. Sin embargo, debido a la pequeña cantidad de material que pierden los testigos de aluminio frente a su masa inicial, se dificulta la identificación de una mejora ante la modificación de su forma geométrica (ensayos I-003/140819 e I-005/060919).

En el caso de la madera balsa, al emplear testigos de sección circular (ensayo I-011/090120) se registraron resultados contrarios a los obtenidos para el resto de las condiciones de ensayo (los datos no son mostrados). Esto puede deberse a una diferencia en la densidad de las varillas de madera balsa empleadas. Los testigos de sección cuadrada presentaron una mayor repetibilidad en los resultados y mayor pérdida de masa en promedio. Esto puede deberse a que, al presentar bordes de ataque más pronunciados, el desgaste sea mayor. Se ha determinado que la forma geométrica de la superficie en contacto con el material abrasivo influye en los fenómenos de desgaste ya que modifica la distribución de las tensiones [41]. A su vez, el movimiento de los granos de arroz durante el ensayo puede asemejarse al de un fluido, con lo cual, al variar la forma del testigo, puede existir una modificación en el flujo de los granos [41].

El tiempo del ensayo no influyó de manera apreciable en los resultados obtenidos al utilizar testigos de madera balsa, lo cual puede atribuirse a un comportamiento de desgaste estable luego de que ocurra un desgaste inicial [41]. En un período de desgaste estable, la tasa de desgaste disminuye con respecto a la inicial a medida que transcurre el tiempo. Al existir un movimiento relativo, en los primeros instantes, ocurre una modificación de las superficies, lo cual puede llevar a un aumento de la tasa de desgaste, que luego se reduce.

En contraposición, al utilizar testigos de aluminio de sección anular, se registró un aumento en la masa perdida al incrementar el tiempo de ensayo (I-003/170719 a I-005/060919).

Al modificar la velocidad de funcionamiento del motor no se observaron diferencias en el tipo de movimiento descrito por lo granos de arroz dentro del recipiente. En todos los casos se registró un movimiento irregular, que contribuye a la modificación y renovación de las superficies en contacto, lo cual podría disminuir o evitar el efecto del período de desgaste estable. Es posible aplicar el mismo razonamiento a la influencia de la inversión del sentido de giro del eje, ya que se evita que la cara de ataque sea siempre la misma.

Se detectó una influencia de la longitud de los testigos en la cantidad de masa desgastada durante los ensayos. En el caso de los testigos de madera balsa de 80 mm de largo, se registró, en promedio, un aumento de aproximadamente 30 mg en la masa perdida con respecto a aquellos de 70 mm de largo. También se advirtió un aumento en el porcentaje de pérdida con respecto a la masa inicial. Esto es consistente con un aumento de la superficie

Preparó: Maskavizan, Ana Justina	Revisó:	Aprobó:	Página 128 de 200
-------------------------------------	---------	---------	-------------------

de contacto entre el material a desgastar y el grano de arroz cáscara. No obstante, al incrementar la longitud, debido a la fragilidad y baja resistencia a la flexión del material, aumenta el riesgo de rotura de los testigos. Esto representa una desventaja, ya que el ensayo pierde validez y debe descartarse la muestra de arroz analizada. Dado que, en el caso de variedades de arroz que se encuentran en estado investigación y experimentación, no se cuenta con gran cantidad de granos, no es factible desecharlo.

Se advierte una alta variabilidad en los datos obtenidos para los ensayos I-014/100120 e I-015/200120, con desviaciones estándar de hasta aproximadamente 14 mg. Esto puede deberse a una alta variabilidad de la masa inicial, ya que la madera balsa no es un material normalizado. Las condiciones climáticas, topografía y suelo del lugar de procedencia de la madera influyen en el desarrollo del árbol según lo publicado por G. Moncayo et al., 2018 [38] y D. C. Baker, 2000 [42]. Asimismo, en un mismo árbol se presentan variaciones de densidad y resistencia entre distintos puntos. Esto dificulta el análisis de los resultados, en particular, en el caso de las pruebas estadísticas, ya que la metodología del test  $t$  para la determinación de diferencias significativas entre las medias poblacionales, depende del cumplimiento o no de la condición de homocedasticidad de las muestras. Tal aspecto se ve reflejado en los resultados del análisis estadístico del ensayo I-014/100120, en el cual se concluye que no existe una diferencia significativa entre los desgastes producidos por las dos variedades de arroz ya que la desviación estándar de las muestras es alta.

El análisis estadístico de los resultados permite establecer las condiciones de ensayo más favorables para la clasificación de las variedades de arroz según el grado de abrasividad. Estas condiciones corresponden a:

- Velocidad de rotación de 1400 rpm.
- Testigos de madera balsa de sección cuadrada 6 mm x 6 mm y longitud 70 mm.
- Duración del ensayo de 20 minutos, con 10 minutos en un sentido de rotación y 10 minutos en el sentido contrario.

En cuanto a la cantidad de arroz a emplear por ensayo, se estudiaron masas constantes (150 g) y volúmenes constantes (300 mL). Debido a que los equipos de manipulación de los granos de arroz cáscara: maquinaria agrícola, transporte, espacios de almacenamiento y equipos de poscosecha, se dimensionan según el volumen de material [43,44,45] se considera óptimo el uso de volúmenes constantes. Asimismo, las dos variedades de arroz

poseen diferentes densidades aparentes según los pesos de los 300 mL registrados en los ensayos I-014/100120 y I-017/060220. Debido a esto, al colocar masas iguales en el recipiente, la variedad de menor densidad ocupa un volumen mayor, lo cual aumenta la superficie del testigo en contacto con el grano. Una modificación en el área de contacto podría aumentar los resultados obtenidos para la variedad más liviana, infiriendo que es más abrasiva.

Los ensayos realizados en las condiciones previamente mencionadas que presentaron la menor desviación estándar de la pérdida de masa son el I-013/170120 y el I-017/060320. Los resultados del análisis estadístico de los datos obtenidos en estos ensayos, mostrados en la tabla 4.2.n, indican que existe una diferencia significativa en el desgaste. El arroz Memby Porá INTA CL provocó una mayor pérdida de masa que el arroz Don Juan INTA. Al emplear masas iguales, el primero desgastó, en promedio, 33,8 mg, mientras que el segundo, 20,9 mg. Al trabajar con iguales volúmenes, las masas perdidas, en promedio, fueron 53,4 mg y 42,7 mg, respectivamente.

Sin embargo, al trabajar con volúmenes iguales de arroz, se registró una menor diferencia de masa entre los resultados obtenidos para las dos variedades, como puede observarse en el diagrama de la figura 4.2.2.b. En el mismo, se muestra que los valores de mayor pérdida de masa para el arroz Don Juan coinciden con aquellos de menor pérdida para el arroz Memby Porá INTA CL. Esta situación no se presenta para el ensayo llevado a cabo con masas iguales de arroz.

De acuerdo con las fuentes bibliográficas consultadas, se considera que el análisis realizado en este trabajo representa la primera comparación formal de los niveles de abrasividad de los granos de arroz con cáscara de las variedades Memby Porá INTA CL y Don Juan INTA.

Este estudio se centró en la determinación de la diferencia en la abrasividad de los granos de arroz con cáscara de las variedades Memby Porá INTA CL y Don Juan INTA. Por lo tanto, no es posible afirmar que el mismo ensayo identificará diferencias entre otras variedades de arroz. Asimismo, el muestreo de arroz se realizó de un único lote o cultivar, con lo cual, los resultados inferidos para las poblaciones de las dos variedades se deben interpretar con precaución. Sería necesario la repetición de los ensayos para distintos

cultivares de una misma variedad con el objetivo de obtener estadísticos extrapolables a la población que fundamenten dicha inferencia.

Los ensayos fueron realizados empleando testigos de materiales comerciales, los cuales no han sido sometidos a estudios para la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas. La caracterización de los materiales permitiría extraer una mayor cantidad de información de los resultados obtenidos para los diversos ensayos.

En conclusión, en este trabajo se propuso y probó un método para la determinación del grado de abrasividad del arroz con cáscara. La principal ventaja del ensayo propuesto es su corta duración, ya que el tiempo de ensayo es de 20 minutos.

A su vez, se determinó que el desgaste producido por el contacto con granos de arroz de la variedad Memby Porá INTA CL es mayor que el producido por los granos de arroz de la variedad Don Juan INTA.

Aunque se obtuvieron resultados concluyentes, que permitieron responder al objetivo planteado para este estudio, existen variables que no se examinaron en profundidad. Debido a que este análisis es uno de los primeros de su naturaleza para las diferentes variedades de arroz cultivadas en la provincia de Entre Ríos, aún persisten aspectos no desarrollados, que justificarían futuras investigaciones.

Se debería continuar el estudio indagando sobre el efecto de la humedad del grano en su abrasividad. A su vez, se recomienda ensayar otras variedades de arroz y cultivares distintos correspondientes al mismo tipo, con el objetivo de establecer una comparación más extendida. Con estos resultados se posibilitaría la creación de una base de datos que facilite la clasificación de las distintas variedades según su nivel de abrasividad.

Asimismo, se sugiere la continuación del perfeccionamiento del método empleando materiales que permitan mantener el tiempo de ensayo en valores de hasta 30 minutos, que presenten mayor homogeneidad e isotropía que la madera balsa, o se encuentren normalizados.

## **Capítulo 5. Conclusiones**

Se realizaron pruebas con el equipo prototipo construido a partir de un diseño preexistente para la determinación de los parámetros óptimos de un ensayo estandarizable que permita determinar la abrasividad de las distintas variedades de arroz con cáscara.

Se propusieron mejoras al equipo utilizado con la finalidad de aumentar la seguridad de operación y la rapidez de la preparación y ejecución del ensayo y lograr la automatización del sistema.

Estas mejoras se basaron en las normativas vigentes a nivel nacional e internacional para garantizar la seguridad del equipo y la posibilidad de estandarización y reproducción.

Se detallaron todas las piezas, los materiales para su conformación y sus dimensiones, su ubicación en el equipo y la relación entre ellas. Los elementos fueron verificados ante las solicitaciones a las que son sometidos, según cada caso correspondiente.

Se sugirieron métodos y tratamientos para mitigar el daño causado por el movimiento de los granos de arroz con cáscara en los equipos y la maquinaria utilizados para su manipulación durante la cosecha y poscosecha.

Los resultados obtenidos indican que el equipo diseñado permite determinar la diferencia del desgaste producto del contacto con diferentes variedades de arroz con cáscara.

Al utilizar materiales de menor resistencia se obtuvo un aumento en la pérdida de masa producto del movimiento relativo entre los testigos y una determinada cantidad de granos de arroz con cáscara. Al utilizar madera balsa se registraron las mayores pérdidas de masa.

Se obtuvieron diferencias significativas entre los desgastes producidos por las variedades Memby Porá INTA CL y Don Juan INTA, sugiriendo que la variedad Memby Porá INTA CL es más abrasiva que la variedad Don Juan INTA.

Debido a que los granos de las distintas clases de arroz poseen diferentes tamaños y densidades aparentes, la ejecución de los ensayos con iguales cantidades de masa presenta un sesgo. Por tal motivo, se favorece el empleo de iguales volúmenes de granos de arroz para la realización de los análisis.

En el caso de los testigos de madera balsa, al modificar el tiempo de ensayo no se registraron diferencias significativas. La inversión del sentido de giro del motor luego de transcurrido la mitad del tiempo total de ensayo permite que el desgaste de los testigos sea

más uniforme. Se registró una mayor repetibilidad de los resultados al emplear testigos de sección cuadrada. El aumento de la longitud de los testigos produce mayores pérdidas de masa, incrementando la sensibilidad del ensayo, sin embargo, se introduce el riesgo de rotura de los testigos, por lo que se debe adoptar una solución de compromiso.

Los resultados más promisorios se obtuvieron al ensayar testigos de madera balsa de sección cuadrada 6 mm x 6 mm con 300 mL de arroz con cáscara, a una velocidad de 1400 rpm rotando durante 10 minutos en sentido horario y 10 minutos en sentido antihorario.

## **Capítulo 6. Referencias**

- [1] Bolsa de cereales de Entre Ríos. Informes SIBER. *Informe semanal n° 539*. Febrero 2013.
- [2] Bolsa de cereales de Entre Ríos. Informes SIBER. *Informe producción de arroz en Entre Ríos – Campaña 2018/19*. Mayo 2019.
- [3] J. Apraiz Barreiro, *Tratamientos térmicos de los aceros*, 8va ed. Madrid: Editorial Dossat S. A., 1983.
- [4] Acoplamiento a disco de goma y tela. Todo Acoples S.R.L. – Acoplamientos ROTULAR. Extraído de: <http://www.todoacoples.com.ar/acoplamientos-rotular/acoples/serie-d-disco/acople/> el 15 de enero de 2020.
- [5] Unidades de rodamientos Y con pestaña ovalada. SKF. Extraído de: <https://www.skf.com/ve/products/bearings-units-housings/bearing-units/ball-bearing-units/y-bearing-flanged-units/y-brg-oval-flanged-units/index.html?designation=Y/UCFL%20204> el 15 de enero de 2020.
- [6] S. J. Chapman, *Máquinas eléctricas*, 5ta ed. México D. F.: McGraw-Hill, 2012.
- [7] Schneider Electric, *Manual electrotécnico – Telesquemario Telemecanique*, Barcelona: Scheneider Electric España S.A., 1999.
- [8] Papeles Procesados Para Juntas de Automotores y Juntas en General – Adamite. Imperial S. A. Extraído de: <http://www.imperialsa.com.ar/site/webfiles/archivos/397/ADAMITE.pdf> el 27 de diciembre de 2019.
- [9] Plancha de Grilon (Poliamida 6). NTH. Extraído de: <http://www.nth.com.ar/es/semielaborados/105-plancha-grilon.html> el 15 de enero de 2020.
- [10] Tableros de fibras de densidad media MDF. Egger. Extraído de: [https://www.egger.com/shop/es\\_AR/interior/product/MDFBOARDS](https://www.egger.com/shop/es_AR/interior/product/MDFBOARDS) el 20 de enero de 2020.
- [11] Bulones y accesorios. FERCOR fijaciones SRL. Extraído de: <https://www.fercor.com.ar/> el 5 de enero de 2020.
- [12] Productos de acero. ACINDAR. Grupo ArcelorMittal. Extraído de: <http://www.acindar.com.ar/productos/> el 15 de enero de 2020.

[13] Fábrica de tornillos para la industria. Tornillos DIN 7981. Extraído de: <http://www.argentor.com.ar/detalle.php?a=tornillos-parker---cabeza-fijadora&t=1&d=7> el 15 de enero de 2020.

[14] Pesos y medidas de productos de acero. Hierros Torrent S. A. Extraído de: <https://www.hierrostrorrent.com.ar/pesos-y-medidas/> el 5 de enero de 2020.

[15] Regatones de goma. SOLOGOMA.  
Extraído de: <http://www.sologoma.com.ar/regatones.html> el 10 de enero de 2020.

[16] Manguera de PVC Cristal, Mangueras industriales termoplásticas. Soluciones MRO. Extraído de: <https://solucionesmro.com.ar/producto/manguera-de-pvc-cristal/> el 15 de enero de 2020.

[17] Catálogo comercial: mercado latinoamericano. W22: motor eléctrico monofásico. WEG.

[18] Catálogos y hojas técnicas. Schneider Electric Argentina. Extraído de: <https://www.se.com/ar/es/> el 19 de enero de 2020.

[19] Temporizador modular multifunción, multiescala y multitensión. THOMELEC – Electhom. Extraído de: <http://www.electhomsa.com.ar/inicio.html> el 2 de marzo de 2020.

[20] Gabinetes Estancos Q Energy – Genrod. Extraído de: <https://www.genrod.com.ar/productos/linea-electric/cajas/gabinete-estanco-q-energy> el 2 de marzo de 2020.

[21] AISI 1010 Steel, cold drawn. MatWeb: material property data. Extraído de: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=025d4a04c2c640c9b0eaaef28318d761> el 21 de marzo de 2020.

[22] H. Perticará y E. Rodríguez, *Especificaciones de aceros SAE*. Santa Fe: Universidad Tecnológica Nacional: Facultad Regional Santa Fe.

[23] R. A. Serway y J. W. Jewett, *Física para Ciencias e Ingeniería*, 7ma ed. México D. F.: Cengage Learning, 2008, pp. 269 - 292.

[24] F. P. Beer, E. R. Johnston et al. *Mecánica vectorial para ingenieros: estática*, 9na ed. México D. F.: McGraw-Hill, 2010.

[25] V. Dobrovolski, et al. *Elementos de máquinas*. Moscú: Mir Moscú, 1970.

[26] P. A. Stiopin, *Resistencia de materiales*, 2da ed. Moscú: Mir Moscú, 1976.

- [27] W. D. Pilkey, *Formulas for stress, strain and structural matrices*, 2da ed. Nueva Jersey: Wiley & Sons, Inc, 2005, pp. 274 - 301.
- [28] H. N. Cosme, *Elementos de máquinas: métodos modernos de cálculo y diseño*. La Plata: Marymar, 1977.
- [29] SKF, *Rodamientos* (Publicación PUB BU/P1 10000/2 ES), 2015.
- [30] G. Niemann, *Tratado teórico-práctico de elementos de máquinas, cálculo, diseño y construcción*, 2da ed. Barcelona: Editorial Labor S. A., 1973, pp. 206 - 228.
- [31] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*, 8va ed. México D. F.: McGraw-Hill, 2008.
- [32] Schneider Electric España S. A., *Manual teórico-práctico Schneider: instalaciones en baja tensión*. 1ra ed. Vol. 3. Barcelona: Schneider Electric España S. A., 2005, pp. J/497-J/506.
- [33] Asociación Electrotécnica Argentina, *Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles - Parte 7: reglas particulares para las instalaciones en lugares y locales especiales - Sección 771: viviendas, oficinas y locales (unitarios) (AEA 90364-7-771)*. Asociación Electrotécnica Argentina, marzo de 2006.
- [34] R. D. Mason, D. A. Lind y W. G. Marchal, *Estadística para Administración y Economía*, 10ma ed. México D. F.: Alfaomega, 2001.
- [35] C. Capriglioni, *Estadística. Problemas resueltos*. Argentina: 3C editores, 1982.
- [36] “Módulo X: Inferencia estadística”, apuntes de clase del Curso de Posgrado: Estadística aplicada a la investigación. Departamento de Educación a Distancia, Facultad de Ciencias Económicas, Universidad Nacional de Córdoba, 2013.
- [37] “Unidad III: Teoría de pequeñas muestras”, apuntes de clase de Estadística I. Instituto Tecnológico de Chihuahua, 2003.
- [38] G. Moncayo, C. Narváez-Muñoz, N. Villacís y J. Melo, “Caracterización de las propiedades mecánicas de la madera balsa (*Ochroma Pyramidale*) ecuatoriana” en Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, vol. 13, junio 2018.
- [39] R. Ramos, P. Fank, R. Gómez, E. Torrán y J. C. Piter, “Propiedades mecánicas y densidad de la madera de *Pinus elliottii* cultivado en la Mesopotamia. Análisis comparativo entre plantaciones cultivadas en Entre Ríos y Misiones” en XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, E. R., septiembre 2016.

- [40] F. P. Beer, E. R. Johnston, J. T. DeWolf y D. F. Mazurek. *Mecánica de materiales*, 5ta ed. México D. F.: McGraw-Hill, 2009.
- [41] R. G. Bayer. *Mechanical wear fundamentals and testing*. 2da ed. Nueva York: Marcel Dekker, Inc., 2004.
- [42] D. C. Baker, "Wood density patterns of young Costa Rican trees in planted and natural forests", tesis de maestría, Oregon State University, Corvallis, OR, 2000.
- [43] V. Zignoli, *Trasporti meccanici: técnica ed economia*, 2da. Ed. Volúmenes I y II. Milán: Ulrico Hoepli Editore, 1970.
- [44] J. E. Wimberly, *Technical Handbook for the paddy rice postharvest industry in developing countries*. Los Baños, Laguna: International Rice Research Institute, 1983.
- [45] D. B. Williams y A. D. Gracey, *Mantenimiento y funcionamiento de silos*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 1996.
- [46] E. Alcaraz Varó, et al. *Diccionario de términos del calzados e industrias afines: inglés-español*, 1ra ed. Barcelona: Editorial Ariel S.A., 2006, pp. 3 - 4.
- [47] S. Kalpakjian, S. R. Schmid, *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*, 5ta ed. México D. F.: Pearson Educación, 2008.
- [48] Real Academia de Ingeniería - Diccionario Español de Ingeniería. Extraído de: <http://diccionario.raing.es/> el 12 de enero de 2020.
- [49] M. A. Sobrevila, *Ingeniería de la energía eléctrica*. Buenos Aires: Marymar, 1984.
- [50] J. Fraile Mora, *Máquinas eléctricas*, 5ta ed. Madrid: McGraw-Hill, 2003.
- [51] R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, 4ta ed. México D. F.: Pearson Educación, 2006.
- [52] W. Müller, et al., *Electrotecnia de potencia: Curso superior*. Barcelona: Editorial Reverté S. A., 1994.
- [53] L. M. Cerdá Filiiu, *Instalaciones eléctricas y automatismos*, 1ra ed. Madrid: Paraninfo, 2014, pp. 110 - 113.
- [54] R. S. Monzó, *Automatismos industriales (Contenidos conceptuales y procedimentales) Instalaciones eléctricas y automáticas*. Valencia: Nau libres, 2013, pp. 59 - 60.
- [55] J. C. Martín Castillo, *Equipos eléctricos y electrónicos (Formación profesional básica)*. Madrid: Editex, 2018.

- [56] B. Cane y J. Sellwood, *Química elemental básica 1*. Barcelona: Editorial Reverté S. A., 1975, pp. 80 - 83.
- [57] Real Academia Española - Diccionario de la Lengua española. Extraído de: <https://dle.rae.es/> el 12 de enero de 2020.
- [58] C. D. Hernández Manzano, "El MDF como material escultórico. Estudio analítico, técnico, estructural y comparativo del conglomerado de madera de fibras de densidad media", tesis de doctorado, Departamento de Escultura, Universidad de Granada, Granada, 2012.
- [59] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, *Guía de buenas prácticas agrícolas para el cultivo de arroz en Corrientes*. 2016.
- [60] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (27 de abril de 2018). *Seguimiento del Mercado de arroz de la FAO (SMA)*. Extraído de: <http://www.fao.org/economic/est/publicaciones/publicaciones-sobre-el-arroz/seguimiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/> el 9 de agosto de 2019.
- [61] R. Hidalgo y J. Varas, "Antecedentes, situación actual y perspectiva del cultivo de arroz en Argentina" en *Arroz: eficiencia de cosecha y postcosecha*. Manfredi: Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2007, cap. 1, pp. 7 - 17.
- [62] Secretaría de Agricultura y Ganadería, Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria, *Manual técnico para el cultivo de arroz*. Comayagua, Honduras, 2003.
- [63] T. T. Chang y E. A. Bardenas, *The morphology and varietal characteristics of the rice plant*. Boletín Técnico n°4. Los Baños, Laguna: International Rice Research Institute, 1965.
- [64] "Apunte de morfología, fenología, ecofisiología y mejoramiento genético del arroz", apuntes de clase de Cultivos II. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional del Nordeste, 2007.
- [65] B. O. Juliano y D. B. Bechtel, "The rice grain and its gross composition" en *Rice Chemistry and Technology*, 2da ed. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1985, cap. 2, pp. 17 - 57.
- [66] J. Gutiérrez M. D., C. Cadena y A. Bula, "Aislamiento térmico producido a partir de cascarilla de arroz aglomerada utilizando almidón producido con *saccharomyces cerevisiae*", *DYNA*, vol. 81, no. 184, pp. 138 - 143, abril 2014.

- [67] O. Echandi, "Alimentación del ganado con raciones a base de cascarilla de arroz, bagazo de caña o pulpa de café comparadas con el pastoreo libre en verano", tesis de grado, Escuela de Zootecnia, Universidad de Costa Rica, San José, 1975.
- [68] J. Vargas, P. Alvarado, J. Vega-Baudrit y M. Porras, "Caracterización del subproducto cascarillas de arroz en búsqueda de posibles aplicaciones como materia prima en procesos" *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia*, vol. 23, no. 1, pp. 86 - 101, 2013.
- [69] J. D. Martínez Ángel, T. G. Pineda Vásquez, J. P. López Zapata, M. Betancur Vélez, "Experimentos de combustión con cascarilla de arroz en lecho fluidizado para la producción de ceniza rica en sílice" *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, no. 51, pp. 97 - 104, febrero 2010.
- [70] A. M. A. Nada, A. I. El-Diwany y A. M. Elshafei, "Infrared and antimicrobial studies on different lignins" *Acta Biotechnologica*, vol. 9, no. 3, pp. 295 - 298, 1989.
- [71] L. Sun y K. Gong, "Silicon-Based Materials from Rice Husks and Their Applications", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 40, no. 25, pp. 5861 - 5877, octubre 2001.
- [72] C. P. Gil Salcedo, "A partir de residuos de cascarilla de arroz obtuvimos una patente" *Revista Universitas Científica*, diciembre 2013.
- [73] A. Angladette, *El arroz*. Barcelona: Blume, 1969.
- [74] Kunz et al. *Coated silicon carbide abrasive grain*. United States Patent no. 5,009,675, abril 1991.
- [75] W. B. Rowe, "Grinding wheel developments" en *Principles of modern grinding technology*, 2da ed. Oxford: Elsevier Inc., 2014, cap. 3, pp. 35 - 62.
- [76] B. Treviño Cardona, I. Gómez de la Fuente y V. Rodríguez Lugo, "Obtención y caracterización de carburo y nitruro de silicio a partir de cascarilla de arroz" *Ingenierías*, vol. 6, no. 19, pp. 21 - 27, abril - junio 2003.
- [77] T. Croll y K. Donly, "Enamel microabrasion for removal of decalcification, dysmineralization and surface texture defects" *The American Journal of esthetic dentistry*, vol. 3, no. 2, pp. 92 - 99, enero 2013.
- [78] R. H. Sundfeld, T. P. Croll, A. L. Briso, R. S. de Alexandre y D. Sundfeld Neto, "Considerations about enamel microabrasion after 18 years", *American Journal of dentistry*, vol. 20, no. 2, pp. 67 - 72, abril 2007.

[79] O. Pozzolo y H. Ferrari “Cosecha: generalidades” en *Arroz: eficiencia de cosecha y postcosecha*. Manfredi: Ediciones Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2007, cap. 1, pp. 99 - 104.

[80] M. A. Delgado, J. D. López, et al. “La recuperación del material científico de los gabinetes y laboratorios de Física y de Química de los institutos y su aplicación a la práctica docente en secundaria” en XXI Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Servicio editorial UPV, 2004, pp. 361 - 380.

[81] Kauman, catálogo de bandas textiles, extraído de: <https://kauman.com/es/> el 26 de marzo de 2019.

[82] Rotrans, tambores y poleas: tambores de cabeza o tracción, extraído de: <https://rotranssa.com/tambores-y-poleas/cabeza-o-traccion> el 27 de julio de 2019.

[83] L. Sampén A., “Pautas para el diseño de partes metálicas resistentes al desgaste” *Notas científicas*, vol. 6, no. 2, pp. 74 - 78, diciembre 2003.

[84] S. Muñoz, C. Navarro y J. Domínguez, “Influencia del coeficiente de rozamiento en fretting” *Universidad de Sevilla*, enero 2004.

[85] K. Thuro, M. Bauer y H. Kaesling, “Soil Abrasivity assessment using the LCPC testing device” *Felsbau*, vol. 24, no. 6, pp. 37 - 45, diciembre 2006

[86] K. Thuro, J. Singer, M. Bauer y H. Kaesling, “Determining Abrasivity With the LCPC Test” en U.S. Rock Mechanics Symposium, Vancouver, mayo 2007.

[87] W. E. Bamford, H. V. Duyse, C. Nieble, F. Rummel, et al., “Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, vol. 15, pp. 89 - 97, 1978.

[88] B. Nilsen, F. Dahl, J. Holzhäuser y P. Raleigh, “New test methodology for estimating the abrasiveness of soils for TBM tunneling” en Proceedings: rapid excavation and tunneling Conference, Toronto, junio 2007.

[89] J. T. Gudbjartsson y K. Iversen, “High-quality wear-resistant paving blocks in Iceland” en Proceedings of the 7th International Conference on Concrete Block Paving, Sun City, Sudáfrica, octubre 2003.

[90] Associação Brasileira de Normas Técnicas, “Semi-acabados de UHMW – Requisitos e métodos de ensaio” ABNT NBR 14922, agosto 2005.

## **Anexo I. Normativa de aplicación**

- Roscas de bulones, tornillos y tuercas: normas DIN.
- Rodamientos: normas ISO 281.
- Chaveteros: DIN 6885
- Aceros: AISI-SAE.
- Barras de acero laminadas en caliente, sección cuadrada: IRAM-IAS U500-605/89.
- Tubos de acero estructurales: IRAM-IAS U500-228 e IRAM-IAS U500-2592.
- Perfiles laminados en caliente, perfil ángulo alas iguales: IRAM-IAS U500-558/06.
- Instalaciones eléctricas: Reglamentación para la ejecución de instalaciones eléctricas en inmuebles - Parte 7: reglas particulares para las instalaciones en lugares y locales especiales - Sección 771: viviendas, oficinas y locales (unitarios): AEA 90364-7-771.
- Conductores eléctricos: IRAM NM 247-3.
- Planos: Manual de normas de aplicación para dibujo técnico IRAM (IRAM 4501, 4502, 4503, 4504, 4505, 4507, 4507, 4508, 4509, 4513, 4517, 4520, 4522, 4523, 4524, 4534, 4535 y 4540).
- Seguridad: Ley n° 19587/72 de Higiene y Seguridad en el trabajo y su decreto reglamentario, Decreto n° 351/79 de la República Argentina. Y norma IRAM 10005: Señalización.

## **Anexo II. Sistema de codificación**

### **Codificación de modelo de equipo**

Dado que el prototipo del equipo sobre el cual se trabaja en este proyecto fue diseñado en un trabajo previo, en todos los códigos para este equipo se colocará el código del modelo el cual corresponde a 02 dado que es el segundo diseño realizado.

### **Codificación de piezas y partes**

Para la correcta identificación de las partes, piezas y muestras a ensayar se propone la utilización de un código general correspondiente a una letra inicial que indica el área al cual pertenece el objeto referenciado: M corresponde al área mecánica, E al área eléctrica, I al área de investigación y D a los planos, esquemas y dibujos.

#### **Códigos mecánicos**

En el caso de los códigos mecánicos se procede a utilizar una numeración que indica el tipo de pieza al cual corresponde y un número que permite identificar su ubicación en el equipo o diseño (figura All.1).

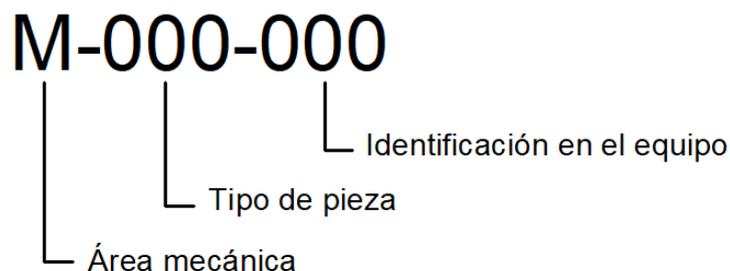


Figura All.1. Codificación en el área mecánica.

#### **Códigos eléctricos**

Para el caso del área eléctrica, seguida del carácter indicativo del área, se indica la tensión mediante una letra, A: > 1 kV, B: de 420 a 1000 V ef, C: de 221 a 420 V ef, D: de 111 a 220 V ef, E: de 61 a 110 V ef, F: de 21 V a 60 V ef, G: menos de 20 V ef. Luego, una numeración que establece el tipo de componente seguido de un número particular que lo caracteriza dentro del equipo (figura All.2).

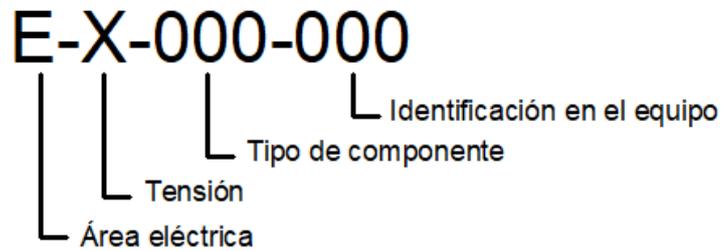


Figura All.2. Codificación en el área eléctrica.

### Códigos de investigación

Para estudios de investigación, el código consiste en un número que indica la prueba o ensayo, seguida de la fecha en la cual fue realizada (figura All.3). Para las muestras de arroz, las mismas se registran mediante una letra, que indica la variedad de arroz, seguida de un número que la identifica de forma inequívoca (figura All.4). En el caso de los testigos a desgastar, el código corresponde al mismo utilizado para la muestra de arroz con la cual se ensayó, seguido de un número identificativo (figura All.5).

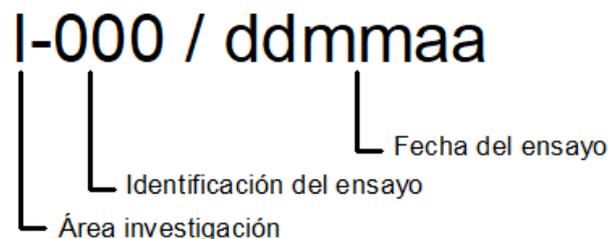


Figura All.3. Codificación de los ensayos en el área investigación.

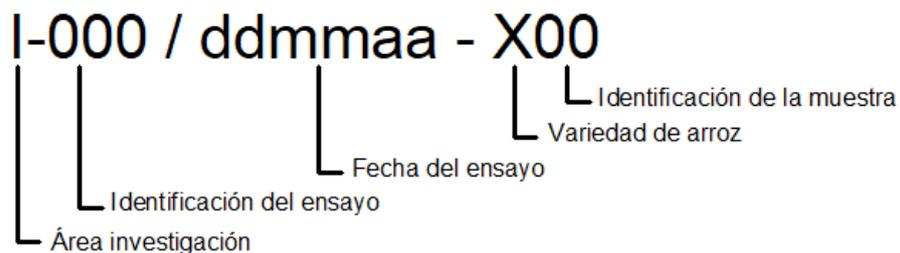


Figura All.4. Codificación de las muestras de arroz en el área investigación.

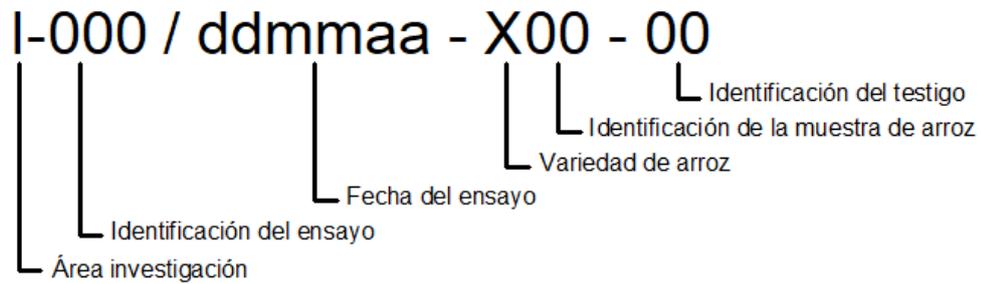


Figura All.5. Codificación de los testigos a desgastar en el área investigación.

### Codificación de planos

Los planos, luego del carácter correspondiente, se codifican a través de una letra según si son para fabricación (F), montaje (M) o conexiones eléctricas (E) y un número que los identifica (figura All.6).

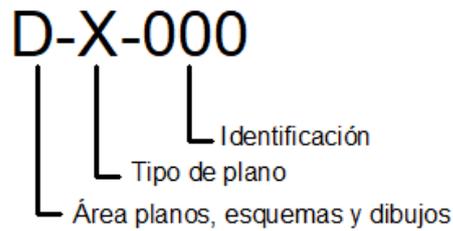


Figura All.6. Codificación en el área planos, esquemas y dibujos.

## **Anexo III. Glosario**

**Abrasividad:** propiedad de un material para producir desgaste sobre una superficie por fricción [46]. Un abrasivo es una pequeña partícula dura que posee aristas afiladas y forma irregular que tiene la capacidad de remover ciertas cantidades de material de una superficie mediante un proceso de corte [47].

**Prototipo:** ejemplar original o modelo adecuado para utilizar en la valoración completa de forma, proyecto y funcionamiento de un sistema o cosa [48].

**Balanza de precisión:** instrumento para medir masas o pesos, una fuerza o cualquier otra magnitud física capaz de producir una fuerza medible, permite discernir con exactitud el mínimo diferencial de peso requerido entre los intervalos de peso, máximo y mínimo, necesarios [48].

**Probeta:** elemento de laboratorio empleado para medir volúmenes. Es un cilindro de base circular fabricado en distintos materiales y tamaños. Suele estar graduada indicando distintas unidades de volumen [56].

**Enrasar:** llenar un recipiente hasta un determinado nivel o marca [57].

**MDF** (medium density fiber): tablero hecho a partir de fibras de madera y resinas adhesivas. Se constituye por la unión de las células individualizadas de la madera, mediante adhesivos y aplicación de presión y calor. En el caso de los tableros de fibra MDF, la densidad oscila entre los 0,7 y 0,9  $\frac{g}{cm^3}$  [58].

**INTA:** Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.

**DIN:** Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)

**AISI - SAE:** American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero)  
- Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotores).

**IRAM:** Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

## **Anexo IV. Marco teórico**

Anexo IV. Marco teórico.....	146
Introducción .....	148
Buenas prácticas agrícolas .....	148
Importancia del arroz.....	148
Caracterización del grano de arroz cáscara.....	151
Unión de la palea y lemma .....	152
Caracterización del grano de arroz industrialmente .....	153
Caracterización de la cáscara de arroz .....	154
Estructura interna de la cáscara .....	155
Composición de la cáscara de arroz .....	156
Aplicaciones de la cáscara de arroz como abrasivo.....	158
Uso de la cáscara de arroz en la industria textil .....	159
Otros usos.....	159
Incidencia de la abrasividad en la cosecha y manipulación del grano.....	161
Cosecha.....	161
Maquinaria de cosecha .....	161
Poscosecha .....	164
Mecanismos de transporte .....	165
Elevadores de cangilones.....	166
Roscas transportadoras o transportadores helicoidales.....	172
Cintas transportadoras .....	177
Transportadores de cadena ( <i>redler</i> ) .....	182
Transporte neumático.....	183
Válvulas y distribuidores .....	184
Desgaste .....	185

Mecanismos de desgaste.....	186
Desgaste adhesivo .....	186
Desgaste abrasivo.....	186
Desgaste corrosivo.....	187
Desgaste por fatiga .....	187
Desgaste por ludimiento o <i>fretting</i> .....	187
Desgaste por erosión.....	187
Disminución del desgaste mediante el diseño.....	188
Ensayos de abrasividad.....	188
Ensayo de abrasividad LCPC.....	188
Ensayo de abrasión de Los Ángeles .....	190
Ensayo del molino de bolas nórdico ( <i>NBMT</i> ).....	192
Ensayos de abrasión NTNU .....	192
Ensayo de Burbank.....	194
Norma brasileña ABNT NBR 14922 .....	194
Anteproyecto de equipo para la determinación del grado de abrasión de grano de arroz paddy.....	196

## Introducción

### Buenas prácticas agrícolas

La producción de arroz corresponde a un sector productivo altamente organizado y con un alto nivel de tecnología en nuestro país. Por este motivo, las organizaciones e instituciones han incorporado en los últimos tiempos el concepto de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). Las BPA son un conjunto de principios, normativas y recomendaciones aplicables a la producción, procesamiento y transporte de alimentos.

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define las BPA como la aplicación del conocimiento disponible a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios inocuos y saludables. A su vez, se procura la viabilidad económica y la estabilidad social [59].

La implementación de las BPA permite: detectar posibilidades de mejora, seguir los lineamientos establecidos y registros que permitan un mejor ordenamiento de la actividad productiva, mejorar la eficiencia del uso de los recursos, minimizar el impacto ambiental, cuidar el medioambiente y favorecer el bienestar de los trabajadores de la arrocería y la población en general.

### Importancia del arroz

El arroz constituye la base de la alimentación de millones de personas en el mundo. No existe otro cultivo o producto que alimente a tantas personas, corresponda al principal ingreso de tantas familias y permita el desarrollo de la economía de tantos países.

En el mundo se producen cerca de 700 millones de toneladas de arroz cáscara en 160 millones de hectáreas. Los países que destinan mayor territorio a su producción son aquellos de mayor consumo. Durante el año 2017 se han registrado unas 760 millones de toneladas de arroz paddy producidas a nivel mundial, según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) [60].

El promedio de consumo de arroz es de 57,4 kg de arroz blanco per cápita al año. En Argentina el consumo promedio se reduce a 7 kg por persona por año [59], por lo que se habilita la exportación de gran parte de la producción nacional.

En nuestro país, la producción de arroz registra un desarrollo cercano a los 100 años. Se destinan aproximadamente 230 miles de hectáreas a la producción de arroz, las cuales están distribuidas en las siguientes provincias: Corrientes cultiva el 43,5 %; Entre Ríos, el 31,8 %; Santa Fe, el 18,7 %; Formosa, el 3,5 % y Chaco, el 2,5 % (figura AIV.1). El sistema

productivo es de alta escala, con productores especializados en la producción de arroz como única actividad agrícola. En todas las zonas el nivel tecnológico adoptado y el grado de mecanización de los procesos es alto [61].

El arroz, debido a sus características de cultivo, demanda entre 8 y 10 puestos de trabajo directos e indirectos por cada 100 hectáreas. Esto se debe a la necesidad de obras hidráulicas y civiles para el abastecimiento de agua. Se requieren instalaciones de motores y bombas, nivelación del terreno, laboreo, siembra y riego, entre otras actividades [59].

La producción de arroz, como cualquier otra producción, debe ser considerada como una actividad empresarial, efectuando una inversión inicial con un tiempo de recuperación de la inversión y una utilidad que permita que la actividad sea rentable, productiva, eficiente y competitiva [62]. Por este motivo deben evaluarse aspectos como los costos de los insumos y la maquinaria, el precio de venta del producto, los costos financieros y la situación del mercado tanto nacional como internacional.

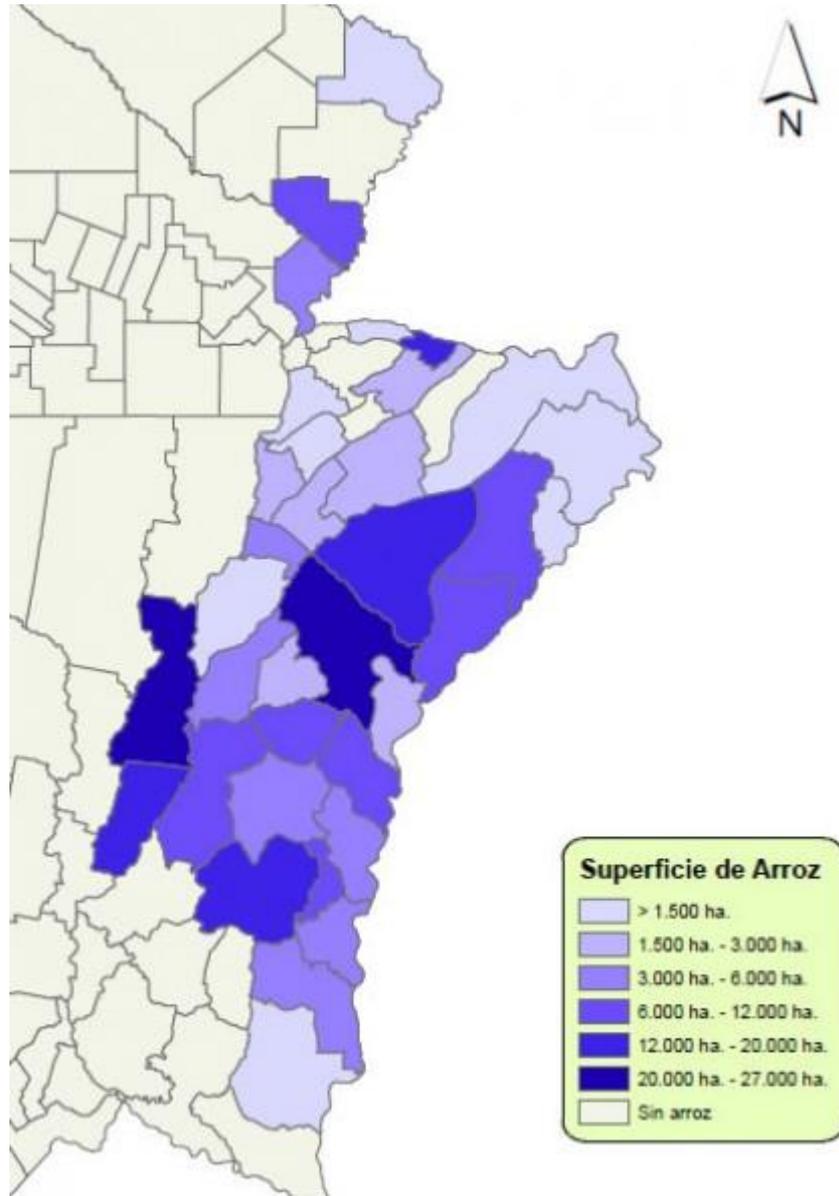


Figura AIV.1. Superficie cultivada de arroz en la República Argentina para la campaña agrícola 2012/13 (Fuente: Bolsa de cereales de Entre Ríos: Informe Semanal N° 539 [1])

## Caracterización del grano de arroz cáscara

El arroz (*Oryza sativa*) es una especie anual de la familia de las poáceas, con un sistema fotosintético C3, adaptada al ambiente acuático.

El grano de arroz, comúnmente llamado semilla, al ser cosechado, está formado por el cariopse y la cáscara (figura AIV.2), la cual está compuesta por glumas. Industrialmente, se denomina arroz cáscara (o *paddy*) a aquel comprendido por el conjunto de cariopse y glumas.

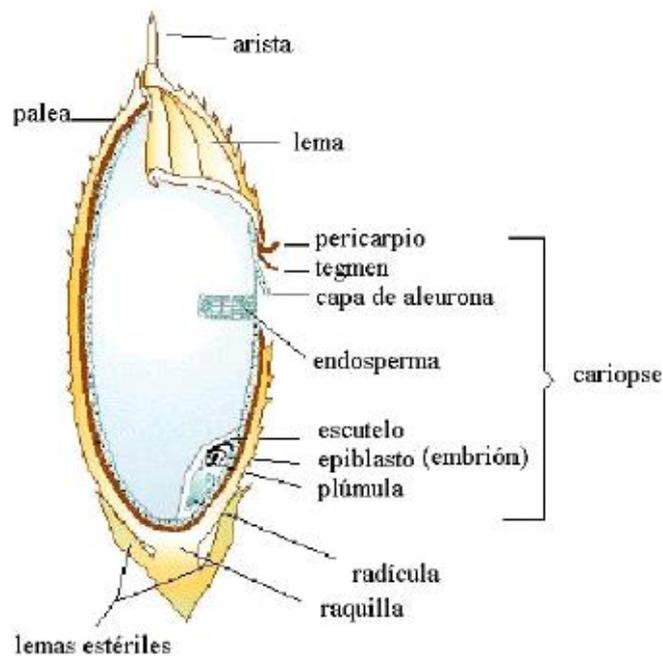


Figura AIV.2. Grano de arroz cáscara (Fuente: Apunte de morfología, fenología, ecofisiología y mejoramiento genético del arroz [64]).

La cáscara, con órganos auxiliares como las glumas, forma una espiguilla. La gluma es una vaina estéril, externa, basal y membranosa, presente en las plantas poáceas. En el lado dorsal del grano de arroz cáscara, enfrenteado a la raquilla o raquis, se ubica la palea. En el lado opuesto al raquis, el lado ventral, se encuentra la lemma. Desde el punto de vista de su ubicación, la palea se encuentra más arriba que la lemma. Ambas poseen forma de bote y presentan extremos puntiagudos, en algunos casos, la punta de la lemma puede crecer en forma de espiga. La lemma es más ancha que la palea cubriendo dos tercios de la superficie del grano [63].

Los bordes de la lemma o glumela inferior abrazan los bordes de la palea por fuera, es por este motivo que las dos glumelas no se pueden separar fácilmente. La palea y lemma están unidas a una raquilla, que es extremadamente corta. El arroz con cariopse se ubica sobre la raquilla y por debajo de la lemma hay dos glumas. Una de ellas se ubica del lado de

la palea y la otra se ubica por debajo del punto de unión de la primera, del lado de la lemma (figura AIV.3).

En una parte aún más inferior se ubica una gluma rudimentaria (figura AIV.3), que es muy pequeña y posee un par de protuberancias. La protuberancia del lado de la palea es más alta que aquella del lado de la lemma.

Por debajo de las glumas rudimentarias se encuentra el pedicelo (figura AIV.3), que es más corto y cuya base se une a una rama del raquis primaria o secundaria.

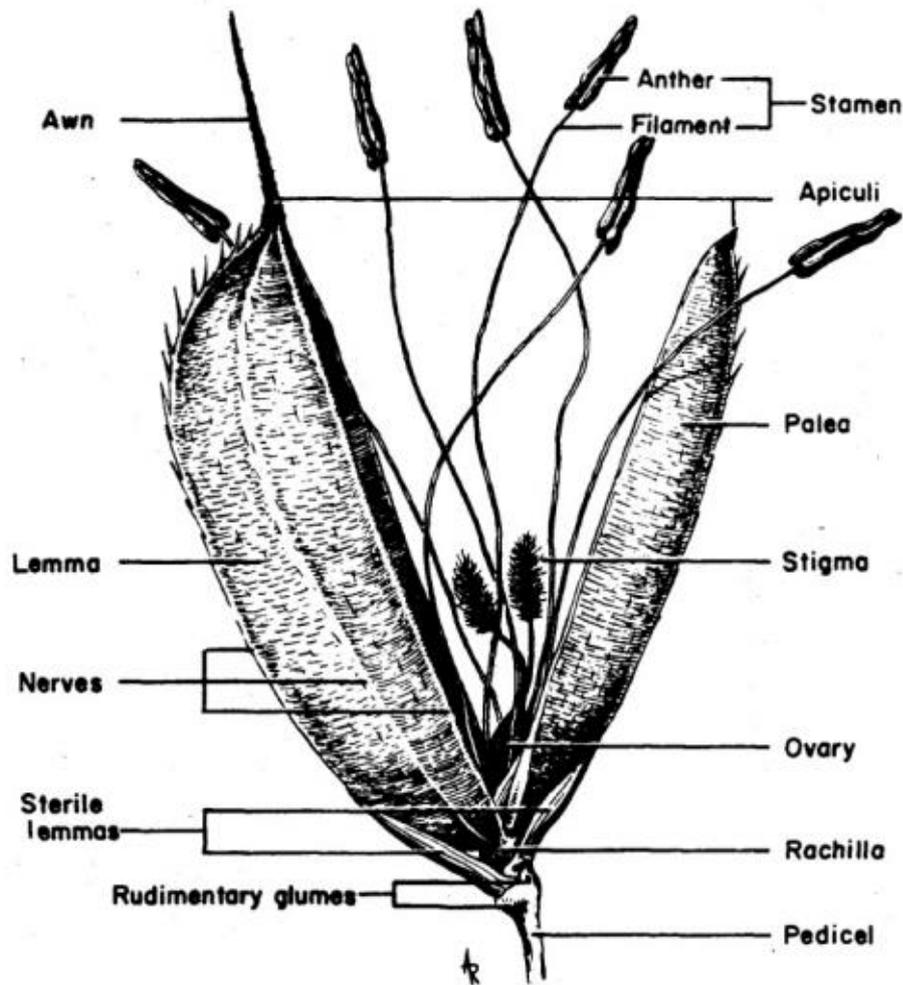


Figura AIV.3. Partes de una espiguilla (Fuente: T. T. Chang, 1965 [63]).

### Unión de la palea y lemma

Entre los distintos órganos que conforman los granos de arroz, la cáscara consiste de todos aquellos que se encuentran fuera del arroz integral (arroz con salvado o cariopse).

La palea y lemma forman una estructura fuerte cuya finalidad es proteger el grano en su interior, sus bordes están unidos a cada lado del grano de arroz. La lemma puede abrir por única vez durante la floración, pero para la finalización de este período se cierra

nuevamente. La unión entre las dos glumelas es tan fuerte que al intentar separarlas mediante pinzas u otro elemento mecánico puede romperse la parte de la gluma cerca del punto de anclaje.

Al observar una sección transversal de los bordes unidos con un dispositivo de aumento se puede apreciar que el borde de la lemma se introduce en la superficie de la palea desde el exterior. A su vez, la palea crece para formar una especie de gancho que encastra perfectamente con el borde de la lemma.

La unión de las glumelas no se abre aún durante la germinación, y, en general, su permeabilidad al agua es menor que la de otras partes.

La lemma posee cinco nervaduras verticales, cada una recorrida por un haz vascular mientras que la palea posee tres haces vasculares, uno en el centro de la superficie dorsal y dos a cada lado. Los dos haces ubicados a los costados se localizan en la zona de unión de la palea con la lemma y sirven para aumentar la fuerza del enganche.

Al analizar un corte transversal de la parte basal de una espiguilla de arroz se observa que la unión entre lemma y palea es más simple pero la superposición de ambas en la base es más profunda y firme [65].

## Caracterización del grano de arroz industrialmente

Durante la molienda del arroz para la producción de arroz blanco, se utiliza el proceso de descascarado y pulido para la eliminación de la cáscara y el cariopse, lo cual resulta en un subproducto constituido por la cáscara y el salvado.

Un 20 % del arroz cosechado corresponde a la cáscara, mientras que un 10 % al cariopse (figura AIV.2), el cual se conserva en el caso del arroz integral (sin proceso de pulido). El resto de la cosecha es arroz blanco compuesto de granos partidos y enteros.

La domesticación del arroz silvestre para la industrialización y obtención de cultivos controlados, ha producido la diferenciación de razas geográficas que se clasifican en ecotipos. Los ecotipos o variedades según sus características morfológicas y distribución geográfica son Japónica, Javánica e Indica.

Asimismo, en el ámbito de la producción de arroz se diferencian:

El arroz blanco, que corresponde al arroz sin pericarpio (pulido).

El arroz perlado o abrigantado que posee un proceso de abrigantado mediante aceites o almidones.

El arroz quebrado, que representa aquel arroz partido con un tamaño mayor al 50 % del grano entero. En algunos casos se considera el grano partido a aquel que presenta trozos del  $\frac{3}{4}$  o  $\frac{1}{2}$  del tamaño del grano entero.

Y el arrocín, que es el producto constituido por fragmentos menores al 50 % del tamaño del grano entero y la harina, que se separa durante el proceso de pulido.

Otra forma de clasificación de las variedades de arroz consiste en la diferenciación según sus características morfológicas:

Tipo largo – ancho: corresponde a los granos de arroz con una relación largo – ancho mayor a 2:1 y menor a 3:1 y cuya longitud media es mayor o igual a 7 milímetros.

Tipo largo – fino: granos de arroz con una relación largo – ancho mayor a 3:1 y con una longitud media mayor o igual a 6,5 milímetros.

Tipo mediano: corresponde con un grano cuya relación largo – ancho es mayor a 2:1 y menor a 3:1 y su longitud media está comprendida entre los 6 y los 7 milímetros.

Tipo corto: corresponde a granos de arroz con relación largo – ancho menor a 2:1 y una longitud media inferior a los 6,9 milímetros.

La variedad Don Juan INTA es una planta de tipo japónica americano tradicional con hojas glabras, de láminas anchas y largas de color verde oscuro. Es más resistente a las bajas temperaturas que los cultivares de tipo de grano largo – fino tropicales tanto en el estado de germinación como en el período de formación de grano de polen a floración. El peso de los 1000 granos es de 28 gramos, con una relación largo – ancho mayor a 3, por lo que se clasifica como largo – fino. Las glumas son glabras, lo cual permite un mejor almacenaje, ocupando menor espacio por peso que los granos pubescentes.

La variedad Memby Porá INTA CL es un arroz con grano tipo largo – fino, inscrita en el registro nacional de cultivares en el año 2017 por el programa de mejoramiento de la Estación Experimental Agropecuaria del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Pertenece a la subespecie Indica. Esta variedad se encuentra adaptada a las condiciones de Entre Ríos y Corrientes, ofrece la posibilidad de un buen control de malezas y enfermedades.

### **Caracterización de la cáscara de arroz**

La cáscara de arroz es el recubrimiento del grano y posee un tamaño que varía entre los 5 y los 11 milímetros. La apariencia externa del arroz con cáscara es irregular, con un patrón de ranuras que le confieren sus propiedades abrasivas [66].

La cáscara de arroz tiene la finalidad de brindar protección al grano de arroz durante la etapa de maduración de la planta, ante ciertos factores ambientales y el ataque de insectos y hongos. Para cumplir este objetivo su naturaleza es fuerte, leñosa y abrasiva.

### **Estructura interna de la cáscara**

La estructura interna de la palea y lemma es muy similar. La lemma consiste, desde afuera hacia dentro, en la epidermis superior, tejido fibroso debajo de la epidermis, parénquima y epidermis inferior.

En la epidermis superior las células están dispuestas en filas paralelas al eje longitudinal. Las paredes celulares son rígidas debido a la deposición de óxido de silicio y presentan un engrosamiento. Existen pares de protuberancias sobre la superficie de la epidermis. Por este motivo, la cáscara de arroz posee una textura rugosa como la de una lima o lija. Hay líneas angostas de células comprimidas entre las células silicificadas. En algunos casos se presentan tricomas, los cuales poseen formas similares a vellosidades sobre la superficie de la cáscara. Cada tricoma puede ser unicelular o pluricelular, pueden crecer grandes longitudes, en especial aquellos ubicados en la punta de la cáscara de arroz, pero la cantidad y su tamaño dependen de la variedad de la planta.

El tejido fibroso debajo de la epidermis está compuesto de capas de células que presentan formas alargadas por acción del crecimiento del grano y cuyas paredes son gruesas, se encuentran lignificadas y poseen aspecto leñoso. Es frágil cuando está seco, pero al absorber agua se vuelve resistente y difícil de romper. Sin embargo, como el tejido se ubica de manera longitudinal, la cáscara se puede abrir de manera relativamente sencilla. Por debajo del tejido fibroso hay haces vasculares y una cubierta vascular que se conectan a la raquilla en la base de la cáscara.

El parénquima consiste en varias capas de células parenquimatosas. Este tejido es esponjoso, en contraste con el tejido fibroso que se encuentra sobre él.

La epidermis inferior, dentro de la cáscara, consiste en una capa de células finas, son distintas a las que conforman la epidermis superior, porque, aunque están silicificadas, poseen una superficie suave. En granos completamente desarrollados, está en estrecha asociación con la superficie del grano con salvado. Las células en la epidermis inferior no están ubicadas en un arreglo ordenado, en contraste con las de la epidermis superior, y poseen estomas distribuidas esporádicamente entre ellas. También posee vellosidades cortas y delgadas, la forma y la distribución de las estomas y las vellosidades poseen una gran similitud con la epidermis superior de las vainas de las hojas.

De hecho, en general, los tejidos que conforman la estructura de la palea y lemma son similares a aquellos que constituyen las vainas de las hojas, siendo morfológicamente equivalentes.

A su vez, la estructura de la arista que crece en la punta de la lemma se considera que corresponde a la lámina o limbo de las hojas, siendo su estructura tisular común con la de la lámina de la hoja.

### **Composición de la cáscara de arroz**

La cáscara y hojas de la planta de arroz no se encuentran tan estudiadas como el arroz integral o el arroz blanco. La información disponible sobre la cáscara confirma que posee menor contenido de proteínas y carbohidratos que el resto de la planta y mayor contenido de fibras, cenizas y silicatos. Esto hace de la cáscara el producto residual, o tecnológicamente condicionado con la producción de arroz, de menor valor nutricional y con la menor cantidad de nutrientes digeribles (menos de un 10 %) [65]. Al introducir cáscara en el alimento de animales de granja se produce la irritación de sus tractos digestivos debido al alto contenido de silicio [67]. Es por ello que en algunos países la máxima cantidad de cáscara de arroz que se puede incluir en el alimento de animales es del 5 al 25 % [68].

Las cáscaras de distintas variedades son similares en composición, con bajos contenidos de proteínas y altos contenidos de celulosa y sílice.

Los principales componentes de la cáscara de arroz son:

- 50 % de celulosa y hemicelulosa,
- 26 % de lignina,
- 4 % de aceites y proteínas,
- Y 20 % de diferentes sustancias inorgánicas como óxidos de silicio, aluminio, potasio, sodio, magnesio, calcio, hierro, manganeso y fósforo entre otros [69].

La celulosa es un polisacárido compuesto por unidades de glucosa, es rígido e insoluble. Por estas características se encuentra en la naturaleza como soporte estructural para las plantas.

A su vez, la lignina es el polímero más abundante en la naturaleza después de los polisacáridos, y no posee una estructura definida ya que su composición es compleja. La lignina es un complejo aromático no carbohidratado. Estos polímeros son de color pardo, insolubles en agua, ácidos e hidrocarburos, pero son solubles en soluciones básicas y algunos compuestos orgánicos oxigenados [68]. Dentro de sus funciones se encuentran dar sostén, flexibilidad y protección a la planta contra insectos y microorganismos [70].

Los materiales lignocelulósicos se utilizan en diversas aplicaciones ya que están disponibles en la naturaleza, como en la industria de la construcción, de materiales compuestos, textil y de polímeros. Los materiales lignocelulósicos pueden utilizarse como

sustituyente de una materia prima, refuerzo de algún material o como forma de mejorar la resistencia a ciertos factores del ambiente [68].

La composición elemental de la cáscara de arroz corresponde a:

- 39 a 42 % de carbono,
- 32 a 34 % de oxígeno,
- 14 a 24 % de minerales,
- 4 a 5 % de hidrógeno
- Y 0,3 a 2 % de nitrógeno [66].

A su vez, al transformar termoquímicamente la cáscara de arroz se obtiene ceniza de cáscara de arroz, la cual está compuesta en un 90 a 97 % de óxido de silicio y el restante corresponde a los demás compuestos inorgánicos mencionados previamente [66]. Este óxido de silicio es el que le confiere la forma y rigidez a la cáscara de arroz. La tabla AIV.a muestra el análisis químico de la ceniza de la cáscara de arroz.

Tabla AIV.a. Composición de la ceniza de cáscara de arroz (Fuente:  
L. Sun y K. Gong, 2001 [71]).

Componente	Contenido (%)
SiO <sub>2</sub>	86,9 – 97,3
K <sub>2</sub> O	0,58 – 2,5
Na <sub>2</sub> O	0,0 – 1,75
CaO	0,2 – 1,5
MgO	0,12 – 1,96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Rastros – 0,54
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2 – 2,85
Cl	Rastros – 0,42

El silicio ingresa a la planta de arroz a través de las raíces en forma soluble, y se desplaza hacia la superficie exterior del grano de arroz, donde se concentra por evaporación y polimerización. Mediante este proceso se crea una membrana silico-celulósica [68].

Existe un acuerdo generalizado que la sílice u óxido de silicio forma, predominantemente, enlaces inorgánicos, sin embargo, parte del óxido de silicio también forma enlaces covalentes con los compuestos orgánicos. Esta parte de la sílice no puede ser disuelta en soluciones básicas y puede soportar altas temperaturas [71].

Los análisis mediante microscopios de barrido electrónico y dispersión de rayos X, entre otros, sugieren que la sílice está localizada, principalmente, en la epidermis exterior de la cáscara de arroz. Esta capa es la de mayor resistencia. También se observa que estas moléculas rellenan los espacios entre las células epidérmicas [71].

La dureza de la cáscara de arroz en la escala de Mohs es de aproximadamente 5,5 a 6,5, comparable con aquella del feldespato u ortoclasa y el ópalo. Ambos minerales son de un alto contenido de silicatos [65].

## Aplicaciones de la cáscara de arroz como abrasivo

Existen diversos antecedentes del empleo de cáscara de arroz como material abrasivo. La cáscara es sometida a un proceso de calcinación para la obtención de cenizas con alto contenido de silicio.

La cáscara de arroz es empleada como materia prima para la producción de varios compuestos a base de silicio, como pueden ser: carburo de silicio, óxido de silicio, nitruro de silicio, tetracloruro de silicio, silicio puro y zeolita.

### Uso de la cáscara de arroz en la industria textil

En la industria del denim, se produce un desgaste artificial del tejido a partir del empleo de piedra pómez, en grandes lavadoras, como material para producir este efecto.

Desde el año 2007, investigadores de la Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia, trabajan en el reemplazo de la piedra pómez debido a que sus residuos obstruyen los ductos y bloquean el pasaje de agua. Para ello, se basan en la utilización de ceniza de cáscara de arroz producto de un proceso de combustión en un reactor de lecho fluidizado. Este material se emplea como base para la fabricación de un pellet abrasivo (figura AIV.4) que cumpla con las funciones de la piedra pómez y permita reutilizar la cáscara de arroz.

El método de fabricación de los pellets ha sido patentado en Colombia en 2013.

Las ventajas de emplear los pellets abrasivos de cáscara de arroz radican en una mayor resistencia y duración y menor costo económico para su producción que la piedra pómez [72].



Figura AIV.4. Pellets abrasivos fabricados a partir de ceniza de cáscara de arroz  
(Fuente: C. P. Gil Salcedo, 2013 [72]).

### Otros usos

La cáscara de arroz también puede emplearse como abrasivo para la limpieza de metales como hierro, acero, aluminio, latón, bronce y otros [73].

El carburo de silicio (SiC) es extremadamente duro, posee una alta conductividad térmica, buena resistencia a los cambios bruscos de temperatura, alto punto de fusión, bajo coeficiente de expansión térmica y buena resistencia a la corrosión.

El carburo de silicio obtenido a partir de la ceniza de cáscara de arroz posee muchas aplicaciones. Por ejemplo: material de refuerzo de matrices compuestas cerámicas y

metálicas, aumentado su dureza y resistencia; material semiconductor para aplicaciones de alta temperatura y ambientes agresivos en la industria electrónica, y otros.

El carburo de silicio es uno de los abrasivos tradicionales más importantes de la industria. Es especialmente usado para el pulido, la molienda y el corte de materiales duros y quebradizos [74]. La propiedad más importante de un material abrasivo es su dureza, la cual debe mantenerse constante a altas temperaturas. A su vez, debe ser inerte y no difundirse hacia el material que se quiere pulir o cortar. La dureza del carburo de silicio es de 2500 kg/cm<sup>2</sup> en la escala Knoop [75]. Este material presenta mayor dureza que los demás abrasivos convencionales (óxido de aluminio y zirconio). Pero, se desgasta rápidamente al emplearse con materiales de gran afinidad por el carbono, como el acero y níquel, por lo que se lo emplea mayoritariamente con materiales no ferrosos [75].

La pureza del carburo de silicio obtenido a partir de la cáscara de arroz es lo suficientemente buena como para cumplir con los requerimientos de los materiales abrasivos. El SiC puede emplearse directamente como material abrasivo o mediante aplicación de presión en caliente (sinterizado) con matrices compuestas.

Existen numerosos métodos para la obtención de carburo de silicio a partir de cáscara de arroz: pirolisis directa, pirolisis con pretratamiento mediante lixiviación ácida, pirolisis con catalizadores o mediante un reactor de plasma [75,76].

Se ha aplicado el carburo de silicio a la técnica de microabrasión dental durante más de dos décadas a través de un procedimiento denominado *enamel microabrasion* [77]. Este consiste en la eliminación de las manchas superficiales del esmalte dental sin la necesidad de incorporar un recubrimiento artificial a los dientes, como resinas o porcelanas. Se encuentran disponibles en el mercado productos para llevar a cabo este procedimiento que presentan un bajo nivel de riesgo. Esto se debe a que poseen una baja concentración de ácido clorhídrico (del 10 al 6 %) y un polvo fino compuesto de carburo de silicio en un gel soluble en agua [78]. La formulación de este producto lo hace más seguro y permite la utilización de una herramienta rotativa a baja velocidad para la aplicación sobre la superficie dental, eliminando el riesgo de salpicaduras [78]. Este procedimiento combina la abrasión mecánica y la erosión química [77].

## **Incidencia de la abrasividad en la cosecha y manipulación del grano**

### **Cosecha**

La cosecha es la anteúltima etapa del proceso productivo del cultivo. Se debe realizar de manera fácil y rápida, procurando tener las menores pérdidas posibles. En Argentina, este proceso se realiza mediante maquinaria de avanzada tecnología.

La tarea de cosechar el arroz se ve dificultada por ciertas características, como la gran cantidad de material verde, el grano muy abrasivo, húmedo y delicado, y las condiciones de tránsito de la maquinaria sobre suelo con baja sustentabilidad frecuentemente en condiciones de inundación [79].

La cosecha del arroz se realiza con un contenido de humedad entre el 27 % y el 18 % según la variedad. La cosecha con mayores humedades resulta en mayor presencia de material verde y mayores costos en el secado posterior. Realizar esta actividad con bajo porcentaje de humedad afecta la calidad industrial del grano por el aumento del contenido de granos partidos [59].

Dentro de los problemas que se pueden producir en la cosecha de arroz se encuentra la cosecha de variedades abrasivas, que provoca dificultades en el colado, debido al mayor rozamiento del material. Asimismo, el contacto del grano con la maquinaria puede dañar el cereal, disminuyendo su valor de venta. Para evitar este inconveniente se debe cuidar la regulación y el estado de los órganos de trilla y sin fines de alimentación.

El porcentaje de grano quebrado es una variable de gran incidencia para definir el precio del grano. El estado de mantenimiento de las cosechadoras provoca diferencias significativas en este parámetro: cuanto peor se encuentra la máquina mayor será la cantidad de granos partidos [79].

### **Maquinaria de cosecha**

La maquinaria empleada en la cosecha consiste en:

El cabezal: en el cabezal convencional se debe verificar el buen estado de la barra de corte, principalmente cuchillas y puntones. Las cuchillas gastadas provocan un mal corte de los tallos aumentando las pérdidas por el cabezal.

El sistema de trilla y separación: los cilindros en el sistema de trilla convencional deben ser de dientes planos. Es fundamental el control del desgaste de los dientes para lograr altas eficiencias y rendimientos de la cosecha, disminuyendo el daño mecánico al grano. Este

sistema presenta la desventaja de concentrar la trilla en un solo paso, separando el grano rápidamente lo cual puede aumentar el daño mecánico.

En el sistema de trilla axial se deben cementar las muelas trilladoras para obtener resultados correctos. A su vez, este método requiere una alimentación continua y pareja por lo que las roscas de alimentación no deben estar desgastadas. Para ello se deberá controlar periódicamente las espiras y repararlas o cambiarlas.

Es necesario extremar las precauciones en la regulación de la cosechadora y sus accesorios.

Las cosechadoras arroceras convencionales poseen mayoritariamente el conjunto cilindro – cóncavo de dientes equipados con sistemas de separación y limpieza basados en bandejas sacapajas alternativas y zarandas. Este tipo de máquinas son las más difundidas, ya que permiten cosechas eficientes desde el punto de vista de las pérdidas y el contenido de granos partidos.

En los cabezales tradicionales el material recolectado es enviado al sistema de trilla mediante una rosca transportadora, lo cual puede producir alimentación no uniforme. Existe un espacio entre el sin fin y la cuchilla de corte lo cual puede acumular material, desordenarlo y retorcerlo. Este inconveniente produce ineficiencias, sobrealimentación, aumento del consumo de combustibles, y mayor pérdida de granos.

En las cosechadoras axiales el conjunto trillador se ubica en forma axial, lo que permite mayores dimensiones y mayores tiempos de trilla, esto resulta en un menor número de granos dañados. La mayor desventaja de este sistema es el mayor costo y posibilidad de obturación del cóncavo por malezas verdes [79].

Los cabezales denominados *stripper* producen el trillado de las panojas en el cabezal por efecto de un rotor dentado evitando el ingreso de las plantas dentro de la máquina. Mediante este sistema se logran altas capacidades de cosecha, pero se necesitan velocidades superiores a los 4 kilómetros por hora, lo cual no es siempre posible en las arroceras de la provincia de Entre Ríos. A su vez, las cosechadoras con este sistema no pueden utilizarse para todos los cultivos, reduciendo su campo de aplicación [79].

Los dientes trilladores poseen una duración de aproximadamente 400 hectáreas para los de mejor calidad debido a la agresividad del arroz.

Todos los aspectos del sistema de trilla deben ser controlados para evitar un mal trillado que aumente las pérdidas y dañe el grano, disminuyendo el precio de venta.

Las pérdidas tienen vital incidencia económica, en arroz, estas no deben superar los 100 kg por hectárea cosechada, independientemente del rendimiento [59].

La barra de corte de las cosechadoras debe mantener su filo y la luz entre la cuchilla y contracuchilla. La cuchilla se desgasta rápidamente debido al abundante material abrasivo que corta en este cultivo.

Para que el mecanismo funcione sin grandes vibraciones se deben regular y mantener las placas de desgaste.

Las cuchillas se remachan y los golpes deforman el fleje, desfasando su ubicación, por lo que se recomienda un recorrido de la cuchilla de 84 mm.

Todos los componentes de la barra de corte deben presentar características de diseño y calidad de material especiales, así como también, óptimas condiciones de mantenimiento [79].

Las cuchillas deben tener el aserrado original y los puntones no deben presentar roturas ni desgastes para evitar desgarramiento del tallo y pérdidas por atoramiento y desgrane (Figura AIV.5, a y b).

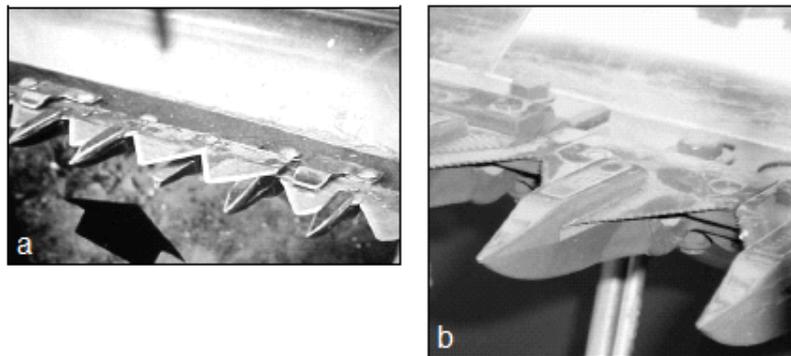


Figura AIV.5. Fotografía a: barra de corte en mal estado; fotografía b: barra de corte bien mantenida (Fuente: O. Pozzolo y H. Ferrari, 2007 [79]).

Es importante seleccionar correctamente el material de las cuchillas, ya que la abrasividad del cultivo desgasta los bordes de corte de manera acelerada. Estos bordes deben ser aserrados para que las plantas no se desplacen entre los filos, sin embargo, los aserrados gruesos se desgastan con mayor rapidez.

Los sin fines de los cabezales llevan los tallos y panojas cortadas al centro del cabezal para ser captadas por el acarreador. Es recomendable la colocación de chapas rascadoras en la base posterior de la bandeja del cabezal. La separación máxima admisible entre la chapa rascadora y las espiras del sin fin es de 2 a 3 mm. Debido a que el desgaste de la espira del sin fin no es igual en toda su longitud, no es aconsejable realizar la sujeción de la chapa rascadora mediante soldadura, sino, mediante el uso de tornillos ajustables. Se recomienda fragmentar la chapa y colocar registros que permitan la regulación de la chapa según el grado de desgaste de las espiras [79].

Existe una relación significativa entre el estado de mantenimiento de la máquina y el nivel de pérdidas originado por la misma. Está demostrado que las máquinas de mejor estado son las que provocan menores pérdidas, por lo cual, al elegir la maquinaria a utilizar, este aspecto es crucial.

El estado no solo depende de la antigüedad de la máquina, sino también, del mantenimiento realizado y la metodología de utilización aplicada.

En las cosechadoras, el extremo inferior de la noria de tolva (Figura AIV.6, a) produce la mayor cantidad de granos partidos junto con los sin fines y cilindro (Figura AIV.6, b).

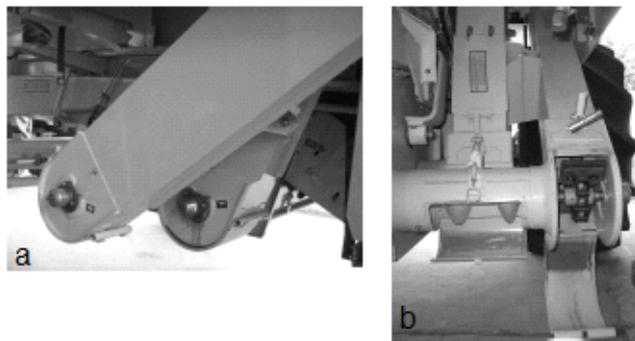


Figura AIV.6. En la fotografía a se observa el cabezal inferior de noria de tolva y en la fotografía b, el sin fin alimentador y el extremo de noria, ambos causales de granos partidos (Fuente: O. Pozzolo y H. Ferrari, 2007 [79]).

### Poscosecha

Una vez sembrada una determinada variedad de arroz, las variables a ajustar para mejorar el rendimiento del grano entero son:

Control del proceso de cosecha: estado de las máquinas empleadas en la cosecha, y la humedad de cosecha.

Control de los procesos en plantas de acopio: movimiento de los granos, procesos de secado y procesos de molinado.

Se debe evitar todo daño mecánico y suciedad para mantener la calidad de los granos durante el almacenamiento.

En una planta de acopio, los procesos que se dan son:

Movimiento de los granos: para minimizar el daño mecánico se debe evitar el uso de tornillos sinfines para trasladar los granos a los distintos estadios de producción. El uso de este tipo de sistemas de transporte debe controlarse periódicamente ya que el grano de arroz desgasta las espiras y es necesario su reparación o recambio cada determinada cantidad de tiempo.

Debido a la abrasividad del arroz cáscara es necesario reforzar las espiras de las roscas transportadoras mediante recubrimientos o tratamientos superficiales. Entre las experiencias registradas se puede destacar el empleo de acero al boro. El uso de sin fines desgastados en el proceso puede ocasionar pérdidas en el grano entero de hasta el 10 %.

Para el traslado horizontal es preferible el uso de cintas transportadoras.

Proceso de secado: el secado es una de las tareas más sensibles y puede resultar un proceso crucial en la planta de acopio dado que los contenidos de humedad del grano cosechado son altos. El proceso de secado de arroz insume más tiempo que el de otros cereales, lo cual disminuye la eficiencia del funcionamiento de la planta. En algunos casos, con la intención de compensar este inconveniente, se eleva la temperatura del secado, lo cual daña los granos y disminuye el rendimiento de la cosecha [59].

### **Mecanismos de transporte**

En la manipulación luego de la cosecha del arroz, el mismo es desplazado, transportado y elevado de un lugar a otro para su procesado posterior (secado, descascarillado, pulido y molienda). El arroz cáscara puede ser transportado a granel o ser colocado en bolsas de arpillera o yute y trasladado varias veces a través de almacenes y procesos antes de llegar al consumidor como arroz blanco o integral. Esto implica, en muchos casos, excesiva manipulación, lo cual aumenta los costos y las pérdidas [44].

La mayor parte del transporte se realiza a través de mecanismos mecánicos, como elevadores, cintas y roscas transportadoras. Estos se utilizan para reemplazar el transporte manual o para suplementarlo. El incremento en los niveles de producción aumenta el requerimiento en la capacidad de transporte en los distintos estadios de los procesos poscosecha.

El arroz *paddy* es un material altamente abrasivo, por lo expuesto en Caracterización de la cáscara de arroz, lo cual acelera el proceso de desgaste en roscas, cadenas y transportes neumáticos. Es por ello, que, para el transporte vertical, se prefiere el uso de elevadores de cangilones y para el transporte horizontal, el uso de cintas transportadoras, ya que poseen mayor vida útil.

En algunos casos se emplean transportadores vibrantes para los procesos de parboilizado, principalmente para permitir la eliminación del exceso de agua, previo al ingreso a las secadoras.

### Elevadores de cangilones

Los elevadores de cangilones (figura AIV.7) consisten en tazas que se fijan a intervalos regulares sobre una cinta o cadena que gira alrededor de dos tambores, uno inferior y otro superior. Las tazas son cargadas con el arroz cáscara en la parte inferior y descargan en la parte superior. Las distancias de elevación pueden variar desde algunos pocos metros hasta cerca de 50 metros.

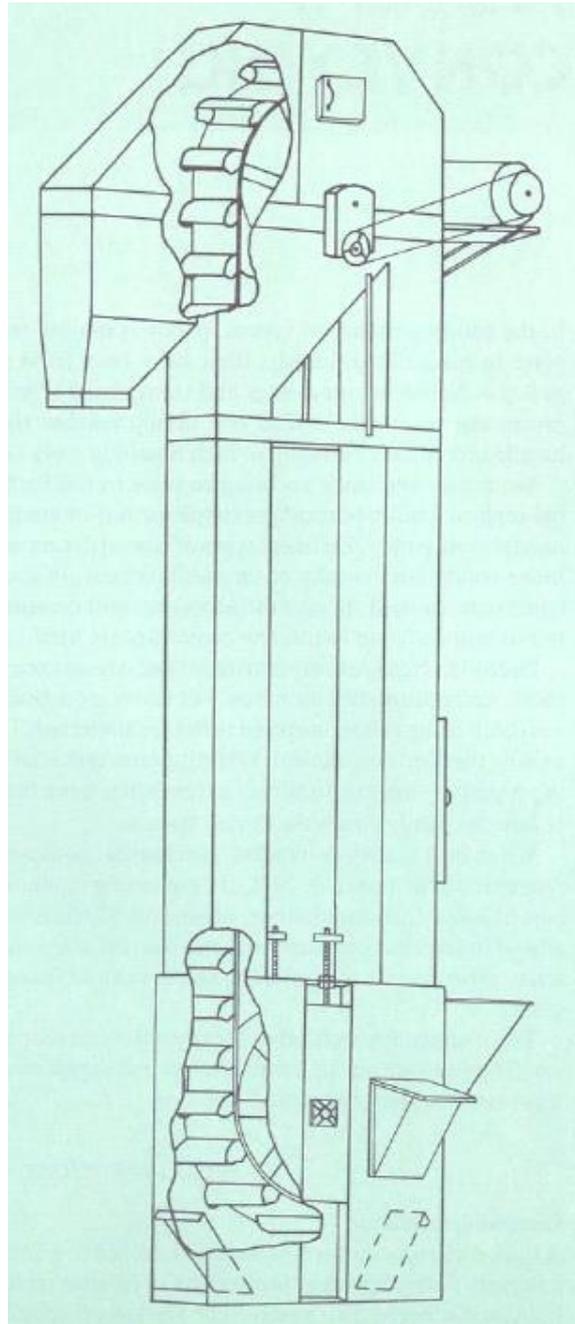


Figura AIV.7. Detalle de un elevador de cangilones (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Los elevadores de cangilones se clasifican según el tipo de carga y descarga en: carga por dragado y descarga centrífuga o carga continua y descarga por gravedad.

El tipo de carga por dragado y descarga centrífuga es el más utilizado para granos. Los ejes de los tambores se montan sobre rodamientos a bolas y, en general, la tensión de la correa o cadena se realiza mediante tornillos.

Las tasas o cangilones pueden realizarse de acero o plástico y son abulonadas a la cinta. Los pantalones del elevador suelen ser acero, y son soldados o atornillados, con características de estanqueidad frente al polvo. La carcasa del cabezal superior es diseñada para la descarga centrífuga del grano de arroz cáscara según su trayectoria. En instalaciones de gran capacidad, la sección superior suele estar ventilada y conectada a un sistema de aspiración de polvos.

Los cangilones poseen diferentes formas y pueden ser de distintos materiales según los requerimientos del elevador. La figura AIV.8 muestra un cangilón común para la descarga centrífuga y su correcta unión a la banda. Los cangilones deben ser lisos y proporcionalmente correctos para asegurar la carga y descarga con rapidez y eficiencia.

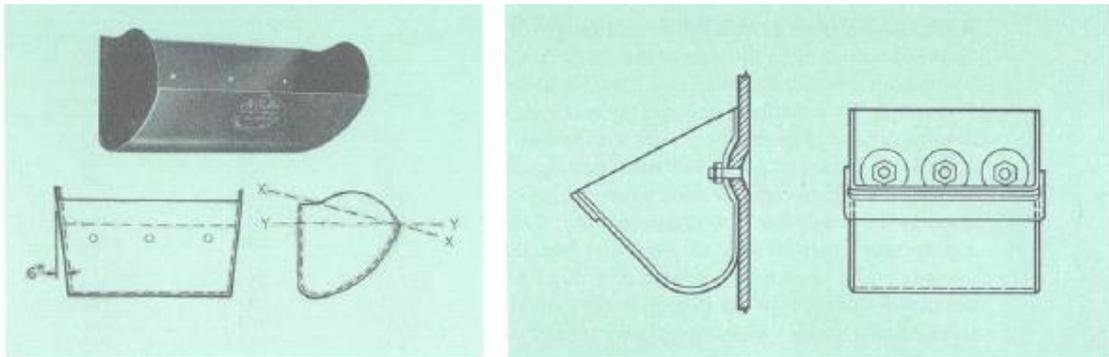


Figura AIV.8. Cangilón para descarga centrífuga y su unión a la banda (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

La velocidad de rotación de la cinta depende de la relación de transmisión entre el motor y el eje del tambor motriz, correspondiente al tambor superior (figura AIV.7). Una correcta velocidad garantiza una descarga ordenada directamente en la boca de la carcasa superior, evitando el daño al grano de arroz y su caída por dentro de los pantalones hacia la fosa de carga. Si la velocidad es muy baja, las tasas vuelcan arroz cáscara en los pantalones, provocando la rotura del grano al caer y ser re-elevados.

La velocidad óptima garantiza el ingreso y descarga directamente en la salida del cabezal superior, sin volcar ni romper el grano.

Si la velocidad es muy alta, el grano de arroz cáscara se daña por una manipulación brusca y los cangilones no se llenan correctamente. Se pierde el control de la descarga y

aumenta el porcentaje de granos partidos y el desgaste de la carcasa del cabezal superior, resultando en una operación ineficiente. La figura AIV.9 muestra los distintos casos de velocidades antes expuestos.

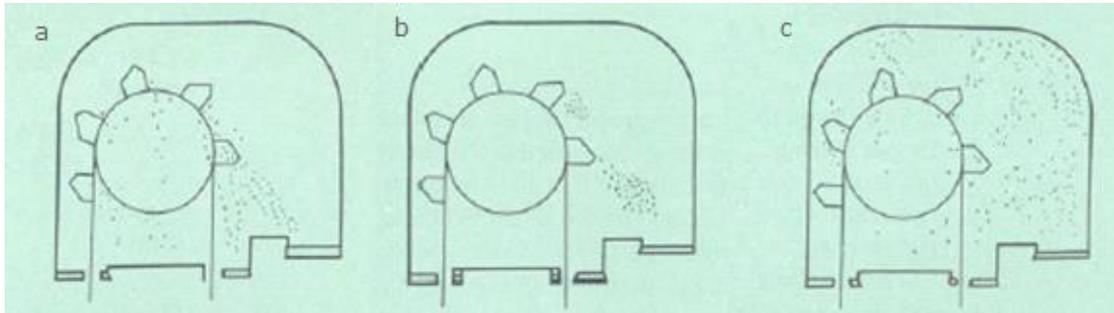


Figura AIV.9. Descarga del elevador a diferentes velocidades, a) muestra una situación en la cual la velocidad es muy baja, b) corresponde a la velocidad óptima y c) a una velocidad muy alta (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

La combinación de las dimensiones de los cangilones, la distancia recomendada entre ellos y la velocidad de la banda permiten determinar la capacidad de transporte del elevador.

El tambor superior puede estar recubierto para proporcionar un mayor coeficiente de rozamiento con la banda. El movimiento se transmite desde un motor eléctrico, a través de un reductor de engranajes, correas en V, cadenas o acoplamiento elástico según la necesidad de reducción del sistema de transmisión de potencia [45].

La sección superior del elevador debe dimensionarse de tal manera que, al descargar los cangilones, el material no sea desviado hacia el interior de los pantalones que cubren el retorno. La boca de salida del material debe ser lo suficientemente baja como para descargar el material remanente en los cangilones. La figura AIV.10 y la tabla AIV.b muestran las dimensiones recomendadas del cabezal superior según el tamaño del tambor motriz.

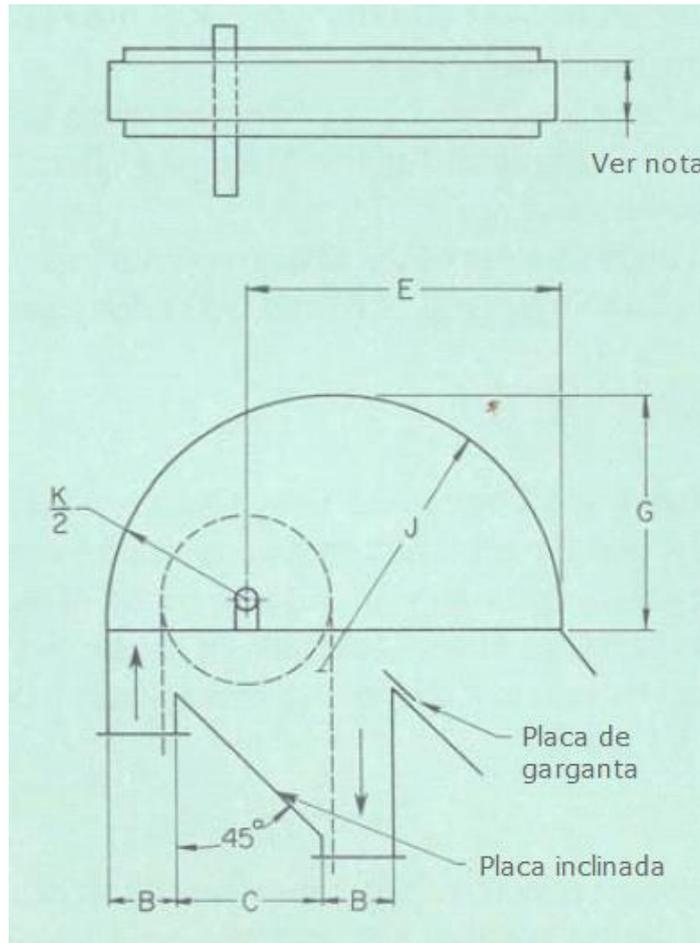


Figura AIV.10. Diseño del cabezal superior del elevador de cangilones según la tabla 2. Adaptado de J. E. Wimberly, 1983 [44]

Tabla AIV.b. Dimensiones del cabezal superior en centímetros (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Diámetro del tambor		Proyección del cangilón	B	C	E	G	J	K
Superior	Inferior							
46	46	8	18	41	84	56	64	74
61	61	10	23	53	114	76	84	97
91	61	13	25	86	152	102	114	137
122	76	15	31	117	213	135	157	175
152	91	18	36	145	251	160	185	213

Nota: para cangilones de hasta 20 cm de largo, longitud del cangilón más 7 cm; para cangilones de 23 a 30 cm de largo, longitud del cangilón más 10 cm; para cangilones de 36 a 41 cm de largo, longitud del cangilón más 15 cm.

En elevadores de gran altura es conveniente instalar un freno anti-retroceso que evite que la banda regrese hacia la fosa cuando los cangilones se encuentran cargados y existe una interrupción del suministro eléctrico.

La placa de garganta debe ser fácilmente reemplazable, ya que esta se desgasta debido a la acción del arroz cáscara. El eje del tambor motriz debe ser lo suficientemente pesado y resistente como para permitir la transmisión del torque necesario al tambor. Debe estar correctamente nivelado y alineado y se debe soportar mediante rodamientos lubricados.

La parte inferior puede recibir granos de ambos lados, pero, se prefiere un ingreso del material del lado de subida de la cinta, ya que los cangilones se llenan directamente. Si se ingresa el arroz del lado de bajada, el grano debe acumularse en una fosa de manera que los cangilones lo draguen [45]. Esto aumenta la potencia necesaria para que los cangilones atraviesen el grano. La alimentación de material debe ser controlada de tal manera que el elevador no se sobrecargue.

En general, los elevadores de cangilones poseen un sistema tensor en el tambor inferior para mantener el correcto tensado de la banda, con la finalidad de asegurar el contacto con el tambor motriz y la transmisión del momento por fricción. En elevadores de menor capacidad este procedimiento se puede hacer manualmente, mientras que para mayores exigencias se emplean mecanismos automáticos que aseguran la correcta tensión de la banda en todo momento.

Pueden emplearse tambores inferiores de menor diámetro que los superiores (tabla AIV.b) para disminuir el espacio ocupado por la zona inferior del elevador. Sin embargo, su diámetro no debe ser menor que dos tercios del diámetro del tambor superior.

Se deben incorporar paneles removibles a ambos lados del cabezal inferior para permitir la limpieza y la remoción del grano de manera manual cuando se producen atascamientos. En algunos casos se puede incorporar un piso flotante que mantenga una abertura entre los cangilones y la superficie interna evitando la acumulación de granos.

Los pantalones del elevador pueden estar soldados, abulonados o remachados. En general, se realizan con tramos de 2,4 metros, pero pueden realizarse de longitudes determinadas según la necesidad. El tipo de construcción empleada depende del costo total del elevador y sus dimensiones [44].

La banda de elevador puede ser de una o varias telas recubiertas con goma. Es común que posean más de una capa, el número de ellas dependerá de potencia del elevador y el diámetro de los tambores, ya que estos parámetros determinan la tensión que debe soportar la banda y la frecuencia de las flexiones.

La unión de los extremos de la banda puede hacerse de tres maneras: abrazaderas atornilladas, unión superpuesta o traslapada o mediante lengüetas de fijación (figura AIV.11).

Para la unión mediante abrazaderas atornilladas, los extremos de la cinta se deben doblar hacia afuera formando ángulos rectos y generando un borde que luego se atornilla entre dos barras.

Para la unión traslapada, la banda se superpone una distancia de tres a cinco veces la distancia entre cangilones y se asegura mediante el mecanismo de unión de los cangilones a la banda. Este sistema no se recomienda para bandas de más de 7 capas ya que pierde flexibilidad y no se produce el contacto deseado con el tambor motriz.

La unión mediante lengüetas de fijación de usa para bandas de más de 7 capas, para realizarla se deben usar grampas especiales para cintas o bandas transportadoras.

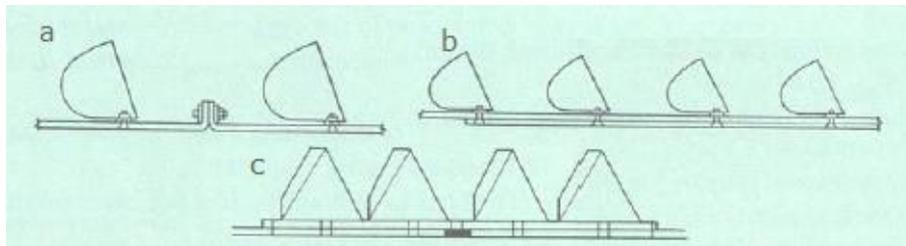


Figura AIV.11. Uniones de la banda del elevador, a: unión mediante abrazaderas atornilladas, b: unión traslapada, c: unión mediante lengüetas de fijación (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Las bandas deben ser al menos 25 mm más anchas que los cangilones y el tambor motriz deber ser al menos 25 mm más ancho que la banda.

Los accesorios que deben incorporarse al elevador son:

- Plataforma para realizar trabajos en el cabezal superior y en el mecanismo de transmisión de potencia.
- Escalera para el acceso a la plataforma superior.
- Puertas de inspección para la verificación del funcionamiento de la banda.
- Mecanismos de control del riesgo de explosión de polvos, ya que las concentraciones de polvo en el aire dentro de los pantalones, debido a la manipulación del cereal, generan una atmósfera explosiva.

Los accesorios y partes principales se muestran en la figura AIV.12.

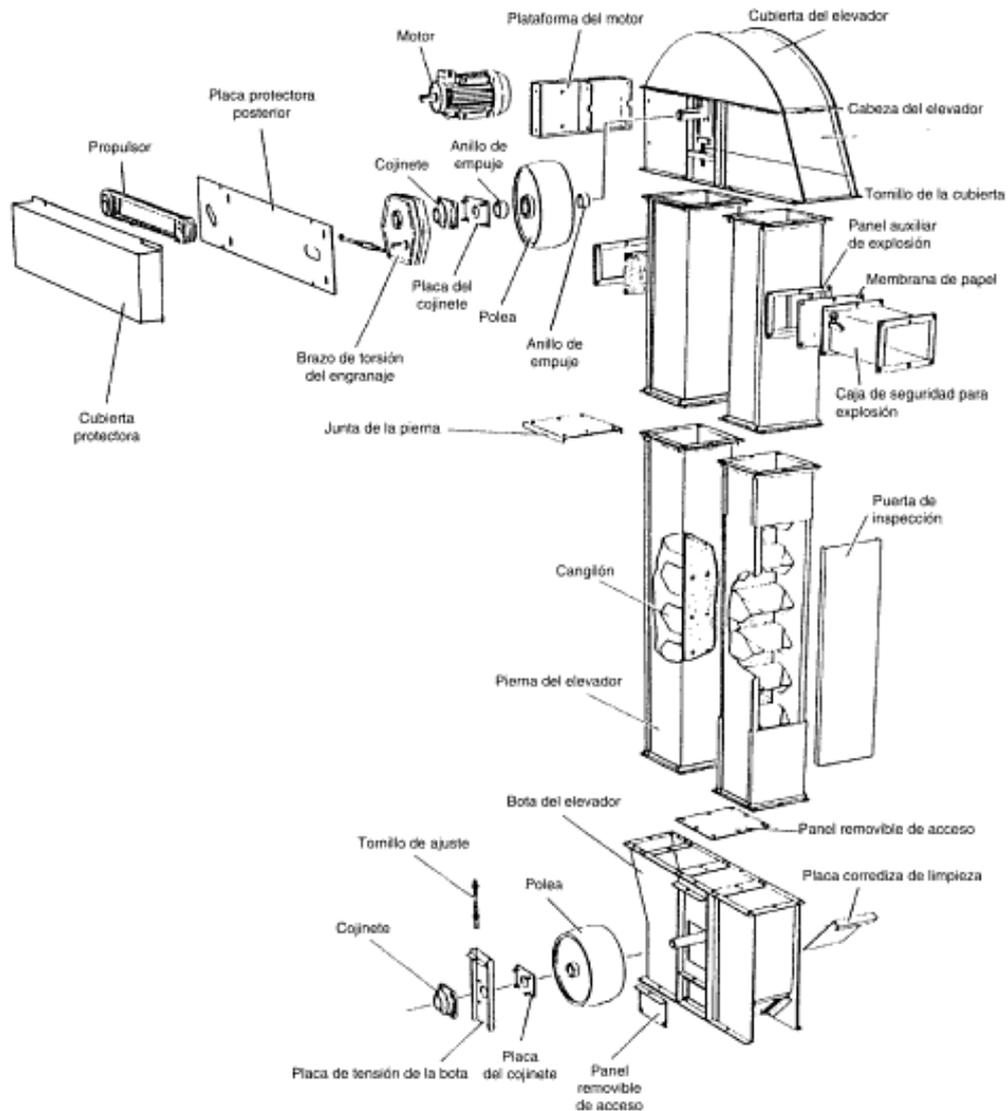


Figura AIV.12. Despiece y detalle de un elevador de cangilones (Fuente: D. B. Williams, 1996 [45]).

### Roscas transportadoras o transportadores helicoidales

Los transportadores helicoidales emplean el principio del tornillo de Arquímedes, basado en las características geométricas de una espiral unida a un tubo que rota. En cada punto de la espiral, la composición de fuerzas tangencial y normal a la hélice evitan que el material retroceda producto de la gravedad [80].

En una rosca transportadora, una espiral se sujeta a un tubo de acero, el grano ingresado por uno de los extremos del canal es empujado hacia el otro extremo mediante la rotación de la rosca [45].

Las roscas transportadoras (figura AIV.13) pueden ser de tamaños muy variados, desde pequeñas roscas portátiles, hasta roscas fijas de varios metros de longitud. Las roscas portátiles son ajustables en longitud e inclinación según los requerimientos de la operación. En algunos casos pueden accionarse mediante el motor de combustión interna de la maquinaria agrícola, a través de las tomas de fuerza.

Los datos presentados a continuación corresponden a roscas transportadoras de grandes capacidades y funcionamiento continuo, empleadas en grandes plantas de procesamiento y almacenamiento de arroz cáscara.

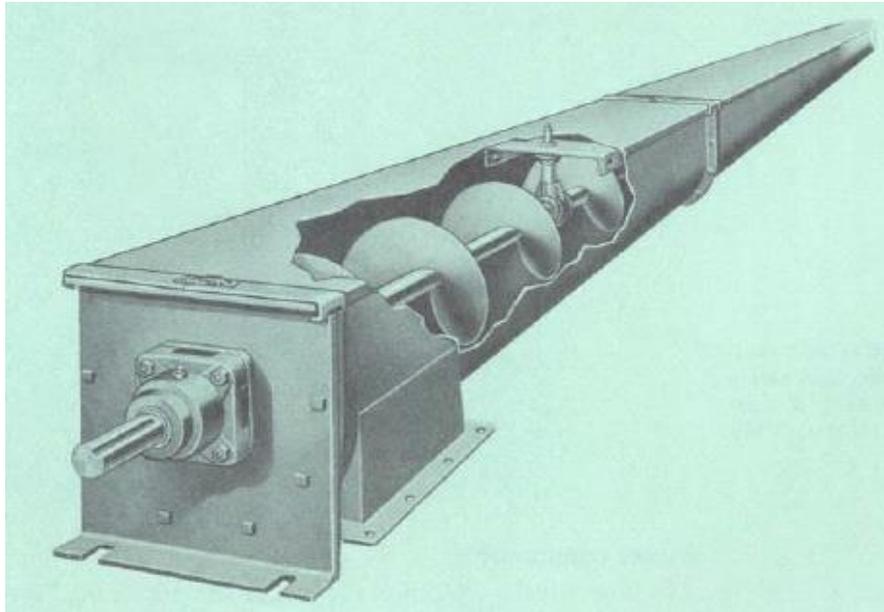


Figura AIV.13. Rosca transportadora (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Las velocidades y demanda de potencia varían según la longitud y el diámetro de la hélice, las dimensiones y condición del grano y el ángulo de elevación.

Si el transportador se acciona vacío, el tubo exterior se desgasta debido al contacto con la rosca [45].

Las roscas transportadoras pueden tener una cierta inclinación para elevar el material pequeñas alturas. El rendimiento del transportador se ve afectado por la inclinación que se le dé a la rosca (figura AIV.14).

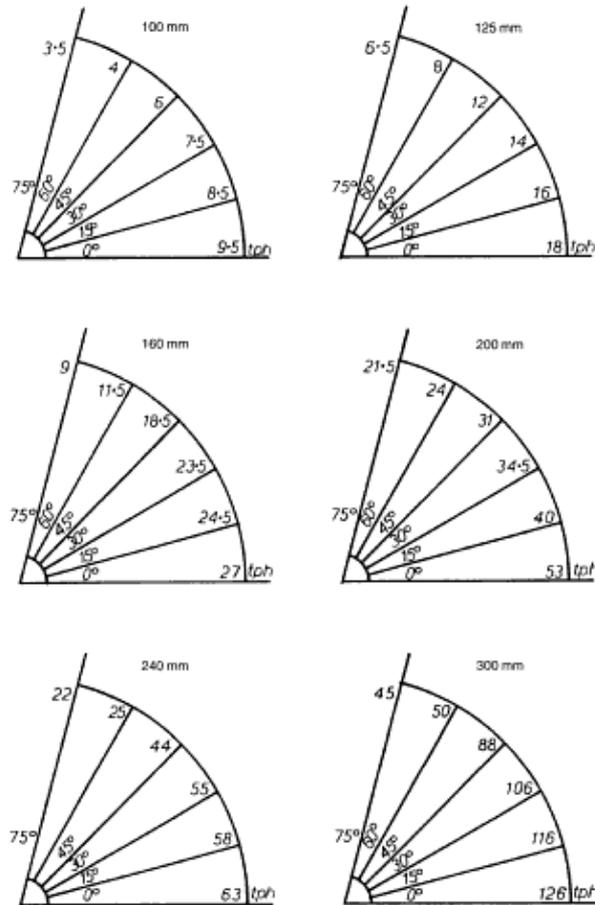


Figura AIV.14. Capacidades en toneladas por hora de las roscas transportadoras en función del diámetro y la inclinación para relación paso – diámetro igual a 1 (Fuente: D. B. Williams, 1996 [45]).

En general, se puede resumir la disminución de la capacidad de transporte según la inclinación en un 25 % menos para una inclinación de 15° y 50 % menos para 25°. Esto aumenta la potencia requerida para girar el tornillo [44].

El paso de la rosca, distancia entre dos crestas consecutivas, en los transportadores más utilizados suele ser igual a su diámetro y se denomina hélice estándar [44]. Para cada vuelta de la hélice estándar, el arroz avanza una distancia igual al paso.

La hélice está fabricada a partir de una tira de acero a la cual se le da la forma característica por deformación plástica. La misma se une a un eje macizo o tubo hueco de acero. Es importante que la superficie de la misma sea lo más suave posible. Suele tener mayor espesor en borde interno que en el externo debido a la fuerza necesaria para conformarla.

El arroz cáscara es mucho más abrasivo que otros granos, según lo explicado en *Caracterización de la cáscara de arroz*, por lo que se produce un gran desgaste de los filetes

y el canal. Para disminuir el desgaste, los filetes pueden ser fabricados de diversos materiales, como acero inoxidable, monel, o aleaciones de cobre. Sin embargo, estos materiales son muy caros en comparación con el acero de alto carbono u otra aleación con menor resistencia a la abrasión, por lo que no son muy utilizados.

Existen otros transportadores con una menor relación paso – diámetro, los cuales se utilizan en alimentadores o en el interior de una fosa de descarga donde se espera que el tornillo trabaje con un alto coeficiente de llenado.

Se recomienda un coeficiente de llenado del 30 % para el grano de arroz cáscara [44].

Los componentes de un transportador a rosca incluyen rodamientos extremos e intermedios y aberturas de carga y descarga.

El empuje axial producido en una rosca transportadora es en contra del sentido de desplazamiento del material. Se debe colocar un rodamiento axial en el extremo del transportador para evitar una sobrecarga en los demás componentes del sistema. Pueden usarse dos rodamientos cónicos enfrentados (figura AIV.15), preferentemente montados fuera del canal para evitar su contaminación. Se recomienda colocar el mecanismo de accionamiento en el extremo de descarga ya que el eje está fijo y no puede desplazarse axialmente. Sin embargo, en muchos casos se coloca del lado de la alimentación por falta de espacio u otras limitaciones

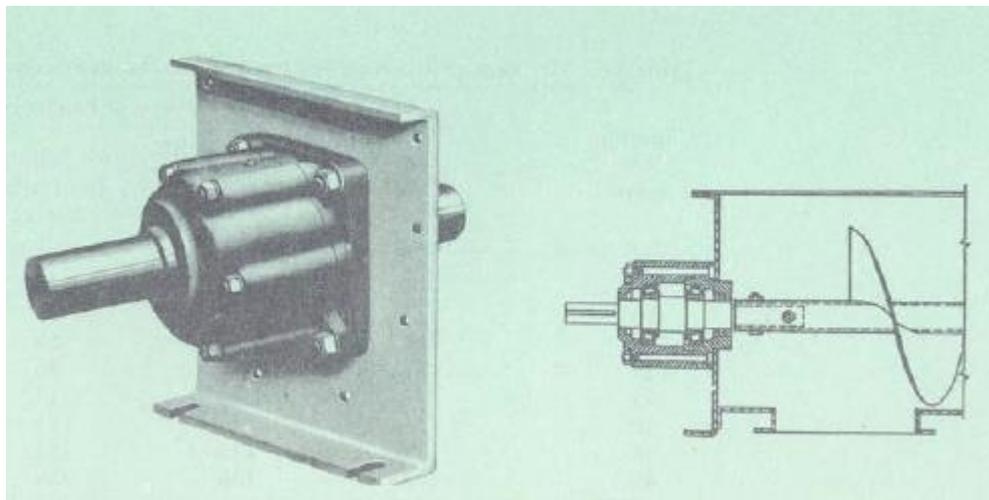


Figura AIV.15. Rodamientos externos de una rosca transportadora (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Para roscas transportadoras de gran longitud se deben colocar rodamientos intermedios (figura AIV.16), que sostengan la misma y eviten su deflexión. Normalmente son rodamientos de bolas con sellos de polvo y suelen incorporar un conducto para su lubricación. Es recomendable la colocación de escudos para proteger el rodamiento de la presión y el desgaste producto del contacto con el grano.

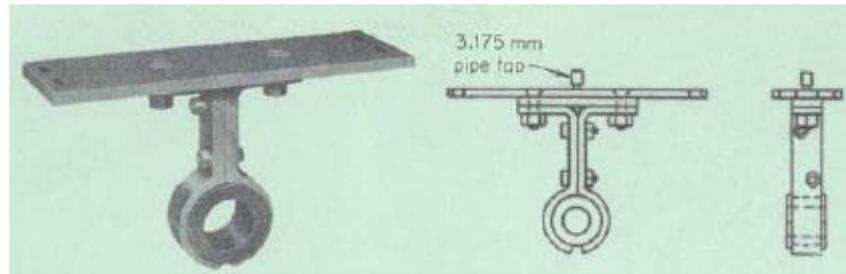


Figura AIV.16. Rodamientos intermedios de una rosca transportadora (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Las bocas para el ingreso del material a la rosca deben ubicarse a una distancia suficiente de los rodamientos intermedios que evite el atascamiento del transporte. Es posible colocar una tolva de llenado según las necesidades.

Las bocas estándar de salida del material poseen sección cuadrada siendo el lado igual al diámetro o ancho del canal según si este es tubular o en forma de artesa.

Los canales para el transporte de granos pueden adoptar diferentes formas y poseer o no una tapa para evitar la contaminación del material. La mayoría de los canales se construyen de acero al carbono o aleaciones resistentes al desgaste para soportar el carácter abrasivo del grano de arroz cáscara [44].

En el caso de roscas que se ubican a la intemperie, las cubiertas pueden realizarse a dos aguas para evitar la acumulación de agua que pueda producir corrosión en el canal.

Debido a que las roscas son operadas a velocidades relativamente bajas, se requiere un mecanismo de reducción de velocidad. El mismo puede estar compuesto de transmisiones por correas en V, reductores a engranajes, motorreductores o transmisiones por cadena.

Lo antes descrito para transportes helicoidales corresponde a roscas de gran capacidad, que se montan fijas en instalaciones industriales que procesan arroz cáscara en forma continua. Sin embargo, existen otro tipo de roscas transportadoras que se utilizan para menores capacidades y uso en instalaciones más pequeñas o en el campo. Estas roscas poseen la particularidad de ser portátiles y permiten su conexión a la toma de fuerza de la maquinaria agrícola. También son utilizadas para el llenado de silos pequeños (figura AIV.17). Este tipo de transportadores es conocido como *augers*.

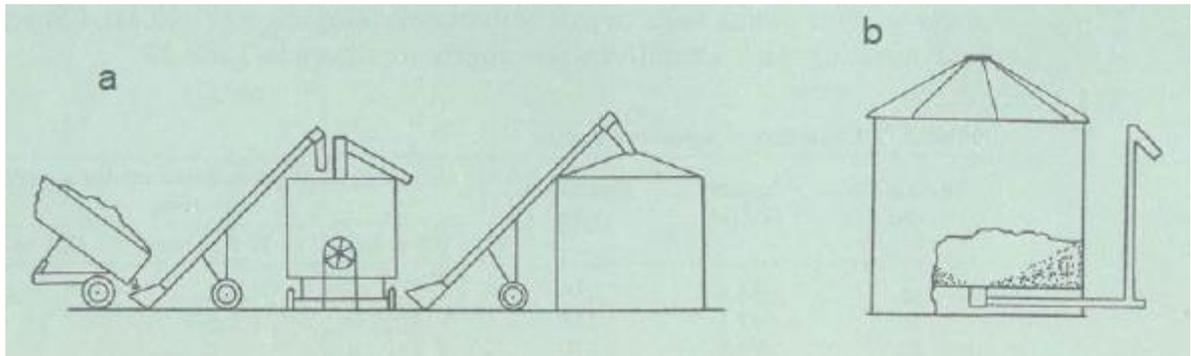


Figura AIV.17. Empleo de los transportadores portátiles. En el caso a, se emplean para descargar el remolque de un tractor en una secadora y luego transportar el arroz hacia un silo. En el caso b, se emplean dos roscas, una horizontal y una vertical, para la descarga de un silo (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Estos transportadores poseen canales tubulares, ya que son de mayor facilidad de construcción. A su vez, funcionan a mayores velocidades que las roscas de gran capacidad de carga, [44] esto permite aumentar el flujo de material sin aumentar el diámetro de la rosca. Poseen orientaciones ajustables para satisfacer las necesidades de transporte.

### Cintas transportadoras

Las cintas transportadoras consisten en una banda que opera entre dos tambores o poleas y se encuentra sustentada por rodillos (figura AIV.18). La banda puede ser plana, para el movimiento de objetos de gran tamaño como bolsas de granos, o, en forma de V o artesa para el movimiento de material a granel.

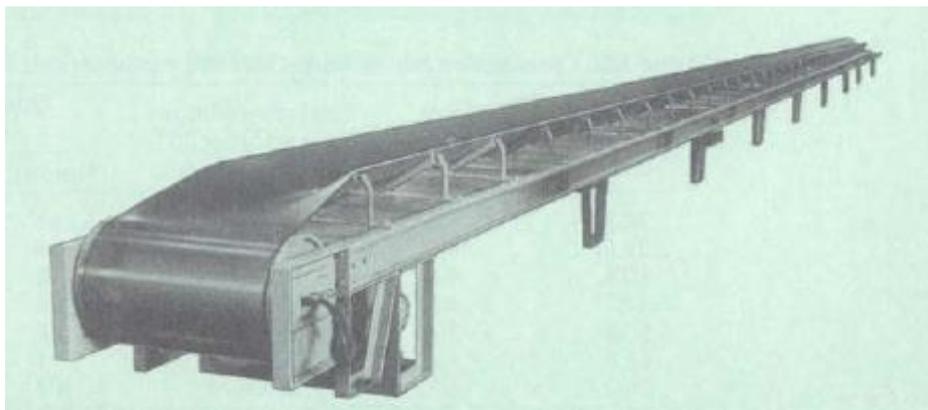


Figura AIV.18. Cinta transportadora (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Este tipo de transporte requiere una cinta o banda transportadora, un mecanismo de accionamiento, tambores: motor y de reenvío, un mecanismo de tensado, estaciones de rodillos y mecanismos de carga y descarga. La capacidad de transporte depende del ancho de la banda, el ángulo de inclinación y la velocidad [44].

La eficiencia mecánica de este transporte es alta, ya que no hay un movimiento relativo entre el material y la cinta, esta última se desplaza sobre rodamientos con muy baja fricción. Esto evita el daño del grano de arroz cáscara y el excesivo desgaste de las piezas en contacto con este. La disminución en la fricción permite el transporte a largas distancias y altas velocidades. Las inversiones iniciales son altas para transportes de distancias relativamente cortas, pero disminuyen para distancias mayores.

La inclinación vertical de la banda puede ser de hasta 15-17° [44] porque, para inclinaciones mayores, el grano comienza a retroceder y se ve disminuida la capacidad de transporte. Con mayor ángulo de inclinación, se deberán usar cintas nervadas (figura AIV.19) que eviten el retroceso del material.

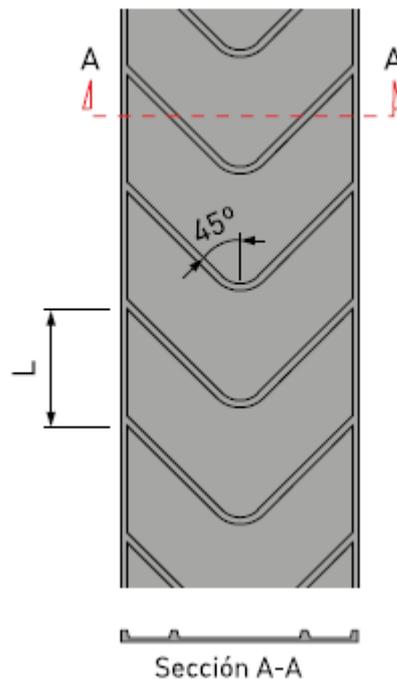


Figura AIV.19. Detalle de cintas nervadas en V (Fuente: Kauman [81]).

La distancia entre las estaciones de rodillos en el ramal de transporte no debe superar los 1,5 metros para cintas de hasta 0,5 metros de ancho, o 1,4 metros para cintas más anchas. Las estaciones de rodillos en el ramal de reenvío deben ubicarse a una distancia no mayor a los 3 metros.

Para el transporte de arroz cáscara, se emplean estaciones en forma de artesa compuestas por tres rodillos, los cuales forman un ángulo de 20° (figura AIV.20). Existen estaciones de rodillos autoalineantes que se colocan para centrar la banda en los casos de carga no uniforme o estiramiento desigual. Estas estaciones reemplazan las estaciones estándar cada 15 o 30 metros [44].

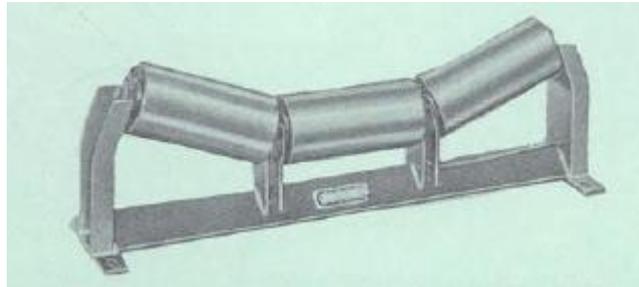


Figura AIV.20. Estaciones de rodillos en forma de artesa (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

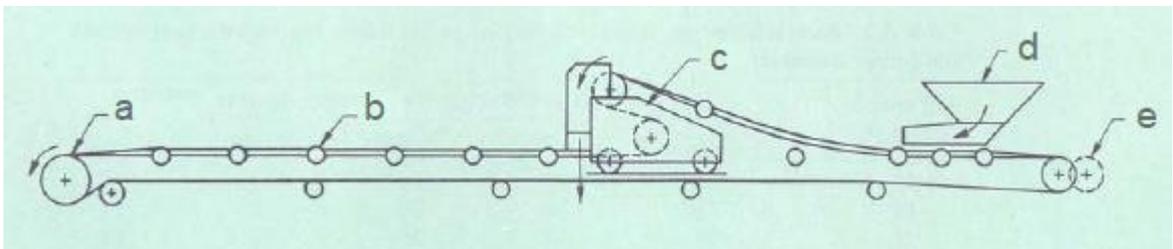


Figura AIV.21. Esquema de una cinta transportadora; a) corresponde al tambor motriz, b) a las estaciones de rodillos, c) al carro de descarga o *tripper*, d) a la tolva de carga y e) al tambor de reenvío ajustable (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

La tolva de alimentación debe ubicarse en el tambor de reenvío o cerca de este (figura AIV.21). Suelen diseñarse con guías o extensiones laterales que acompañen la caída del grano sobre la cinta y evitar que el mismo caiga fuera del transporte. A su vez, se debe procurar que el grano ingrese a la banda con una velocidad relativa cercana a cero. Esto es para evitar que la cinta se dañe por acción mecánica o impacto. En la zona de carga, las estaciones de rodillos deben colocarse con menor separación entre sí (figura AIV.21).

Las cintas transportadoras deben estar alimentadas uniformemente, en caso contrario, la carga empuja la cinta hacia un lateral, desgastándola de manera desigual [45].

El tambor de reenvío debe poseer un sistema para mantener la correcta tensión de la banda, lo cual garantiza el rozamiento entre la banda y el tambor motriz.

La descarga de la cinta puede realizarse de diversas maneras (figuras AIV.21 y AIV.22). La descarga del material al final de la cinta, en el tambor motriz, es la forma más común y sencilla. Para descargas intermedias pueden emplearse paletas que desvíen el material hacia uno u ambos lados. Estas deben poseer un borde inferior de goma para evitar el excesivo rozamiento con la cinta. Las palas de descarga pueden elevarse cuando la descarga se hará en otro punto. Este tipo de descarga no es recomendada para el caso de arroz cáscara, ya que los granos, al ser de pequeño tamaño, pueden deslizarse por debajo de la tabla y ser

descargados. Si se acerca la placa a la banda aumenta el rozamiento, y, en consecuencia, el desgaste. También puede aumentar la cantidad de granos partidos por la presión ejercida entre la pala y la banda.

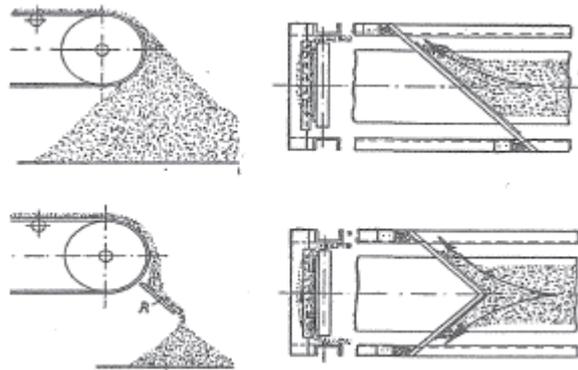


Figura AIV.22. Formas de descarga de las bandas transportadoras en el tambor final o en puntos intermedios mediante desvíos (Fuente: V. Zignoli, 1970 [43]).

Por estas razones es preferible el empleo de carros de descarga denominados *trippers* (figura AIV.23) que puede desplazarse a lo largo de la cinta para seleccionar el punto de descarga. A su vez, poseen válvulas que permiten enviar el material hacia cualquiera de los dos lados. El accionamiento de estos carros puede ser manual, automático o a través de la cinta transportadora [44]. Esto dependerá de la instalación y la capacidad de transporte.

Los *trippers* consisten en dos tambores (figura AIV.23), la cinta pasa por el tambor superior descargando el arroz, el cual es enviado hacia la izquierda o derecha según la necesidad de la instalación. Los carros, normalmente, corren sobre un sistema de vigas que se ubica en paralelo con la estructura de la cinta transportadora o se vincula a ella de alguna manera. Poseen un seguro que les impide moverse cuando la cinta está transportando material.

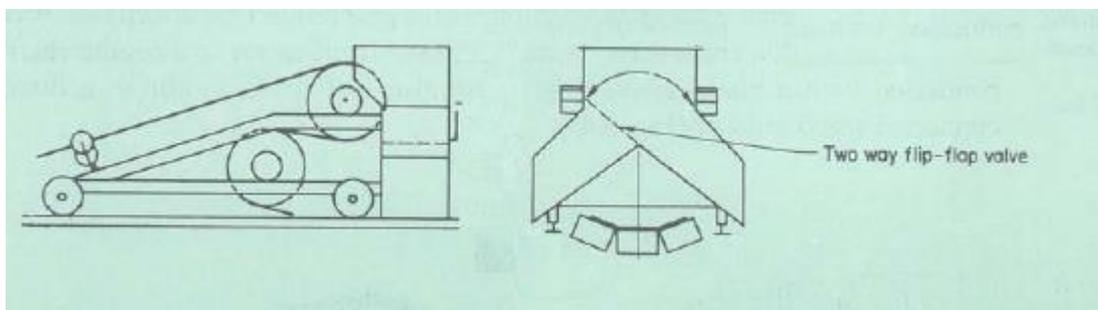


Figura AIV.23. Esquema de un *tripper* o descargador. Adaptado de J. E. Wimberly, 1983 [44].

Cuando los requerimientos de la instalación son más exigentes, el movimiento del *tripper* se realiza mediante poleas que se vinculan al tambor motriz.

Para mantener el correcto estiramiento de la cinta, se pueden emplear pesas que automáticamente regulen la tensión durante la vida útil de la banda. Para cintas de menor capacidad y longitud se emplean tensores con guías o tornillos que se ajustan manualmente y permiten el desplazamiento del eje del tambor de reenvío.

Los tambores pueden ser recubiertos con goma vulcanizada cuando se necesite una mayor fuerza de fricción entre la banda y el tambor. A su vez, pueden emplearse tambores autolimpiantes (figura AIV.24) que previenen la acumulación de polvo y material que pueda dañar la banda.

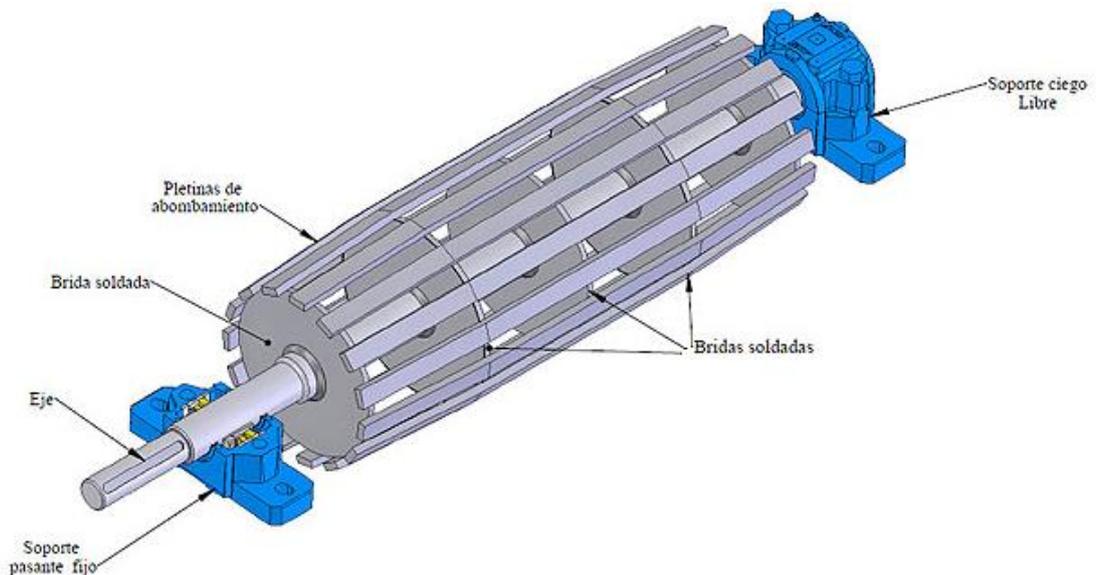


Figura AIV.24. Tambores autolimpiantes o jaula de ardilla (Fuente: Rotrans S. A. [82]).

Para aumentar el ángulo de contacto entre la cinta y el tambor, se emplean rodillos que presionen la cinta por debajo del tambor motriz.

El espesor de la banda depende de la capacidad de transporte, que determina la velocidad y la tensión que ha de soportar. En función de la tensión a la cual está sometida la banda se especifica el número de telas que ha de tener y el espesor de los recubrimientos. El espesor total de la banda limita su radio de deformación según la resistencia a la fatiga, con lo cual determina el diámetro mínimo de los tambores.

### Transportadores de cadena (redler)

Los transportadores de cadena son muy utilizados para el transporte horizontal o con una ligera inclinación de materiales granulares [45]. Transportan el material en un ambiente cerrado, previniendo contaminación, derrames y escapes de polvos.

Los transportadores de cadena, también conocidos como redler (figura AIV.25), consisten en una cadena sin fin a la cual se le acoplan paletas o alas transversales que se mueve dentro de un conducto de sección rectangular. El ducto puede realizarse de acero y posee tapas removibles. La cadena se desliza a lo largo del piso o sobre un riel, accionada por un motor y una rueda dentada y retorna por encima del material en movimiento, sostenida por un riel o un piso de chapa.

La carga del material se realiza en el extremo donde se ubica la rueda de reenvío. Conforme avanza la cadena, las paletas empujan el grano inferior que, por acción de la fricción, mueve el grano ubicado en la parte superior.

Las bocas de descarga se colocan en el extremo en el cual se ubica la rueda motriz. El flujo de entrada de material se controla a través de una tolva de alimentación, mientras que el flujo de salida se controla a través de tapas corredizas o puertas en el piso del ducto.

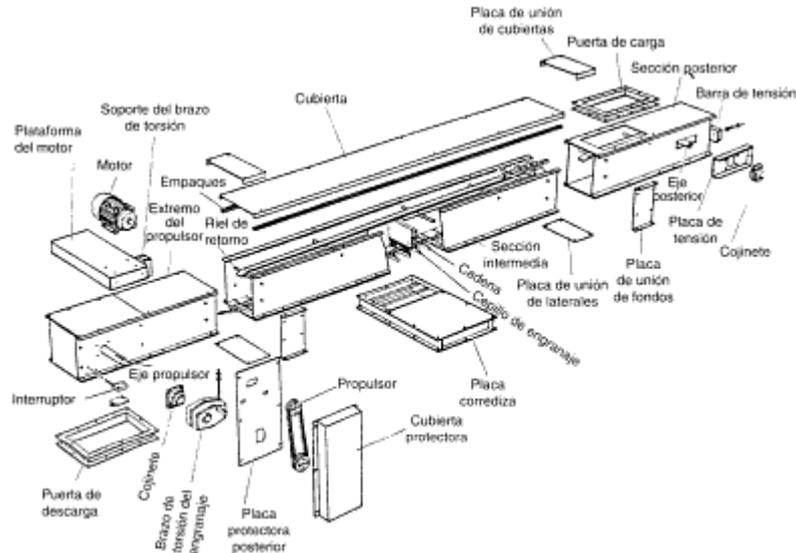


Figura AIV.25. Detalle de los componentes de un redler (Fuente: D. B. Williams, 1996 [45]).

Los eslabones de las cadenas se seleccionan según el tipo de trabajo al cual está sometido el transporte. Para trabajo ligero, se emplean cadenas de eslabones de lado plano, mientras que, para trabajo pesado se utilizan eslabones forjados. Las paletas pueden ser integradas a través de eslabones especiales o soldadas a los eslabones normales.

La rueda dentada motriz está vinculada a un motor eléctrico a través de un reductor o sistema de transmisión de potencia (correas en V, cadenas, reductores a engranajes, u otro). Los rodamientos sobre los cuales se apoya el eje deben colocarse fuera del ducto por el cual circula el material.

La rueda de reenvío debe poseer un mecanismo que permita el tensado de la cadena a través de tornillos o resortes.

Este tipo de transporte no es recomendado para el movimiento de arroz cáscara, dado que el carácter abrasivo de este grano desgasta rápidamente los componentes del sistema disminuyendo considerablemente su vida útil. A su vez, el consumo de potencia es mayor que el requerido por las cintas transportadoras de igual capacidad [44].

### Transporte neumático

Estos sistemas transportan el material a lo largo de una tubería mediante el empleo de corrientes de aire. Cuando las partículas sólidas están suspendidas y el aire se mueve a gran velocidad y baja presión, el sistema se denomina de fase ligera. En cambio, el transporte en fase densa, desplaza el material como una masa y el aire se mueve a baja velocidad pero alta presión.

Los sistemas neumáticos suelen demandar mayor potencia que los mecánicos para la misma capacidad de transporte [45]. A su vez, son más propensos al desgaste por erosión.

Los tres tipos principales de transporte neumático son: por presión, por succión o mixtos.

En el caso de los sistemas por presión, el grano es introducido en una corriente de aire que se encuentra a mayor presión que la atmosférica, y es empujado hacia una salida. El principal inconveniente reside en la dificultad de poseer más de un punto de carga. Asimismo, en muchos casos, se emplean válvulas dosificadoras rotativas para controlar el flujo de material en el ducto y evitar el soplado hacia la tolva.

Los sistemas por succión mantienen el aire en el interior de los conductos a presiones por debajo de la atmosférica. La diferencia de presión empuja el grano desde la entrada hacia la descarga. Su principal desventaja es la necesidad de un sistema de separación del material respecto del aire y la dificultad de descargar en diversos puntos.

El transporte mixto combina ambos sistemas, empleando uno o dos ventiladores para lograr presión y succión dentro de las tuberías. El empleo de válvulas dosificadoras y ciclones evita el pasaje del material por el ventilador.

Pueden emplearse ventiladores centrífugos, axiales o de desplazamiento positivo. Los ventiladores de desplazamiento positivo funcionan mediante dos lóbulos que rotan dentro de

una carcasa. Al rotar, engranan y obligan al aire a ocupar menor volumen, en consecuencia, aumentando su presión. El espacio libre en la entrada del ventilador posee presión negativa, lo que obliga al ingreso de aire exterior.

Las válvulas dosificadoras consisten en un rotor dotado de paletas que gira dentro de una cámara. El rotor y las superficies internas de la cámara, generalmente, están recubiertas de cromo duro para resistir el desgaste [45]. El rotor controla el flujo del grano desde la tolva hacia los ductos.

La abrasión en la superficie interna de los tubos es menor en los trayectos rectos, pero aumenta en las curvas. Para disminuir este efecto se debe aumentar el radio de curvatura y disminuir la velocidad del aire en los ductos.

El transporte neumático es mayormente empleado para el transporte de cáscara de arroz, salvado o harinas [44].

#### Válvulas y distribuidores

En gran parte de las instalaciones dedicadas a actividades de poscosecha se utilizan válvulas y distribuidores de granos. El arroz se mueve debido a la acción de la gravedad, ya que estos elementos se diseñan con ángulos mayores al ángulo de talud natural del material.

Los tubos de alimentación de los silos son propensos al desgaste por acción abrasiva del grano de arroz cáscara, en particular en codos y cambios de dirección. Para limitar este efecto se emplean trampas de granos (figura AIV.26). La acción abrasiva del grano de arroz cáscara es absorbida por el grano atrapado, evitando que entre en contacto con el codo de la tubería.

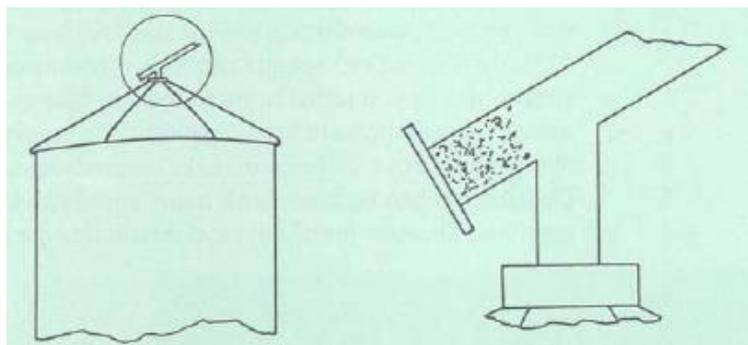


Figura AIV.26. Trampas de granos (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

Muchas instalaciones requieren de válvulas distribuidoras con múltiples descargas, en estos casos se emplean distribuidores (figura AIV.27) que poseen muchas salidas, las que se conectan a varios silos u otros equipos.

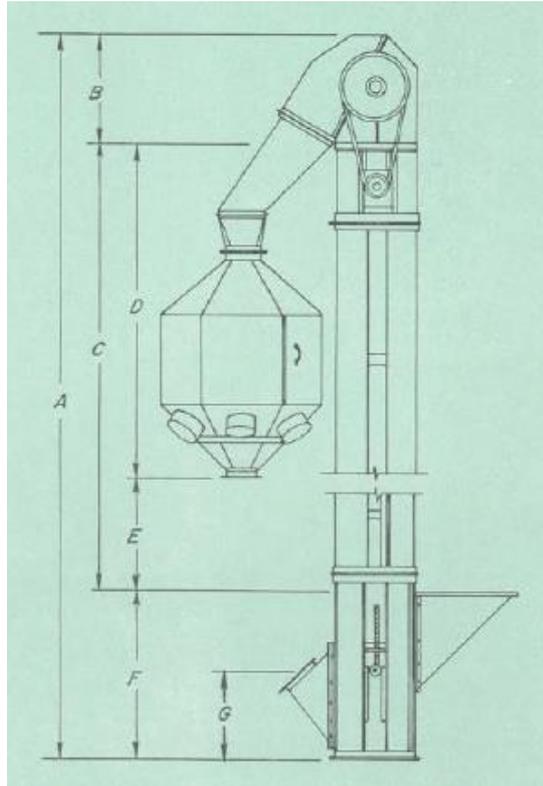


Figura AIV.27. Esquema de un elevador con distribuidor. A corresponde a la altura total del elevador; B a la altura del cabezal superior; C a la altura efectiva de elevación; D a la altura del distribuidor o válvulas; E a la altura efectiva de elevación considerando el distribuidor; F a la altura de la alimentación del material del lado descendente y G a la altura de la alimentación del material del lado ascendente (Fuente: J. E. Wimberly, 1983 [44]).

## Desgaste

El desgaste se define como la pérdida progresiva de material de una o dos superficies, debido al movimiento relativo bajo acción de una fuerza. El desgaste posee gran importancia, ya que modifica la morfología de las herramientas y piezas. Este factor afecta su vida útil y su funcionamiento, pudiendo disminuir la calidad del producto procesado con ellas [47]. Las placas de desgaste son componentes básicos en algunas instalaciones para la protección de piezas o zonas de mayor importancia o costo. Estas son reemplazables con facilidad y son más económicas que aquello que protegen.

## Mecanismos de desgaste

### Desgaste adhesivo

Cuando dos superficies se encuentran en contacto, existen puntos de unión entre sus asperezas (figura AIV.28). Debido al endurecimiento por deformación, difusión y solubilidad mutua, la resistencia de las uniones suele ser mayor que la de los materiales base.



Figura AIV.28. Puntos de contacto entre dos superficies y su adhesión (Fuente: S. Kalpakjian, [47]).

Al desplazarse una de las superficies respecto de la otra, la fractura se produce en el material más blando (figura AIV.29) generando así un fragmento de desgaste. Posteriormente, esta partícula se desprende del material de mayor dureza y produce un desgaste en la zona. Las capas de óxido de muchos materiales pueden actuar como películas de protección, disminuyendo el daño.

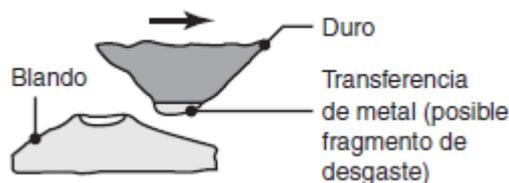


Figura AIV.29. Acción del desgaste adhesivo y formación de partículas de desgaste (Fuente: S. Kalpakjian, [47]).

### Desgaste abrasivo

Este tipo de desgaste se debe a una superficie de alta rugosidad que se desliza sobre otra o a la presencia de partículas de alta dureza en la interfaz entre dos cuerpos.

Existen dos tipos básicos de desgaste abrasivo [47]. El desgaste de dos cuerpos corresponde a la acción abrasiva entre dos superficies o una superficie en contacto con una partícula de mayor dureza. El desgaste de tres cuerpos (figura AIV.30) corresponde a una partícula abrasiva que se encuentra entre dos piezas sólidas en movimiento relativo, esta puede corresponder a polvo o elementos extraños.

Este mecanismo elimina material, principalmente por la formación de surcos o rayas [83].

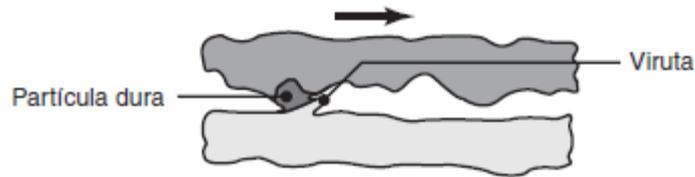


Figura AIV.30. Mecanismo de desgaste abrasivo de tres cuerpos (Fuente: S. Kalpakjian, [47]).

La resistencia al desgaste abrasivo es directamente proporcional a la dureza del metal o cerámico [47]. Los elastómeros y plásticos resisten el desgaste abrasivo mediante una deformación elástica de la superficie ante la presencia de una partícula de mayor dureza.

#### Desgaste corrosivo

Este tipo de desgaste se conoce como desgaste químico dado que se debe a una reacción de óxido-reducción entre las superficies y el ambiente. Al corroerse una pieza, se forman óxidos de mayor dureza que el material base. Por el movimiento relativo entre las partes, se produce un desprendimiento de este óxido que genera un desgaste abrasivo. Asimismo, al desprenderse el óxido, el material base queda expuesto a las condiciones ambientales por lo que el proceso de oxidación se repite.

#### Desgaste por fatiga

Este mecanismo se produce cuando una superficie está sometida a cargas cíclicas por fuerzas aplicadas o cambios de temperatura [47]. Estas cargas producen grietas en las superficies o subsuperficies en el punto en el que el esfuerzo cortante es máximo [83]. Las capas se desprenden formando partículas de desgaste.

#### Desgaste por ludimiento o *fretting*

El desgaste por *fretting* se produce cuando dos piezas se encuentran en contacto bajo presión y en movimiento relativo oscilatorio de pequeña amplitud, esto produce tensiones tangenciales. Las tensiones locales provocadas por el movimiento se adicionan a las globales generando grietas en la zona de contacto que resultan en el fallo final [84].

#### Desgaste por erosión

El desgaste por erosión se debe a la eliminación del material producto de la incidencia de partículas abrasivas sobre una superficie. El nivel de remoción de material alcanzado corresponde con el ángulo de incidencia de las partículas, en general, a un ángulo de aproximadamente 20° el material se elimina por acción de corte [83].

## Disminución del desgaste mediante el diseño

El desgaste adhesivo y el abrasivo son considerados los desgastes más comunes en ingeniería [83].

El desgaste adhesivo se puede disminuir mediante la selección de materiales que no formen uniones adhesivas resistentes y presenten baja solubilidad mutua. El empleo de materiales que formen capas de óxido que protejan el material base, o la aplicación de recubrimientos o tratamientos superficiales, que modifiquen la dureza superficial de las piezas [47] aumenta la resistencia al desgaste.

El principal inconveniente al emplear materiales de alta dureza corresponde a las fracturas frágiles. Para evitar esto, el material debe poseer tenacidad, lo cual es propio de aquellos más blandos. Mediante tratamientos térmicos superficiales o recubrimientos de otros materiales, es posible aumentar la dureza superficial sin disminuir la tenacidad del material base. Los tratamientos de difusión como la nitruración o cementación son muy empleados para el aumento de la dureza en la superficie del material, sin presentar un cambio brusco de composición química.

Para bajas fuerzas de impacto, se recomienda el empleo de carburos duros, aceros nitrurados y aceros martensíticos [83]. Mientras que, para altas fuerzas de impacto, se sugieren aceros austeníticos o inoxidable.

Además, pueden protegerse las piezas más importantes del sistema a través de otras partes de fácil reemplazo y menor costo.

La selección de los materiales reviste gran importancia en el diseño para resistir al desgaste. Para ello se deberán estudiar este fenómeno en cada situación particular y definir qué propiedades debe poseer el material para aumentar su vida útil.

En el caso de los componentes de la maquinaria empleada en la manipulación de arroz cáscara, debido a la naturaleza del grano, los mecanismos de desgaste predominantes son el desgaste erosivo y abrasivo. Dada la composición química de la cáscara (ver [Caracterización de la cáscara de arroz](#)) resulta ser un material de gran agresividad, lo cual implica grandes costos operativos en el equipamiento empleado en la cosecha y poscosecha.

## Ensayos de abrasividad

### Ensayo de abrasividad LCPC

El ensayo de abrasividad LCPC propuesto por el *Laboratoire Central des Ponts et Chaussées* se utiliza para la determinación de la abrasividad de mezclas de suelos, arena y

grava de distintos tamaños [85]. Este ensayo concluye con la obtención de un parámetro denominado LCPC Abrasivity Coefficient (*LAC*).

Este ensayo se describe en la Norma Francesa P18-579. El equipo utilizado consiste en un motor de 750 W, al cual se le acopla una placa de acero que rota en el interior de un recipiente, en donde se encuentra la muestra (figura AIV.31). La placa metálica es de acero con una dureza Rockwell B 60-75 y sus dimensiones son 50 mm x 25 mm x 5 mm [85]. Esta placa debe reemplazarse luego de cada ensayo.

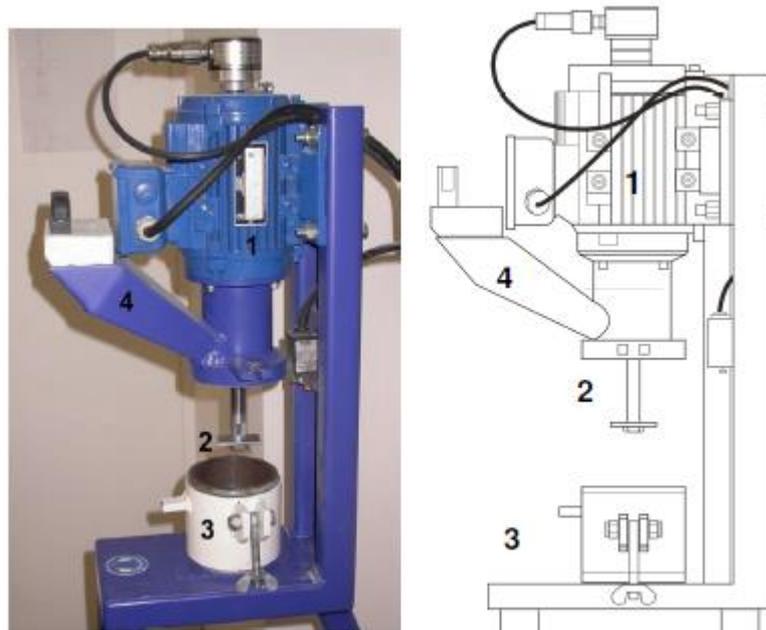


Figura AIV.31. Abrasímetro empleado para ensayo, 1 corresponde al motor; 2 a la placa metálica; 3 al contenedor donde se coloca la muestra y 4 al canal de alimentación (Fuente: K. Thuro, 2007 [86]).

La muestra del material abrasivo se seca mediante corrientes de aire y se coloca en el contenedor, cuyas dimensiones son 93 mm de diámetro y 100 mm de alto. El tamaño de muestra es  $500 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$  de material con partículas entre 4 mm y 6,3 mm. La muestra ingresa al contenedor a través del canal de alimentación (figura AIV.31).

La placa rectangular rota a 4500 rpm durante 5 minutos en el interior de la muestra [86]. Para la determinación de la abrasividad, la placa se pesa antes y después del ensayo. Las placas no pueden reutilizarse en los ensayos, ya que sufren desgaste y deformaciones debido a la fuerza ejercida por la muestra.

Cuando las partículas de la muestra poseen mayor tamaño que el requerido, las piezas de gran tamaño se trituran y tamizan para obtener la fracción buscada. Para emplear partículas de mayor tamaño se requiere un sobredimensionamiento del equipo, lo cual aumenta considerablemente los costos del ensayo.

El procedimiento recomendado para la preparación de la muestra es tamizar la muestra y triturar aquellas piezas mayores a 6,3 mm hasta que la totalidad del material se encuentre por debajo del tamaño admisible. Finalmente, la fracción triturada se mezcla homogéneamente con la fracción tamizada para obtener una muestra representativa.

El coeficiente de abrasividad (*LAC*) se calcula considerando el cociente entre la pérdida de masa de la placa metálica y la masa de muestra empleada (ecuación AIV.1).

$$LAC = \frac{m_0 - m}{M} \quad (\text{AIV.1})$$

Siendo:

$m_0$  la masa inicial de la placa metálica en gramos,

$m$  la masa final de la placa metálica en gramos, y

$M$  la masa total de material ensayado (0,0005 t).

La determinación de este coeficiente permite clasificar el material entre cinco categorías de abrasividad dados por la norma [86]. Estas categorías son: no abrasivo, no muy abrasivo, un poco abrasivo, abrasivo, muy abrasivo y extremadamente abrasivo. El coeficiente *LAC* varía desde 0 hasta 2000 g/t aproximadamente.

Este ensayo es aplicable al grano de arroz cáscara dado que el tamaño del grano es aceptable y no requiere la disminución mediante triturado. Sin embargo, considerando la necesidad de diferenciar entre las distintas variedades, el tiempo de ensayo resultante puede superar lo inicialmente estipulado.

### **Ensayo de abrasión de Los Ángeles**

Este ensayo corresponde al estudio del desgaste producto del rozamiento entre las rocas y la acción del impacto a través de esferas de acero.

El equipo requerido para la realización de este ensayo consiste en un cilindro de acero sellado en ambos extremos. El diámetro interior es  $711 \pm 5$  mm y la longitud es  $508 \pm 5$  mm. Este tambor se monta sobre ejes que se acoplan a las tapas, estos ejes no deben ingresar en él (figura AIV.32). La pendiente horizontal máxima admisible es de 0,01 [International Society for Rock Mechanics, 1978]. Las paredes del tambor deben realizarse de chapa de 12,7 mm (1/2 in) de espesor.

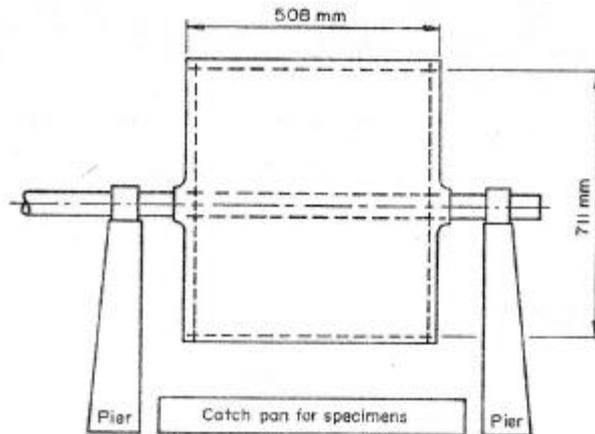


Figura AIV.32. Equipo para el ensayo de abrasión de Los Ángeles (Fuente: W. E. Bamford, 1978 [87]).

Para el ingreso de la muestra, se debe colocar una abertura con una tapa sellada mediante pernos. Esta debe estar diseñada de tal manera que mantenga la curvatura del cilindro.

Se requiere una placa de acero, de igual longitud que el tambor, que ingrese a este una profundidad de  $89 \pm 2$  mm y sea removible. La ubicación de esta placa debe ser tal que coincida con el plano axial que corresponde al centro de la tapa (figura AIV.33). Esta plataforma se debe fijar con firmeza y la posición debe ser tal que la distancia desde esta hasta la abertura del tambor no sea menor a 1,27 m.

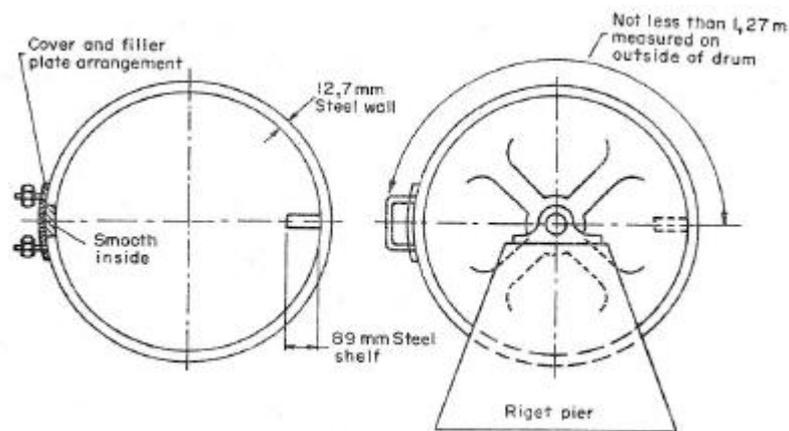


Figura AIV.33. Equipo para el ensayo de abrasión de Los Ángeles, detalle de la tapa y la placa de acero (Fuente: W. E. Bamford, 1978 [87]).

La plataforma debe hacerse de acero resistente al desgaste y de sección rectangular.

El primer paso del procedimiento de ensayo consiste en colocar la muestra en el interior del cilindro, cuya velocidad de rotación oscila entre 30 y 33 rpm. La cantidad de revoluciones que dura el ensayo es 500 para muestras con tamaño de partículas menor a 38 mm y 1000 revoluciones para partículas mayores a 19 mm [87].

Se requieren 5 a 10 kg de muestra necesaria, la cual se carga junto con esferas de fundición con diámetro 48 mm [88], se requieren de 6 a 12 esferas.

La cantidad de revoluciones y de esferas que requiere el ensayo dependen del tamaño de las partículas que integran la muestra. Según la fracción de la muestra que atraviesa un determinado tamaño de tamiz, el material se clasifica en una de 6 categorías. Es en base a estas categorías que se especifican los parámetros del ensayo.

Luego del ensayo, se debe separar el material mediante un tamiz de 1,27 mm y lavar las piezas más grandes. Estas piezas se secan a 105-110°C y se pesan [87].

La diferencia del peso de la muestra al final del ensayo se debe expresar como porcentaje de la masa inicial de la muestra. Este valor corresponde al porcentaje de pérdida.

Este ensayo se encuentra normalizado en el Mercosur según la norma NM 51:2000. El mismo especifica todos los procedimientos y características del equipo necesarias para llevarlo a cabo.

### **Ensayo del molino de bolas nórdico (NBMT)**

Este ensayo fue desarrollado para la determinación de la calidad de los áridos empleados en pavimentos de caminos. Es similar al ensayo de abrasión de Los Ángeles.

Para realizar el ensayo se requiere 1 kg de áridos de tamaños comprendidos entre los 11,2 y los 16 mm y esferas de acero. Estos dos elementos se colocan, junto con agua, en un tambor rotativo. El diámetro interno del tambor es 206,5 mm, su longitud es 335 mm y el diámetro de las esferas es 15 mm. La velocidad de rotación del tambor es de 90 rpm y la duración del ensayo es de 5400 revoluciones [89]. En el interior del tambor se colocan tres placas. Después del ensayo, se pesa el material cuyas partículas poseen un tamaño menor a 2 mm. Los resultados se expresan como porcentaje de la masa inicial.

### **Ensayos de abrasión NTNU**

Este ensayo fue desarrollado por la Universidad Noruega de Ciencia y Tecnología (NTNU). Permite la determinación de la abrasividad de muestras de suelo de partículas de hasta 4 mm.

La muestra se debe secar en un horno a 30°C de 2 a 3 días para evitar cambios en las propiedades del mismo. Para obtener el tamaño de partículas necesario se pueden desintegrar aquellas piezas más grandes mediante un martillo, mediante un molino de bolas o mediante una trituradora de mandíbula. Se debe evitar romper las partículas del tamaño adecuado para no modificar su morfología.

El ensayo consiste en medir la pérdida de masa en miligramos de dos o cuatro piezas de carburo de tungsteno o acero de herramientas que se presionan sobre la muestra de suelo. El material ensayado se alimenta de manera continua (80 g/min) sobre un disco rotativo. Las dimensiones de las placas son: 30 mm de largo, 10 a 20 mm de ancho y 15 mm de radio. Se debe presionar la placa con una fuerza de 10 kgf [88].

El equipo (figura AIV.34) puede emplearse para realizar tres ensayos diferentes. La determinación del valor de abrasión AV, que corresponde con una pieza de carburo de tungsteno y una duración de 100 revoluciones del disco. La determinación del valor de abrasión AVS, que corresponde al valor AV pero para 20 revoluciones, con una probeta de acero. Y la determinación del valor SAT, que corresponde a probetas de acero ensayadas durante 20 revoluciones.

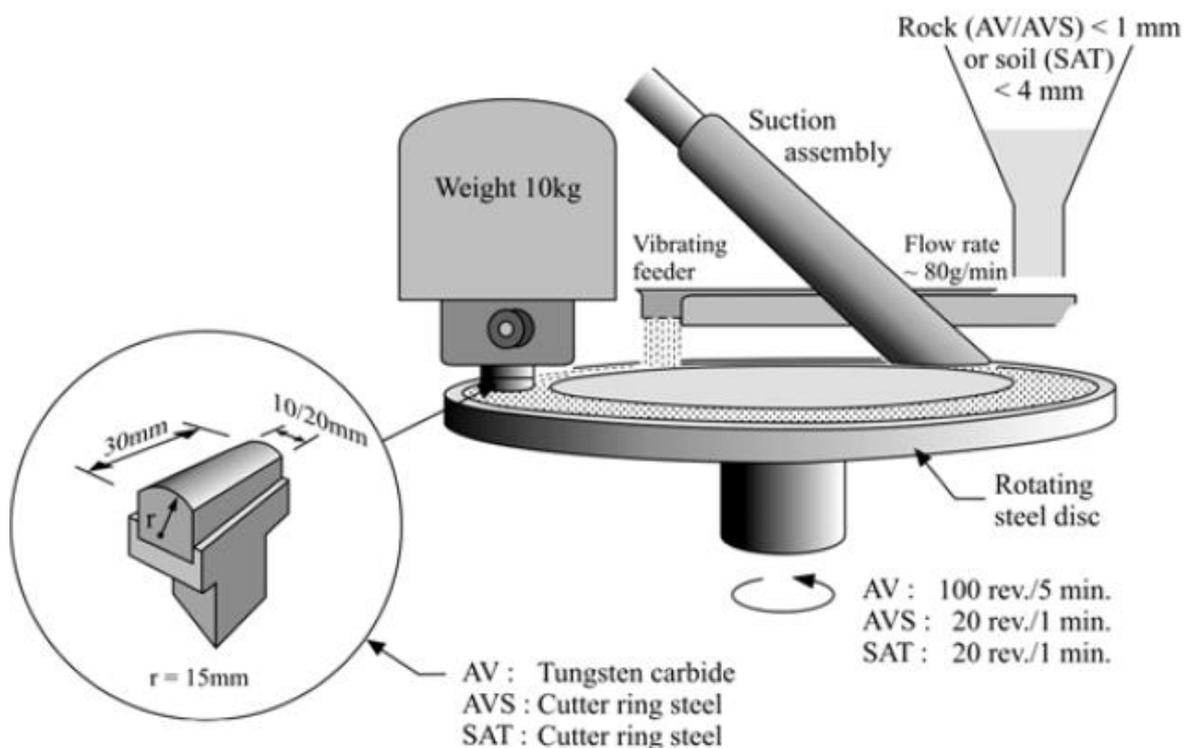


Figura AIV.34. Esquema del equipo empleado para la ejecución de los ensayos de abrasión NTNU (Fuente: B. Nilsen, 2007 [88]).

En comparación con el ensayo LCPC determinado en la norma francesa (*ver Ensayo de abrasividad LCPC*), los ensayos desarrollados por la NTNU poseen una velocidad menor. Debido a la alta velocidad del ensayo LCPC, la abrasión producida se debe principalmente al impacto y momentum. La energía cinética aumenta con el cuadrado de la velocidad, con lo cual los resultados concluidos a partir del LAC pueden variar con respecto a aquellos obtenidos a partir de los valores AV, AVS, y SAT.

## Ensayo de Burbank

Este ensayo fue diseñado para la determinación de la abrasividad relativa de una muestra de material mineral en piezas metálicas. Una sola pieza construida a partir de un material metálico que se desea ensayar es rotada en el interior de un cilindro a 632 rpm. El cilindro contiene la muestra del mineral o rocas a estudiar y gira a 74 rpm en sentido contrario [87]. La contrarrotación de las partes produce un rápido desgaste y un alto impacto que disminuye los tiempos de ensayo.

## Norma brasileña ABNT NBR 14922

La norma de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 14922 [90] indica los métodos de ensayo para la caracterización de polietilenos de ultra alto peso molecular.

El anexo A de esta norma indica el método para la determinación de la resistencia al desgaste por abrasión. Este consiste en la generación de una acción abrasiva de alta capacidad de desgaste a temperatura ambiente, sin acción de impacto. Se colocan dos cuerpos de prueba (figura AIV.35) sujetos a dos ejes, uno del material ensayado y otro de un material de control (acero SAE 1020). Estos giran en el interior de un tanque cilíndrico con camisa de agua a una velocidad de rotación de  $1750 \pm 50$  rpm.

En el interior del recipiente se coloca un medio abrasivo. La norma indica la utilización de arena con partículas entre 0,2 y 1,0 mm en 4 L de agua como medio abrasivo. Las placas se deben ajustar en ejes de diámetro entre 11 y 16 mm y longitud de 305 mm (figura AIV.35).

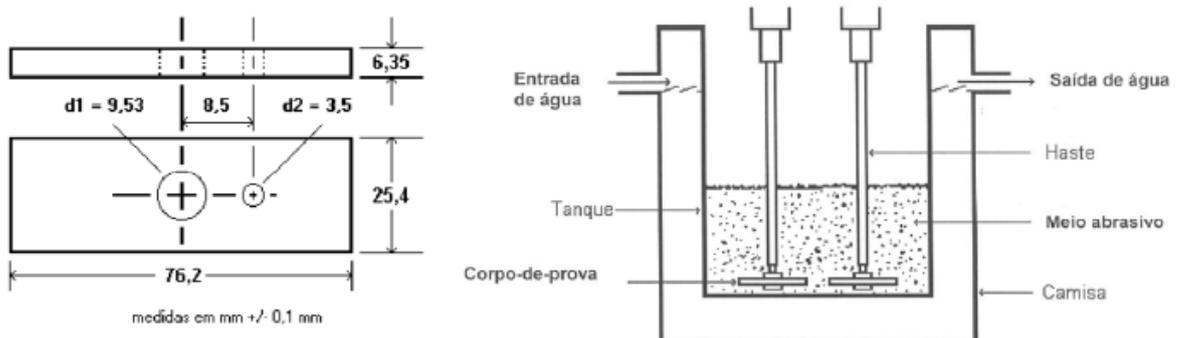


Figura AIV.35. Placas y equipo necesario para realizar el ensayo según NBR 14922  
(Fuente: ABNT NBR 14922 [90]).

El primer paso del ensayo consiste en colocar el medio abrasivo junto con agua en el interior del recipiente y abrir la circulación del agua en la camisa. Luego, se fijan las placas a los ejes y se sumergen en el medio abrasivo, se hacen girar durante 5 minutos para eliminar residuos. Se lavan los cuerpos de prueba y se pesan. Se fijan nuevamente a los ejes y se

colocan en el medio abrasivo, se registra la temperatura del medio y se acciona el dispositivo. El ensayo posee una duración de 24 horas en rotación. Una vez pasado este tiempo se lavan y pesan nuevamente los cuerpos de prueba.

La resistencia al desgaste por abrasión se obtiene a partir del cálculo del índice de abrasión  $IA$  (ecuación AIV.2).

$$IA = \frac{\frac{d_a}{d_e} (m_{1e} - m_{2e})}{(m_{1a} - m_{2a})} 100 \quad (\text{AIV.2})$$

Siendo:

$d_a$  la densidad del acero SAE 1020 en gramos por centímetro cúbico,

$d_e$  la densidad del material ensayado en gramos por centímetro cúbico,

$m_{1a}$  la masa inicial de la placa control de acero en gramos,

$m_{2a}$  la masa final de la placa control de acero en gramos,

$m_{1e}$  la masa inicial del material ensayado en gramos,

$m_{2e}$  la masa final del material ensayado en gramos.

Este índice se compara con el índice para el acero de la placa control, el cual posee el valor 100 y se considera como referencia. Si el índice es menor que 100, indica que el material es más resistente que el acero del control. Cuanto menor sea el índice  $IA$  más resistente a la abrasión será el material.

## **Anteproyecto de equipo para la determinación del grado de abrasión de grano de arroz paddy**

La situación problemática planteada comenzó a abordarse en el marco de la Práctica Profesional Supervisada, requisito para la obtención del título de Ingeniero Electromecánico en la Universidad Tecnológica Nacional. El desarrollo de este trabajo concluyó con el diseño de un equipo prototipo cuya finalidad es determinar los parámetros característicos del ensayo que se describe en este proyecto.

Las condiciones del equipo y el ensayo requeridas por quienes harán uso de la máquina son: accionamiento monofásico, para posibilitar su empleo en cualquier instalación, tamaño de muestra menor a 500 gramos de arroz cáscara y tiempo de ensayo mínimo.

El diseño del equipo consiste en un motor monofásico de  $\frac{1}{4}$  HP, el cual es accionado a través de un variador de tensión cuya finalidad es el control de la velocidad de rotación del motor.

Al eje del motor se acopla un árbol de 20 mm de diámetro mediante un acoplamiento flexible con disco de goma. El árbol posee una fracción cuadrada de 25 mm de lado y 110 mm de largo en la cual es posible fijar los testigos o probetas que giran y se desgastan durante el ensayo (figura AIV.36). El árbol se encuentra sostenido por dos rodamientos UCFL 204 de 20 mm de diámetro y atraviesa el recipiente en el cual se coloca la muestra de arroz cáscara a ensayar.

El árbol se realizó en acero F24, o acero negro, y fue torneado a partir de una barra cuadrada de 25 mm de lado.



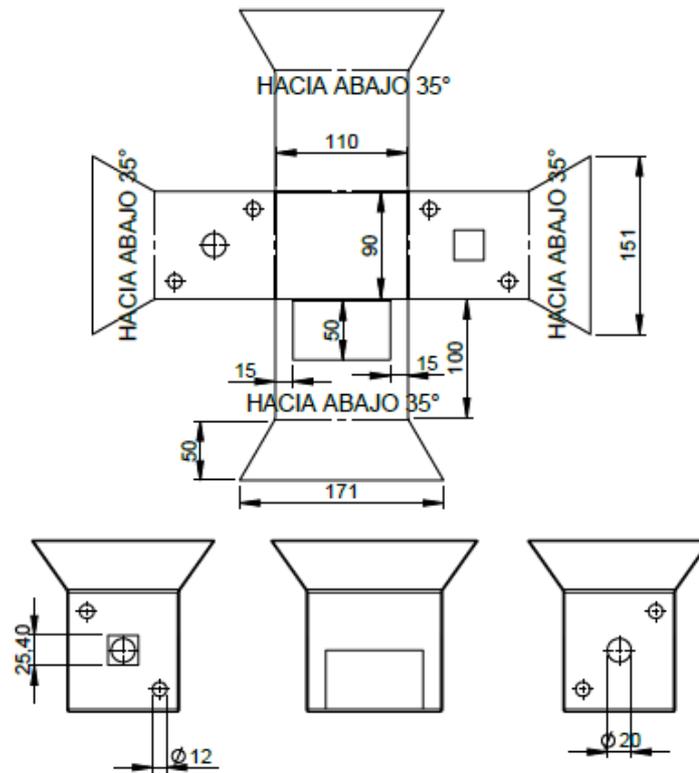


Figura AIV.37. Detalle del recipiente del equipo diseñado con motivo de la Práctica Profesional Supervisada.

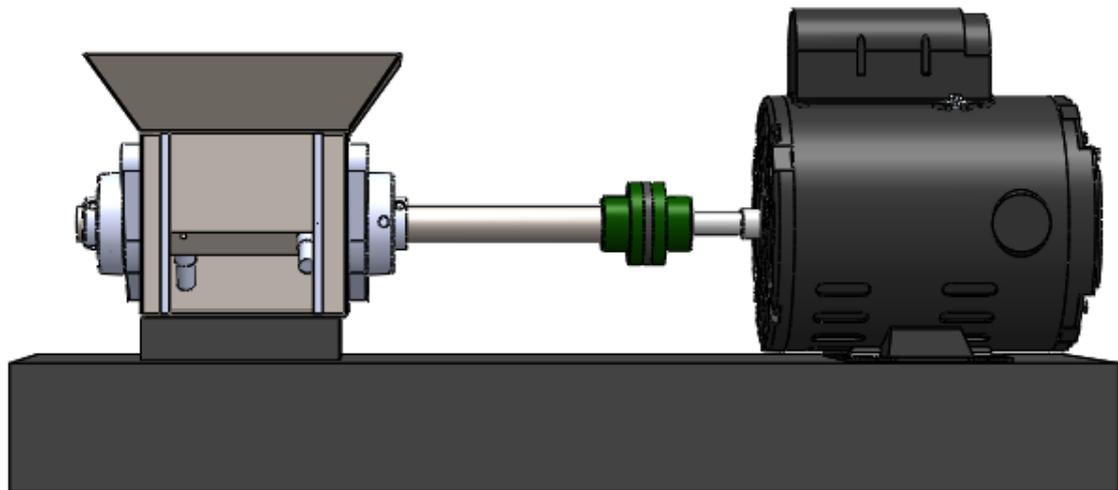


Figura AIV.38. Vista lateral 3D del equipo diseñado con motivo de la Práctica Profesional Supervisada.

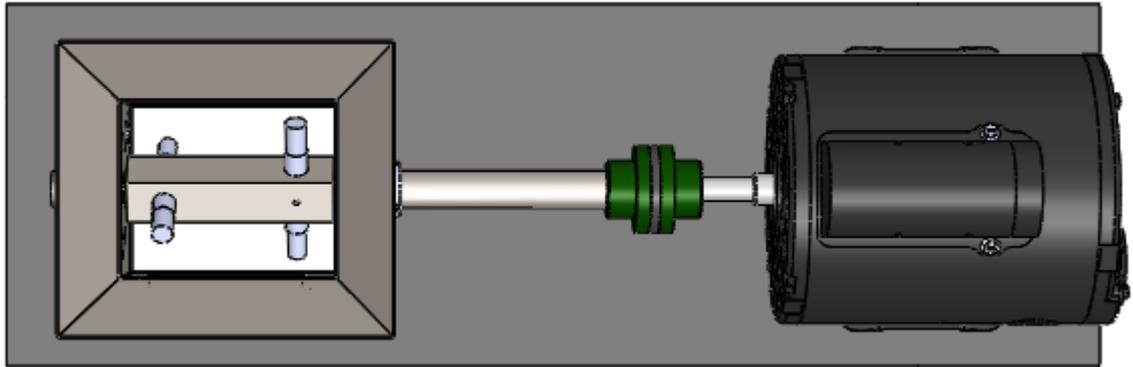


Figura AIV.39. Vista superior 3D del equipo diseñado con motivo de la Práctica Profesional Supervisada.

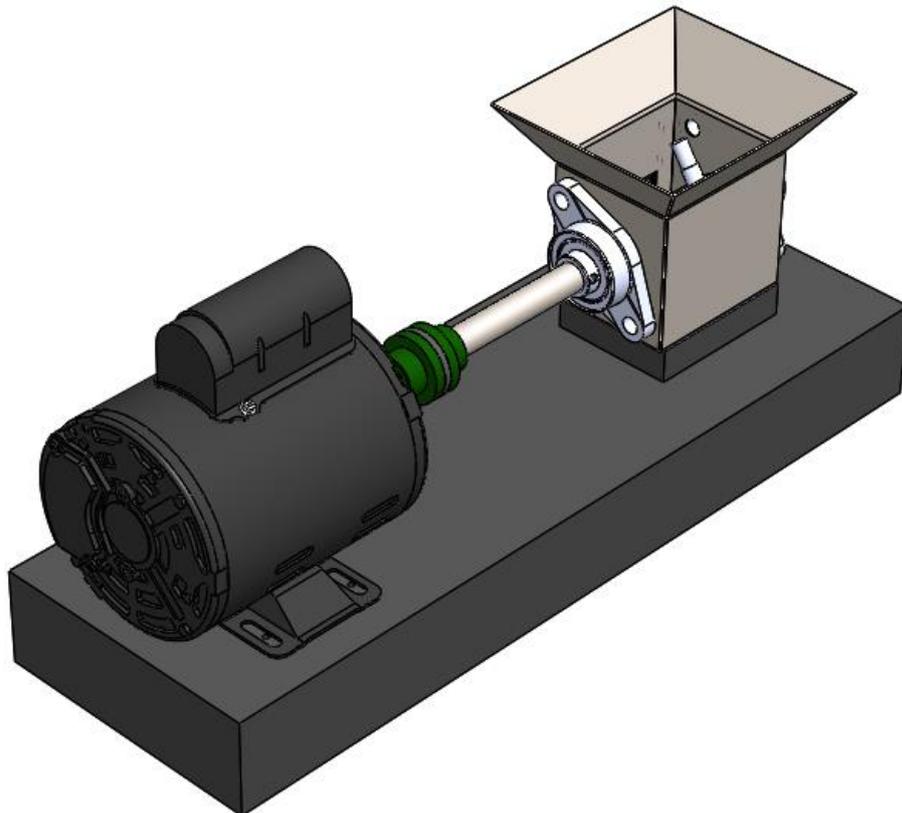


Figura AIV.40. Vista isométrica 3D del equipo diseñado con motivo de la Práctica Profesional Supervisada.

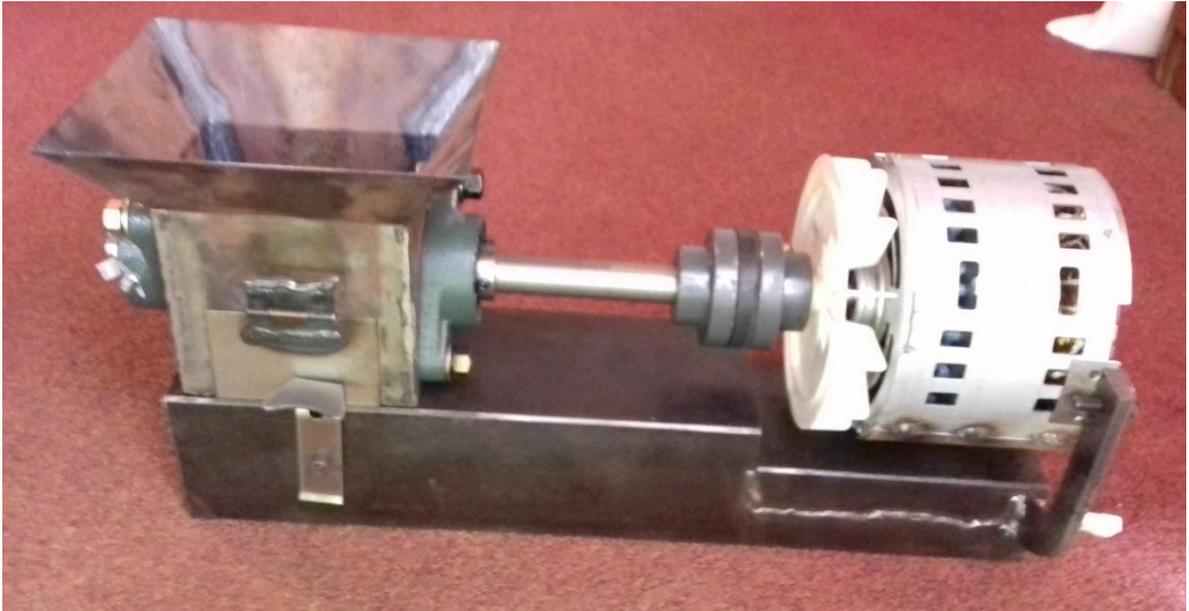
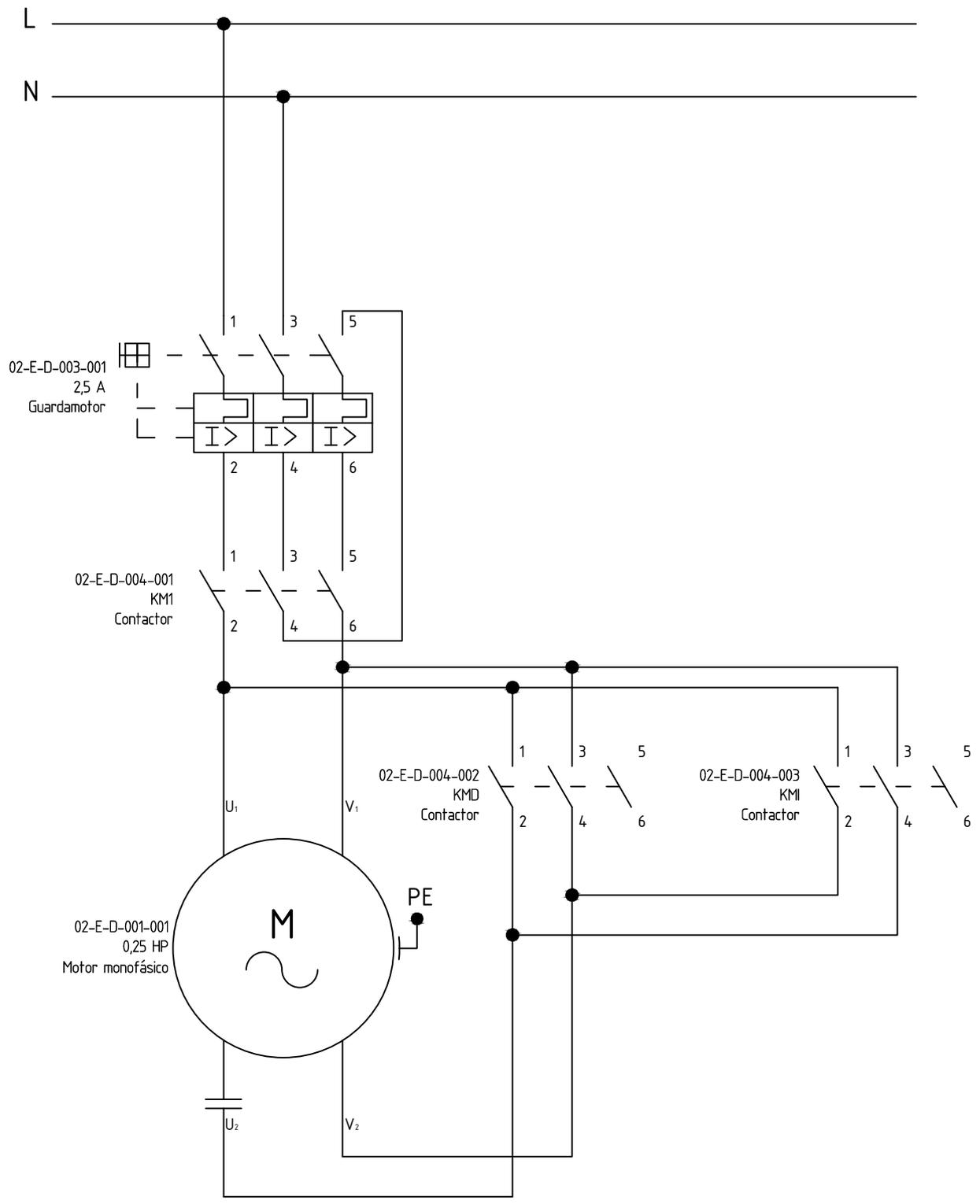


Figura AIV.41. Foto del prototipo construido para este proyecto.

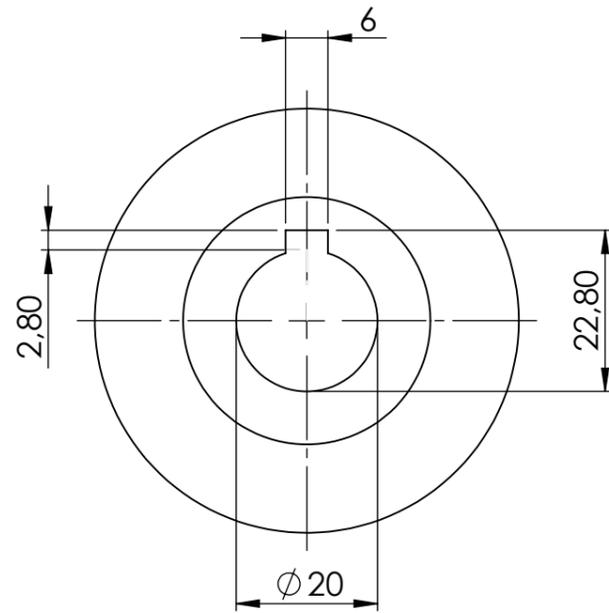


Figura AIV.42. Foto de la vista superior del prototipo construido para este proyecto.

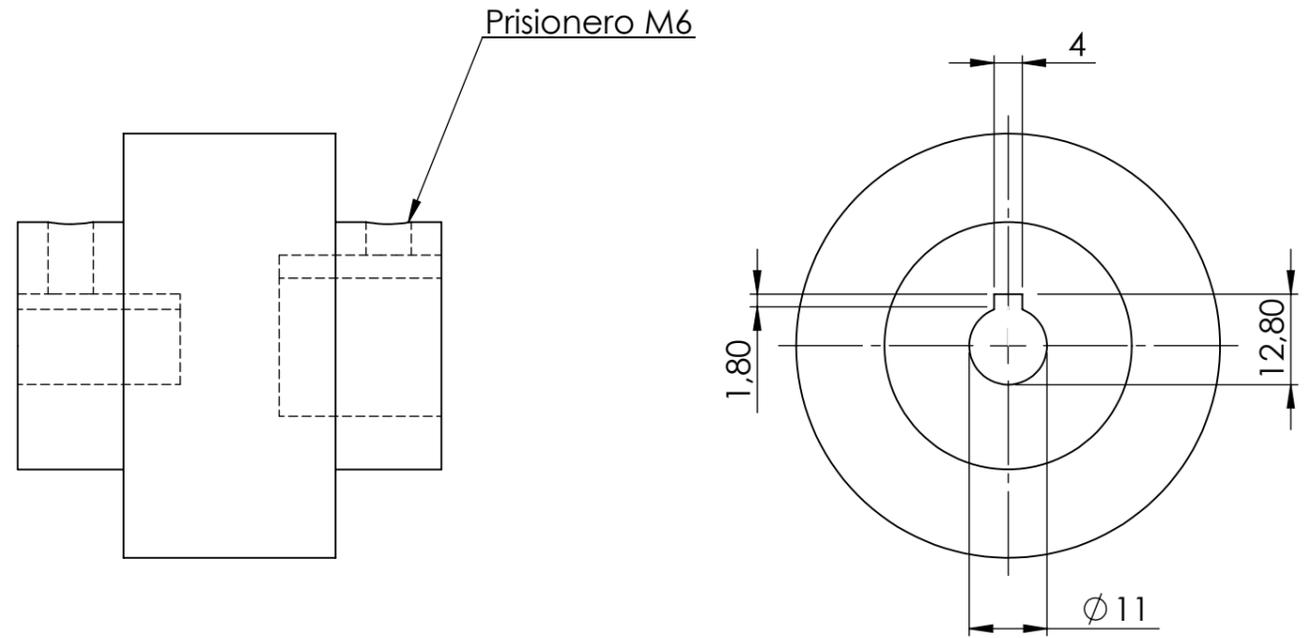
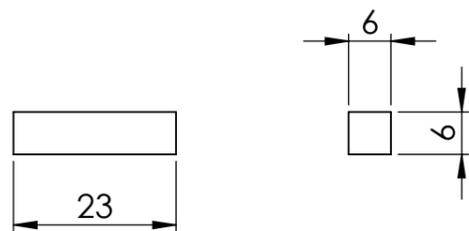


	Fecha	Nombre			
Dibujó	28/3/20	MASKAVIZAN			
Revisó					
Aprobó					
Esc.	<b>Circuito de potencia</b>			Piezas	
				En plano	
Toler.				Plano	D-E-001
Rug.					

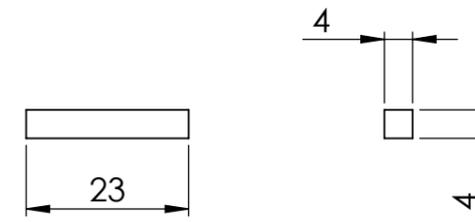




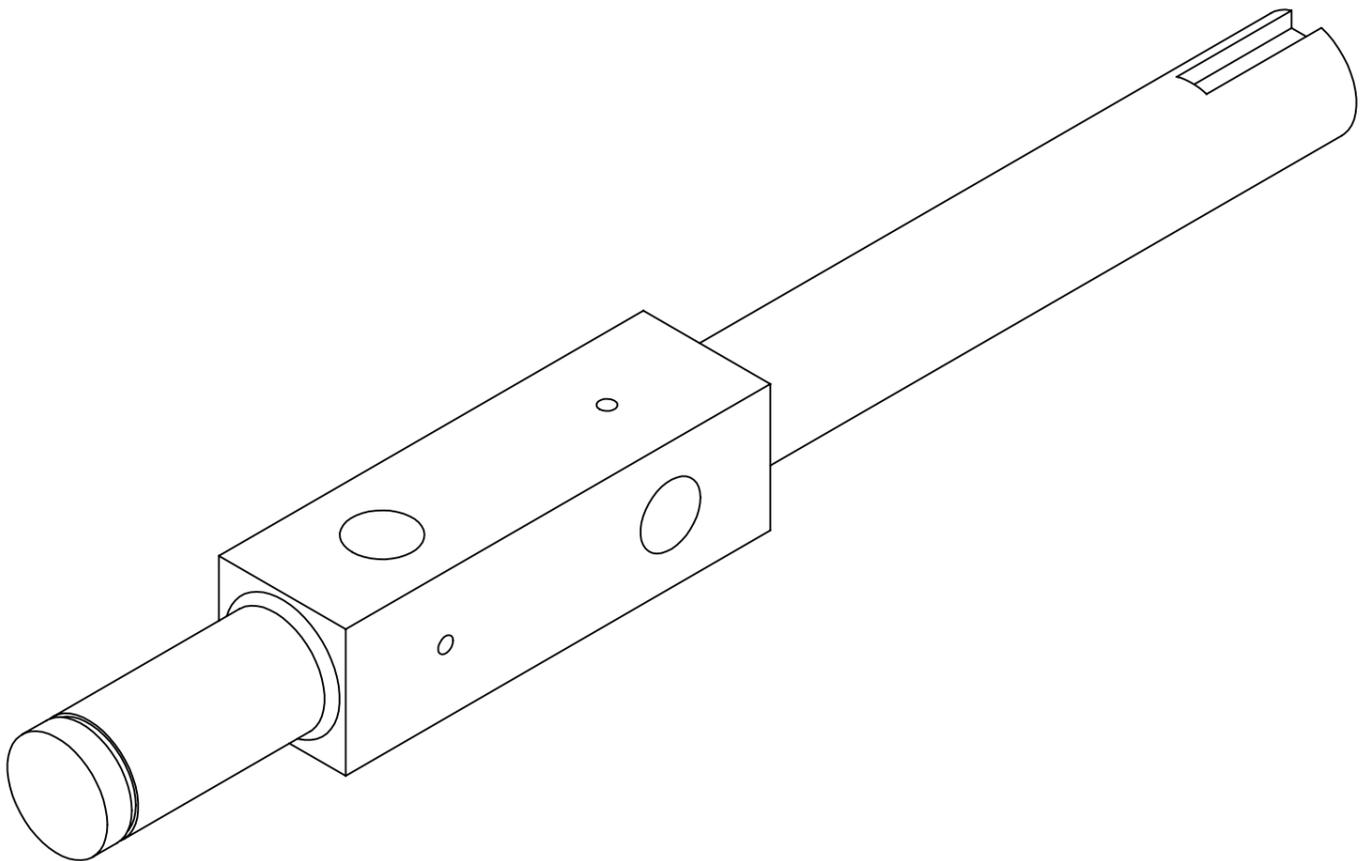
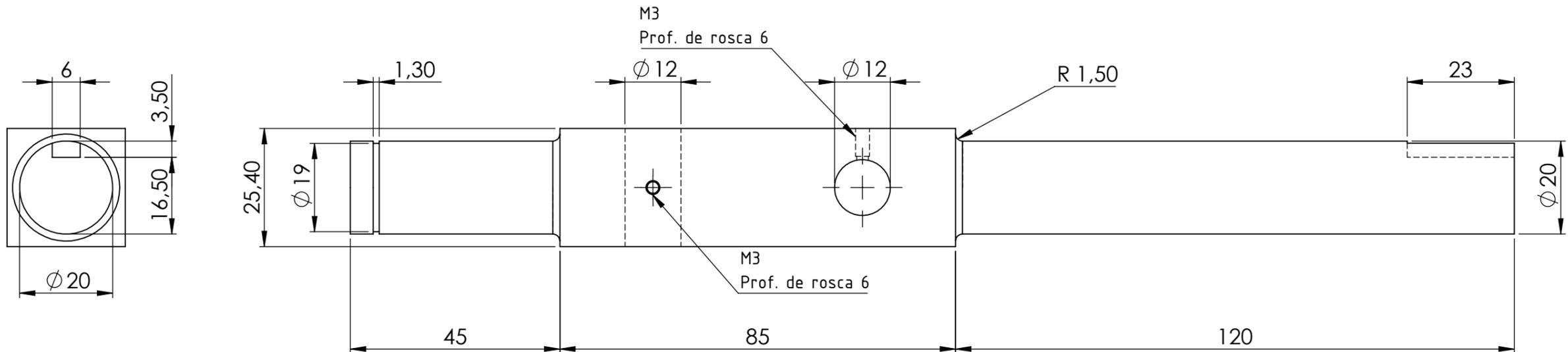
02-M-032-001



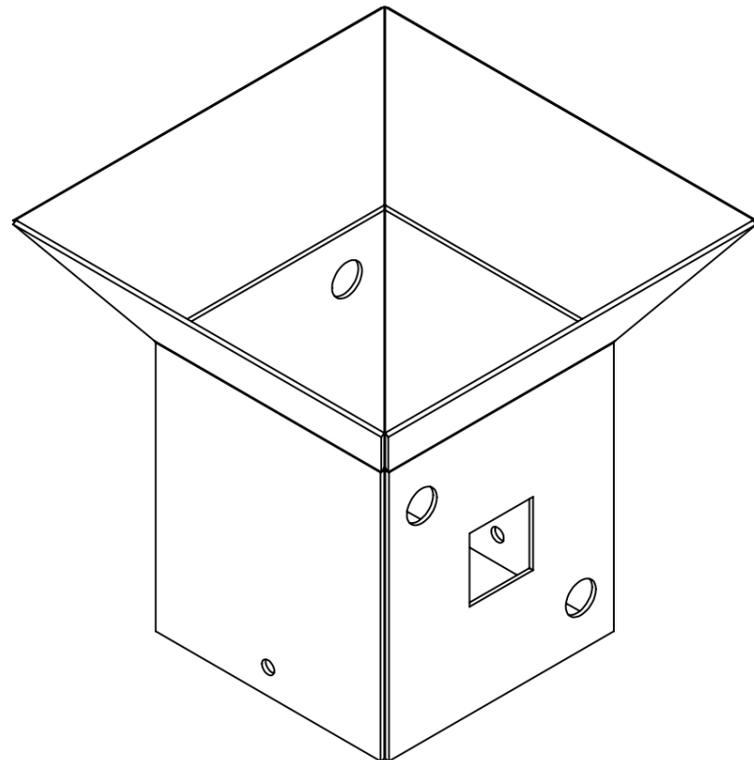
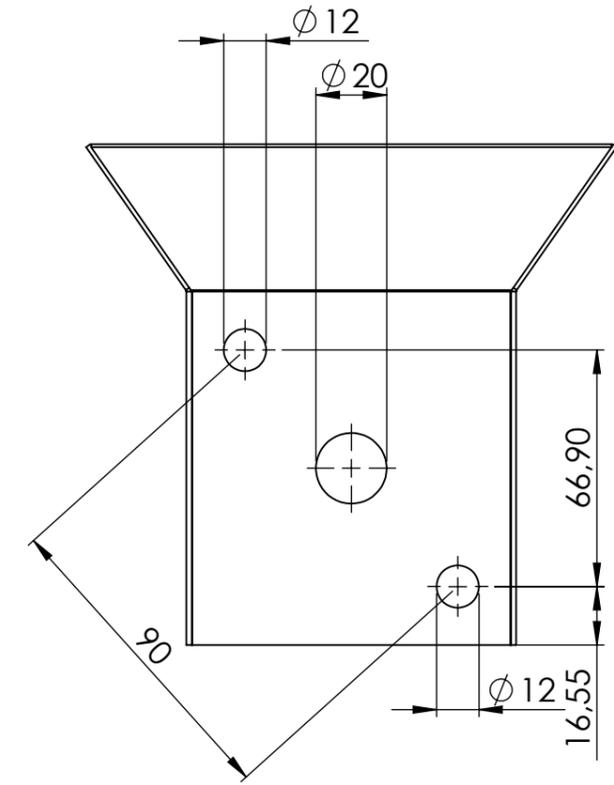
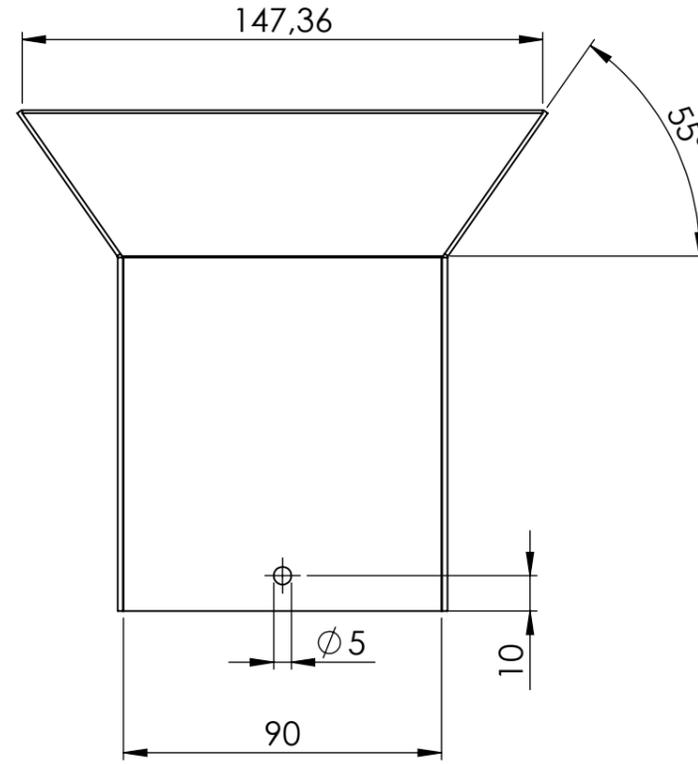
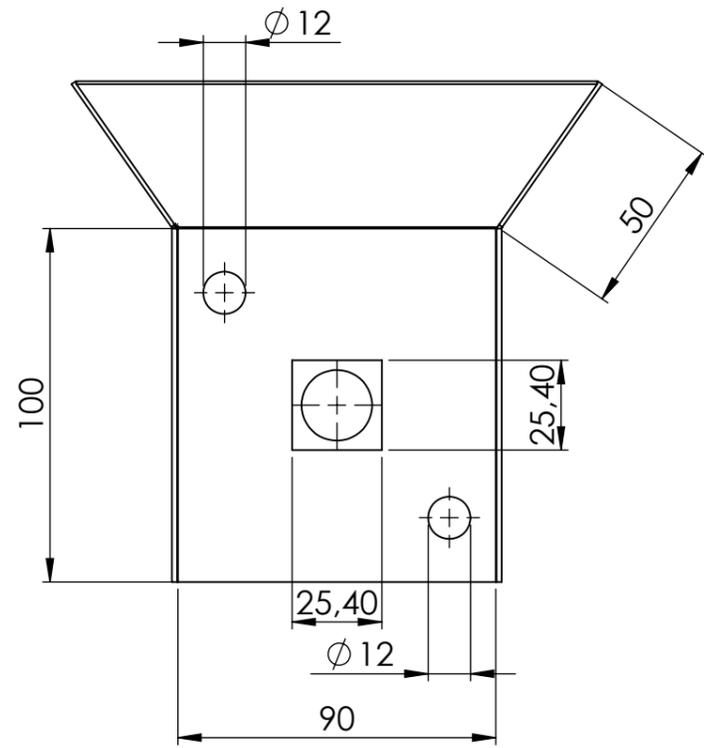
02-M-031-001



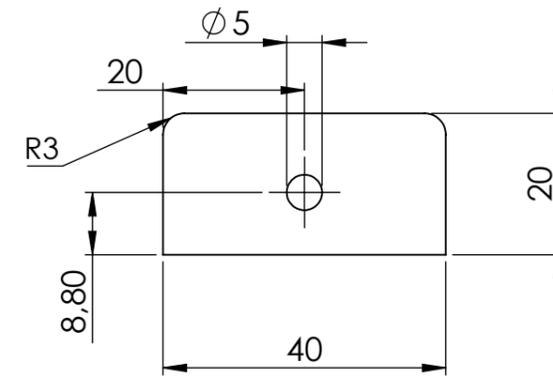
Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre			
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN			
	Aprobó					
	Esc. 1:1	Acoplamiento a disco de goma semi-elástico Chavetas de unión		Piezas		02-M-001-001 02-M-031-001 02-M-032-001
	 Toler. H 6 Rug. $\nabla$			Plano		D-F-001



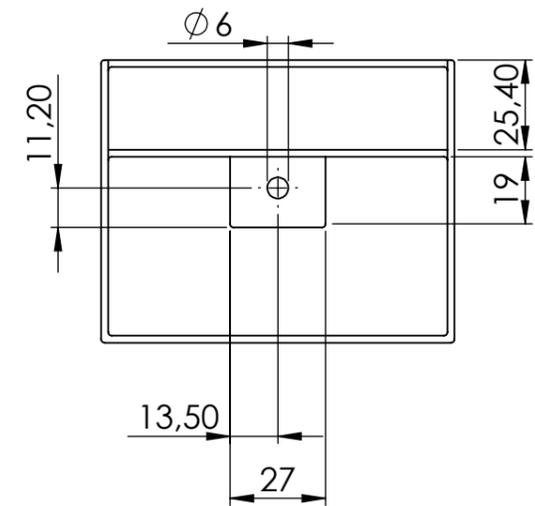
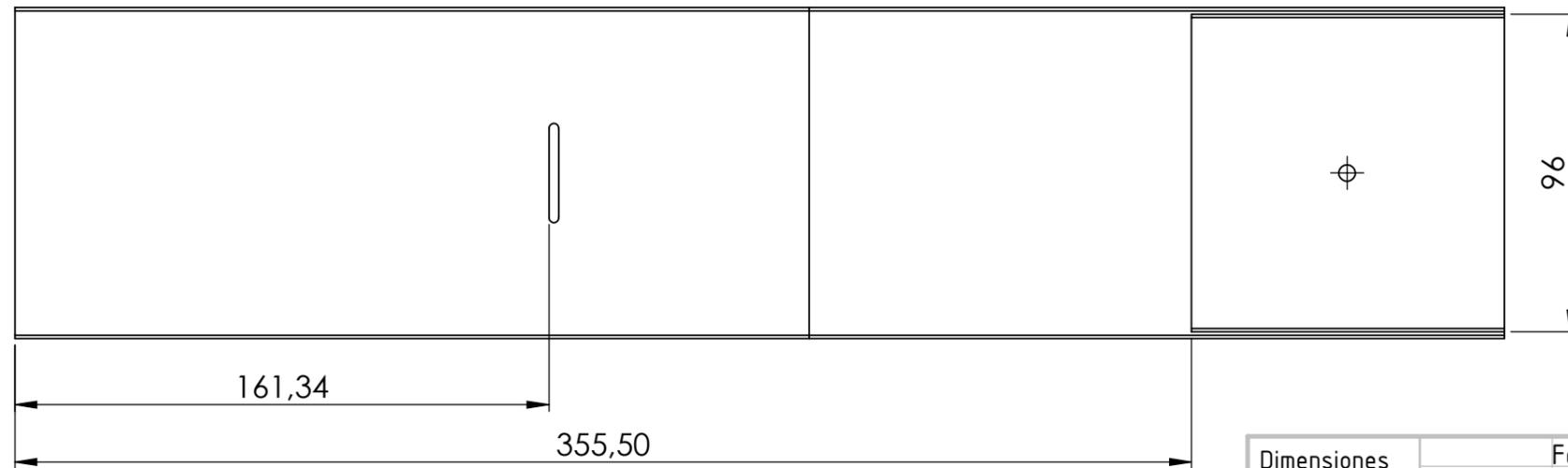
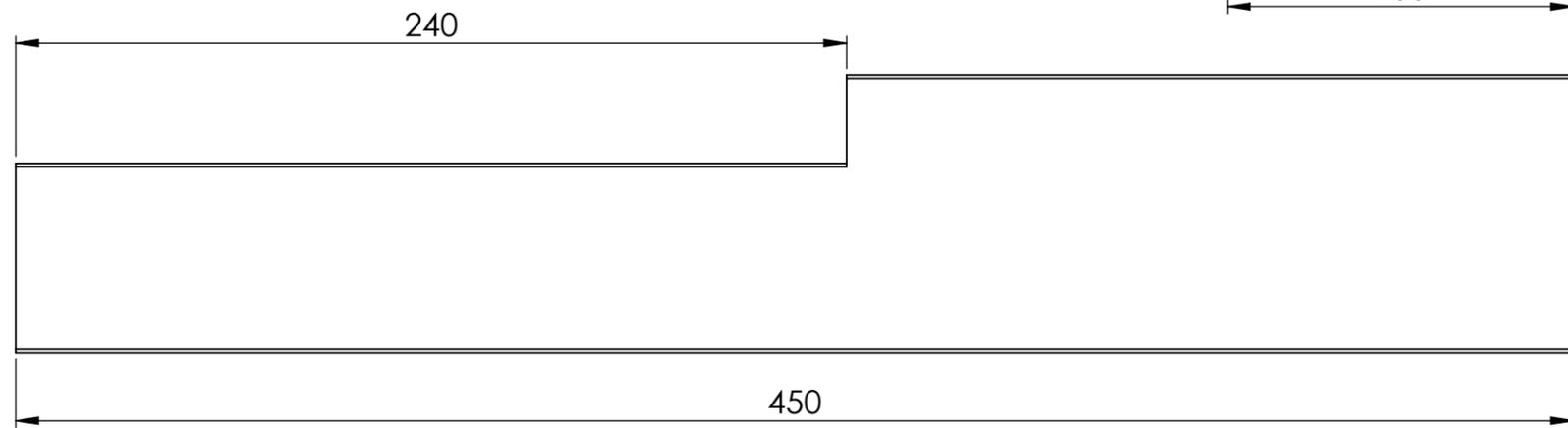
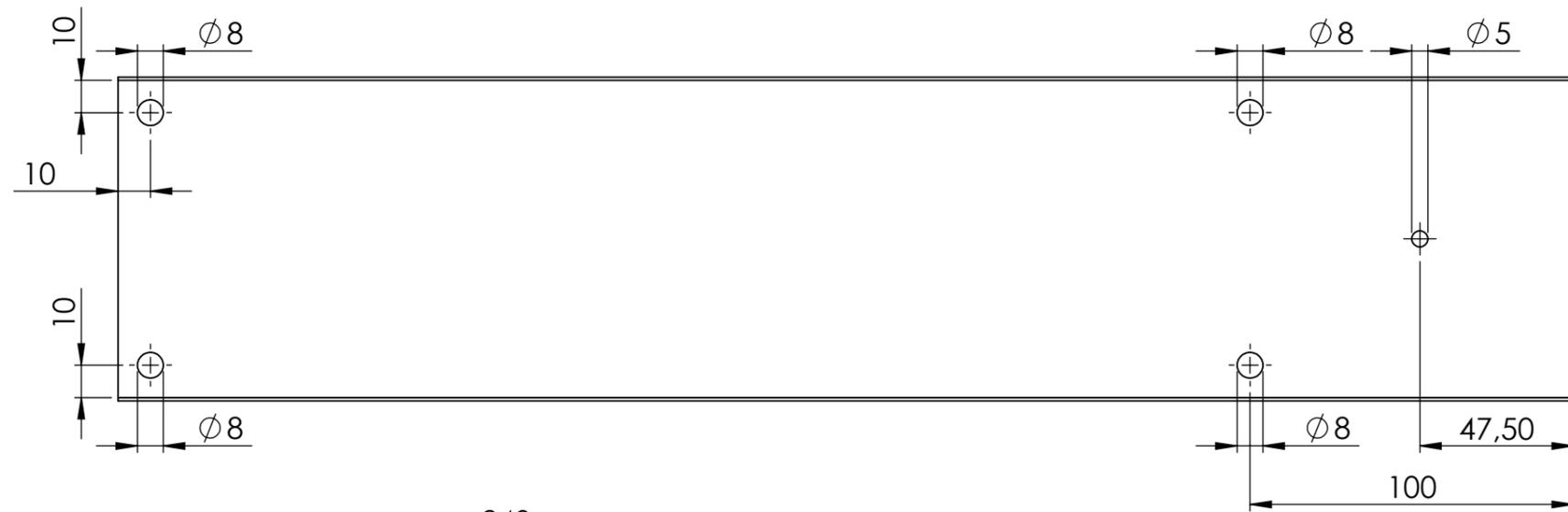
Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
	Aprobó				
	Esc. 1:1				
Material: Acero SAE 1010	Eje de sujeción de los testigos			Piezas 02-M-002-001	
	 Toler. h 6 Rug. 			Plano D-F-002	



02-M-014-001 y 02-M-014-002  
Escala 1:1

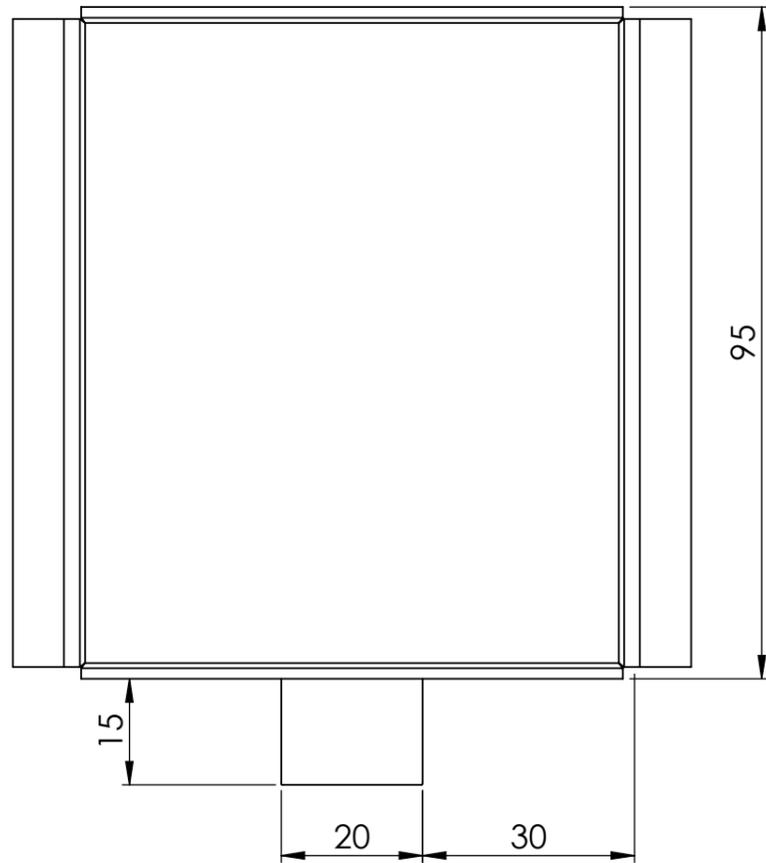
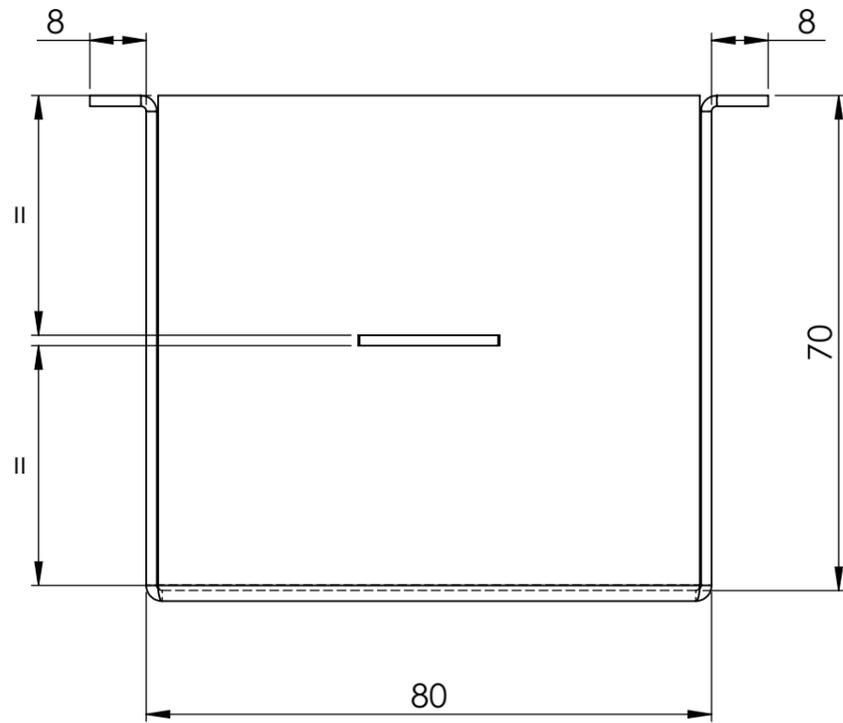


Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
Material: chapa de acero al carbono Calibre 14	Aprobó				
	Esc. 1:2				
		Recipiente contenedor de arroz durante el ensayo y placas de sujeción			
Toler. ±1 mm					
Rug. ▽		Piezas		02-M-004-001 02-M-014-001 02-M-014-002	
		Plano		D-F-003	

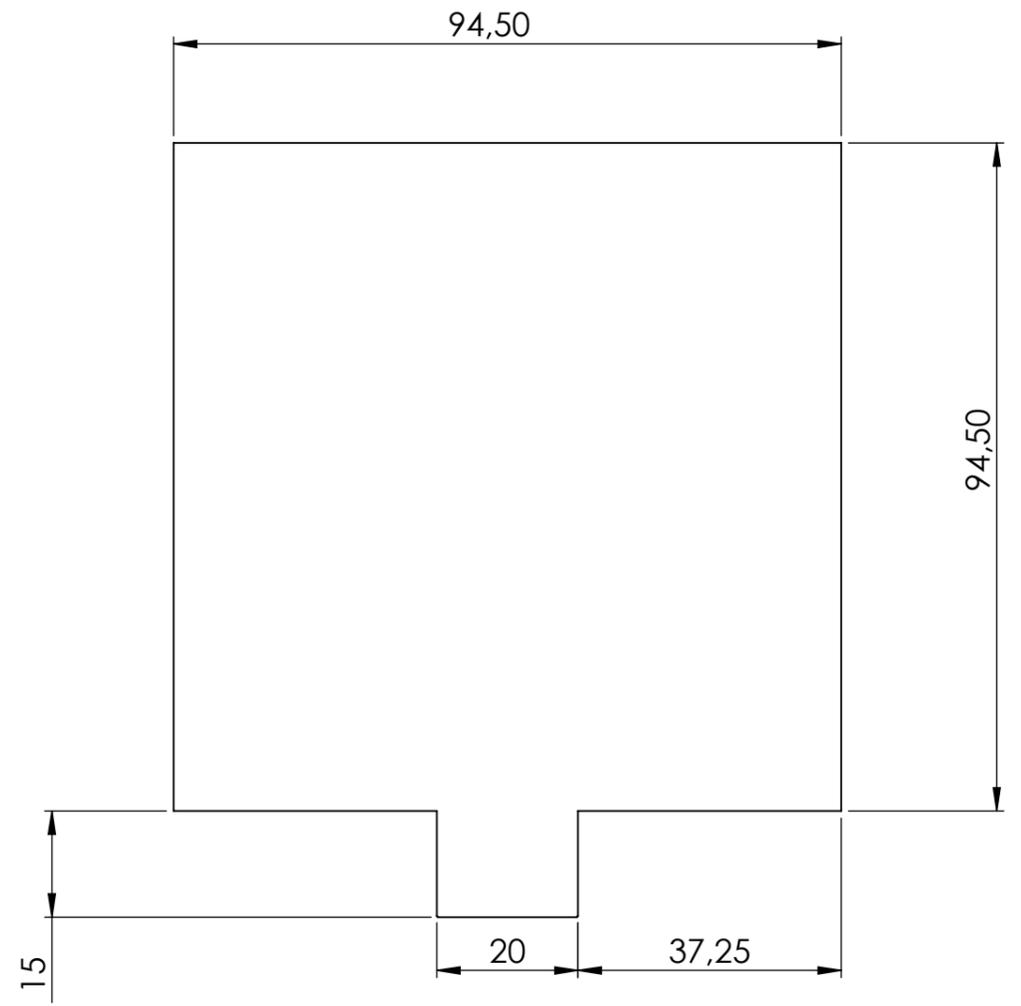


Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
	Aprobó				
	Esc. 1:2				
Material: tubo estructural de acero al carbono 100x100x2	 Toler. ±1 mm Rug. ▽	Base del motor y recipiente			Piezas 02-M-006-001
					Plano D-F-004

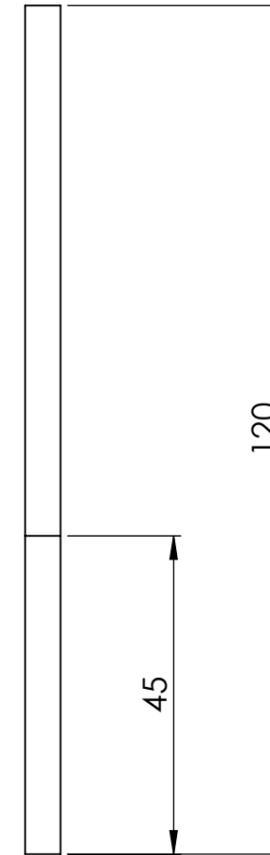
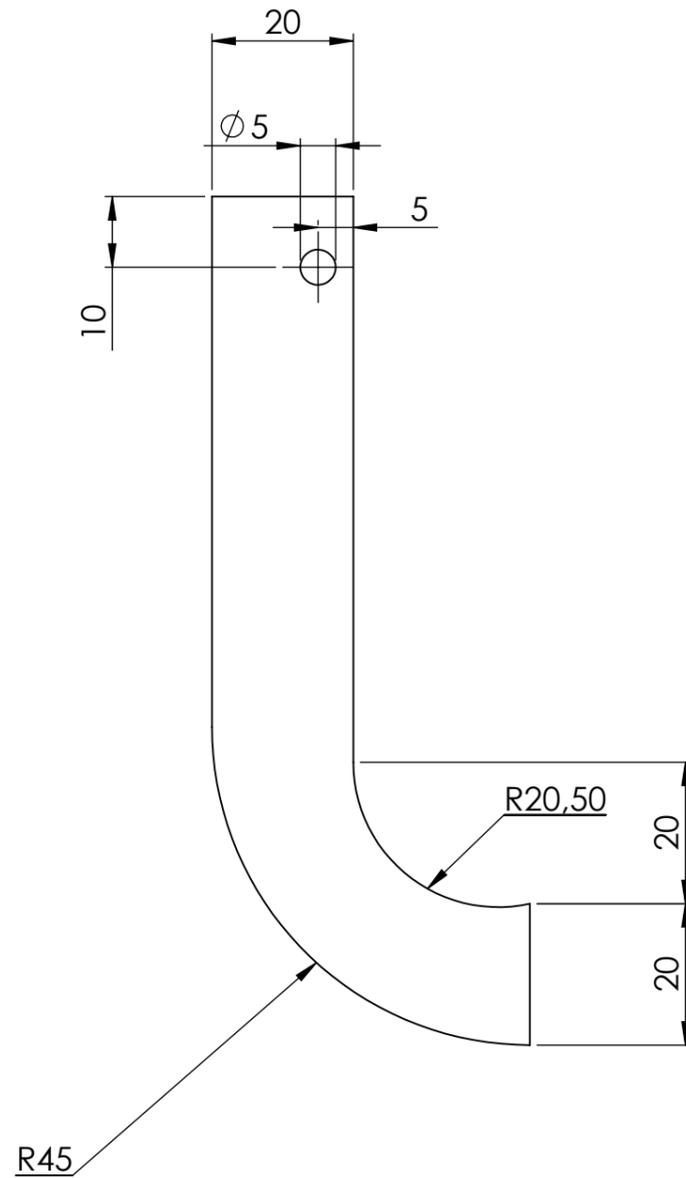
02-M-007-001



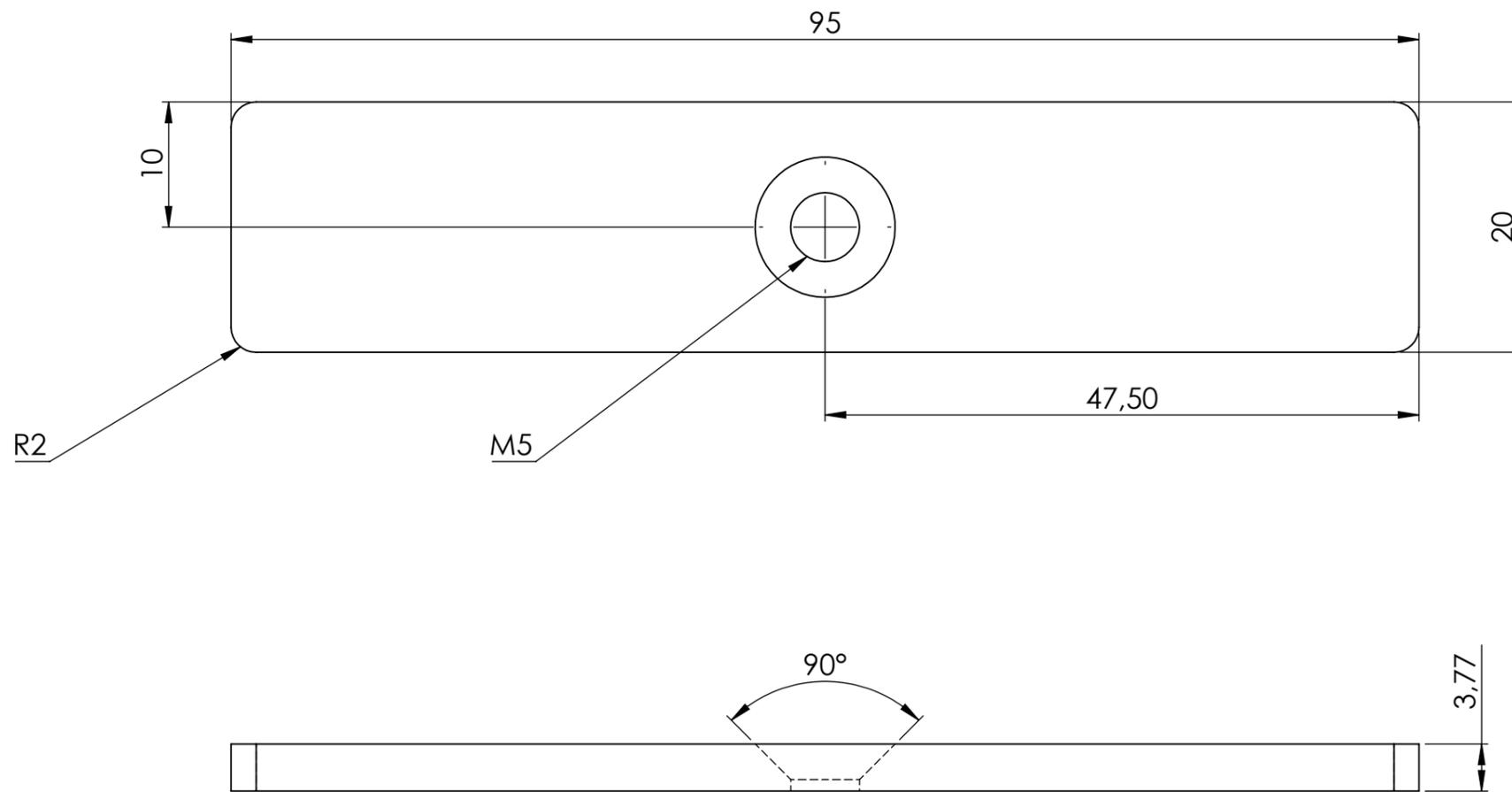
02-M-008-001



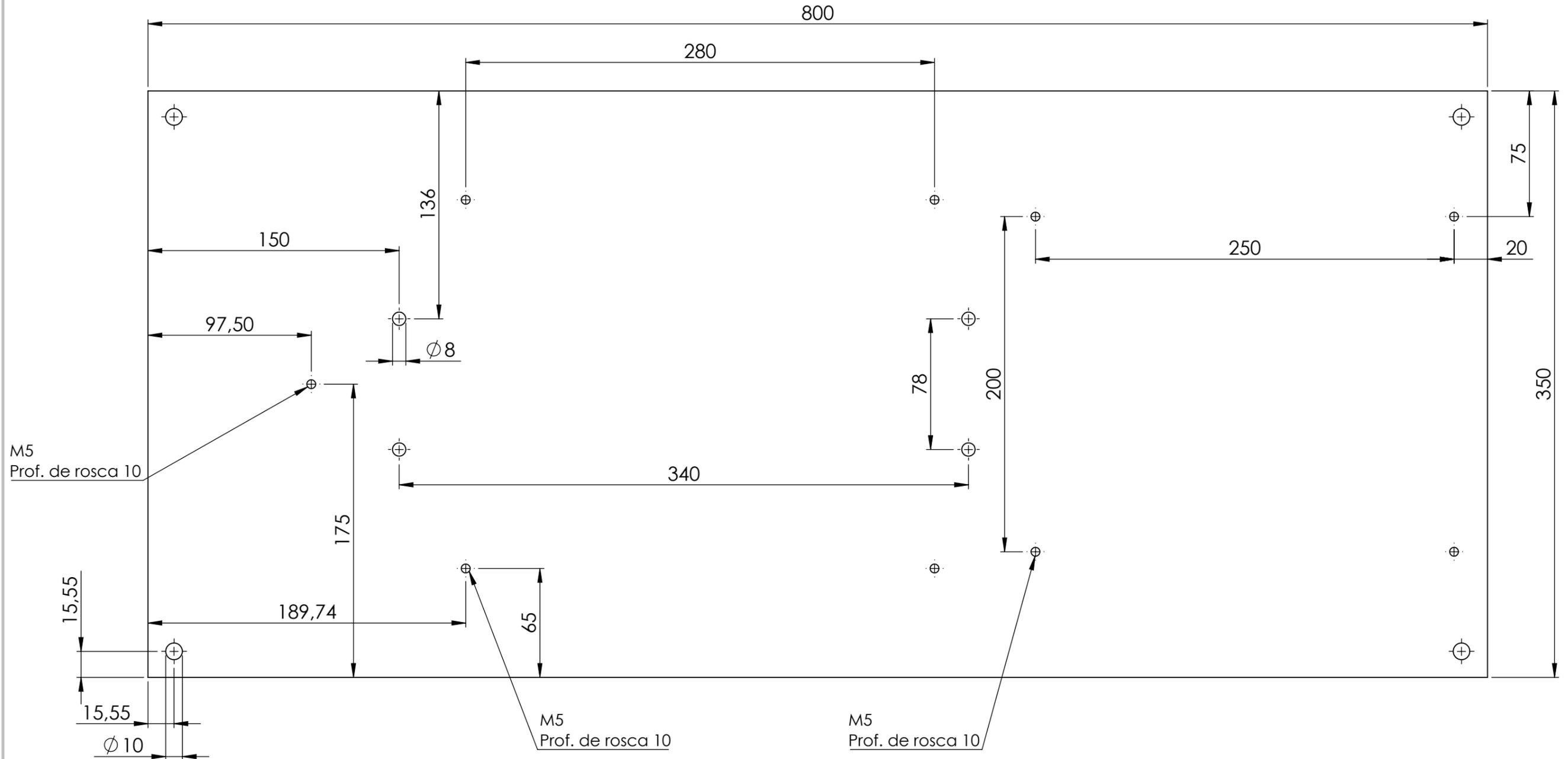
Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
	Aprobó				
	Esc. 1:1				
Material: chapa de acero al carbono Calibre 14			Base del recipiente y contenedor para la descarga	Piezas	
	Toler. Rug. ▽			02-M-007-001 02-M-008-001	
			Plano		D-F-005



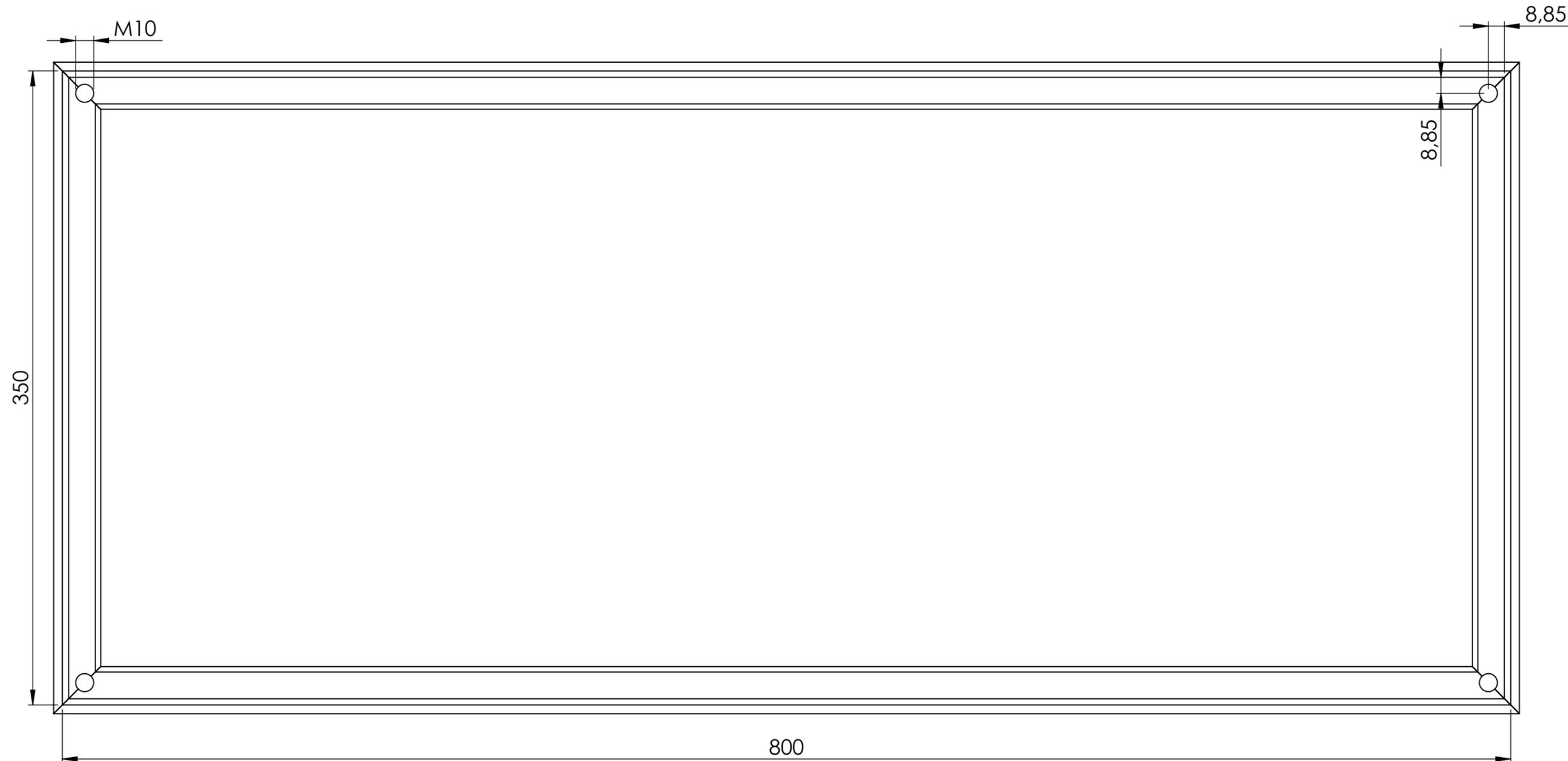
Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
	Aprobó				
	Esc. 1:1	Soporte del motor			
	Piezas			02-M-009-001 02-M-009-002	
Toler. ±1 mm Rug. ▽	Plano			D-F-006	



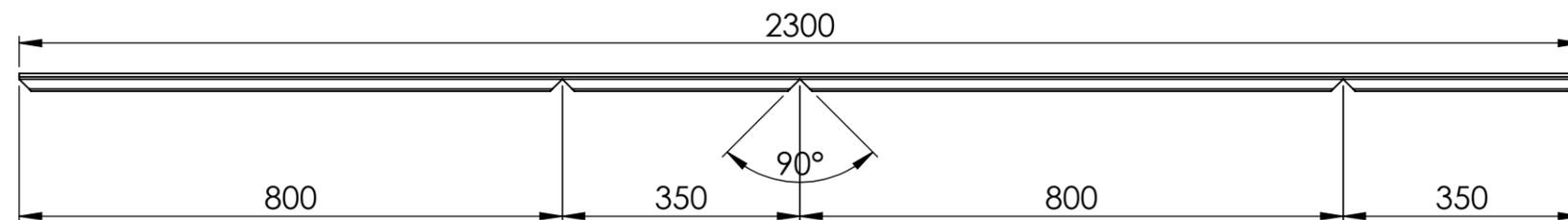
Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
	Aprobó				
	Esc. 2:1				
Material: Poliamida 6	Guía del contenedor de descarga			Piezas	02-M-010-001
	 Toler. ±0,5 mm Rug. 			Plano	D-F-007



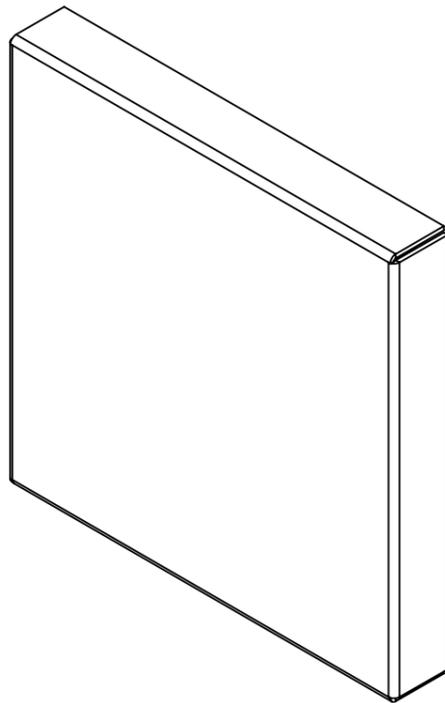
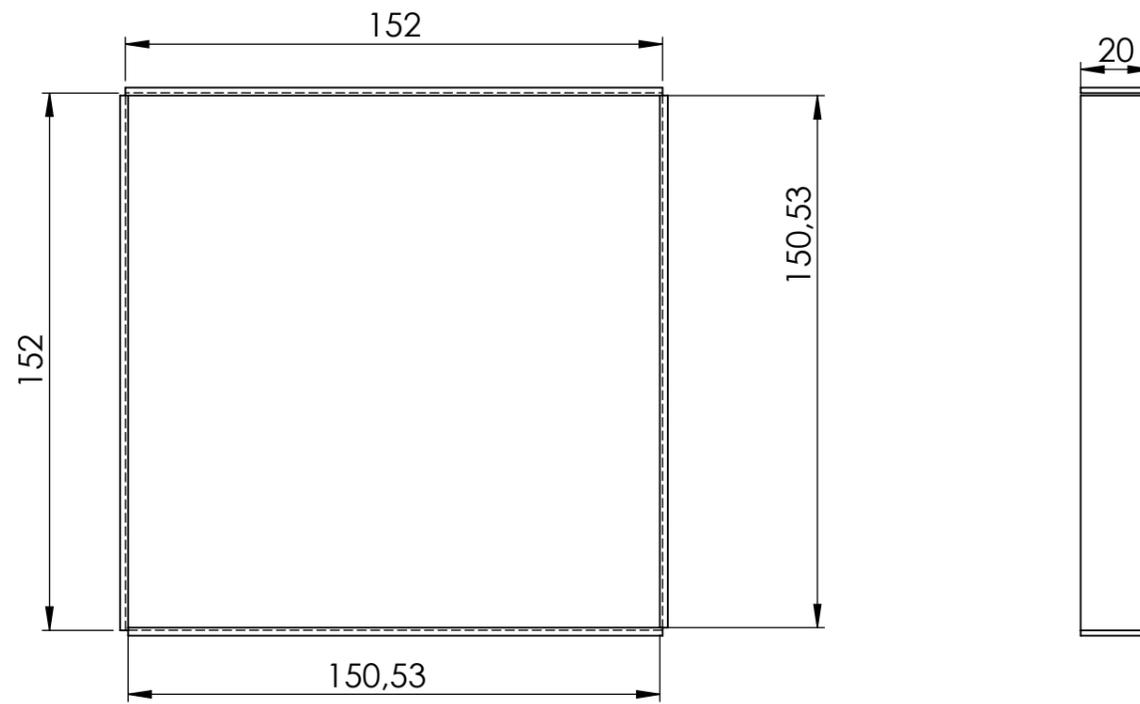
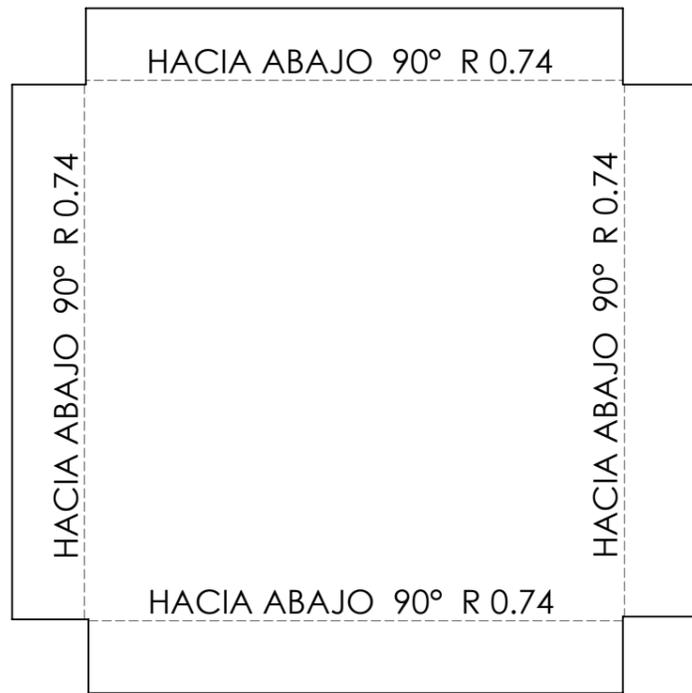
Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
	Aprobó				
	Esc. 1:2,5				
Material: Placa DHF Espesor: 20 mm	Base del equipo			Piezas 02-M-011-001	
				Plano D-F-008	
	Toler. ±0,5 mm				
	Rug. ▽				



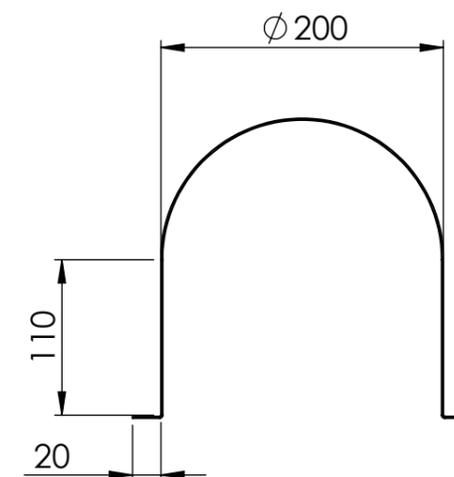
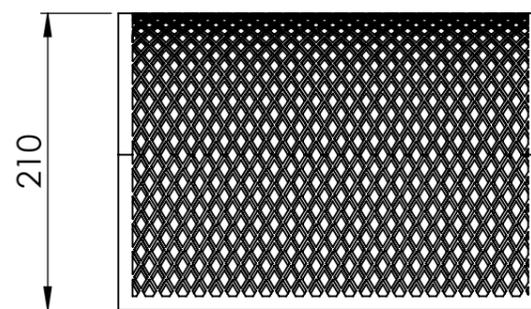
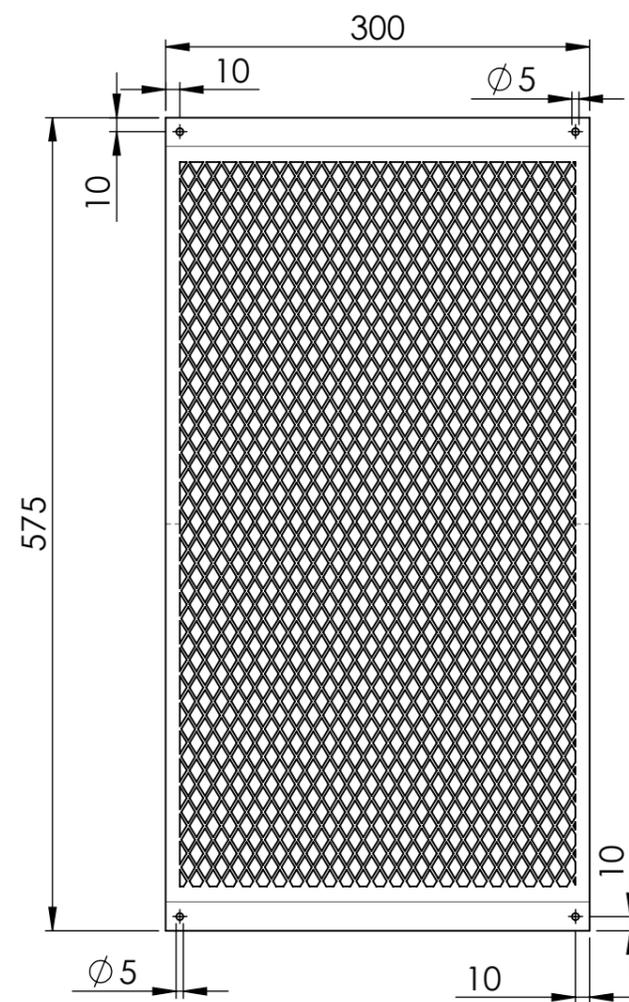
Escala 1:10



Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
	Aprobó				
	Esc. 1:2,5	<p>Armazón de la base del equipo</p>			
	Piezas			02-M-012-001	
Toler. $\pm 0,5$ mm	Plano			D-F-009	
Material: Perfil de acero Ángulo alas iguales $1 \times \frac{3}{16}$ pulgadas Rug. $\nabla$					

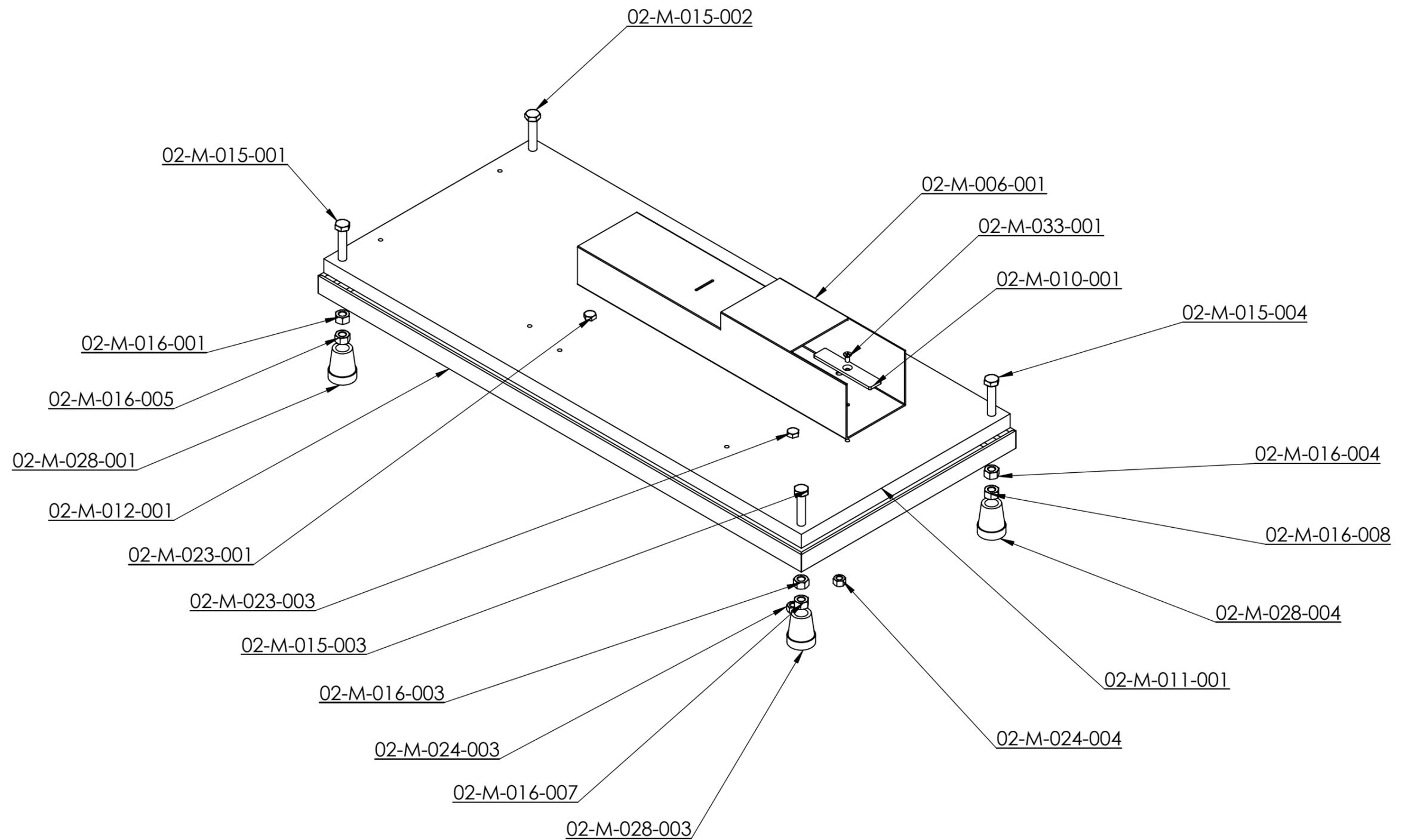


Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre			
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN			
	Aprobó					
	Esc. 1:2					
Material: chapa de acero al carbono Calibre 14		Tapa del recipiente			Piezas	
	Toler. ±1 mm					02-M-013-001
	Rug. ▽					Plano
					D-F-010	

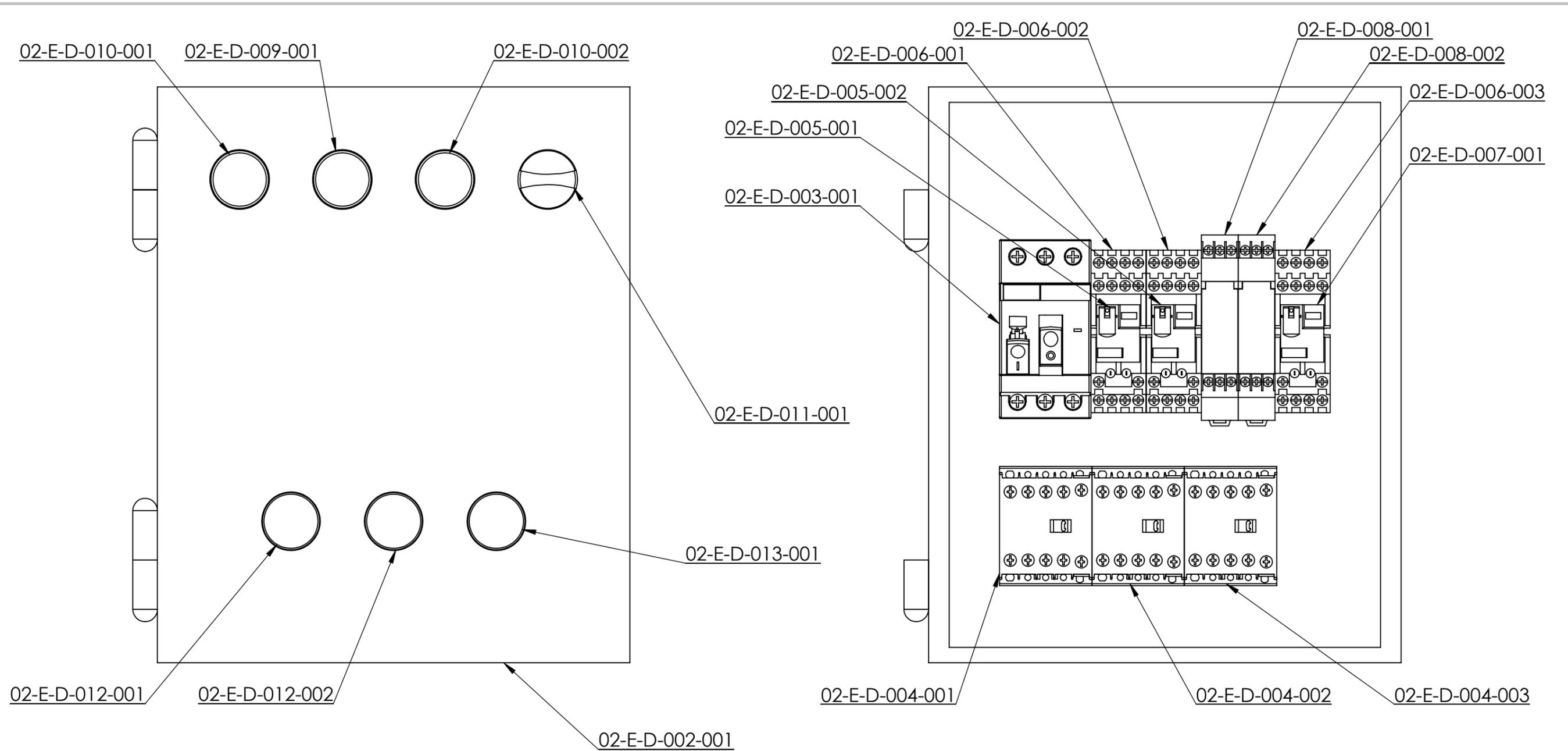


Dimensiones en mm	Dibujó	Fecha	Nombre		
	Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
	Aprobó				
	Esc. 1:5				
Material: Metal desplegado SAE 200-12-20		Cubierta de seguridad		Piezas	02-M-029-001
Toler. ±0,5 mm Rug. ▽				Plano	D-F-011

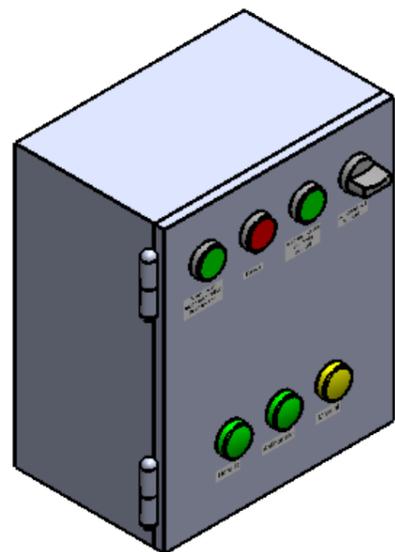




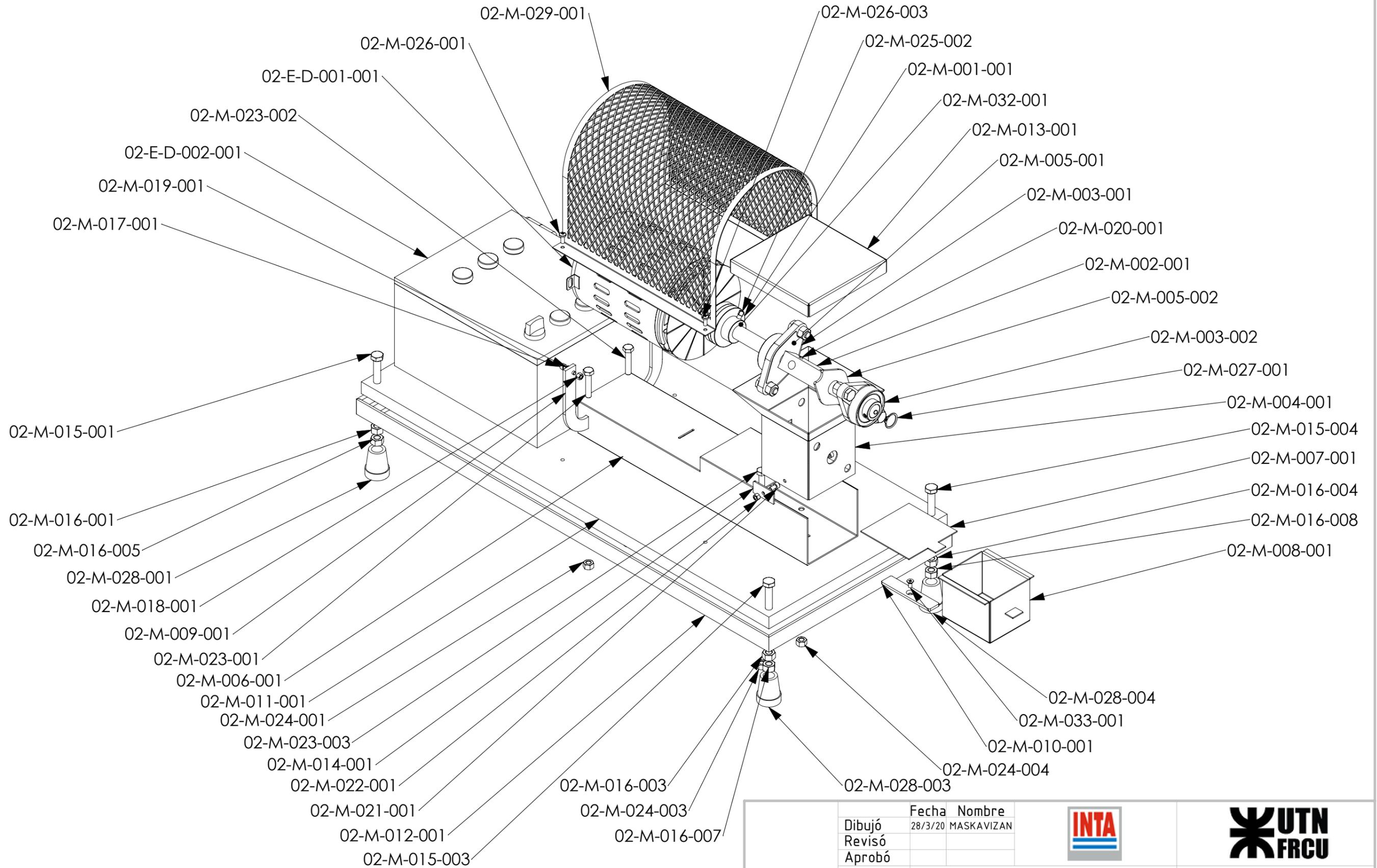
	Fecha	Nombre		
Dibujó	28/3/20	MASKAVIZAN		
Revisó				
Aprobó				
Esc. 1:5	<p>Montaje de la base del equipo</p>			Piezas
				En plano
				Plano
Toler. Rug.				



Escala 1:5



Dibujó	Fecha	Nombre		
Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
Aprobó				
Esc. 1:2	<p>Topográfico del tablero eléctrico</p>			Piezas
				En plano
Toler. Rug.				Plano
				D-M-003



Dibujó	Fecha	Nombre		
Revisó	28/3/20	MASKAVIZAN		
Aprobó				
Esc. 1:5	<p style="text-align: center;"><b>Montaje del equipo</b></p>			Piezas
				En plano
	Toler. Rug.	Plano	D-M-004	



MEDIDOR DE ABRASIVIDAD  
MODELO 02

# MANUAL DEL USUARIO

VERSIÓN 1

## CONTENIDO

ADVERTENCIAS Y SEGURIDAD.....	3
SIMBOLOGÍA.....	3
ADVERTENCIAS Y CONSEJOS.....	3
USO Y CUIDADO DEL EQUIPO.....	5
CODIFICACIÓN DE LAS PARTES .....	6
DESPIECE.....	7
LISTADO DE PARTES .....	9
FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO.....	22
MODO AUTOMÁTICO .....	22
MODO MANUAL .....	25
ANEXO A: PASOS PARA EL DESMONTAJE Y MONTAJE .....	27
ANEXO B: DETALLES DEL CIRCUITO ELÉCTRICO.....	34

## ADVERTENCIAS Y SEGURIDAD

### SIMBOLOGÍA

Los símbolos que se emplean en este manual corresponden a:

	Información: consejos de funcionamiento y otros datos importantes pero que no ponen en riesgo la seguridad de las personas u objetos
	Precaución: peligro o procedimiento inseguro que puede causar daños a las personas o al material.

### ADVERTENCIAS Y CONSEJOS



Tenga en cuenta las instrucciones dadas en este manual para la correcta operación del equipo y la seguridad de los usuarios y personas.

Mantenga este manual al alcance del operario cerca del equipo.

#### Sobre el área de trabajo:



No opere el equipo en atmósferas explosivas, con presencia de líquidos inflamables, gases o polvos.

Mantenga el área de trabajo limpia y bien iluminada.

#### Seguridad eléctrica:



No modifique los enchufes del equipo ni emplee enchufes adaptadores.

No exponga el equipo a condiciones ambientales de alta humedad o exteriores. El equipo está diseñado para ser operado en interiores.

No maltrate ni dañe los conductores, evite que estén expuestos a altas temperaturas, herramientas filosas o productos químicos que puedan dañarlos.

No ignore las señales de falla como la desconexión del guardamotor o la protección del circuito de alimentación del equipo.



No modifique el circuito eléctrico de ninguna manera. En el caso de requerir la modificación del mismo consulte a personal calificado para la tarea.

Verifique que la tensión de alimentación sea la indicada para el circuito eléctrico.



El equipo posee un botón de parada que puede activarse en caso de emergencia o en cualquier instante que requiera detener el funcionamiento.

#### Seguridad personal:



Sólo personal autorizado y familiarizado con la máquina puede operarla.



Siempre que deba entrar en contacto con cualquier parte del equipo **DESCONECTELO DE LA ALIMENTACIÓN** ya que pueden existir partes metálicas bajo tensión.



**NUNCA ENCIENDA EL EQUIPO SIN LA TAPA DEL RECIPIENTE** el movimiento del eje puede causar proyecciones de objetos.



**NUNCA OPERE EL EQUIPO SIN LA CUBIERTA DE SEGURIDAD** ya que existe riesgo de atrapamiento.

Antes de encender el equipo asegúrese de que los testigos se encuentran correctamente inmovilizados, el fondo del recipiente se encuentra en la posición correcta y la tapa está colocada firmemente.



**NO MANIPULE EL EQUIPO MIENTRAS EL MOTOR ESTÁ ENCENDIDO**, ya que hay partes en movimiento a gran velocidad.

Use ropa de trabajo adecuada.



En modo manual, debe detener el motor previo al arranque en el sentido de giro contrario. El sistema se configura de esta forma para evitar cortocircuitos.

## USO Y CUIDADO DEL EQUIPO

Procure retirar todo el material luego del ensayo, tanto del recipiente contenedor durante el ensayo como del contenedor de descarga.

Desconecte y limpie el equipo al finalizar la utilización.

Mantenga este manual en un lugar cercano al equipo.

Coloque la llave del gabinete eléctrico en un lugar seguro.

El operario debe estar familiarizado con la finalidad del sistema.

Este equipo permite realizar ensayos de medición de abrasividad y debe emplearse en conjunto con una balanza de precisión. El desgaste se determina a partir de la pérdida de masa de los testigos, los cuales pueden ser de cualquier material según el ensayo diseñado.

Evite modificar el circuito eléctrico dado que el sistema no funcionará según lo especificado en este manual.

Procure colocar el equipo sobre una superficie plana y estable ya que se producen

vibraciones durante su funcionamiento que pueden producir accidentes si el mismo no se encuentra en un lugar seguro.

Los apoyos de las esquinas del equipo son regulables de manera independiente. Se debe nivelar el equipo ajustando los apoyos en el sitio en el cual se planea instalarlo de forma definitiva.

## CODIFICACIÓN DE LAS PARTES

El sistema de codificación de las piezas se compone de tres partes: los primeros dos dígitos corresponden al modelo del equipo. Este manual se refiere al modelo 02.

El segundo carácter indica el tipo de pieza al cual se hace referencia:

- M corresponde a piezas del área mecánica
- E corresponde a piezas del área eléctrica.

En el caso de los componentes del circuito eléctrico, se determina la tensión de trabajo mediante el empleo de un carácter seguido de la letra identificativa del tipo de componente.

Las letras empleadas para la indicación del nivel de tensión son:

- A: > 1 kV
- B: de 420 a 1000 V ef
- C: de 221 a 420 V ef
- D: de 111 a 220 V ef
- E: de 61 a 110 V ef
- F: de 21 V a 60 V ef
- G: menos de 20 V ef

La numeración que se encuentra luego del carácter identificativo corresponde al tipo de componente.

Finalmente, el último número posiciona el componente dentro del equipo.

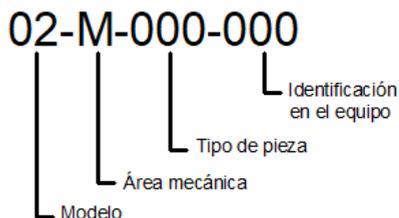


Figura 1. Códigos de piezas mecánicas

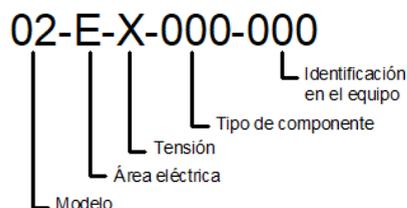


Figura 2. Códigos de componentes eléctricos



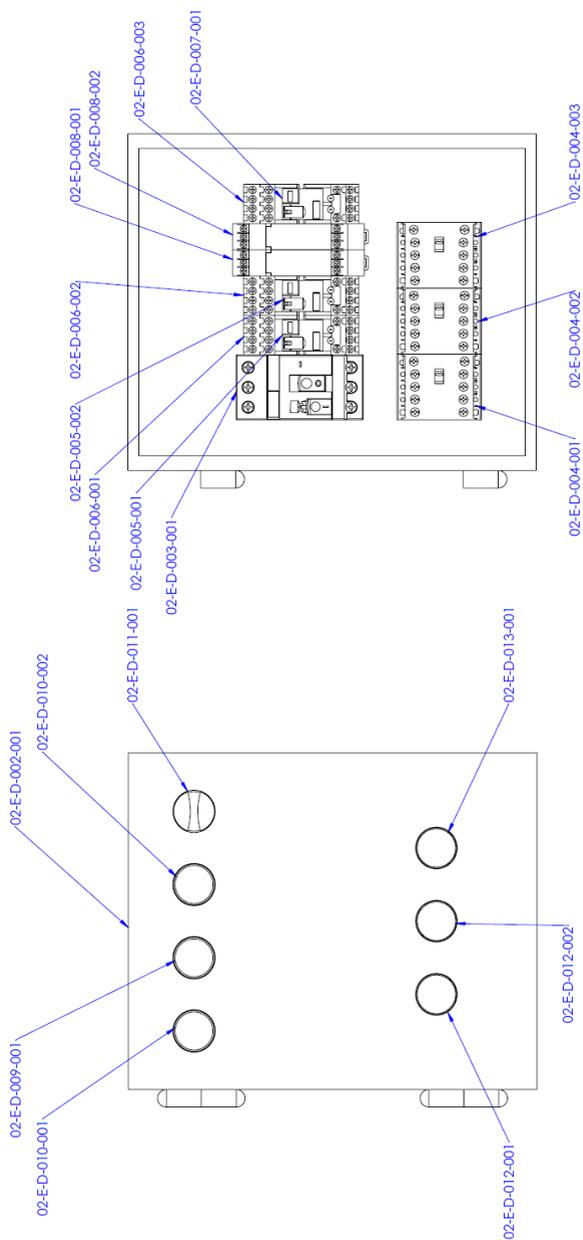


Figura 4. Tablero eléctrico y partes constituyentes.

LISTADO DE PARTES

<b>Código</b>	<b>Descripción de la pieza</b>
02-E-D-001-001	Motor eléctrico monofásico
02-M-001-001	Acoplamiento
02-M-002-001	Eje de fijación de los testigos
02-M-003-001	Rodamiento con soporte ovalado
02-M-003-002	Rodamiento con soporte ovalado
02-M-004-001	Recipiente contenedor de arroz durante el ensayo
02-M-005-001	Sello de rodamiento
02-M-005-002	Sello de rodamiento
02-M-006-001	Base del motor y recipiente
02-M-007-001	Base removible del recipiente
02-M-008-001	Contenedor para la descarga del arroz
02-M-009-001	Soporte del motor
02-M-009-002	Soporte del motor
02-M-010-001	Guía del contenedor de descarga del arroz
02-M-011-001	Base
02-M-012-001	Armazón de la base
02-M-013-001	Tapa del recipiente
02-M-014-001	Placa de sujeción del recipiente a la base
02-M-014-002	Placa de sujeción del recipiente a la base
02-M-015-001	Bulón hexagonal DIN 931 M10 x 60
02-M-015-002	Bulón hexagonal DIN 931 M10 x 60
02-M-015-003	Bulón hexagonal DIN 931 M10 x 60
02-M-015-004	Bulón hexagonal DIN 931 M10 x 60
02-M-016-001	Tuerca hexagonal DIN 934 M10
02-M-016-002	Tuerca hexagonal DIN 934 M10
02-M-016-003	Tuerca hexagonal DIN 934 M10
02-M-016-004	Tuerca hexagonal DIN 934 M10
02-M-016-005	Tuerca hexagonal DIN 934 M10
02-M-016-006	Tuerca hexagonal DIN 934 M10

MEDIDOR DE ABRASIVIDAD – MANUAL DEL USUARIO

02-M-016-007	Tuerca hexagonal DIN 934 M10
02-M-016-008	Tuerca hexagonal DIN 934 M10
02-M-017-001	Tornillo DIN 912 M5 x 20
02-M-017-002	Tornillo DIN 912 M5 x 20
02-M-017-003	Tornillo DIN 912 M5 x 20
02-M-018-001	Tuerca hexagonal DIN 934 M5
02-M-018-002	Tuerca hexagonal DIN 934 M5
02-M-018-003	Tuerca hexagonal DIN 934 M5
02-M-019-001	Arandela plana de acero
02-M-019-002	Arandela plana de acero
02-M-020-001	Tornillo DIN 912 M3 x 10
02-M-020-002	Tornillo DIN 912 M3 x 10
02-M-021-001	Tornillo DIN 912 M5 x 10
02-M-021-002	Tornillo DIN 912 M5 x 10
02-M-022-001	Tuerca hexagonal DIN 934 M5
02-M-022-002	Tuerca hexagonal DIN 934 M5
02-M-023-001	Bulón hexagonal DIN 931 M8 x 40
02-M-023-002	Bulón hexagonal DIN 931 M8 x 40
02-M-023-003	Bulón hexagonal DIN 931 M8 x 40
02-M-023-004	Bulón hexagonal DIN 931 M8 x 40
02-M-024-001	Tuerca hexagonal DIN 934 M8
02-M-024-002	Tuerca hexagonal DIN 934 M8
02-M-024-003	Tuerca hexagonal DIN 934 M8
02-M-024-004	Tuerca hexagonal DIN 934 M8
02-M-025-001	Prisionero cabeza cuadrada DIN 479 M6 x 20
02-M-025-002	Prisionero cabeza cuadrada DIN 479 M6 x 20
02-M-026-001	Tornillo DIN 7981 8 x 1/2
02-M-026-002	Tornillo DIN 7981 8 x 1/2
02-M-026-003	Tornillo DIN 7981 8 x 1/2
02-M-026-004	Tornillo DIN 7981 8 x 1/2
02-M-027-001	Anillo de retención DIN 471
02-M-028-001	Regatón de goma 25 mm

MEDIDOR DE ABRASIVIDAD – MANUAL DEL USUARIO

02-M-028-002	Regatón de goma 25 mm
02-M-028-003	Regatón de goma 25 mm
02-M-028-004	Regatón de goma 25 mm
02-M-029-001	Cubierta de metal desplegado SAE 200-12-20
02-M-030-001	Cilindro flexible para la fijación de las probetas
02-M-030-002	Cilindro flexible para la fijación de las probetas
02-M-031-001	Chaveta acero SAE 1010 4 x 4 mm, 23 mm de longitud
02-M-032-001	Chaveta acero SAE 1010 6 x 6 mm, 23 mm de longitud
02-M-033-001	Tornillo DIN 965 M5 x 10
02-E-D-002-001	Gabinete estanco
02-E-D-003-001	Guardamotor magnetotérmico
02-E-D-004-001	Minicontactor
02-E-D-004-002	Minicontactor
02-E-D-004-003	Minicontactor
02-E-D-005-001	Relé de conexión miniatura
02-E-D-005-002	Relé de conexión miniatura
02-E-D-007-001	Relé de conexión miniatura
02-E-D-006-001	Zócalo para relé de conexión
02-E-D-006-002	Zócalo para relé de conexión
02-E-D-006-003	Zócalo para relé de conexión
02-E-D-008-001	Control de tiempo electrónico multifunción
02-E-D-008-002	Control de tiempo electrónico multifunción
02-E-D-009-001	Pulsador rasante, color rojo
02-E-D-010-001	Pulsador rasante, color verde
02-E-D-010-002	Pulsador rasante, color verde
02-E-D-011-001	Llave selectora 2 posiciones
02-E-D-012-001	Piloto LED color verde
02-E-D-012-002	Piloto LED color verde
02-E-D-013-001	Piloto LED color amarillo

02-E-D-001

### Motor eléctrico monofásico

#### Características técnicas:

Potencia: 0,25 HP (0,18 kW)

Tensión nominal: 220 V

Corriente nominal: 2,5 A

Velocidad de rotación nominal: 1425 rpm.

#### Función:

Impulsa el eje que sujeta los testigos.

02-M-001

### Acoplamiento

#### Características técnicas:

Tipo: flexible a disco de goma y tela.

Potencia transmitida: 0,75 HP a 1500 rpm.

Largo: 60 mm

Diámetro mayor: 60 mm

Diámetro de masa: 35 mm

Diámetro máximo admisible del eje: 20 mm

#### Función:

Permite la transmisión del movimiento desde el eje de salida del motor al eje de sujeción de los testigos.

02-M-002

### Eje de fijación de los testigos

#### Características técnicas:

Material: acero SAE 1010

Longitud total: 250 mm

Diámetro de la sección circular: 20 mm

Lado de la sección cuadrada: 25,4 mm (1 pulgada)

#### Función:

Sujeta los testigos mientras se realiza el ensayo.

02-M-003

### Rodamiento

#### Características técnicas:

Rodamientos con soporte ovalado modelo UCFL 204.

Tipo de rodamiento: rígido de bolas, sellado con superficie exterior esférica y aro interior extendido.

#### Función:

Posibilita la rotación del eje brindando un soporte para el mismo. Debido a que se utilizan rodamientos de bolas la fricción en el arranque es mínima.

02-M-004

### Recipiente contenedor de arroz durante el ensayo

#### Características técnicas:

Material: chapa de acero al carbono calibre 14

Capacidad de carga: 200 cm<sup>3</sup>

Dimensiones: 90 mm x 90 mm x 100 mm

#### Función:

Contiene el arroz durante el ensayo, a su vez, posee orificios para permitir la colocación de los rodamientos que sostienen el eje. La parte superior posee forma de tolva y el fondo es removible para facilitar la carga y descarga del material.

02-M-005

### Sello de rodamiento

#### Características técnicas:

Material: papel Adamite, 1,6 mm de espesor

#### Función:

Evita que ingresen partículas o polvo del material ensayado al alojamiento de los rodamientos.

02-M-006

### Base del motor y el recipiente

#### Características técnicas:

Material: tubo estructural de acero al carbono 100 x 100 x 2 mm

Longitud: 450 mm

#### Función:

Brinda soporte al motor y al recipiente contenedor de arroz durante el ensayo.

02-M-007

### Base del recipiente

#### Características técnicas:

Material: chapa de acero al carbono calibre 14

Dimensiones: 90 mm x 90 mm

#### Función:

Facilita la descarga del material ya ensayado. Es de fácil extracción, permitiendo que el producto caiga a un recipiente inferior para ser retirado.

02-M-008

### Contenedor de descarga

#### Características técnicas:

Material: chapa de acero al carbono calibre 14

Dimensiones: 95 mm x 80 mm x 70 mm

**Función:**

Recoge el material ya ensayado que se deja caer al extraer la base del recipiente.

02-M-009

**Soporte del motor**

**Características técnicas:**

Material: planchuela de hierro 1 x 3/16 pulgadas

**Función:**

Sostiene el motor en posición y asegura su alineación con respecto al acoplamiento.

02-M-010

**Guía del contenedor de descarga**

**Características técnicas:**

Material: poliamida 6

Dimensiones: 95 mm x 20 mm x 3,77 mm

**Función:**

Permite el deslizamiento del contenedor de descarga disminuyendo coeficiente de rozamiento.

02-M-011

**Base**

**Características técnicas:**

Material: MDF

Dimensiones: 800 mm x 350 mm x 20 mm

**Función:**

Sostiene, brinda soporte y fija todos los componentes del equipo.

02-M-012

**Armazón de la base**

**Características técnicas:**

Material: perfil de acero ángulo alas iguales 1 x 3/16 pulgadas.

Dimensiones: 800 mm x 350 mm

**Función:**

Permite sostener la base, aumenta el peso del equipo y el momento de inercia, disminuyendo las vibraciones y el riesgo de movimientos inesperados.

02-M-013

**Tapa del recipiente**

**Características técnicas:**

Material: chapa de acero al carbono calibre 14

Dimensiones:

Base: 152 mm x 152 mm

Pestañas: 20 mm

**Función:**

Evita que el material ensayado salga del recipiente cuando el equipo está en funcionamiento, ya que el mismo se asemeja al de un fluido turbulento.

02-M-014

**Placa de sujeción del recipiente**

**Características técnicas:**

Material: chapa de acero al carbono calibre 14

Dimensiones: 40 mm x 20 mm

**Función:**

Posee orificios para la colocación de tornillos que fijan el recipiente que contiene el material durante el ensayo. Están soldadas a la base del motor y el recipiente (02-M-006).

02-M-015

**Bulón hexagonal**

**Características técnicas:**

Dimensiones: M10 x 60 mm

Normativa correspondiente: DIN 931

**Función:**

Permite el ajuste en altura de las cuatro esquinas de la base del equipo con la finalidad de nivelar el

eje de sujeción de los testigos y el recipiente, evitando una acumulación de material en alguno de los extremos.

02-M-016

**Tuerca hexagonal**

**Características técnicas:**

Dimensiones: M10

Normativa correspondiente: DIN 934

**Función:**

Forma parte del apoyo regulable en altura que facilita la alineación del equipo junto con los bulones correspondientes (02-M-015).

02-M-017

**Tornillo de sujeción del motor**

**Características técnicas:**

Dimensiones: M5 x 20 mm

Normativa correspondiente: DIN 912

**Función:**

Une el motor eléctrico a los soportes correspondientes (02-M-006 y 02-M-009).

02-M-018

**Tuerca hexagonal**

**Características técnicas:**

Dimensiones: M5

Normativa correspondiente:  
DIN 934

Función:

Junto con el tornillo de sujeción del motor (02-M-017) fija el motor eléctrico a los soportes correspondientes (02-M-006 y 02-M-009).

02-M-019

Arandela de sujeción

Características técnicas:

Material: acero 1010

Dimensiones: M5

Función:

Permiten la fijación de los tornillos de sujeción del motor (02-M-017).

02-M-020

Tornillo de ajuste

Características técnicas:

Dimensiones: M3 x 10 mm

Normativa correspondiente:  
DIN 912

Función:

Ajusta la probeta a ensayar en el eje de sujeción de los testigos.

02-M-021

Tornillo de sujeción

Características técnicas:

Dimensiones: M5 x 10 mm

Normativa correspondiente:  
DIN 912

Función:

Une el recipiente contenedor del material durante el ensayo con la base del mismo a través de las placas 02-M-014.

02-M-022

Tuerca hexagonal

Características técnicas:

Dimensiones: M5

Normativa correspondiente:  
DIN 934.

Función:

Forma parte de la unión desmontable entre el recipiente contenedor del material durante el ensayo con la base del mismo a través de las placas 02-M-014.

02-M-023

Bulón hexagonal

Características técnicas:

Dimensiones: M8 x 40 mm

Normativa correspondiente:  
DIN 931

**Función:**

Corresponde a la unión desmontable la base del motor y el recipiente (02-M-006) a la base del equipo (02-M-011).

02-M-024

**Tuerca hexagonal**

**Características técnicas:**

Dimensiones: M8

Normativa correspondiente:  
DIN 934

**Función:**

Permite la fijación de la base del motor y el recipiente (02-M-006) a la base del equipo completo (02-M-011).

02-M-025

**Tornillo prisionero**

**Características técnicas:**

Dimensiones: M6 x 20 mm

Normativa correspondiente:  
DIN 479.

**Función:**

Mantiene el acoplamiento (02-M-001) en posición mediante el ajuste de las chavetas dentro de las ranuras correspondientes.

02-M-026

**Tornillo de fijación**

**Características técnicas:**

Dimensiones: 8 x 1/2 pulgadas

Normativa correspondiente:  
DIN 7981.

**Función:**

Fija la cubierta de seguridad (02-M-029) a la base del equipo (02-M-011).

02-M-027

**Anillo de retención**

**Características técnicas:**

Dimensiones: 20 x 1,2 mm

Normativa correspondiente:  
DIN 471

**Función:**

Evita el movimiento en la dirección longitudinal del eje durante el funcionamiento del equipo.

02-M-028

**Regatón**

**Características técnicas:**

Material: goma

Dimensiones: 25 mm de diámetro

**Función:**

Permite el apoyo del equipo sobre cualquier superficie, evitando vibraciones y deslizamientos.

02-M-029

**Cubierta de seguridad**

**Características técnicas:**

Material: metal desplegado SAE 200-12-20

Dimensiones: 200 mm de ancho, 210 mm de altura y 300 mm de largo

**Función:**

Protege a los operarios mientras la máquina se encuentra en funcionamiento, limitando el contacto con partes móviles y disminuyendo el riesgo de accidentes.

02-M-030

**Cilindro flexible**

**Características técnicas:**

Material: PVC

Dimensiones: diámetro interno 7 mm, diámetro externo 10 mm

**Función:**

Permite ajustar las probetas mediante los tornillos de sujeción (02-M-020) sin dañarlas ni marcarlas.

02-M-031

**Chaveta**

**Características técnicas:**

Material: acero SAE 1010

Dimensiones: 4 mm x 4 mm x 23 mm

**Función:**

Posibilita la unión y transmisión de potencia del eje de motor (02-E-D-001) al acoplamiento flexible (02-M-001).

02-M-032

**Chaveta**

**Características técnicas:**

Material: acero SAE 1010

Dimensiones: 6 mm x 6 mm x 23 mm

**Función:**

Permite la transmisión de potencia y movimiento desde el motor eléctrico (02-E-D-001) al eje de sujeción de los testigos del ensayo (02-M-002) mediante el acoplamiento flexible (02-M-001).

02-E-D-002

**Gabinete estanco**

**Características técnicas:**

Dimensiones: 230 mm x 280 mm x 140 mm

Grado de protección: IP 65

Normativa correspondiente:  
IRAM 62670

Función:

Contiene los componentes eléctricos del sistema, protegiéndolo de los agentes exteriores y limita los contactos accidentales, procurando la seguridad de los usuarios.

02-E-D-003

Guardamotor

Características técnicas:

Corriente nominal: 1,6 a 2,5 A

Potencia admisible: 0,75 kW a 400 V, 50 Hz

Función:

Protege el motor de los cortocircuitos, sobrecargas y falta de una fase.

02-E-D-004

Contactor

Características técnicas:

Corriente nominal: 6 A

Potencia admisible: 1,5 kW a 220 V, 50 Hz

Función:

Permite controlar a distancia la marcha y parada de un motor, facilitando la automatización del sistema.

02-E-D-005

Relé de conexión

Características técnicas:

Tensión nominal: 230 V, 50 Hz

Corriente nominal: 6 A

Cantidad y tipo de contactos: 4 contactos tipo C.

Función:

Facilita la automatización del sistema, permitiendo la conexión y desconexión de los contactores (02-E-D-004).

02-E-D-006

Zócalo para relé

Características técnicas:

Intensidad nominal: 6 A

Función:

Posibilita el cableado y conexión de los relés enchufables, aumentando la seguridad de las conexiones.

02-E-D-007

Relé de conexión

Características técnicas:

Tensión nominal: 230 V, 50 Hz

Corriente nominal: 6 A

Cantidad y tipo de contactos:  
2 contactos tipo C.

Función:

Permite la conexión y desconexión de los contactores (02-E-D-004) de forma sencilla, facilitando la automatización del circuito.

02-E-D-008

Control de tiempo

Características técnicas:

Tiempo de ajuste: desde 1 segundo hasta 30 horas.

Corriente nominal: 5 A

Tensión de trabajo: 12 a 240 V (60/50 Hz) o DC

Función:

Cambia de estado luego de transcurrido el tiempo ajustado desde su energización, permitiendo un cambio automático en el sistema.

02-E-D-009

Pulsador

Características técnicas:

Tipo de contacto: normal cerrado

Color: rojo

Función:

Permite la parada del equipo ante una emergencia o cuando el

mismo se encuentra en configuración *manual*.

02-E-D-010

Pulsador

Características técnicas:

Tipo de contacto: normal abierto

Color: verde

Función:

Da inicio al equipo, arrancando el motor en un sentido o en otro según el modo de funcionamiento seleccionado.

02-E-D-011

Llave selectora

Características técnicas:

Tipo de contacto: normal abierto

Función:

Permite seleccionar el modo de funcionamiento del equipo: *manual* o *automático*.

02-E-D-012

Piloto luminoso LED

Características técnicas:

Color: verde

**Función:**

Indica que el motor está encendido y el sentido de giro en el cual se encuentra funcionando.

02-E-D-013

**Piloto luminoso LED**

**Características técnicas:**

Color: amarillo

**Función:**

Indica el modo de funcionamiento del equipo según la posición de la llave selectora (02-E-D-011). Se enciende cuando el equipo se encuentra en funcionamiento *manual*.

## FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

### MODO AUTOMÁTICO

**Paso 1:** revise que el recipiente de descarga (02-M-008-001) y fondo removible del equipo (02-M-007-001) se encuentran en la posición correcta (figura 5).

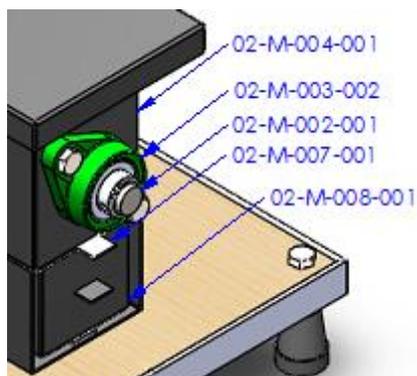


Figura 5. Posición correcta del recipiente de descarga y el fondo removible durante el ensayo.

**Paso 2:** pesar los testigos a ensayar en una balanza de precisión y registrar la masa inicial.

**Paso 3:** coloque los testigos a ensayar ya pesados asegurándolos mediante los tornillos de sujeción (02-M-020-001 y 02-M-020-002) y los cilindros flexibles (02-M-030-001 y 02-M-030-002) (figura 6).

**Paso 4:** vierta la muestra de material a ensayar en el interior del recipiente.

**Paso 5:** coloque la tapa (02-M-013-001) y asegúrese que esta se encuentra firme para evitar que el material abandone el recipiente durante el ensayo (figura 7).

**Paso 6:** conecte el equipo a la alimentación eléctrica.

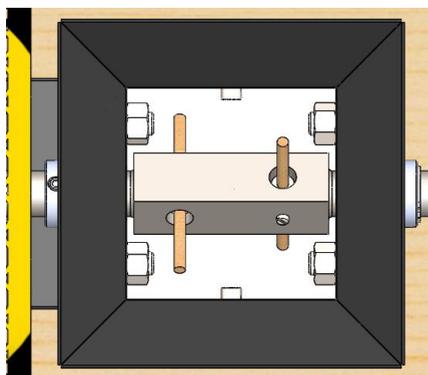


Figura 6. Colocación de los testigos en el equipo.

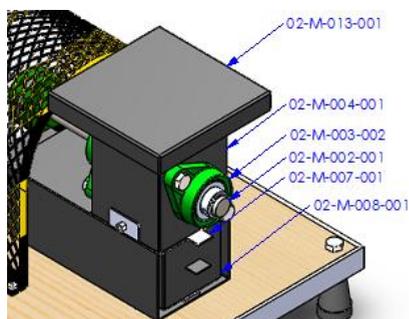


Figura 7. Ubicación correcta de la tapa del recipiente.

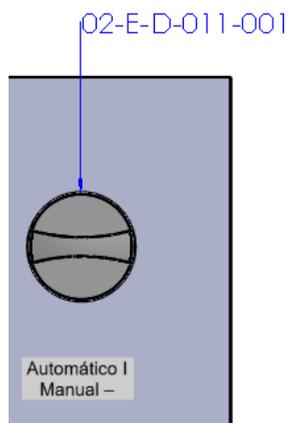


Figura 9. Llave selectora del modo manual o automático.

**Paso 7:** asegúrese que el equipo se encuentra activado en modo automático: la luz que indica el funcionamiento manual (02-E-D-013-001) debe estar apagada (figura 8). Caso contrario desactive el modo manual girando la llave selectora (02-E-D-011-001) (figura 9).

**Paso 8:** una vez que se han posicionado todas las partes en sus lugares correspondientes, encienda el equipo mediante el pulsador de marcha en funcionamiento automático (02-M-010-001) (figura 10).

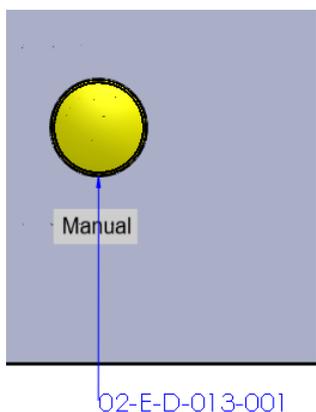


Figura 8. Luz indicadora del funcionamiento manual del equipo.

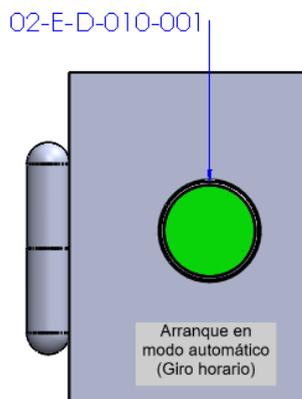


Figura 10. Pulsador de arranque en modo automático o de marcha en sentido horario.

El equipo inicia la secuencia según el tiempo establecido en los temporizadores. El motor rota en sentido horario durante la primera mitad del ensayo, luego rota en sentido antihorario. Al finalizar el ensayo, el motor se detiene y las luces indicadoras del sentido de giro se apagan.

Paso 9: al finalizar el ensayo debe **desenchufar el equipo de la alimentación** antes de proceder a retirar la tapa del recipiente y el fondo removible para permitir la descarga del material en el contenedor inferior.

Paso 10: retirar y vaciar el contenedor inferior. Desajustar y extraer los testigos y pesarlos nuevamente. Debe registrar el peso antes y después del ensayo.

Paso 11: limpiar el equipo asegurándose de volver a colocar las partes correspondientes en su lugar para un nuevo ensayo.

En caso de emergencia, presione el botón de parada (02-E-D-009-001) (figura 11).

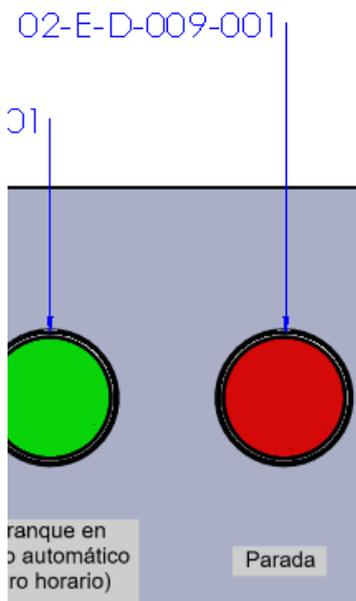


Figura 11. Pulsador de parada.

## MODO MANUAL

**Paso 1:** revise que el recipiente de descarga y fondo removible del equipo se encuentran en la posición correcta (figura 5).

**Paso 2:** pesar los testigos a ensayar en una balanza de precisión y registrar la masa inicial.

**Paso 3:** coloque los testigos a ensayar ya pesados asegurándolos mediante los tornillos de sujeción (02-M-020-001 y 02-M-020-002) y los cilindros flexibles (02-M-030-001 y 02-M-030-002) (figura 6).

**Paso 4:** vierta la muestra de material a ensayar en el interior del recipiente.

**Paso 5:** coloque la tapa (02-M-013-001) y asegúrese que esta se encuentra firme para evitar que el material abandone el recipiente durante el ensayo (figura 7).

**Paso 6:** conecte el equipo a la alimentación eléctrica.

**Paso 7:** asegúrese que el equipo se encuentra activado en modo manual: la luz que indica el funcionamiento manual (02-E-D-013-001) debe estar encendida (figura 7). Caso contrario active el modo manual girando la llave selectora de dos posiciones (02-E-D-011-001) (figura 8).

**Paso 8:** una vez que se han posicionado todas las partes en sus lugares correspondientes, encienda el equipo mediante el pulsador de marcha en el sentido de giro que desee: 02-E-D-010-001 para marcha en sentido horario, o 02-E-D-010-002 en sentido antihorario (figuras 9 y 11).

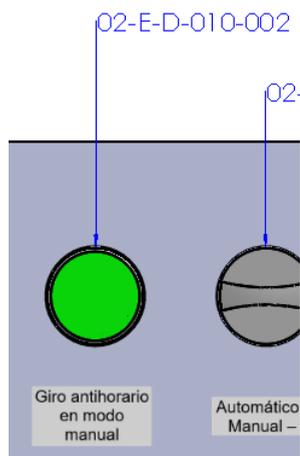


Figura 11. Pulsador de marcha en sentido antihorario.

Paso 9: si desea cambiar el sentido de giro del motor, debe detener el equipo pulsando el botón de parada (02-E-D-009-001) (figura 10) y luego presionar el pulsador de marcha en el sentido requerido.

Paso 10: una vez que ha finalizado el ensayo, debe detener el motor mediante el pulsador de parada (02-E-D-009-001).

Paso 11: **desenchufe el equipo de la alimentación eléctrica** antes de proceder a retirar la tapa del recipiente y el fondo removible para permitir la descarga del material en el contenedor inferior.

Paso 12: retirar y vaciar el contenedor inferior. Desajustar y extraer los testigos y pesarlos nuevamente. Registre el peso antes y después del ensayo.

Paso 13: limpiar el equipo asegurándose de volver a colocar las partes correspondientes en su lugar para un nuevo ensayo.

## ANEXO A: PASOS PARA EL DESMONTAJE Y MONTAJE



El desmontaje y modificación del equipo debe ser realizado por un profesional calificado o autorizado. Caso contrario **no desarme el equipo ni introduzca cambios.**

Paso 1: retirar la tapa del recipiente (02-M-013-001), la base removible (02-M-007-001), el contenedor de descarga (02-M-008-001) y los tornillos de ajuste de los testigos (02-M-020-001 y 02-M-020-002).

Paso 2: extraer el anillo de retención del eje (02-M-027-001) y el rodamiento del extremo opuesto al motor (02-M-003-002) (figura 12).

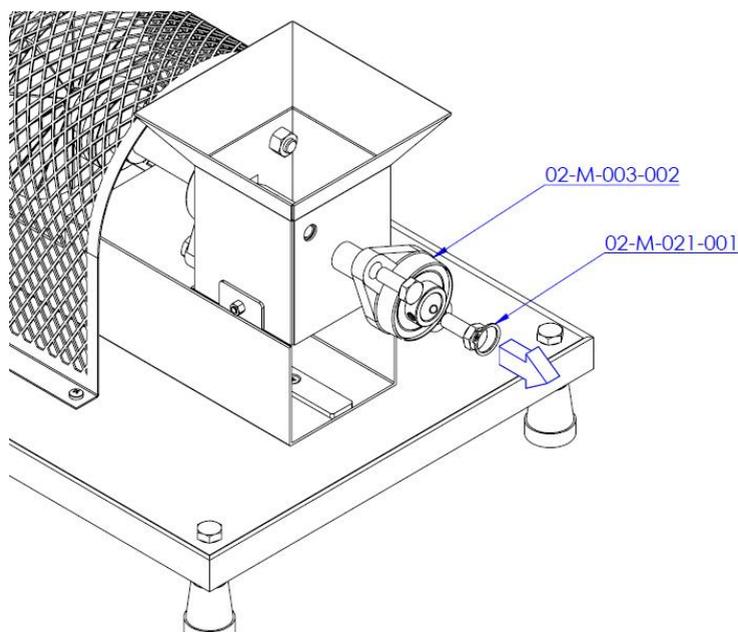


Figura 12. Desmontaje del anillo de retención y el rodamiento 02-M-003-002.

Paso 3: retirar la cubierta de seguridad (02-M-029-001, 02-M-026-001 a 004) y las tuercas

que fijan el rodamiento que se encuentra entre el recipiente y el motor (02-M-003-001) (figura 13).

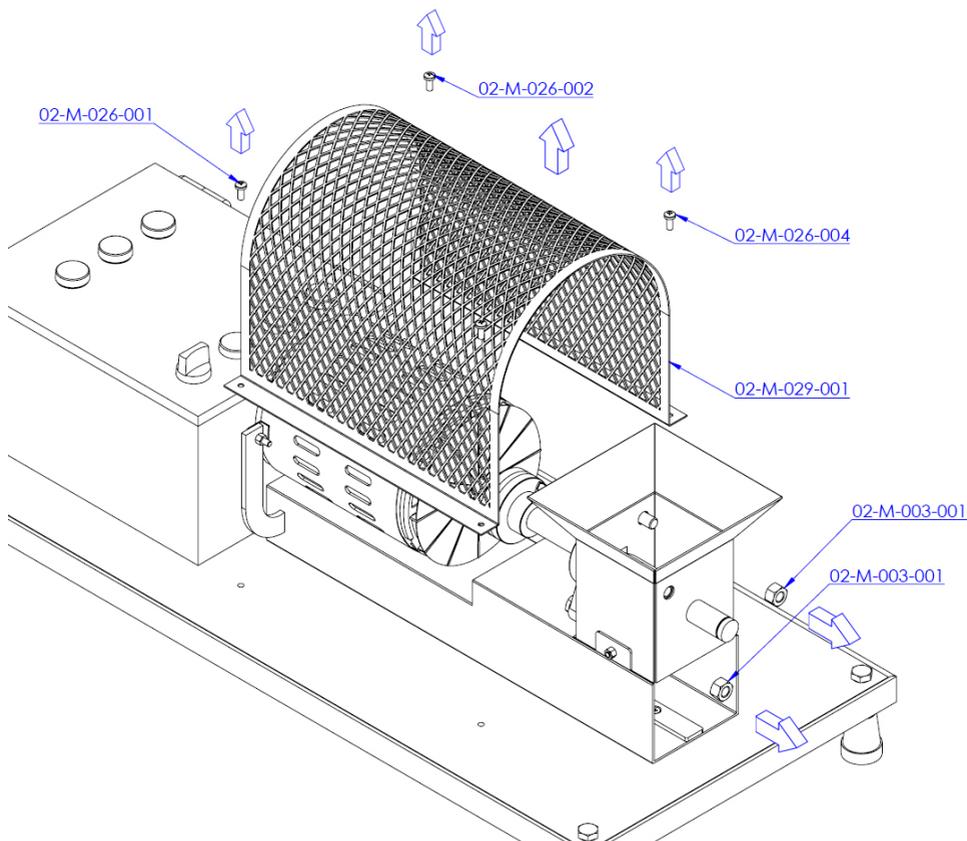


Figura 13. Desmontaje de la cubierta de seguridad y el rodamiento 02-M-003-001.

Paso 4: extraer las tuercas y tornillos que sostienen el recipiente contenedor del material durante el ensayo (02-M-

021-001, 02-M-021-002, 02-M-022-001 y 02-M-022-002) (figura 14).

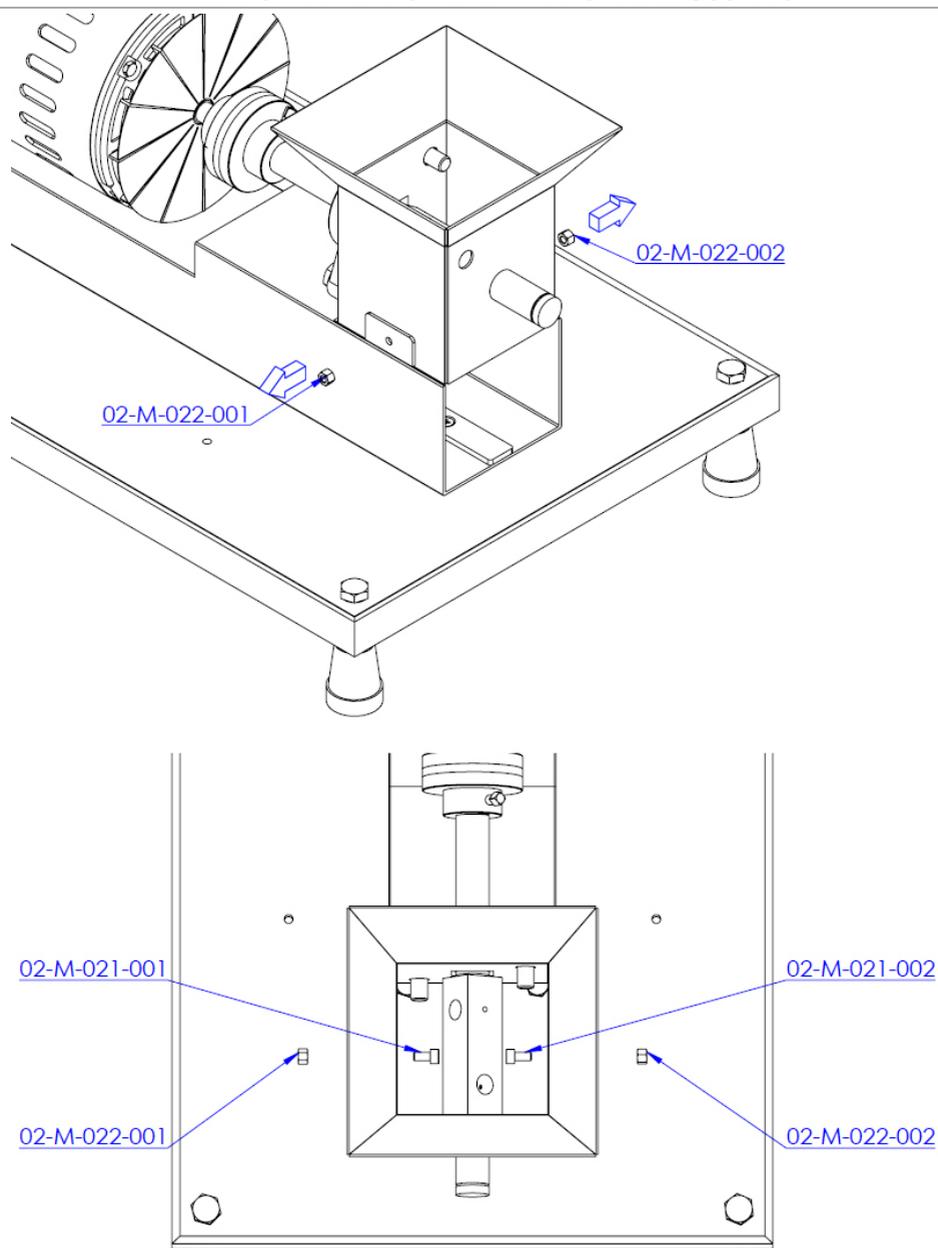


Figura 14. Desmontaje del recipiente contenedor de arroz durante el ensayo.

Paso 5: retirar el contenedor del material a ensayar (02-M-004-001) (figura 15).

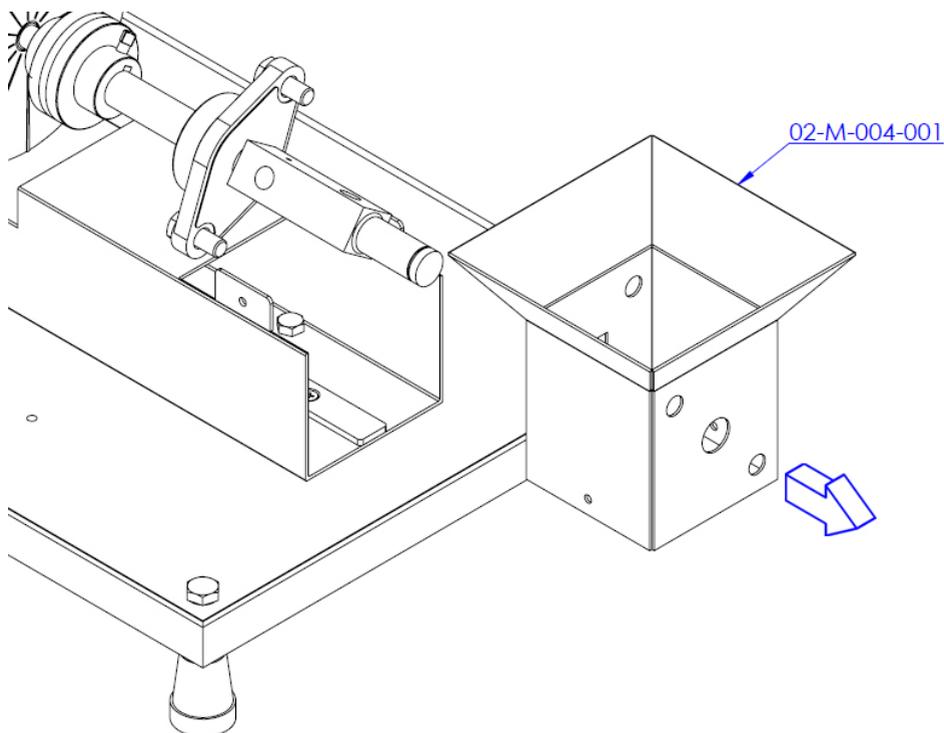


Figura 15. Extracción del recipiente contenedor del material durante el ensayo.

Paso 6: desajustar el tornillo prisionero que sostiene la chaveta que une el eje de sujeción de los testigos con el acoplamiento (02-M-025-002).

Retirar el eje de sujeción de los testigos (02-M-002-001) junto con el rodamiento intermedio (02-M-003-001) y la chaveta correspondiente (02-M-032-001) (figura 16).

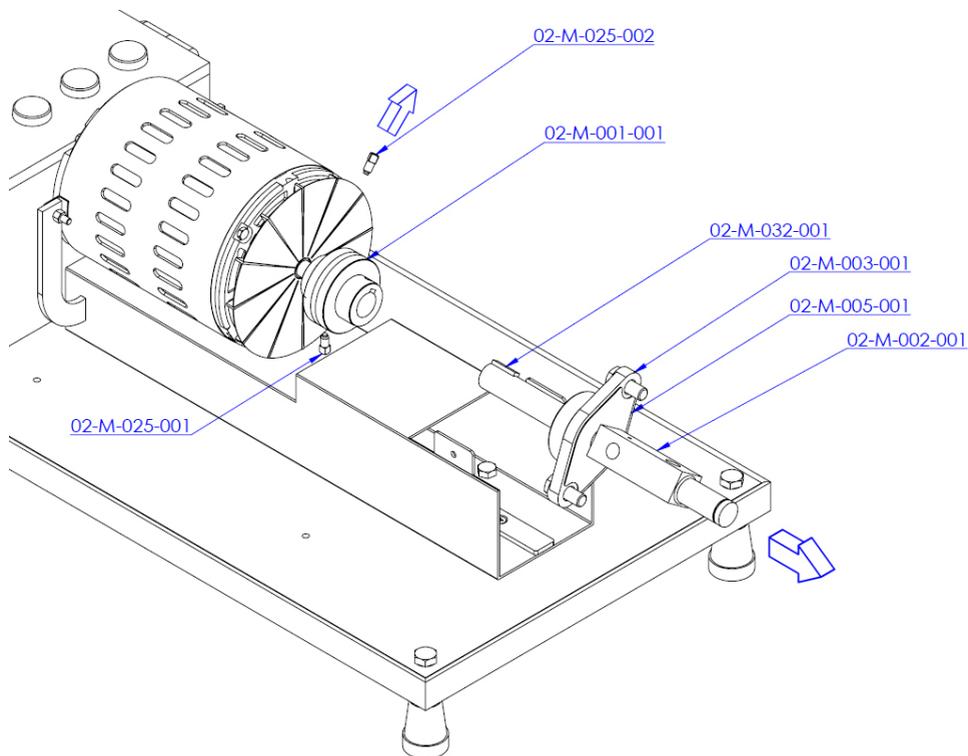


Figura 16. Remoción del eje de sujeción de los testigos.

Paso 7: extraer el acoplamiento (02-M-001-001) y desajustar los tornillos que sostienen el motor en posición (02-M-017-001, 02-M-017-002 y 02-M-017-003).

Remover las tuercas y arandelas de acero (02-M-018-001, 02-M-018-002, 02-M-018-003,

02-M-019-001 y 02-M-019-002) (figura 17). Antes de extraer el motor, recuerde desconectarlo del circuito de potencia en el interior del tablero ya que pueden dañarse los conductores.

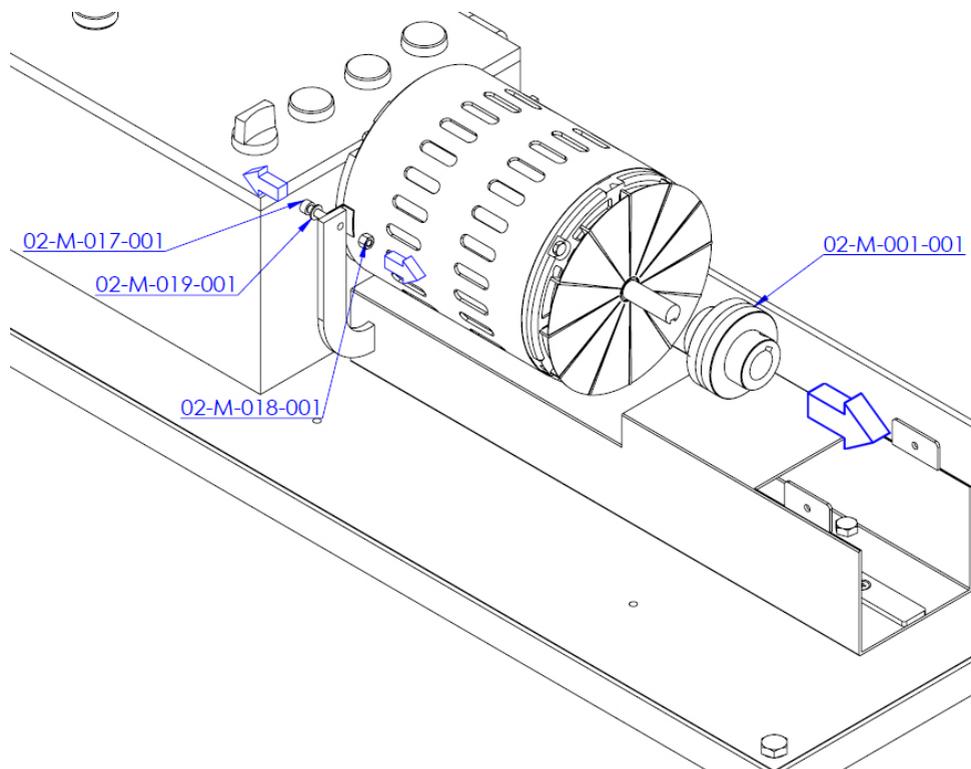


Figura 17. Desmontaje del acoplamiento y el motor eléctrico.

Paso 8: extraer las tuercas que fijan la base del motor y el recipiente (02-M-024-001, 02-M-024-002, 02-M-024-003, 02-M-024-004). Desajustar el tornillo que sujeta la guía del contenedor de descarga (02-M-033-001 y 02-M-010-001). Remover cuidadosamente la base del motor y el recipiente contenedor del material durante el ensayo (02-M-006-001) junto con los

bulones que la sujetan (02-M-023-001, 02-M-023-002, 02-M-023-003, 02-M-023-004) (figura 18).

En este punto el equipo ya se encuentra desmontado. Para reensamblarlo, realice los pasos antes descritos de forma inversa.

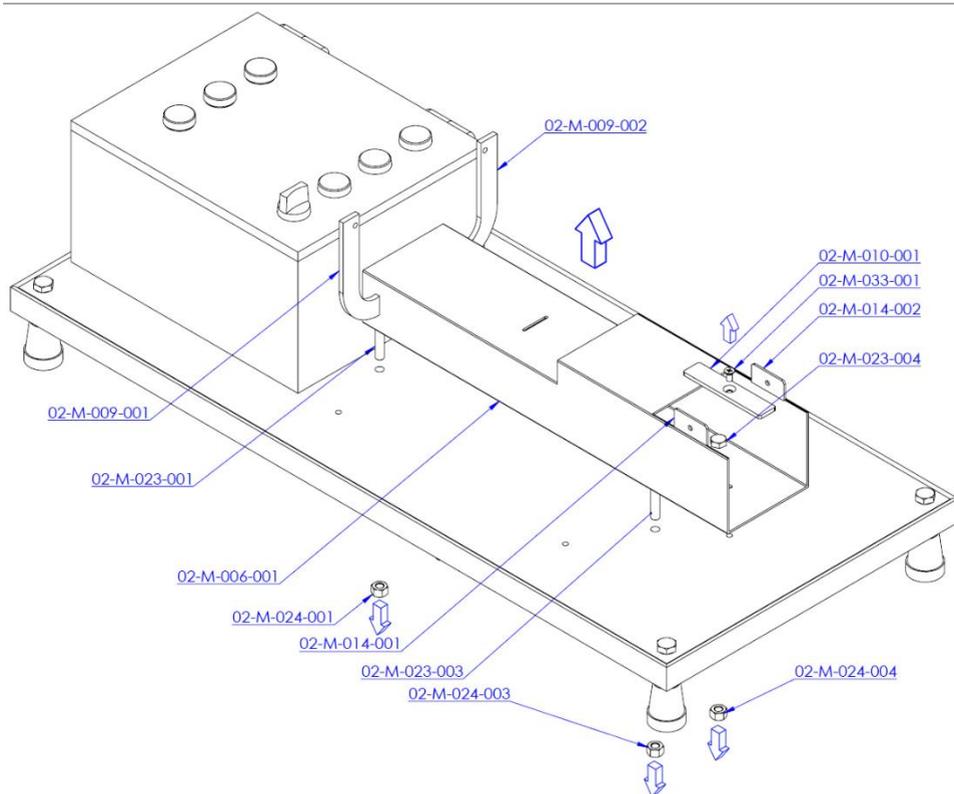


Figura 18. Desmontaje de la base de soporte del motor y el recipiente.



Nota: los pasos 7 y 8 pueden realizarse invirtiendo el orden, esta modificación no afecta las partes que componen el equipo ni su funcionamiento.

## ANEXO B: DETALLES DEL CIRCUITO ELÉCTRICO

El accionamiento del circuito en modo automático se realiza mediante el pulsador normal abierto de marcha derecha (*PMD* – 02-E-D-010-001). Esto energiza el relé de marcha derecha (*KD* – 02-E-D-005-001) que conmuta sus contactos y retiene el estado del relé *KD*. La línea que energiza la bobina del relé de marcha derecha presenta un contacto tipo C, conectado en normal cerrado, del relé de marcha izquierda (*KI* – 02-E-D-005-002) para evitar un cortocircuito en caso de energización de las bobinas de los dos relés. Al accionarse *KD* también se activa el relé temporizador (*KT2* – 02-E-D-008-002), el cual comienza a contabilizar el tiempo establecido para la rotación en sentido derecho. La conmutación del relé de marcha derecha energiza la bobina de los contactores de marcha derecha del motor (*KMD* – 02-E-D-004-002) y de cierre del circuito del motor (*KM1* – 02-E-D-004-001), encendiendo el motor (figura 19).

Cuando el temporizador electrónico *KT2* alcanza el tiempo establecido para la conmutación, cambia de estado,

desenergizando la bobina del relé de marcha derecha *KD* y activando el relé de marcha izquierda *KI*. Esto provoca la apertura del circuito que alimenta la bobina del contactor de marcha derecha *KMD* y cierra el circuito de alimentación del contactor de marcha izquierda (*KMI* – 02-E-D-004-003) invirtiendo el sentido de giro del motor. El circuito de alimentación del motor se mantiene cerrado por el contacto auxiliar, conectado en forma normal abierta, de *KI*.

El circuito de accionamiento del relé de marcha izquierda posee un contacto tipo C del relé de marcha derecha, conectado en forma normal cerrada, para evitar que ambos relés se energicen en simultáneo. A su vez, al accionarse *KI*, se activa el temporizador electrónico (*KT1* – 02-E-D-008-001), el cual controla el tiempo de giro en sentido izquierdo del motor. Cuando el temporizador alcanza el tiempo establecido, conmuta sus contactos, provocando la apertura del circuito completo, el cual vuelve a su estado inicial para un nuevo ensayo (figura 20).

En caso de emergencia, es posible accionar el pulsador de parada (*PP* – 02-E-D-009-001).

Para la conmutación al modo manual, se debe girar la llave conmutadora de dos posiciones (*MAN* - 02-E-D-011-001) que controla la alimentación del relé de accionamiento manual (*K2* – 02-E-D-007-001). Cuando la bobina del relé *K2* se encuentra energizada, se desconectan los temporizadores electrónicos. Esto permite accionar el motor en cualquiera de los dos sentidos de giro mediante los pulsadores normales abiertos de marcha derecha (*PMD* – 02-E-D-010-001) y marcha izquierda (*PMI* – 02-E-D-010-002) durante un tiempo indeterminado.

El circuito posee un pulsador normal cerrado de parada (*PP* – 02-E-D-009-001) para detener el motor cuando se requiera modificar el sentido de rotación del motor o apagarlo al finalizar el ensayo.

Los pilotos luminosos (*HM* – 02-E-D-013-001, *HD* – 02-E-D-012-001, *HI* – 02-E-D-012-002) indican el estado de las bobinas del relé de accionamiento manual y de los contactores con el objetivo brindarle información al usuario del funcionamiento del equipo.

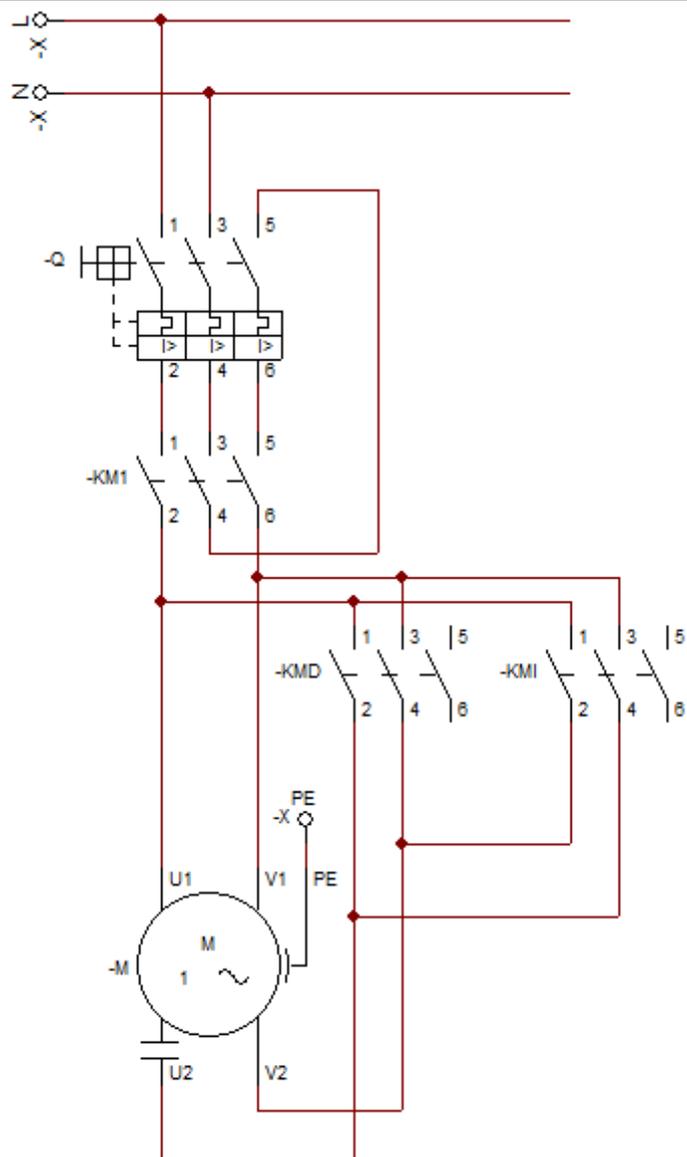


Figura 19. Esquema eléctrico del circuito de potencia.

