



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Desarrollo de un prototipo para la  
obtención de materia prima en polvo  
de suplementos alimenticios**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**INGENIERO MECATRÓNICO**

**P R E S E N T A**

VÍCTOR HUGO SANTANA PEÑA

**DIRECTOR DE TESIS**

Dr. MIGUEL ÁNGEL BAZÁN



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** por brindarme la oportunidad de desarrollarme como profesional, por tener siempre sus puertas abiertas para conocer sus valores y ayudar a que seamos mejores seres humanos.

A la **Facultad de Ingeniería** por transmitirme los conocimientos para mi formación y por mostrarme el valor e importancia de la ingeniería.

Al **Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología** por la oportunidad y el espacio para el desarrollo de este proyecto.

Al **Dr. Miguel Bazán** por brindarme su amistad, por la paciencia y confianza durante el desarrollo del proyecto. Gracias por el tiempo compartido, los consejos y los conocimientos transmitidos. Agradezco por alentarme en todo momento a cumplir mis metas.

A la **Dra. María Soledad Córdova** por brindarme su amistad y confianza al desarrollar el proyecto. Gracias por sus consejos y los agradables momentos que hemos compartido.

A la **Dra. Isadora Martínez** por brindarme su amistad, por el apoyo y los consejos que me ayudaron en el desarrollo del proyecto.

Al personal del **Taller Mecánico del ICAT**, por sus conocimientos de manufactura y diseño aportados a este trabajo. Sr. Norberto, Barreto y Dany.

## DEDICATORIAS

A mis padres, por su amor, por la confianza, los consejos, las enseñanzas y los regaños que siempre me han hecho tener los pies sobre la tierra. Sobran las palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí y por mis hermanas. Gracias por estar conmigo en mis logros y mis fracasos y por enseñarme a dar siempre lo mejor de mí. Ahora estoy cumpliendo una de las metas más importantes en mi vida y solo me resta decirles que el logro es suyo, ¡Los amo!

A mis hermanas Maribel y Karen, que son indispensables en mi vida para alcanzar la felicidad del sándwich. Gracias por las bromas, las peleas y los momentos que seguimos compartiendo. Mary: Te agradezco por ser uno de mis primeros ejemplos a seguir, crecer a tu lado ha sido interesante y divertido. Karen: Me siento afortunado de que llegaras a nuestras vidas, verte crecer ha sido estupendo, gracias por las ocurrencias y locuras que siempre compartimos, por ser la más pequeña te toca cerrar con broche de oro. Este logro también es de ustedes, las amo.

Alejandra, gracias por caminar conmigo estos cinco años y por apoyarme siempre en los objetivos que me trazo. Gracias por los maravillosos momentos que hemos pasado juntos, eres una motivación muy importante en la culminación de esta etapa. Este logro es el primero de muchos que quiero compartir a tu lado. Te amo.

A mis abuelos Chato y Chepa, que son mis segundos padres y siempre me han brindado su apoyo y sabiduría para salir adelante.

A mi familia y amigos que han sido parte fundamental en mi desarrollo personal.

## ÍNDICE

RESUMEN

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tipos de molino.....	1
1.2 Tipos de tamiz.....	3
1.3 Tipos de Dosificador.....	4
1.4 Objetivos.....	7
CAPÍTULO II. MÉTODO Y MATERIALES.....	8
2.1 Descripción del sistema.....	8
2.2 Sistema de molienda y tamizado.....	9
2.2.1 Sistema de molienda.....	9
2.2.2 Sistema de tamizado.....	13
2.2.3 Prototipo del sistema de molienda y tamizado.....	14
2.3 Sistema dosificador.....	15
2.4 Sistema electrónico.....	16
2.4.1 Circuito de control.....	19
2.4.2 Diagrama de flujo.....	20
2.4.3 Interfaz de usuario.....	21
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	24
3.1 Caracterización e implementación del prototipo de molienda y tamizado.....	24
3.2 Caracterización del sistema dosificador.....	28
CONCLUSIONES.....	32
TRABAJO A FUTURO.....	33
BIBLIOGRAFÍA.....	34
ANEXOS.....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Tipos de molinos: a) Molino de rodillos, b) Molino de martillos, c) Molino cortante, d) Molino de muelas, e) Molino de bolas.	2
Figura 1.2 Tipos de tamices: a) Separador primario, b) Tamiz de tableros, c) Tamiz vibratorio, d) Tamiz giratorio, e) Tamiz de vaivén.	4
Figura 1.3 Configuraciones de dosificadores: a) Dosificador de tornillo, b) Dosificador de plato, c) Dosificador de banda, d) Dosificador de cono, e) Dosificador vibratorio, f) Dosificador de válvula. (Bazán, 2010).	6
Figura 2.1 Elementos principales del sistema: A. Sistema de molienda y tamizado y B. Sistema dosificador.	8
Figura 2.2 Sistemas convencionales de molienda: a) Molino de aspas para café, b) Molino de discos para nixtamal y c) Molino de muelas para café.	9
Figura 2.3 Elementos principales del sistema de molienda.	11
Figura 2.4 Tamiz de gatillo.	13
Figura 2.5 Elementos principales del sistema de tamizado.	13
Figura 2.6 Sistema de molienda y tamizado.	14
Figura 2.7 Elementos principales del sistema dosificador.	15

Figura 2.8 Esquema de la electrónica de operación. M1: Motor de molino. M2: Motor de tamizado. M3: Ventilador de enfriamiento.	16
Figura 2.9 Tarjeta ARDUINO UNO con microcontrolador ATmega328P.	16
Figura 2.10 Pantalla táctil 2.8" Touch Shield V1.0.	17
Figura 2.11 Motor del Sistema de Molienda.	17
Figura 2.12 Motores con masa Excéntrica.	17
Figura 2.13 Relevador <i>SRD-05VDC-SL-C</i> .	17
Figura 2.14 Controlador de Velocidad <i>VARI-DRIVE</i> .	18
Figura 2.15 Ventilador de enfriamiento.	18
Figura 2.16 Esquema del circuito de control.	19
Figura 2.17 Modelo 3D del circuito de control.	19
Figura 2.18 Diagrama de flujo del programa.	20
Figura 2.19 Menú principal y Submenús de la interfaz de usuario.	21
Figura 2.20 Menú de selección y operación del sistema.	22
Figura 2.21 Estructura de interfaz con botón de emergencia.	22

Figura 3.1 Prototipo operado por el usuario.	25
Figura 3.2 Ingredientes antes y después de ser procesados por el prototipo.	25
Figura 3.3. Comportamiento del equipo por cada ingrediente. Avena y lenteja a voltaje cte. de 51V. Frijol, garbanzo y avena a voltaje cte. de 59.7V.	26
Figura 3.4. Curva característica de masa vs tiempo para lenteja a voltaje constante de 8.22V.	27
Figura 3.5 Curva característica de masa vs tiempo para lenteja a voltaje constante de 9.89V.	27
Figura 3.6 Curva característica de masa vs tiempo para frijol a voltaje constante de 6.45V.	28
Figura 3.7 Curva característica de masa vs tiempo para frijol a voltaje constante de 8.22V.	28
Figura 3.8 Curva característica de masa vs tiempo para frijol a voltaje constante de 9.89V.	29
Figura 3.9 Curva característica de masa vs tiempo para avena a voltaje constante de 9.89V.	29
Figura A1. Circuito de accionamiento para relevador.	49

## LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Resultados de molienda realizadas con tres configuraciones de molinos: aspas, poleas y muelas.	10
Tabla 2.2 Resultados de harina obtenida con tres configuraciones de molinos: aspas, poleas y muelas.	11
Tabla 3.1 Características de operación del equipo.	24
Tabla 3.2 Porcentaje de harina obtenido con el sistema de tamizado.	26
Tabla 3.3 Resultados de pruebas de tiempo de dosificado y masa de lenteja entregada a tres voltajes distintos.	28
Tabla 3.4 Resultados de pruebas de tiempo de dosificado y masa de frijol a tres voltajes distintos.	29
Tabla 3.5 Resultados de pruebas de tiempo de dosificado y masa de avena entregada a tres voltajes distintos.	30



## RESUMEN

En el presente trabajo se muestra el desarrollo de un prototipo que permite la obtención de harinas para la producción de suplementos alimenticios de origen vegetal y de bajo costo para las personas que padecen malnutrición en consecuencia de enfermedades como la cirrosis u obesidad mórbida en la que se les practica una cirugía bariátrica. Para obtener las harinas de las formulaciones nutrimentales que se exigen en cada tratamiento son necesarios los procesos de molienda, tamizado y dosificado de los productos a granel.

El desarrollo del trabajo se divide en el diseño, manufactura, construcción e implementación de los sistemas de molienda y tamizado, con los que se obtienen las harinas con un tamaño de partícula homogéneo. La molienda se lleva a cabo por medio de un molino de muelas y se tamiza a través de dos mallas de acero inoxidable con diferente abertura para seleccionar el tamaño de partícula. El sistema de dosificación consta de un tornillo dosificador que transporta la harina producida hacia la tolva de salida para proporcionar la cantidad en masa que se requiere de cada ingrediente para la formulación nutrimental específica.

# INTRODUCCIÓN

En el grupo de Ingeniería de Proceso del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, ICAT de la UNAM (antes Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, CCADET) se producen suplementos alimenticios de origen natural con la finalidad de ayudar a que los pacientes con síndrome de malabsorción adquieran los nutrientes requeridos para su salud. Un suplemento alimenticio es aquel producto que provee nutrimentos adicionales o faltantes al organismo, se encuentran en una gran variedad de formas: pastillas o tabletas, cápsulas, en polvo, bebidas o en barras.

Las formulaciones de los suplementos desarrollados por el grupo de Ingeniería de Proceso están basadas en harinas de cereales y leguminosas y su producción se ha realizado con la ayuda de dispositivos independientes que aseguran el tratamiento previo realizado a cada uno de los cereales y leguminosas.

Con la finalidad de mejorar la producción, se requiere desarrollar un sistema automático que permita al usuario introducir el grano entero y se obtenga harina con un tamaño de partícula homogéneo para posteriormente realizar la dosificación deseada, lo que simplifica la intervención del usuario y asegura la adquisición del material apropiado en cada formulación.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

En este capítulo se dará una breve descripción de los sistemas que existen para llevar a cabo las tareas de molienda, tamizado y dosificado. Cada configuración dispone de los elementos mecánicos y/o eléctricos electrónicos que permiten el proceso adecuado de los materiales tratados a cada una de las necesidades que se presentan en la actualidad.

### 1.1 Tipos de molino

La generación de polvo es la operación mecánica más antigua para la reducción de tamaño de materiales sólidos y un importante paso en muchos procesos donde materiales crudos se convierten en productos intermedios o finales. Los propósitos de la generación de polvo son reducir el tamaño, incrementar el área de superficie y liberar los materiales empleados de sus matrices y recientemente se involucra en la modificación de la superficie de sólidos, la preparación de la composición de los materiales y el reciclaje de componentes útiles de los desechos industriales. El mecanismo de la reducción de tamaño de sólidos está basado en la fractura de una partícula simple y su recolección durante su operación. <sup>[1]</sup>

El molino es un mecanismo que sirve para moler granos y semillas utilizando energía eólica, hidráulica o eléctrica. <sup>[2]</sup> Existen diferentes tipos de configuraciones de molinos (Figura 1.1), los más comunes son los siguientes:

- *Molino de rodillos.* Están constituidos por dos rodillos que giran en la misma dirección a diferente velocidad, reduciendo el tamaño de las partículas por compresión y corte. Los rodillos pueden ser lisos o corrugados, estriados o en dientes de sierra para facilitar la acción cortante. (Figura 1.1, inciso a).
- *Molino de martillo.* Consiste en un eje giratorio con martillos rígidos u oscilantes montados que giran con rapidez golpeando y fragmentando el

material introducido. El tamaño de las partículas es regulado por la velocidad de operación, tipo y cantidad de martillos. (Figura 1.1, inciso b).

- *Molinos Cortantes*. Son útiles para reducir el tamaño de las partículas de materiales fibrosos, actúan mediante la combinación de corte y desgarro. Poseen un rotor horizontal que tiene montado una serie de cuchillas que gira dentro de una caja con un lecho de cuchillas fijas. (Figura 1.1, inciso c).
- *Molinos de atrición o de muelas*. Estos molinos emplean dos placas amoladoras de piedra o de acero, donde una o ambas giran para producir la molienda. Los molinos de atrición son adecuados para materiales friables o de dureza mediana que fluyen con libertad. La reducción del tamaño de partículas se controla mediante la modificación de la velocidad de rotación de los discos, el espacio entre ambos y la geometría de su superficie. (Figura 1.1, inciso d).
- *Molino de guijarros o bolas*. Funcionan por tracción e impacto y la molienda se efectúa colocando la sustancia en unos jarros o recipientes cilíndricos revestidos de porcelana que contiene guijarros o bolas de pedernal, porcelana, acero o acero inoxidable que giran horizontalmente sobre su eje mayor, al girar los guijarros o bolas caen unos sobre otros y contra los costados del cilindro, se produce pulverización presentando una pérdida mínima del material. La molienda con bolas es un proceso muy lento. (Figura 1.1, inciso e).

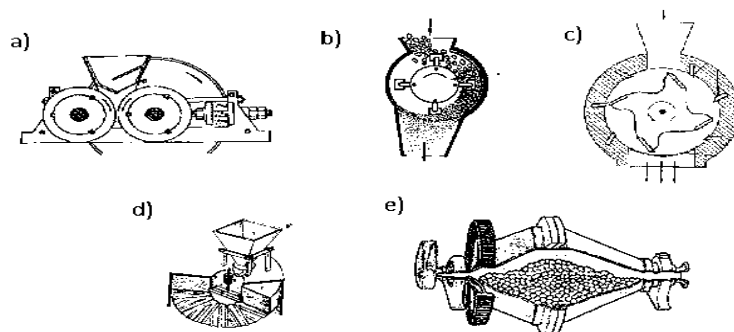


Figura 1.1 Tipos de Molinos: a) Molino de rodillos, b) Molino de martillos, c) Molino cortante, d) Molino de muelas, e) Molino de bolas. Imágenes recuperadas de internet. <sup>[8]</sup>

## 1.2 Tipos de tamiz

Las harinas producidas por los molinos se someten a un proceso de tamizado para mantener un tamaño de partícula controlado. El proceso consiste en hacer pasar el material a través de una malla de abertura conocida y separar la materia de mayor tamaño de partícula al deseado. Un tamiz generalmente está constituido por un recipiente cilíndrico, abierto en un extremo y cerrado por tela o lámina con un mallado de abertura definida en el extremo opuesto. Para optimizar la operación del tamiz se emplean mecanismos que generan una rotación, un vaivén o una vibración. A continuación se describe la clasificación de tamices <sup>[3]</sup> según el propósito de uso (Figura 1.2):

- *Separadores primarios.* Separan los materiales de mayor volumen, su construcción es robusta y son los primeros en manejar el material proveniente de bancos de extracción. Se caracterizan por ser tamices de malla muy grande. (Figura 1.2, inciso a).
- *Tamices de tableros.* Constan de dos o más tamices colocados “en serie” uno sobre otro. El tamiz situado en la parte superior es aquel con mayor tamaño de malla, separa el material en diferentes tamaños deslizando sobre su superficie el material que no pasa hacia canaletas. Este tipo de arreglo es utilizado en el campo, en las minas o en bancos de materiales y se puede modificar su configuración según el material que se desea producir. (Figura 1.2, inciso b).
- *Tamices vibratorios.* Esta configuración combina la fuerza de gravedad con una vibración forzada. La vibración se produce con ayuda de un motor de combustión, un sistema electrónico u otro tipo de fuerza aplicada mediante un mecanismo que agitan el material que se encuentra sobre la rejilla separando las partículas. Los elementos mecánicos que son utilizados para esta configuración incluyen levas, flechas excéntricas, topes, contrapesos y volantes desequilibrados. (Figura 1.2, inciso c).

- *Tamices giratorios.* Generalmente son cilindros de tela de alambre o placas perforadas que giran. El material es colocado en el extremo superior del cilindro y es arrastrado por un costado hasta que por gravedad su peso vence la adherencia, la fuerza centrífuga y cae al fondo. (Figura 1.2, inciso d).
- *Tamices con movimiento de vaivén.* Son de forma rectangular y se encuentran suspendidos en apoyos sueltos o flexibles, se mueven longitudinalmente conectándole varillas u otros excéntricos. El material se coloca en el extremo superior deslizándose hacia abajo, las partículas pequeñas caen a través del tamiz y las que no pasan se dirigen hasta el otro extremo. (Figura 1.2, inciso e).

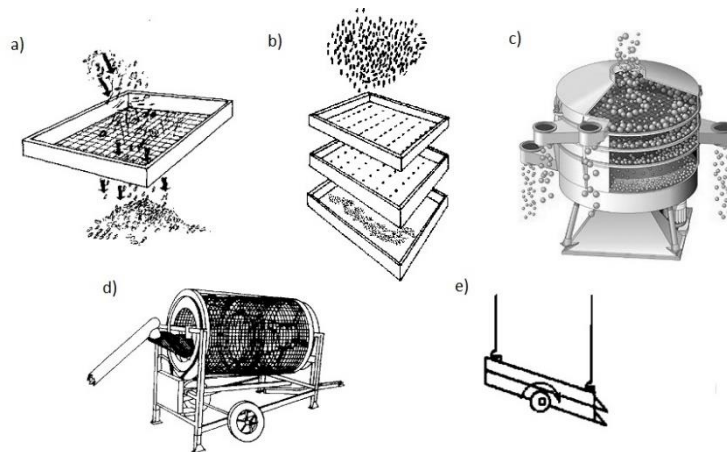


Figura 1.2 Tipos de tamices: a) Separador primario, b) Tamiz de tableros, c) Tamiz vibratorio, d) Tamiz giratorio, e) Tamiz de vaivén. Imágenes recuperadas de internet.

### 1.3 Tipos de Dosificador

El suministro de cantidades de masa constantes de las harinas utiliza un dosificador volumétrico que está constituido por una tolva de entrada de producto que puede ser alimentada de forma manual o automática, dentro de ella se acciona un mecanismo que se encarga de transportar la materia hacia una tolva de descarga. [4] Las configuraciones de dosificadores (Figura 1.3) son las siguientes:

-*Tornillo Dosificador*. Su configuración consiste en un tornillo, una cubierta y un motor. Al girar el tornillo el material es transportado desde la tolva de alimentación hasta un ducto de salida en la estructura. La geometría de los tornillos depende de los patrones de flujo deseados en la tolva de alimentación. El tornillo dosificador presenta una buena linealidad en el incremento de la velocidad del motor y la velocidad del dosificador. (Figura 1.3, inciso a).

-*Dosificador de plato*. Cuenta con un plato giratorio, una pala estática y un motor. La posición del plato puede ser modificada para variar la velocidad de dosificación, también puede ser cambiada al ajustar la velocidad angular del plato. La inclinación de la tolva y la posición de la paleta pueden afectar los patrones de flujo. Para polvos cohesivos no es recomendable, pues se generan flujos inconsistentes. (Figura 1.3, inciso b).

- *Dosificador de banda*. Se emplea una banda sin fin que transporta el polvo desde la tolva hasta el extremo de la banda. Este tipo de dosificador se combina con celdas de carga para operar como un dosificador con control de peso. La velocidad de dosificación se ajusta con la velocidad lineal de la banda o con la abertura de la compuerta de la tolva. Para trabajar con polvos finos, se utilizan cámaras que cubren la banda para evitar que los polvos escapen al ambiente. (Figura 1.3, inciso c).

-*Dosificador de cono*. Se emplea para un flujo constante en cascada de materiales granulados. Consta de un cono horizontal rotatorio con una tolva integrada de diámetro mayor del cono para el abastecimiento del material, así la descarga se realiza por el diámetro menor del cono. El cono es parcialmente llenado con material, la rotación del cono es muy lenta para ocasionar que el material adopte un ángulo natural de reposo con el cono y fluya hacia la descarga y provoque un movimiento en cascada. (Figura 1.3, inciso d).

-*Dosificador vibratorio*. Este tipo de dosificador utiliza un control electromecánico, o electromagnético para generar la vibración que transporta de manera pasiva el polvo por un canal inclinado. La vibración se selecciona lo más cercana a la frecuencia de resonancia. (Figura 1.3, inciso e).

-*Dosificador de válvula*. Emplea válvulas de paso, compuertas de corte, válvulas de alerta, interruptores vibratorios o cerradura de tolvas. Se usa para el control del flujo libre del polvo y la válvula es modificada para prevenir la obstrucción del polvo mismo. (Figura 1.3, inciso f).

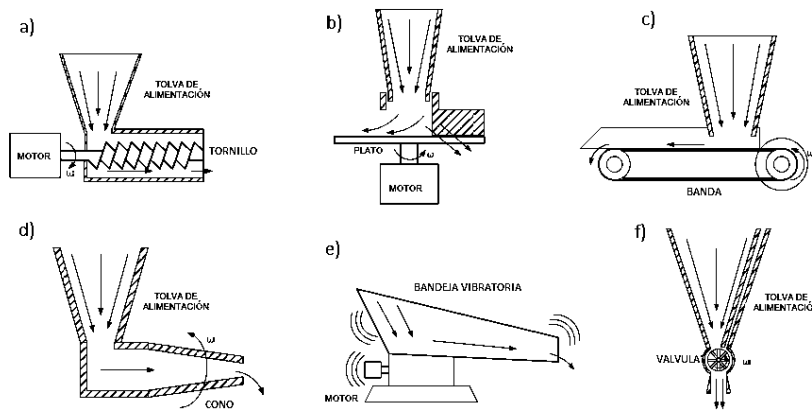


Figura 1.3 Configuraciones de dosificadores: a) Dosificador de tornillo, b) Dosificador de plato, c) Dosificador de banda, d) Dosificador de cono, e) Dosificador vibratorio, f) Dosificador de válvula. [4]



## 1.4 Objetivos

### *Objetivo general*

- Diseñar y construir un prototipo para la molienda, tamizado y dosificado de productos a granel para obtener harinas de suplementos alimenticios.

### *Objetivos específicos*

- Desarrollar un sistema de molienda de cereales y leguminosas a granel.
- Desarrollar un sistema de tamizado de cereales y leguminosas a granel.
- Desarrollar el sistema de control e interfaz de operación.
- Ensamblar y caracterizar la operación del prototipo con leguminosas y cereales.
- Caracterizar el sistema dosificación de las harinas.

# CAPÍTULO II

## Método y Materiales

En este capítulo se describen los sistemas que componen al prototipo: molienda, tamizado y dosificado. Se describen las pruebas realizadas a distintas configuraciones para la selección de los elementos mecánicos de cada subsistema, así como una breve muestra de los elementos electrónicos de control.

### 2.1 Descripción del sistema

El sistema consta del sistema A y el sistema B mostrados en la figura 2.1. El sistema A, se compone de una tolva de alimentación donde se ingresa el ingrediente que se desea procesar en el punto número 1, luego se conecta con los elementos de trituración en la sección 2 “molienda” seguido del proceso de “tamizado” indicado en la parte número 3 y finalmente el producto producido se recolecta por medio de un recipiente contenedor indicado en el número 4. El sistema B, cuenta con una tolva de alimentación marcada en el número 5 para el suministro del producto obtenido por el sistema A, se produce el dosificado indicado en el punto 6, por último, se cuenta con un contenedor marcado en el punto 7 que recibe la producción final.

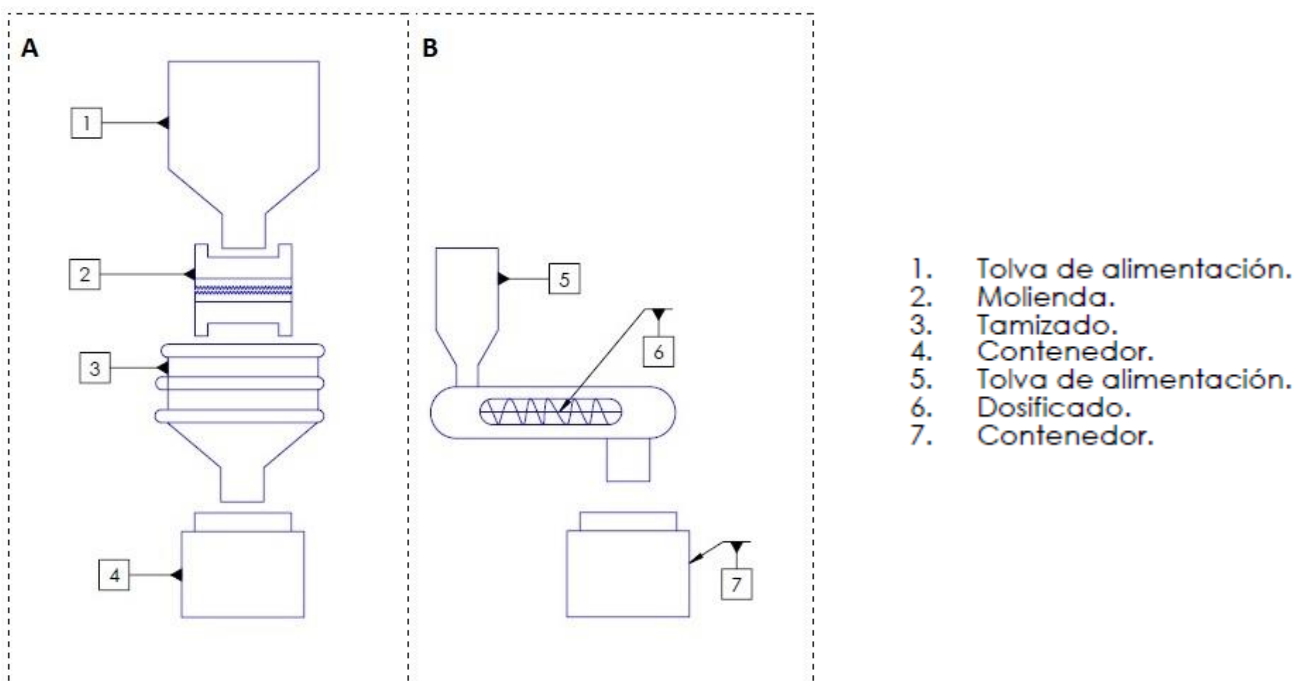


Figura 2.1 Elementos principales del sistema: A. Sistema de molienda y tamizado y B. Sistema dosificador.

## 2.2 Sistema de molienda y tamizado

### 2.2.1 Sistema de molienda

El sistema de molienda se seleccionó a partir de la comparación entre tres sistemas convencionales de molienda (Figura 2.2); molino de aspas para café, molino de discos para nixtamal y molino de discos (muelas) para café. A continuación se presenta una breve descripción del proceso.

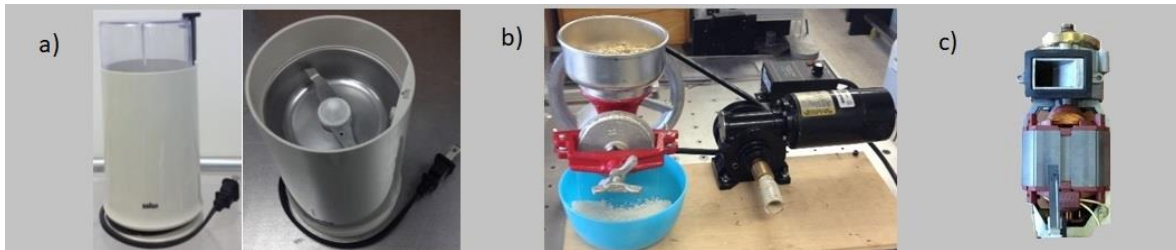


Figura 2.2 Sistemas convencionales de molienda: a) Molino de aspas para café, b) Molino de discos para nixtamal y c) Molino de muelas para café.

#### ○ Molino de aspas para café

La principal característica del molino de aspas (destinado originalmente para granos de café) consiste en triturar el grano por medio de una cuchilla que se encuentra unida a la flecha de un motor dentro de su cámara de molienda y que por medio de un botón de accionamiento manual se inicia el proceso, el sistema detiene su funcionamiento al dejar de oprimir dicho botón. (Figura 2.2, inciso a).

#### ○ Molino de discos para nixtamal

Esta configuración consta de dos discos estriados encontrados verticalmente que se encargan de moler el grano, la materia es ingresada por medio de un tornillo sin fin el cual es rotado a través de un sistema de transmisión por dos poleas y una banda en V con un motor DC de .13 Hp y que se encuentra conectado a un controlador de velocidad para definir el par requerido para efectuar la molienda (Figura 2.2, inciso b). El sistema se alimenta desde una tolva que se encuentra ligada al área donde se encuentra el tornillo que transporta el grano hasta depositarlo entre los discos para ser triturado y recolectado. Se observa que

algunos granos de menor tamaño quedaron alojados en el fondo de la estructura donde se encuentra el tornillo dosificador obligando a desmontar los elementos del molino para su limpieza.

○ Molino de muelas para café

La tercera configuración evaluada consiste en un molino de muelas para granos de café (Figura 2.2, inciso c). El sistema cuenta con una cámara donde se encuentran dos muelas o discos estriados que se encargan de triturar el grano con la ayuda de un motor AC 120 V/60 Hz el cual es accionado a través de un interruptor, éste ejerce el par necesario para llevar a cabo la molienda. La harina producida es arrojada a través de una ranura de escape que guía la salida de materia por una tolva hacia un contenedor.

Los tres molinos se sometieron a pruebas de molienda con avena, frijol y lenteja. Las características a comparar son: número de iteraciones, masa obtenida y tiempo de proceso. En las tablas 2.1 y 2.2 se observan los resultados obtenidos.

En la tabla 2.1 se puede apreciar la cantidad en masa que se obtiene por cada una de las configuraciones empleadas, siendo el molino de muelas el que entrega mayor cantidad del producto triturado en menor número de iteraciones y menor tiempo con respecto a las otras dos configuraciones.

*Tabla 2.1 Resultados de molienda realizadas con tres configuraciones de molinos: aspás, poleas y muelas.*

Tipo de Molino	Cereal/Leguminosa	Operaciones	Entrada [Kg]	Salida [Kg]	Pérdida [Kg]	Tiempo [min]	% OBTENIDO
ASPAS	FRIJOL	3	0.308	0.302	0.006	04:42	98.05194805
POLEAS	FRIJOL	5	0.612	0.596	0.016	27	97.38562092
MUELAS	FRIJOL	1	0.2	0.196	0.004	04:12	98
ASPAS	AVENA	3	0.4	0.4	0	02:45	100
POLEAS	AVENA	6	0.31	0.308	0.002	16:45	99.35483871
MUELAS	AVENA	1	0.135	0.135	0	00:59	100
ASPAS	LENTEJA	3	0.236	0.23	0.006	02:47	97.45762712
POLEAS	LENTEJA	6	0.582	0.572	0.01	21:57	98.28178694
MUELAS	LENTEJA	1	0.388	0.374	0.014	02:32	96.39175258

La tabla 2.2 muestra la cantidad de harina que se obtiene al tamizar el producto proveniente de los molinos evaluados, resaltando en amarillo el porcentaje logrado con el material producido por el molino de muelas, que entrega un tamaño de partícula ideal para la realización de las formulaciones nutrimentales.

Tabla 2.2 Resultados de harina obtenida con tres configuraciones de molinos: aspás, poleas y muelas.

Tipo de Molino	Cereal/Leguminosa	Entrada [Kg]	Salida [Kg]	Harina [Kg]	Sobranante [Kg]	% OBTENIDO
ASPAS	FRIJOL	0.308	0.302	0.19	0.112	62.91390728
POLEAS	FRIJOL	0.612	0.596	0.532	0.064	89.26174497
MUELAS	FRIJOL	0.2	0.196	0.19	0.006	96.93877551
ASPAS	AVENA	0.4	0.4	0.2	0.2	50
POLEAS	AVENA	0.31	0.308	0.256	0.052	83.11688312
MUELAS	AVENA	0.135	0.135	0.124	0.011	91.85185185
ASPAS	LENTEJA	0.236	0.23	0.156	0.074	67.82608696
POLEAS	LENTEJA	0.582	0.572	0.522	0.05	91.25874126
MUELAS	LENTEJA	0.388	0.374	0.358	0.016	95.72192513

El molino de muelas es el ideal para la construcción del sistema de molienda deseado para la elaboración de las harinas.

La configuración del sistema es (Figura 2.3, Anexo 1):

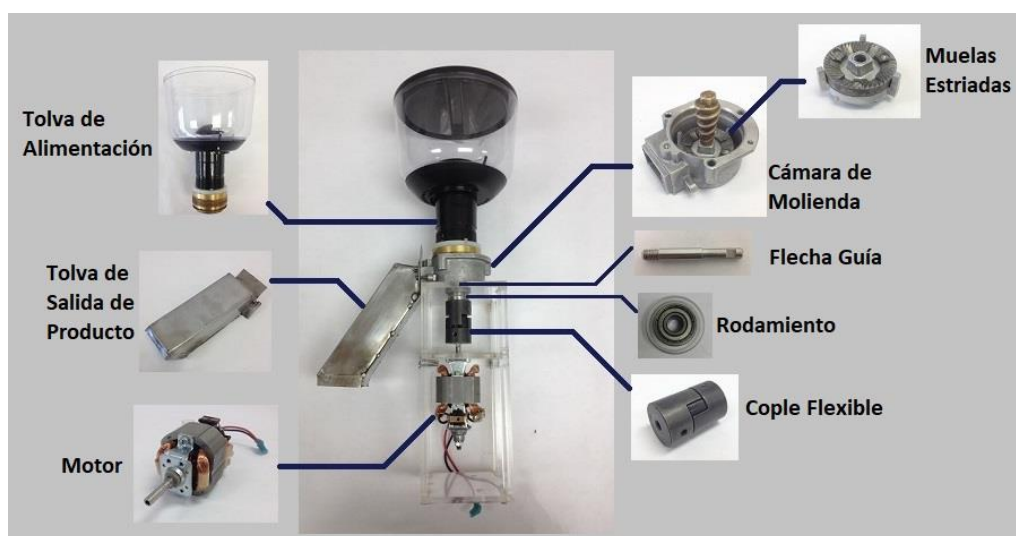


Figura 2.3 Elementos principales del sistema de molienda.

Los elementos del sistema de molienda son:

- Tolva de Alimentación de acrílico con capacidad para 700 g. La tolva se encuentra unida al soporte de la muela superior fabricado en latón con 25 mm de largo, diámetro interior de 43.1 mm y diámetro externo de 53.2 mm. El soporte está roscado al exterior para realizar el ajuste de distancia entre las muelas y establece la conexión entre la tolva y la cámara de molienda.
- Dos muelas dentadas de acero inoxidable con diámetro exterior de 43 mm y 25 mm de diámetro interior con un grosor de 6.35 mm.
- Tornillo sin fin de latón de 50 mm de largo, cuerda derecha con giro horario.
- Flecha guía de la muela inferior fabricada en aluminio con 52.24 mm de largo, 7 mm de diámetro, con rosca exterior de 8.10 mm de largo y paso 1.
- Cámara de molienda fabricada en aluminio con diámetro interior de 53.3 mm y con una altura de 37.67 mm.
- Rodamiento axial de 18 mm de diámetro exterior, 6 mm de diámetro interior y grosor de 6 mm.
- Cople flexible de 5 mm de diámetro interior, 15.8 mm de diámetro exterior y 14.22 mm de largo.
- Motor AC 127 V/60 Hz con flecha de 23 mm de largo y 6 mm de diámetro.
- Tolva de salida del producto fabricada en acero inoxidable 308.

El ajuste de la distancia entre las muelas se obtiene girando en sentido horario la tolva de alimentación donde se ingresa el material a procesar. Al accionar el motor, el tornillo sin fin que se encuentra en el extremo de la flecha arrastra el producto hacia la cámara de molienda mientras que la muela inferior gira triturando el material que es guiado hacia el ducto de salida donde se encuentra colocada la tolva de salida.

### 2.2.2 Sistema de tamizado

El sistema de tamizado en uso por el usuario (Figura 2.4) se sustituye por un arreglo de tamices en línea (Figura 2.5).



Figura 2.4 Tamiz de gatillo.



Figura 2.5 Elementos principales del sistema de tamizado.

Los elementos que conforman el sistema de tamizado son:

- Dos Tamices de pruebas físicas de acero inoxidable del número 35 y 40 de 84 mm de diámetro exterior, 76 mm de diámetro interior y 48 mm de altura con un mallado de 0.5 mm y 0.42 mm de abertura.
- Embudo cilíndrico de acero inoxidable de 84 mm de diámetro exterior, 76 mm de diámetro interior y 57 mm de altura.
- Dos tornillos de 6.35 x 88.9 mm (0.25 24 UNC) para el ajuste de alineación.
- Dos tuercas de 6.35 mm (0.25 24 UNC).

- Motor DC de 12 V con masa excéntrica en el extremo de sus flechas.
- Cuatro resortes de tensión de 30.86 mm de largo por 10.50 mm de ancho.

En la Figura 2.5 se muestra el sistema de tamizado que consta de dos tamices colocados uno sobre otro y un embudo cónico. El producto ingresado es discriminado por medio de la vibración (Anexo 2) producida por un motor con masa excéntrica realizando la separación de materia de manera automática evitando el contacto con el operador del equipo. Los tamices seleccionados son los del número 40 y 35 para asegurar la correcta separación de partículas, en el tamiz central (no. 40) se encuentra el motor que produce las vibraciones en la superficie de trabajo. El tamiz superior (no. 35) cuenta con cuatro ganchos para sujetar el módulo a la estructura general por medio de resortes de tensión comerciales que favorecen efecto de vibración. Finalmente, el material que pasa por los tamices cae por el embudo hacia un recipiente contenedor.

### **2.2.3 Prototipo del sistema de molienda y tamizado**

La Figura 2.6 muestra la estructura general del prototipo de molienda y tamizado (Anexo 3), que soporta a los sistemas de molienda y de tamizado para realizar los procesos de trituración y separación del material de manera simultánea y continua, depositando el producto final en un contenedor. Además, la estructura permite retirar los elementos del prototipo para que la molienda y el tamizado se puedan llevar a cabo de manera independiente.



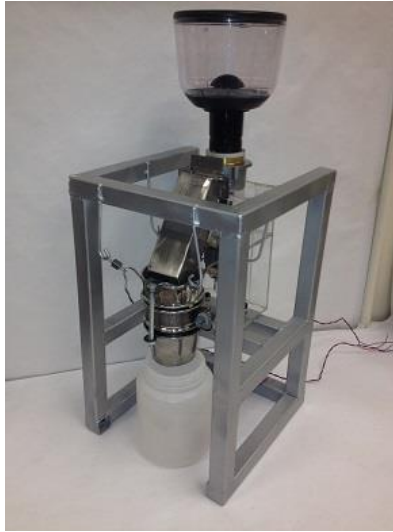


Figura 2.6 Sistema de molienda y tamizado.

### 2.3 Sistema dosificador

Se cuenta con un sistema dosificador (Figura 2.7) para la realización de pruebas con las harinas producidas por el sistema de molienda y tamizado. El sistema cuenta con una tolva de alimentación donde se ingresa el material que se desea dosificar, con ayuda de un motor DC a 12 V la harina es transportada por medio de un tornillo sin fin y es llevada hacia el ducto de salida del sistema donde el producto es guiado hacia un recipiente contenedor.

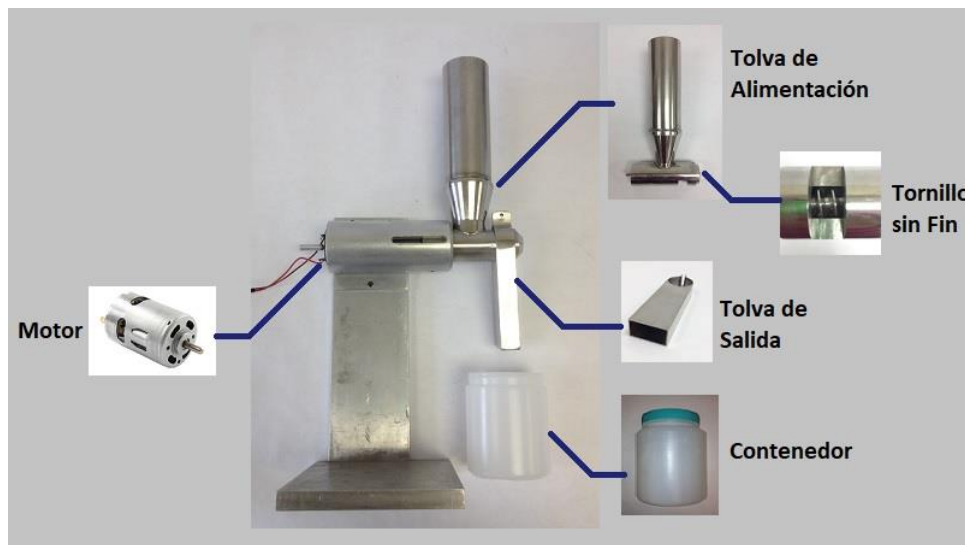


Figura 2.7 Elementos principales del sistema dosificador.

Los elementos que conforman el sistema dosificador son:

- Tolva de alimentación cilíndrica con capacidad para 100 g.
- Tornillo sin fin fabricado en acero inoxidable con cuerda derecha y giro antihorario.
- Tolva de salida rectangular de acero inoxidable.
- Motorreductor DC 12 V.
- Recipiente contenedor de plástico con capacidad para 250 g.

## 2.4 Sistema electrónico

El sistema electrónico (Figura 2.8) permite la activación y control de los elementos eléctricos-electrónicos que componen al sistema de molienda y tamizado. Se encarga de interpretar la señal que el usuario envía a través de una interfaz de comunicación con el sistema.

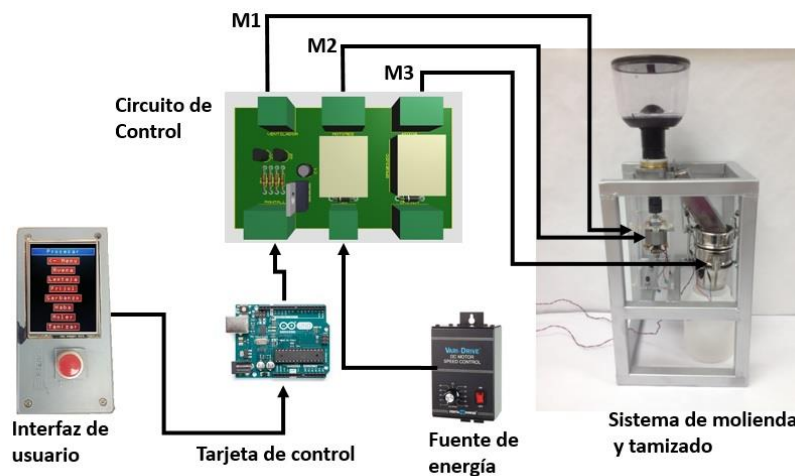


Figura 2.8 Esquema de la electrónica de operación. M1: Motor de molino. M2: Motor de tamizado. M3: Ventilador de enfriamiento.

### ○ Microcontrolador

El microcontrolador es un *ATmega328P* programado en la placa *ARDUINO UNO* (Figura 2.9). Se puede programar mediante una conexión USB a una computadora,

cuenta con 14 pines digitales de entrada/salida (6 pueden ser usadas como salidas PWM), 6 analógicas, un cristal de cuarzo de 16 MHz, un botón de reinicio y un conector de alimentación. La tensión de funcionamiento del microcontrolador es de 5-12 VDC y cuenta con salidas de voltaje de 3.3 y 5 VDC con corriente máxima de 50 mA. (Anexo 4).



Figura 2.9 Tarjeta ARDUINO UNO con microcontrolador ATmega328P.

- Pantalla táctil

La pantalla resistiva de 4 hilos táctil de 2.8" es compatible con la tarjeta ARDUINO UNO (Figura 2.10). El transistor de película delgada (TFT por sus siglas en inglés) se basa en el controlador ST7781R con datos de 8 bits e interfaz de control de 4 bits. Cuenta con una resolución de 240 x 320 pixeles y 262,000 colores, con luz de fondo LED.



Figura 2.10 Pantalla táctil 2.8" Touch Shield V1.0.



Figura 2.11 Motor del Sistema de Molienda.

- Motor AC

El motor AC 127 V/60 Hz (Figura 2.11), se utiliza para el sistema de molienda, la alimentación es de 40 a 75 VDC y un consumo de corriente máxima de 1.8 A. Cuenta con una flecha de 6 mm de diámetro y 23 mm de largo.

- Motor DC con masa excéntrica

El sistema de tamizado cuenta con un motor de masa excéntrica. El diámetro de la flecha es de 2 mm y en su extremo se encuentra una masa de 5.3 g. (Figura 2.12). Se alimenta a 12 VDC y consume 250 mA de corriente.



Figura 2.12 Motores con masa Excéntrica.



Figura 2.13 Relevador SRD-05VDC-SL-C.

- Relevadores

El relevador de la serie *SRD-05VDC-SL-C* (Figura 2.13) opera como interruptor en la alimentación de los motores y protege la electrónica de baja potencia. Cada relevador cuenta con 5 pines de conexión, con bobina activada a 5 V y un rango de 10 A/250-110 VDC en el contacto normalmente abierto, mientras que en el contacto normalmente cerrado tiene un rango de 10 A/30 VDC. (Anexo 5). Su expectativa de vida es de hasta 100,000 accionamientos.

- Controlador de velocidad

El controlador de velocidad *VARI-DRIVE* modelo *KBWM-120* (Figura 2.14) cuenta con una entrada de 115 VAC @50/60 Hz y una salida con un rango de 0-90 VDC y corriente máxima de 3.5 A. (Anexo 6).



Figura 2.14 Controlador de Velocidad VARI-DRIVE.



Figura 2.15 Ventilador de Enfriamiento.

- Ventilador de enfriamiento

El ventilador de enfriamiento se alimenta a 12 V (Figura 2.15), previene el sobrecalentamiento del motor prolongando su tiempo de operación.

### 2.4.1 Circuito de control

El circuito de control se muestra en la figura 2.16 y 2.17, está conformado por dos relevadores SRD-05VDC-SL-C que permiten o interrumpen la alimentación de los motores de molienda y de tamizado, cada relevador cuenta con protección por un diodo 1N4001 y se activan tras la polarización de un transistor BC547 provocada por la señal recibida por el microcontrolador y la interfaz de usuario (Anexo 7). La conmutación del relevador que alimenta al motor del molino es suministrada por el controlador de velocidades mientras que el relevador que proporciona la energía a los motores de los tamices se obtiene de una fuente de alimentación de 12 V.

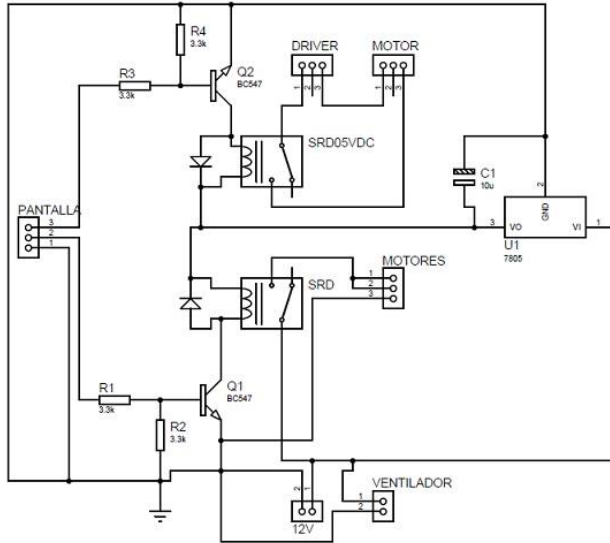


Figura 2.16 Esquema del circuito de control.

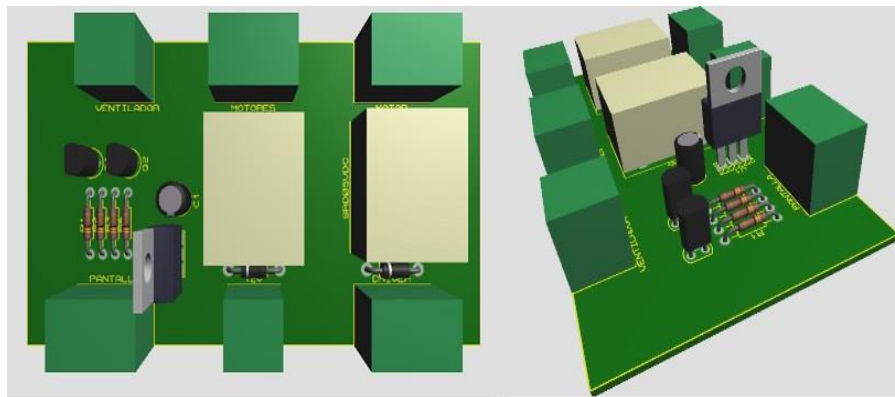


Figura 2.17 Modelo 3D del circuito de control.

## 2.4.2 Diagrama de flujo

La figura 2.18 muestra el diagrama de flujo para el desarrollo de la interfaz de usuario y la programación del microcontrolador. Se representa el algoritmo de las acciones que se deben ejecutar para la operación del equipo.

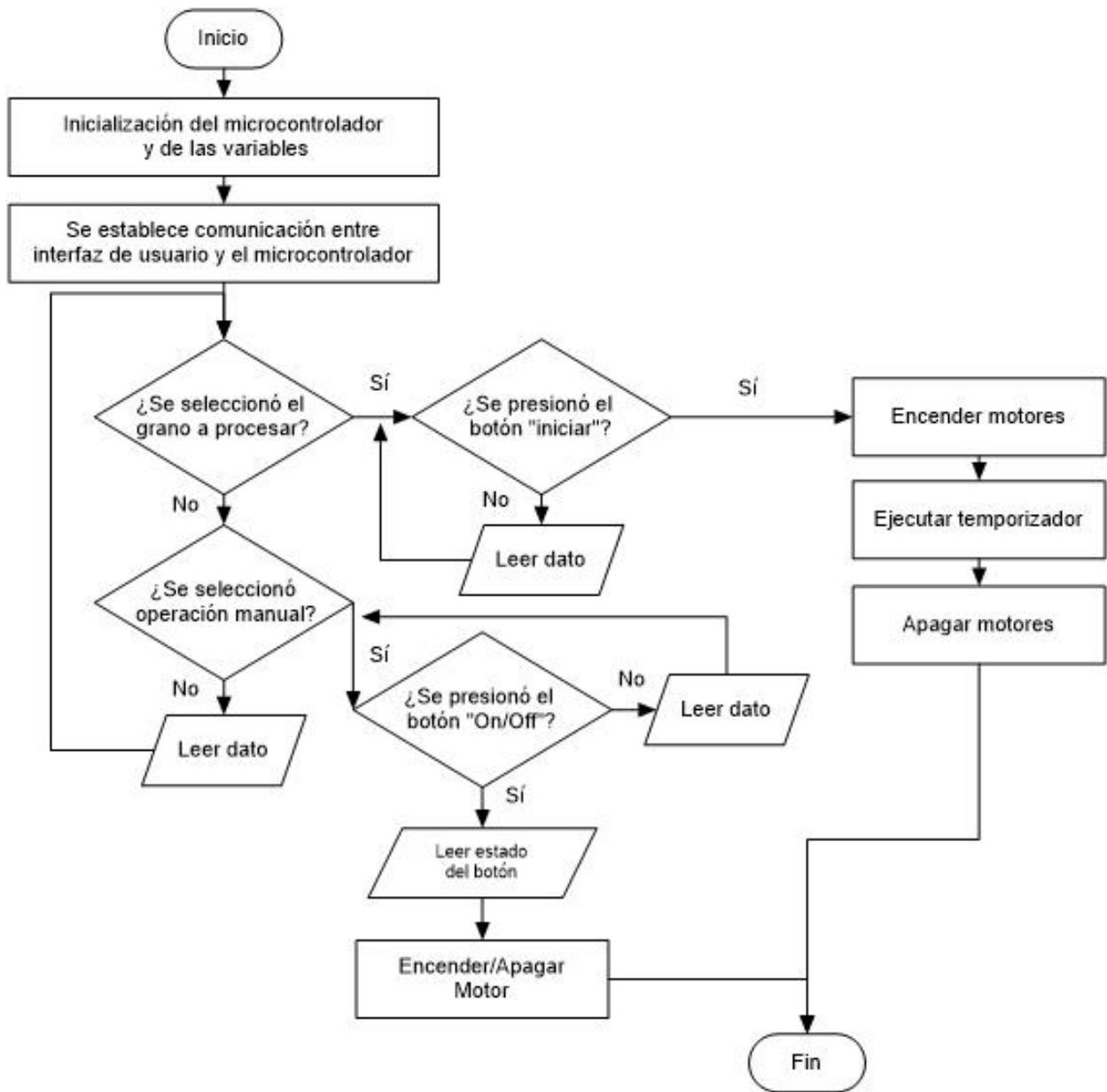


Figura 2.18 Diagrama de flujo del programa.

### 2.4.3 Interfaz de usuario

La interfaz de usuario se realizó en el entorno de desarrollo de *ARDUINO* y con la pantalla táctil *2.8" TFT Touch Shield V1.0*. Se programó un menú principal de selección donde el usuario puede obtener información acerca del modo de operación del sistema, así como indicar el proceso que se desea llevar a cabo (Figura 2.19).

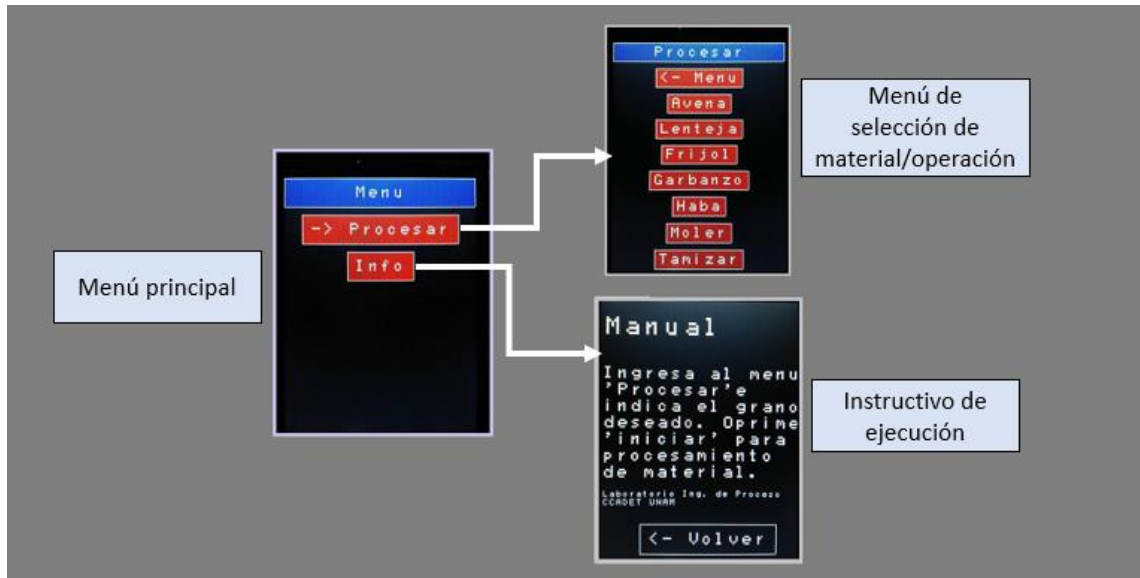


Figura 2.19 Menú principal y Submenús de la interfaz de usuario.

Dentro del menú “Procesar” se disponen cinco opciones de granos: avena, lenteja, frijol, garbanzo y haba, que pueden ser procesados por el equipo de manera automática al seleccionar y presionar el botón “Iniciar”. Para cada grano, el sistema tiene un tiempo preestablecido de operación para molienda y tamizado. Si se desean operar los procesos de manera independiente, el usuario cuenta con dos opciones dentro del mismo menú: “Moler” y “Tamizar”, al ingresar en la selección se cuenta con un botón “ON/OFF”, al presionarse por primera vez el sistema seleccionado comenzará a operar y detendrá su funcionamiento al presionar el botón por segunda ocasión (Figura 2.20).



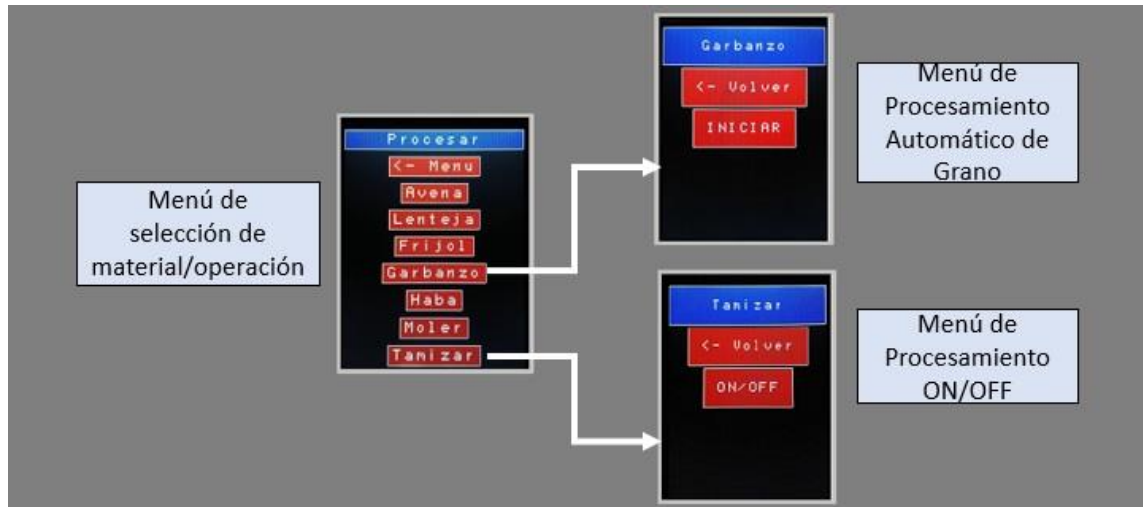


Figura 2.20 Menú de selección y operación del sistema.

Si ocurre alguna falla durante la operación del equipo, se cuenta con un botón externo de emergencia que al ser presionado interrumpe el proceso, reiniciando el sistema electrónico a su posición inicial (Figura 2.21).



Figura 2.21 Estructura de interfaz con botón de emergencia.

## CAPÍTULO III

### Resultados

En este capítulo se describen la caracterización y las condiciones de operación del equipo, así como los resultados de la caracterización del sistema dosificador.

#### 3.1 Caracterización e implementación del prototipo de molienda y tamizado

La secuencia de acciones que se deben seguir para la operación del equipo es:

1. Conectar el equipo a 110-127 VAC/60 Hz.
2. Realizar el ajuste de distancia entre las muelas girando la tolva de alimentación.
3. Si el proceso requiere tamizado, colocar los tamices y el sistema de vibración.
4. Colocar el recipiente en la posición de recolección.
5. Alimentar el sistema con la cantidad de material que se desea procesar.
6. Indicar el nivel requerido en el controlador de velocidad según el material ingresado.
7. Establecer el tipo de material a procesar en el menú de inicio de la pantalla.
8. Pulsar el botón "INICIAR" en el menú del grano seleccionado.

En la tabla 3.1 se observan las características de operación del equipo con cada grano. Se aprecia que la avena no requiere un tratamiento previo del material para moler y no necesita del sistema de tamizado. Se indican también el número de vueltas necesarias para realizar el ajuste de la distancia entre las muelas según el grano que se procesa en la sección de la tolva de alimentación, así como el tamaño máximo del material que el sistema es capaz de triturar ya que al ingresar partículas sólidas mayores a los indicados en la tabla el sistema presenta atascamiento, se advierte también el nivel de operación que debe marcar el indicador en el controlador de velocidad, el voltaje de trabajo para cada ingrediente es diferente; la avena y lenteja requieren una tensión eléctrica en el motor de 51 V y un consumo máximo de 1.21 A (Nivel 60 en controlador de

velocidad), mientras que el frijol, garbanzo y haba demandan una tensión de 59.7V con un consumo máximo de 1.36 A (Nivel 70 en el controlador de velocidad).

*Tabla 3.1 Características de operación del equipo.*

	<b>AVENA</b>	<b>LENTEJA</b>	<b>FRIJOL</b>	<b>GARBANZO</b>	<b>HABA</b>
<b>REQUIERE TRATAMIENTO PREVIO</b>	No	Sí	Sí	Sí	Sí
<b>TAMAÑO DE INGRESO (máx.)</b>	10x7x2	6x6x2	12x6x6	8x7x8	10x6x4
<b>REQUIERE TAMIZADO</b>	No	Sí	Sí	Sí	Sí
<b>AJUSTE DE MUELAS (vueltas)</b>	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
<b># NIVEL EN DRIVER</b>	60	60	70	70	70
<b>PRESENTA SOBRECALENTAMIENTO DE MOTOR EN MOLIENDA</b>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
<b>TIEMPO DE OPERACIÓN (minutos) POR CADA 180gr</b>	12.5	10	8.5	7.5	7.5
<b>PRESENTA ATASCAMIENTO POR TAMAÑO MAYOR AL DE INGRESO</b>	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Los datos que se presentan fueron obtenidos a partir de la operación del equipo bajo condiciones de trabajo definidas por un usuario (Figura 3.1), el equipo opera mediante la selección del ingrediente en la interfaz de usuario, al iniciar el proceso, se encienden simultáneamente los motores del molino y de los tamices, ambos con tiempos distintos de operación preestablecidos en la programación. El sistema de molienda es desactivado al cumplir su ciclo de trabajo, mientras que los motores del sistema de tamizado siguen operando hasta terminar de separar la materia en su totalidad. Al término de cada ejecución se presenta sobrecalentamiento del motor del molino y se activa el ventilador de enfriamiento.

El sistema de tamizado cuenta con un tamaño de malla selectiva de 0.42 mm y separa los granos de frijol, lenteja, garbanzo y haba por presentar partículas con tamaño mayor al permisible por los tamices después del proceso de molienda (Figura 3.2).

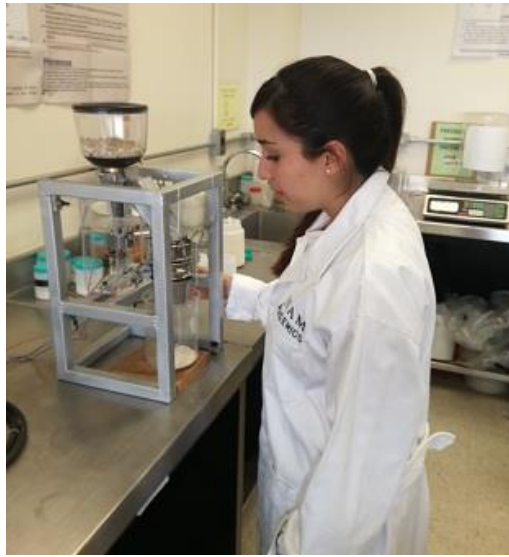


Figura 3.1 Prototipo operado por el usuario.

Grano	Entrada	Residuo   Harina
AVENA		
LENTEJA		
FRIJOL		
GARBANZO		
HABA		

Figura 3.2 Ingredientes antes y después de ser procesados por el prototipo.

En la tabla 3.2 se muestran los porcentajes obtenidos de harina en el sistema de tamizado por cada 50 g de masa depositado en el sistema. Por cada 180 g de material ingresado, el equipo tarda 12.5 min en procesar avena, en triturar y separar el grano de lenteja tarda 10 min, de frijol 8.5 min y de garbanzo y haba 7.5 min.

Tabla 3.2 Porcentaje de harina obtenido con el sistema de tamizado

	Entrada [g]	Harina [g]	Residuos [g]	% Harina Obtenido
<b>Lenteja</b>	50	37	13	74
<b>Frijol</b>	50	40	10	80
<b>Garbanzo</b>	50	40	10	80
<b>Haba</b>	50	43	7	86

En la figura 3.3 se puede observar el comportamiento del equipo por cada 180 g de ingrediente procesado a voltaje constante de 51 V para avena y lenteja y 59.7 V para frijol, garbanzo y haba. Las variaciones del comportamiento lineal ascendente se deben a las características físicas de los materiales.

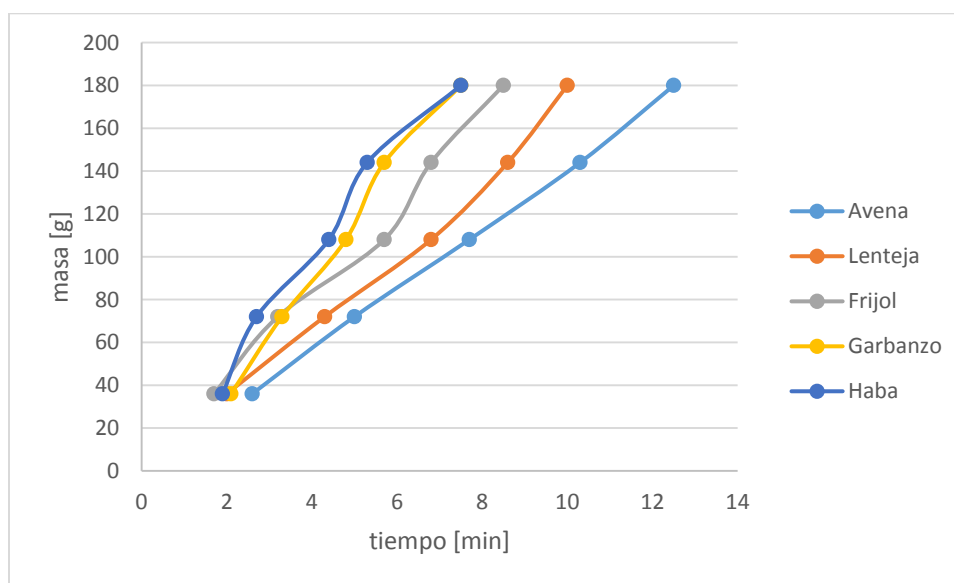


Figura 3.3 Comportamiento del equipo por cada ingrediente. Avena y lenteja a voltaje cte. de 51 V. Frijol, garbanzo y avena a voltaje cte. de 59.7 V.

### 3.2 Caracterización del sistema dosificador

La caracterización del sistema dosificador se llevó a cabo con las harinas de avena, lenteja y frijol. Se definieron tres voltajes para establecer la capacidad de dosificar el producto: V1 (6.45 V), V2 (8.22 V), y V3 (9.89 V). En las tablas 3.3, 3.4 y 3.5 se muestra el porcentaje de error para los distintos pesos por ingrediente utilizado y se puede observar a qué voltaje de trabajo se logra un mayor desempeño. Para definir la dosificación de la materia prima se determinaron las curvas características de tiempo vs masa que muestran un comportamiento lineal (ver figuras 3.4 a 3.9) y con cada una, se establece el peso deseado por cada elemento para que el sistema realice la dosificación en el tiempo indicado.

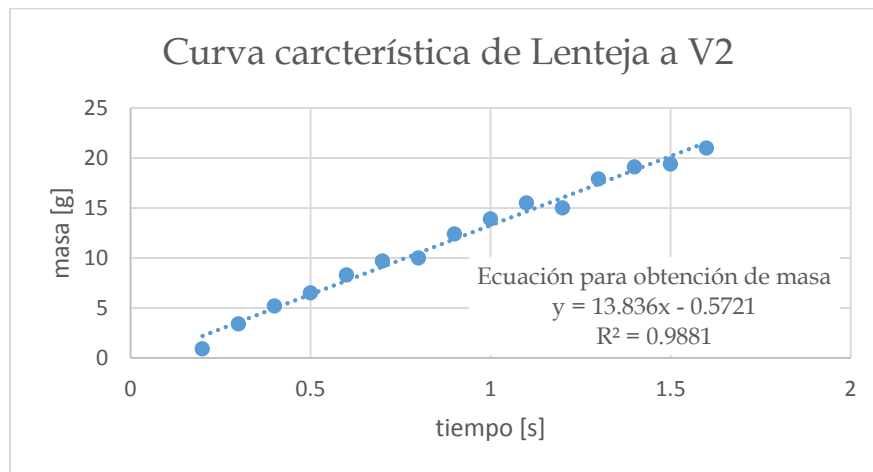


Figura 3.4. Curva característica de masa vs tiempo para lenteja a voltaje constante de 8.22 V.

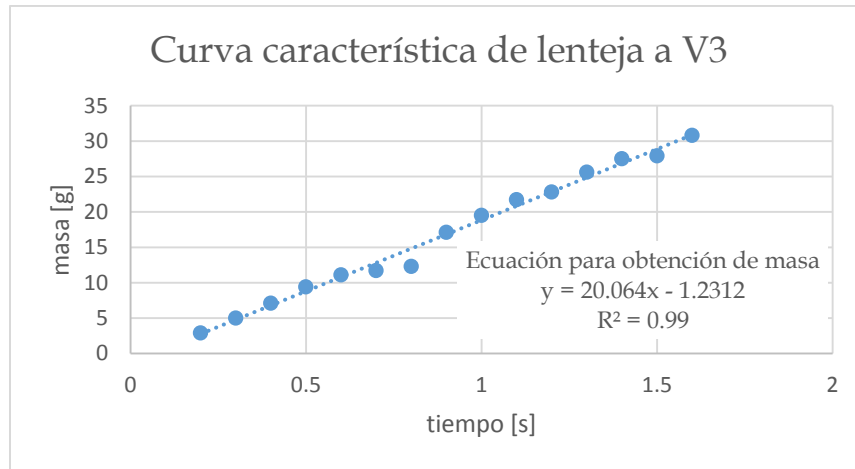


Figura 3.5 Curva característica de masa vs tiempo para lenteja a voltaje constante de 9.89 V.

Tabla 3.3 Resultados de pruebas de tiempo de dosificado y masa de lenteja entregada a tres voltajes distintos

LENTEJA									
Tiempo [s]	Voltaje 1			Voltaje 2			Voltaje 3		
	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error
0.2	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.9	2.1951	59.00	2.9	2.7816	4.26
0.3	No Aplica	No Aplica	No Aplica	3.4	3.5787	4.99	5	4.788	4.43
0.4	No Aplica	No Aplica	No Aplica	5.2	4.9623	4.79	7.1	6.7944	4.50
0.5	No Aplica	No Aplica	No Aplica	6.5	6.3459	2.43	9.4	8.8008	6.81
0.6	No Aplica	No Aplica	No Aplica	8.3	7.7295	7.38	11.1	10.8072	2.71
0.7	No Aplica	No Aplica	No Aplica	9.7	9.1131	6.44	11.7	12.8136	8.69
0.8	No Aplica	No Aplica	No Aplica	10	10.4967	4.73	12.3	14.82	17.00
0.9	No Aplica	No Aplica	No Aplica	12.4	11.8803	4.37	17.1	16.8264	1.63
1	No Aplica	No Aplica	No Aplica	13.9	13.2639	4.80	19.5	18.8328	3.54
1.1	No Aplica	No Aplica	No Aplica	15.5	14.6475	5.82	21.7	20.8392	4.13
1.2	No Aplica	No Aplica	No Aplica	15	16.0311	6.43	22.8	22.8456	0.20
1.3	No Aplica	No Aplica	No Aplica	17.9	17.4147	2.79	25.6	24.852	3.01
1.4	No Aplica	No Aplica	No Aplica	19.1	18.7983	1.60	27.5	26.8584	2.39
1.5	No Aplica	No Aplica	No Aplica	19.4	20.1819	3.87	27.9	28.8648	3.34
1.6	No Aplica	No Aplica	No Aplica	21	21.5655	2.62	30.8	30.8712	0.23

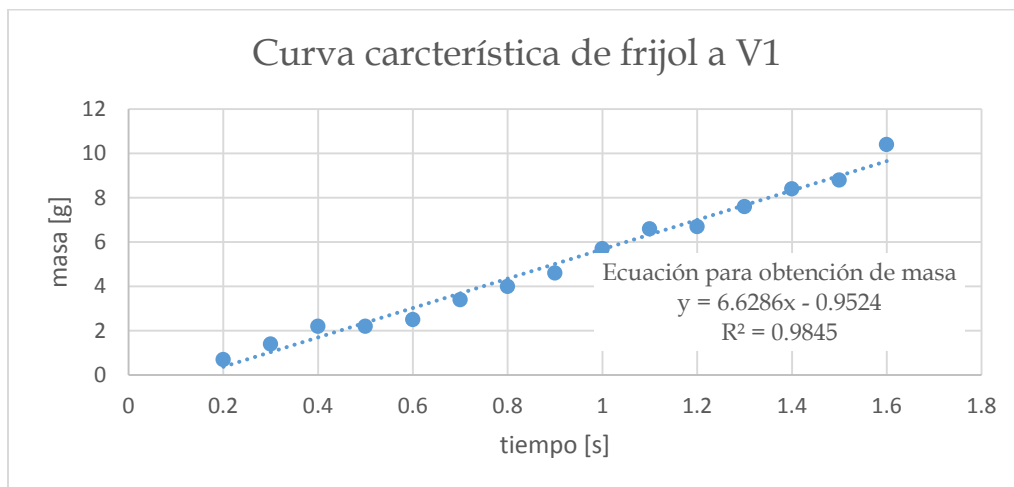


Figura 3.6 Curva característica de masa vs tiempo para frijol a voltaje constante de 6.45 V.

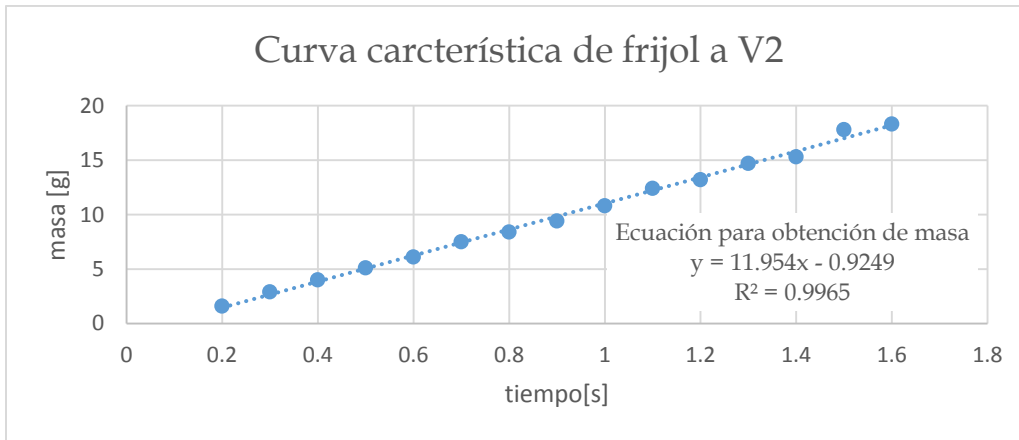


Figura 3.7 Curva característica de masa vs tiempo para frijol a voltaje constante de 8.22 V.

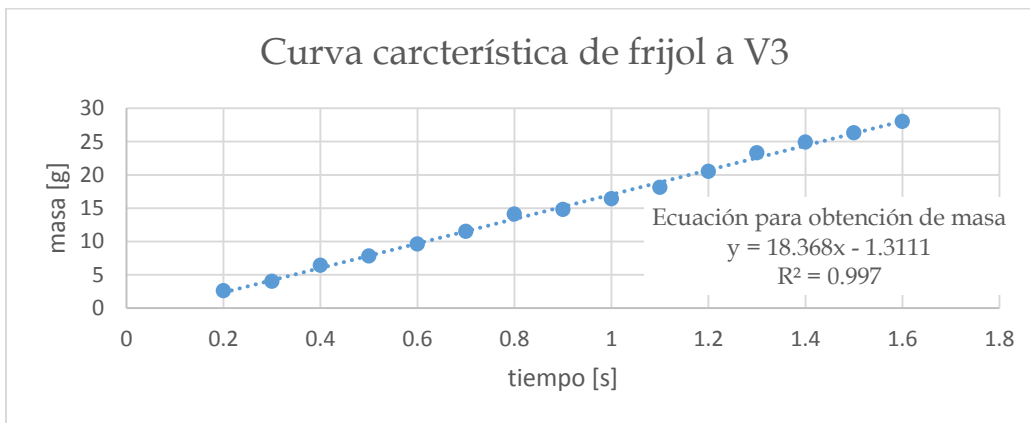


Figura 3.8 Curva característica de masa vs tiempo para frijol a voltaje constante de 9.89 V.

Tabla 3.4 Resultados de pruebas de tiempo de dosificado y masa de frijol entregada a tres voltajes distintos.

FRIJOL									
	Voltaje 1			Voltaje 2			Voltaje 3		
Tiempo [s]	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error
0.2	0.7	0.37332	87.51	1.6	1.4659	9.15	2.6	2.3625	10.05
0.3	1.4	1.03618	35.11	2.9	2.6613	8.97	4	4.1993	4.75
0.4	2.2	1.69904	29.48	4	3.8567	3.72	6.4	6.0361	6.03
0.5	2.2	2.3619	6.85	5.1	5.0521	0.95	7.8	7.8729	0.93
0.6	2.5	3.02476	17.35	6.1	6.2475	2.36	9.6	9.7097	1.13
0.7	3.4	3.68762	7.80	7.5	7.4429	0.77	11.5	11.5465	0.40
0.8	4	4.35048	8.06	8.4	8.6383	2.76	14.1	13.3833	5.36
0.9	4.6	5.01334	8.24	9.4	9.8337	4.41	14.8	15.2201	2.76
1	5.7	5.6762	0.42	10.8	11.0291	2.08	16.4	17.0569	3.85
1.1	6.6	6.33906	4.12	12.4	12.2245	1.44	18.1	18.8937	4.20
1.2	6.7	7.00192	4.31	13.2	13.4199	1.64	20.5	20.7305	1.11
1.3	7.6	7.66478	0.85	14.7	14.6153	0.58	23.3	22.5673	3.25
1.4	8.4	8.32764	0.87	15.3	15.8107	3.23	24.9	24.4041	2.03
1.5	8.8	8.9905	2.12	17.8	17.0061	4.67	26.3	26.2409	0.23
1.6	10.4	9.65336	7.73	18.3	18.2015	0.54	28	28.0777	0.28



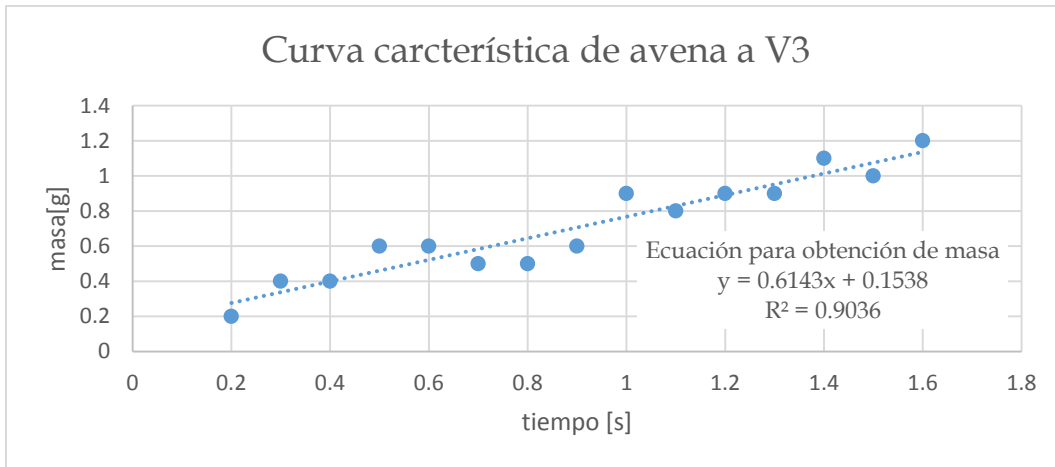


Figura 3.9 Curva característica de masa vs tiempo para avena a voltaje constante de 9.89 V.

Tabla 3.5 Resultados de pruebas de tiempo de dosificado y masa de avena entregada a tres voltajes distintos.

AVENA									
Tiempo [s]	Voltaje 1			Voltaje 2			Voltaje 3		
	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error	Masa dosificador [g]	Masa teórica [g]	Error
0.2	0.1	No Aplica	No Aplica	0.7	No Aplica	No Aplica	0.2	0.27666	27.71
0.3	0.7	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.4	0.33809	18.31
0.4	1.1	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.4	0.39952	0.12
0.5	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.6	0.46095	30.17
0.6	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.6	0.52238	14.86
0.7	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.5	0.58381	14.36
0.8	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.5	0.64524	22.51
0.9	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.6	0.70667	15.09
1	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.9	0.7681	17.17
1.1	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.8	0.82953	3.56
1.2	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.9	0.89096	1.01
1.3	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	0.9	0.95239	5.50
1.4	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	1.1	1.01382	8.50
1.5	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	1	1.07525	7.00
1.6	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	1.2	1.13668	5.57

## Conclusiones

El prototipo desarrollado permite la obtención de harina para suplementos alimenticios. El equipo es operado a través de una pantalla táctil con una interfaz que permite al usuario interactuar con el sistema para indicar el ingrediente que desea procesar. El prototipo es capaz de moler y tamizar avena, lenteja, frijol, garbanzo y haba, entregando harinas con un tamaño de partícula menor a 0.42 mm tomando como referencia la abertura de mallado en el tamiz.

El tamaño de partícula máximo de ingreso que el sistema permite en la cámara de molienda es de 12 mm de largo por 7 mm de ancho y 8 mm de grosor. Granos de mayor tamaño, permiten el atascamiento y fallas en los elementos del sistema. Al finalizar la operación del equipo se recomienda al usuario dar un descanso de 10 minutos entre cada iteración para que el motor del molino pueda enfriarse.

La avena no requiere un pretratamiento para ser ingresado al sistema y no requiere ser tamizado. En el caso de la lenteja, frijol, garbanzo y haba, los granos deben ser cocidos antes de ser ingresados al sistema. El grano de garbanzo y haba debe ser reducido en tamaño previamente. El sistema opera únicamente con material seco, si se introduce material húmedo la trituration puede ser ineficiente.

El prototipo desarrollado brinda al usuario la facilidad de producir harinas de manera continua, reduce la intervención humana durante la operación de los sistemas que lo conforman evitando pérdidas de producto entre los subsistemas. El equipo entrega un producto homogéneo. El manual de operación para el usuario se encuentra en desarrollo.

El sistema dosificador es independiente a los sistemas de molienda y tamizado que conforman al prototipo y se encuentra en proceso de caracterización. Se han realizado experimentos con harinas de avena, lenteja y frijol obtenidas con el prototipo, resultando un desempeño aceptable realizando dosificaciones de masa en el orden de gramos. Resta realizar pruebas con harinas de garbanzo y haba para determinar si el dosificador es el adecuado para la producción de las formulaciones a partir de los cinco ingredientes trabajados.

## **Trabajo a Futuro**

La implementación de un sensor de temperatura para indicar al sistema acerca del sobrecalentamiento del motor, deteniendo la producción hasta que se enfríe para evitar daños, así como mejorar el método de refrigeración del motor por un ventilador más eficiente o un disipador de calor.

Rediseñar la tolva de alimentación para facilitar el ajuste de distancia entre las muelas del sistema de molienda.

Diseñar una carcasa externa para mejorar la protección y estética del prototipo.

Incluir en el sistema dosificador una interfaz de usuario para ingresar las cantidades exactas que se desean obtener.

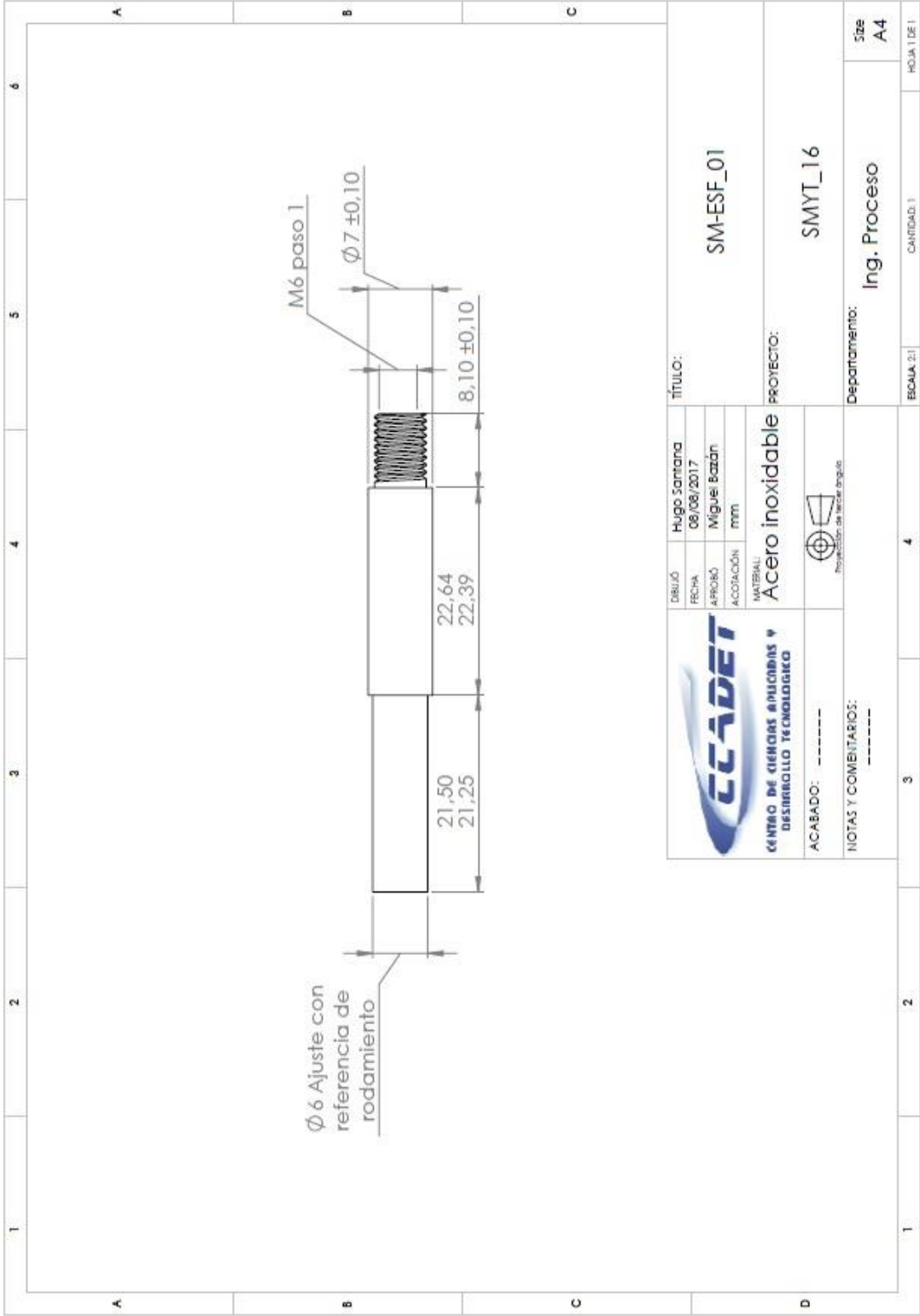
## Bibliografía



- [1] Tanaka, T. Yoshiteru K. "Powder Technology: Crushing and Grinding", Taylor and Francis Group, 2009.
- [2] Gennaro, Alfonso. "Remington Farmacia" 20ª Edición Tomo 1, Ed. Medica Panamericana, 2003.
- [3] Zermeño, M., Sistema de tamizado para análisis granulométrico (Tesis de licenciatura), Universidad Nacional Autónoma de México, Distrito Federal, 1998.
- [4] Bazán, Miguel. Sistema milidosificador de polvos: diseño y construcción (Tesis de maestría), Universidad Nacional Autónoma de México, 2010.
- [5] Rietema, K. "The dynamics of fine powders", Elsevier applied science, 1991.
- [6] R.C.Hibbeler "Mecánica vectorial para Ingenieros", Pearson Educación, México, 2004.
- [7] Ulrich, K. Eppinger, S. "Diseño y desarrollo de productos", McGraw-Hill, 2004.
- Recursos electrónicos:
- [8][http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06\\_Apunte%20Molienda.pdf](http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/06_Apunte%20Molienda.pdf)  
Consultado el día 3 de octubre, 2016.

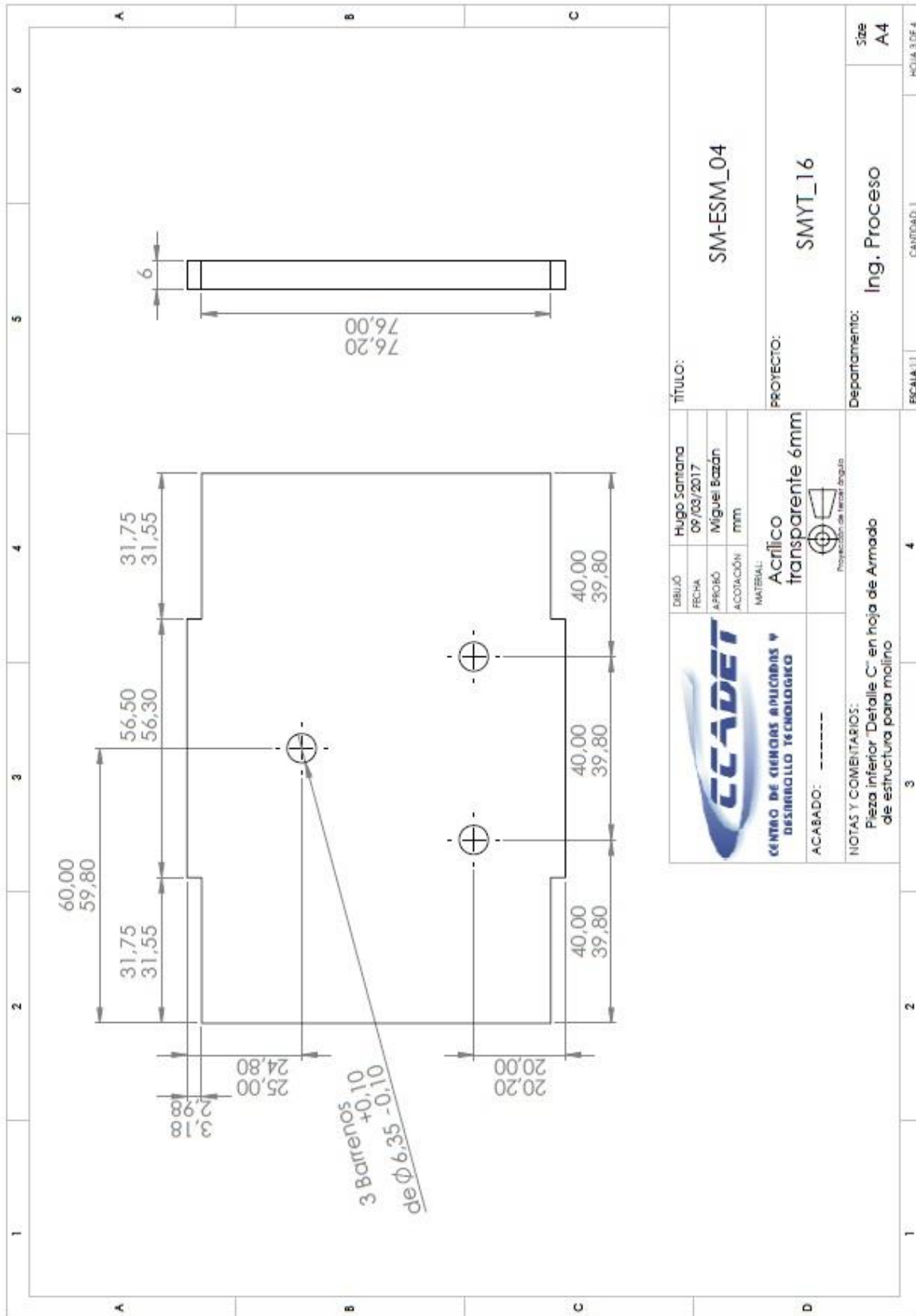
[9][https://books.google.com.mx/books?id=Av4IIsyHcC&pg=PA796&dq=molinos+intermedios+finos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi1\\_N\\_18tDXAhV#v=onepage&q=molinos%20intermedios%20finos&f=false](https://books.google.com.mx/books?id=Av4IIsyHcC&pg=PA796&dq=molinos+intermedios+finos&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi1_N_18tDXAhV#v=onepage&q=molinos%20intermedios%20finos&f=false) Consultado el día 18 de octubre, 2016.

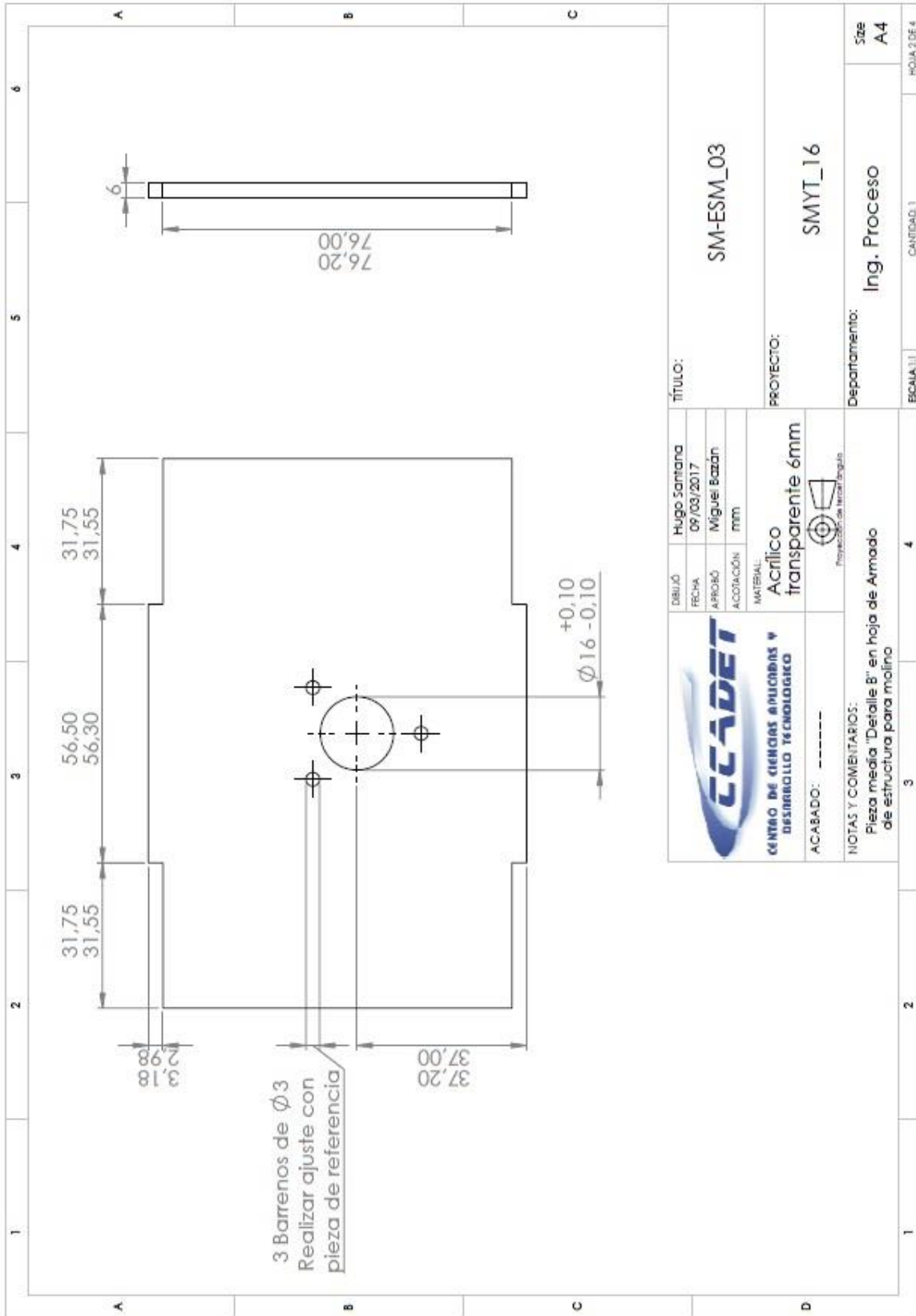
## **Anexos**

Anexo 1. Especificaciones técnicas del diseño de elementos del prototipo.

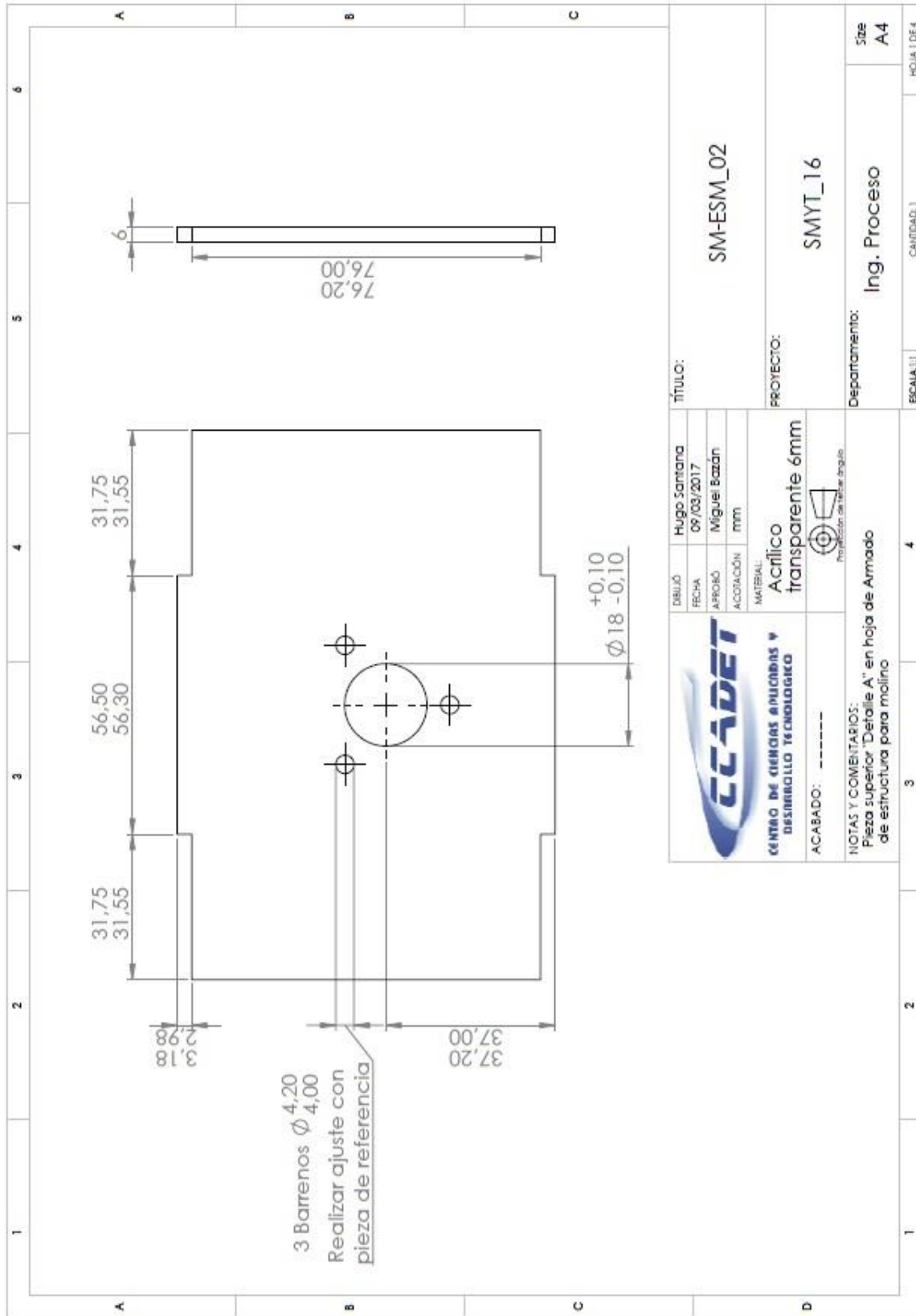


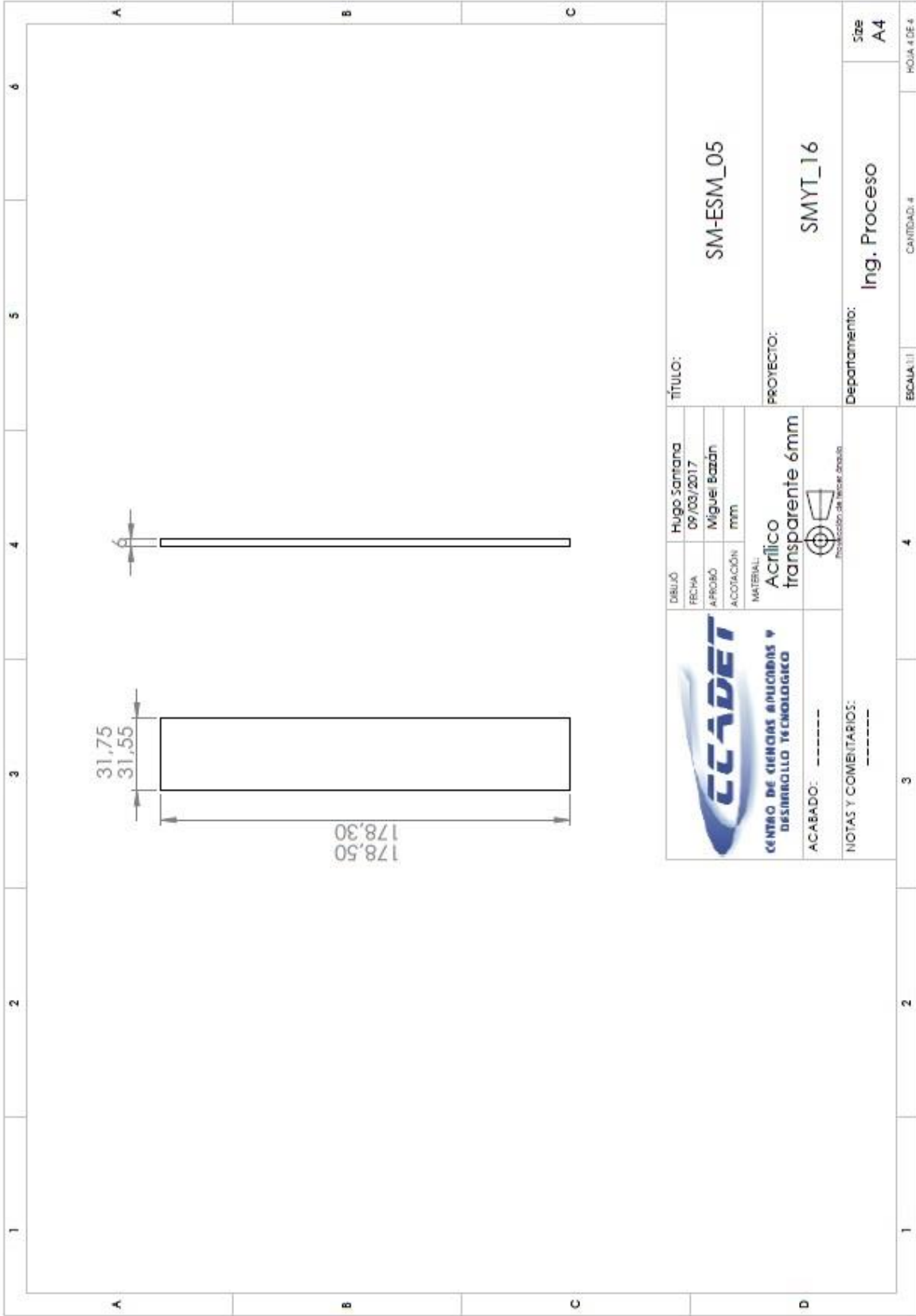
 <b>CCADET</b> CENTRO DE CIENCIAS APPLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO	DIBUJÓ: Hugo Santana FECHA: 08/08/2017 APROBÓ: Miguel Bazán A. COTACIÓN: mm	TÍTULO: SM-ESF_01	
	MATERIAL: Acero inoxidable  PROYECCIÓN DE TERCER ÁNGULO	PROYECTO: SMYT_16	
ACABADO: ----- NOTAS Y COMENTARIOS: -----	Departamento: Ing. Proceso	ESCALA: 2:1	HOJA 1 DE 1

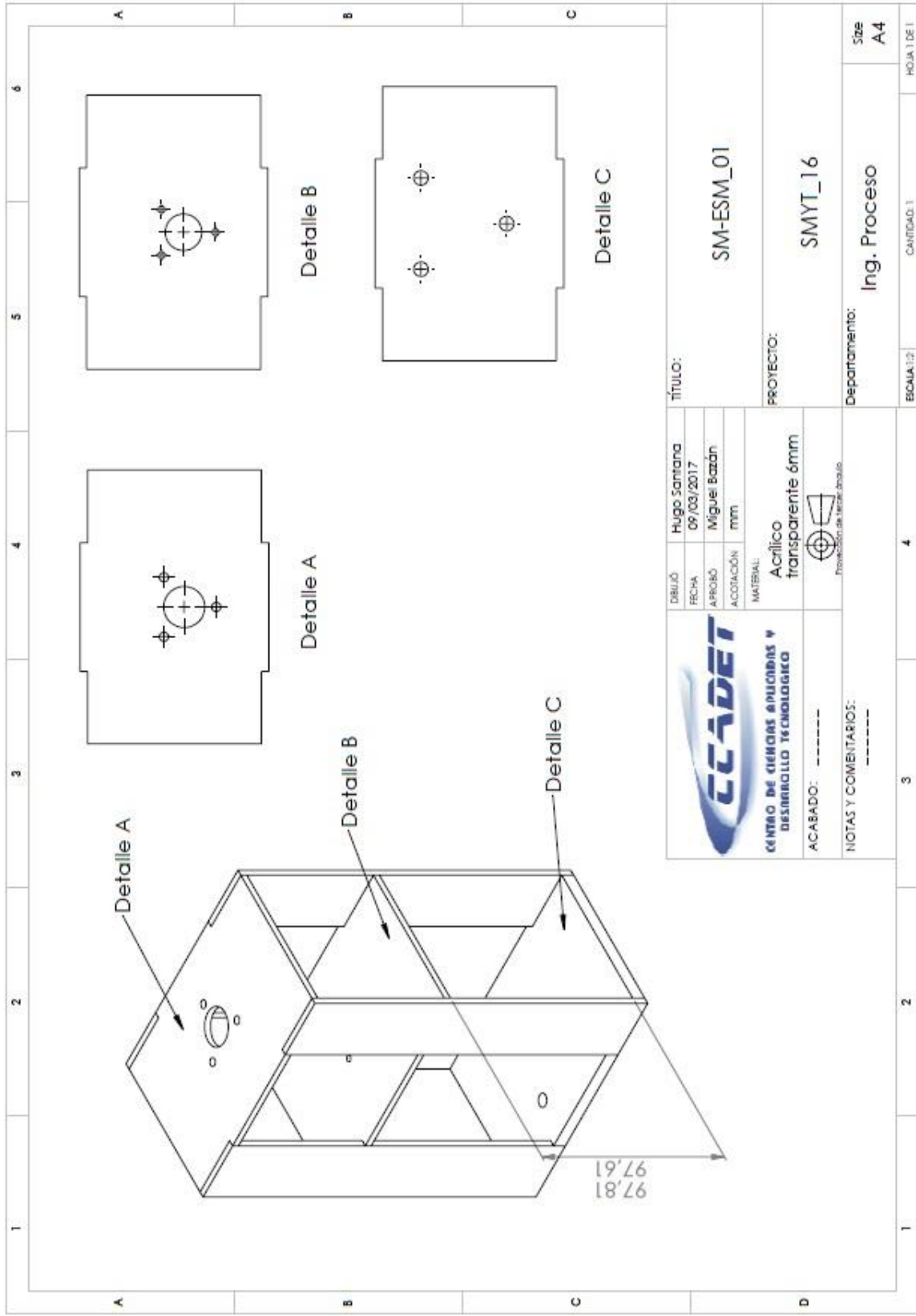












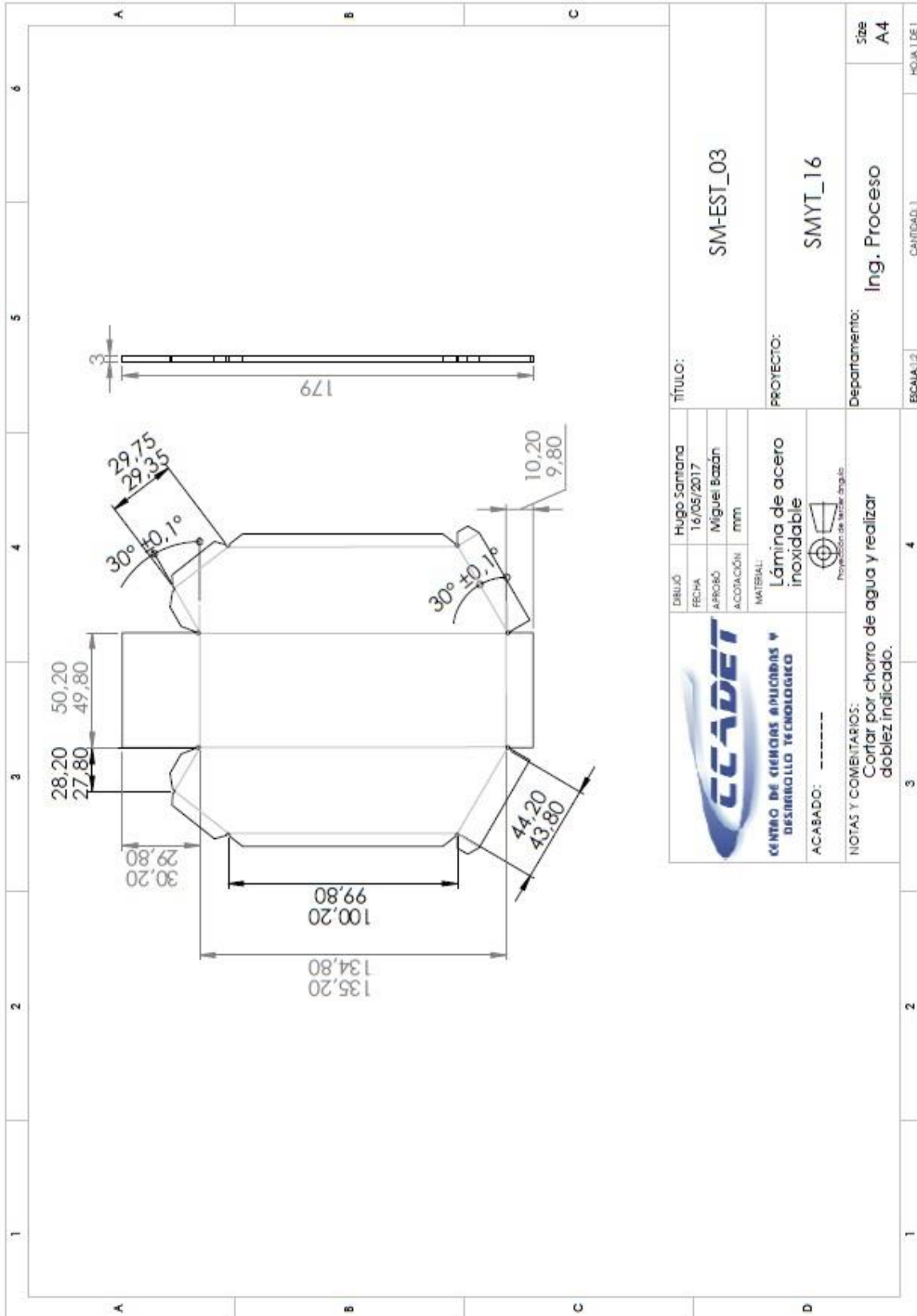
DIBUJÓ: Hugo Santana  
 FECHA: 09/03/2017  
 APROBÓ: Miguel Bazán  
 ACOLOCACIÓN: mm

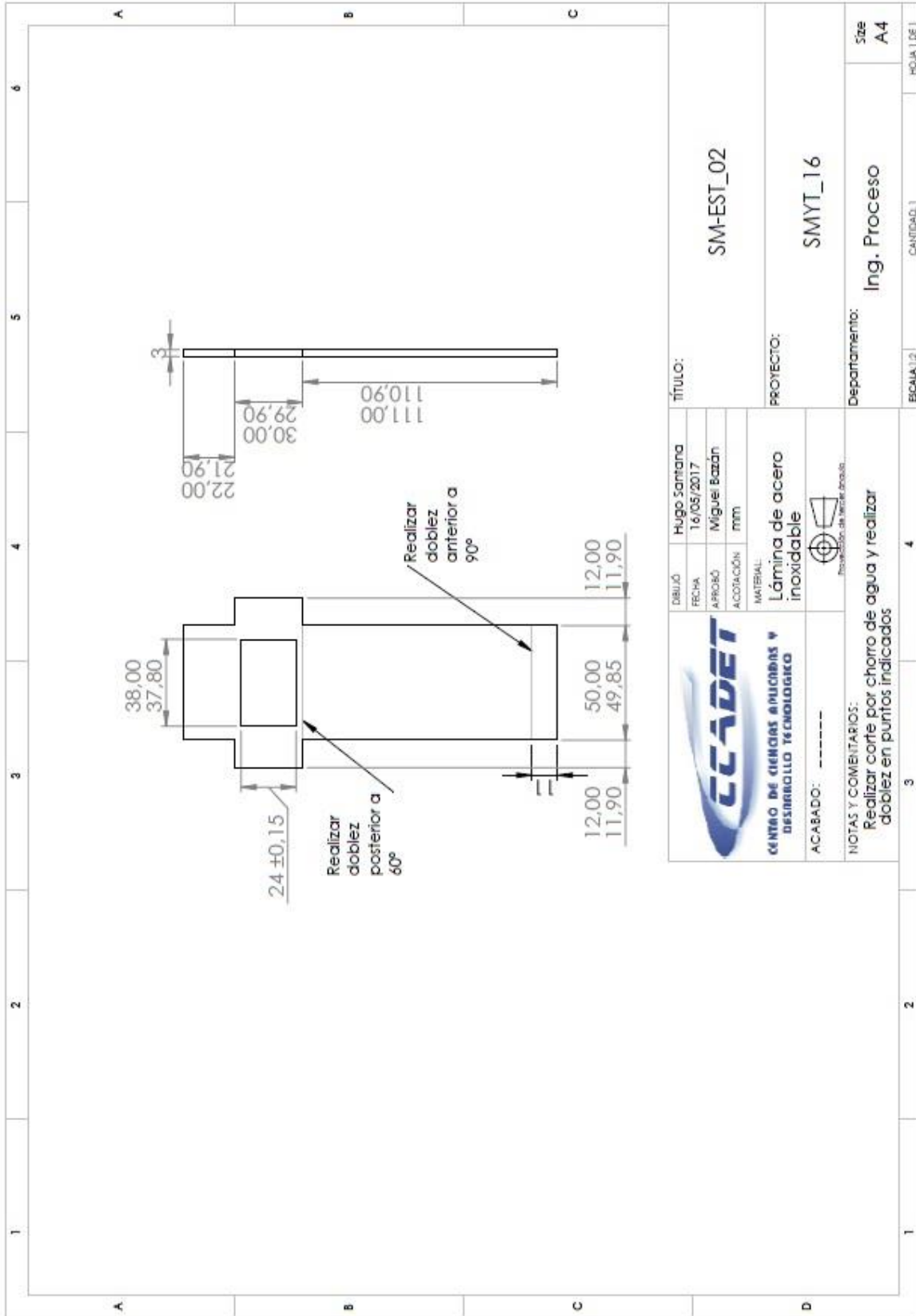
TÍTULO: SM-ESM\_01  
 PROYECTO: SMYT\_16

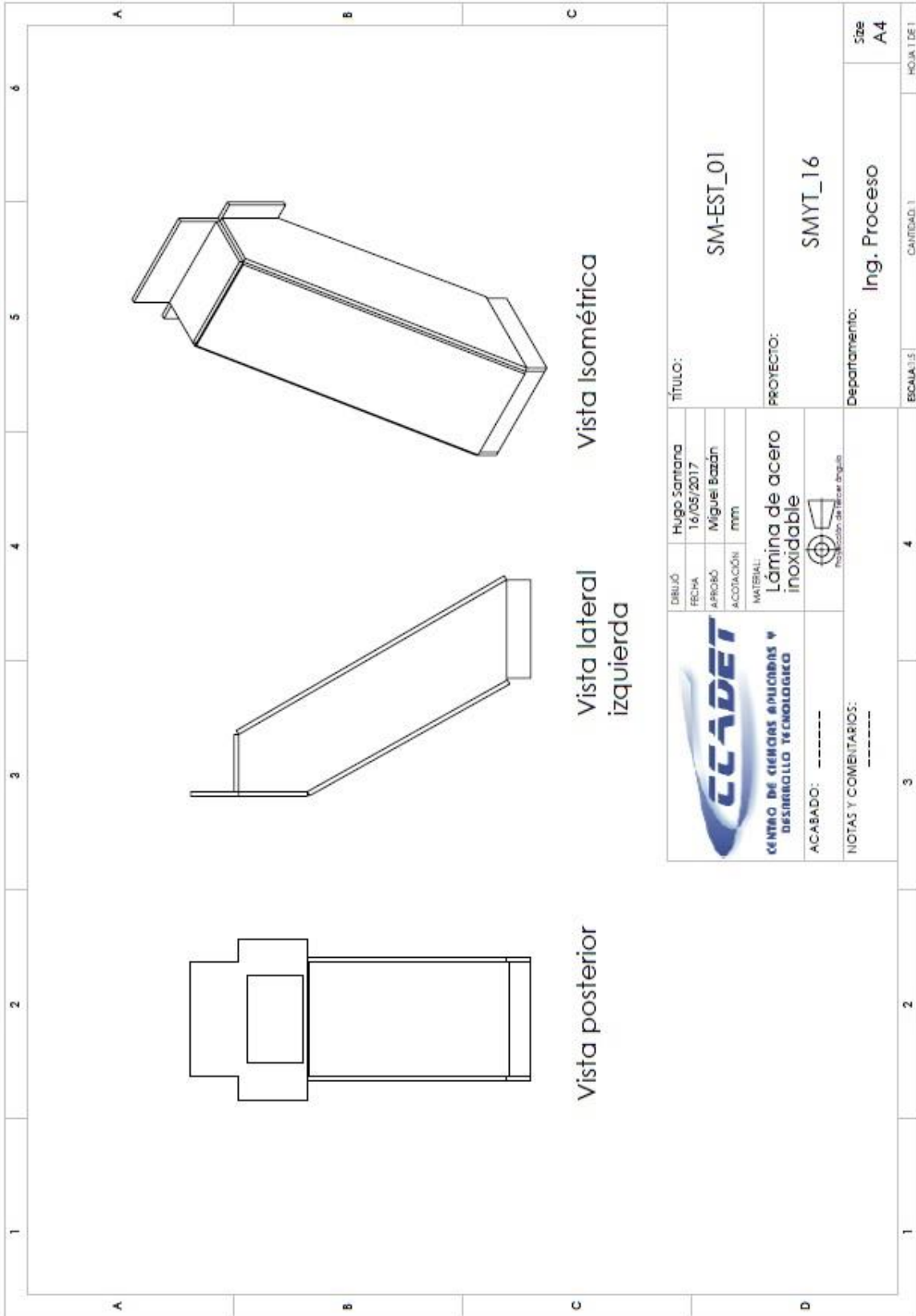
MATERIAL: Acrílico transparente 6mm  
 ACABADO: -----  
 NOTAS Y COMENTARIOS: -----  
 Dirección de Ingeniería

Departamento: Ing. Proceso  
 ESCALA: 1:2  
 CANTIDAD: 1  
 HOJA 1 DE 1

Size A4







Vista posterior

Vista lateral izquierda

Vista isométrica

DIBUJÓ: Hugo Santana  
 FECHA: 16/05/2017  
 APROBÓ: Miguel Bazán  
 ACOLOCACIÓN: mm

TÍTULO: SM-EST\_01

MATERIAL:  
 Lámina de acero  
 inoxidable

PROYECTO: SMYT\_16



Departamento: Ing. Proceso

Size A4

ACABADO: -----  
 NOTAS Y COMENTARIOS: -----

1	2	3	4	5	6
A	B	C	D		
ESCALA: 1:5			CANTIDAD: 1		HOJA 1 DE 1

Anexo 2. Cálculo de frecuencia natural y frecuencia de excitación del sistema de tamizado.

Para la frecuencia natural del sistema:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} ; k = 545.81 \frac{N}{m} ; m = 0.3128 \text{ kg}$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{545.81}{0.3128}}$$

$$\omega_n = 41.77 \frac{rad}{s} ; \omega_n = 6.64 \text{ Hz}$$

La frecuencia de excitación:

$$\text{Motor } 3600 \text{ rpm} = 60 \text{ Hz} = 376.9 \frac{rad}{s}$$

$$\omega_e = 41.77 \frac{rad}{s} ; \omega_e = 6.64 \text{ Hz}$$

El punto de diseño es:

$$\frac{\omega_e}{\omega_n} = 9$$

Donde:

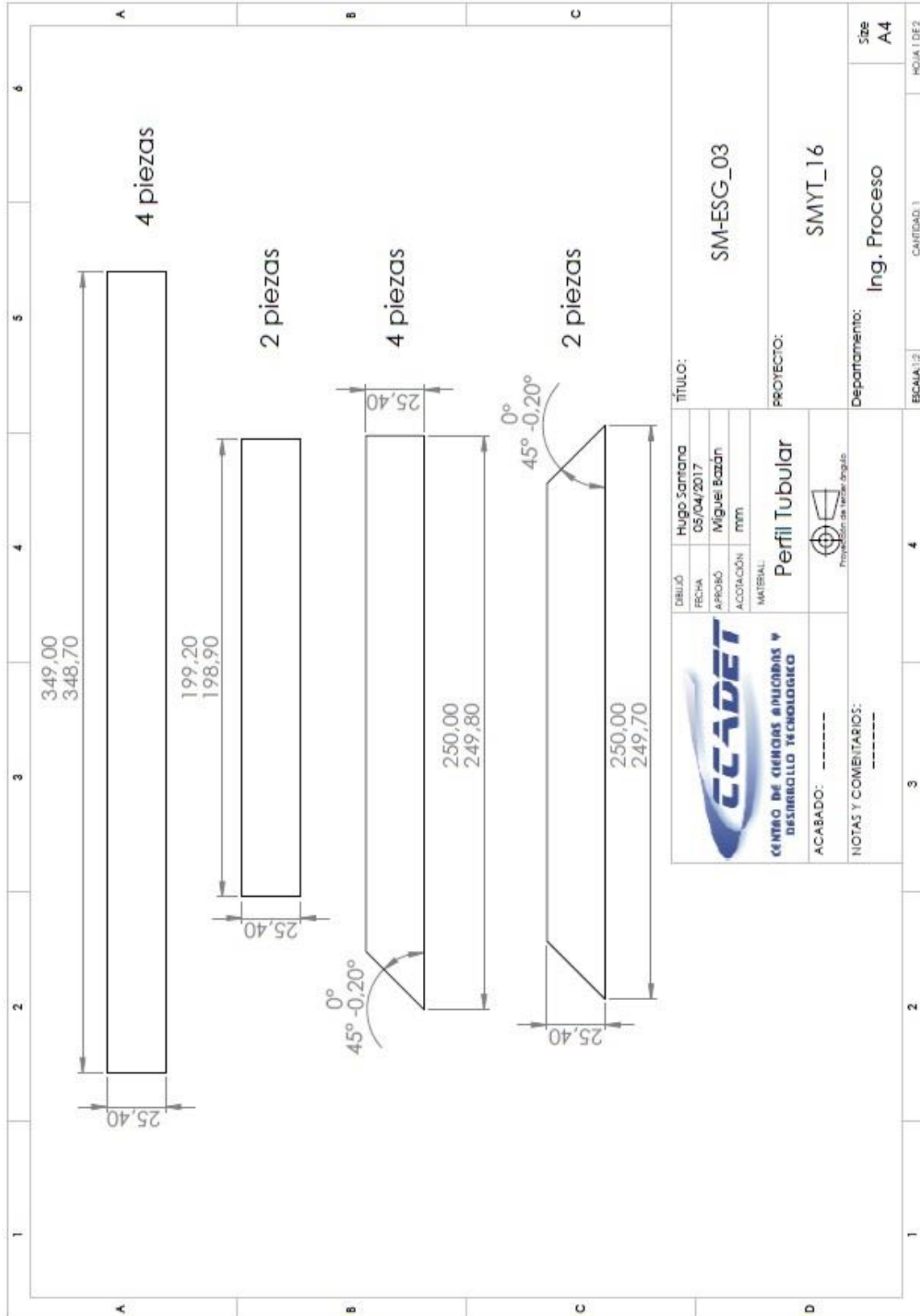
K: Constante de resorte.

$\omega_n$ : Frecuencia natural del sistema.

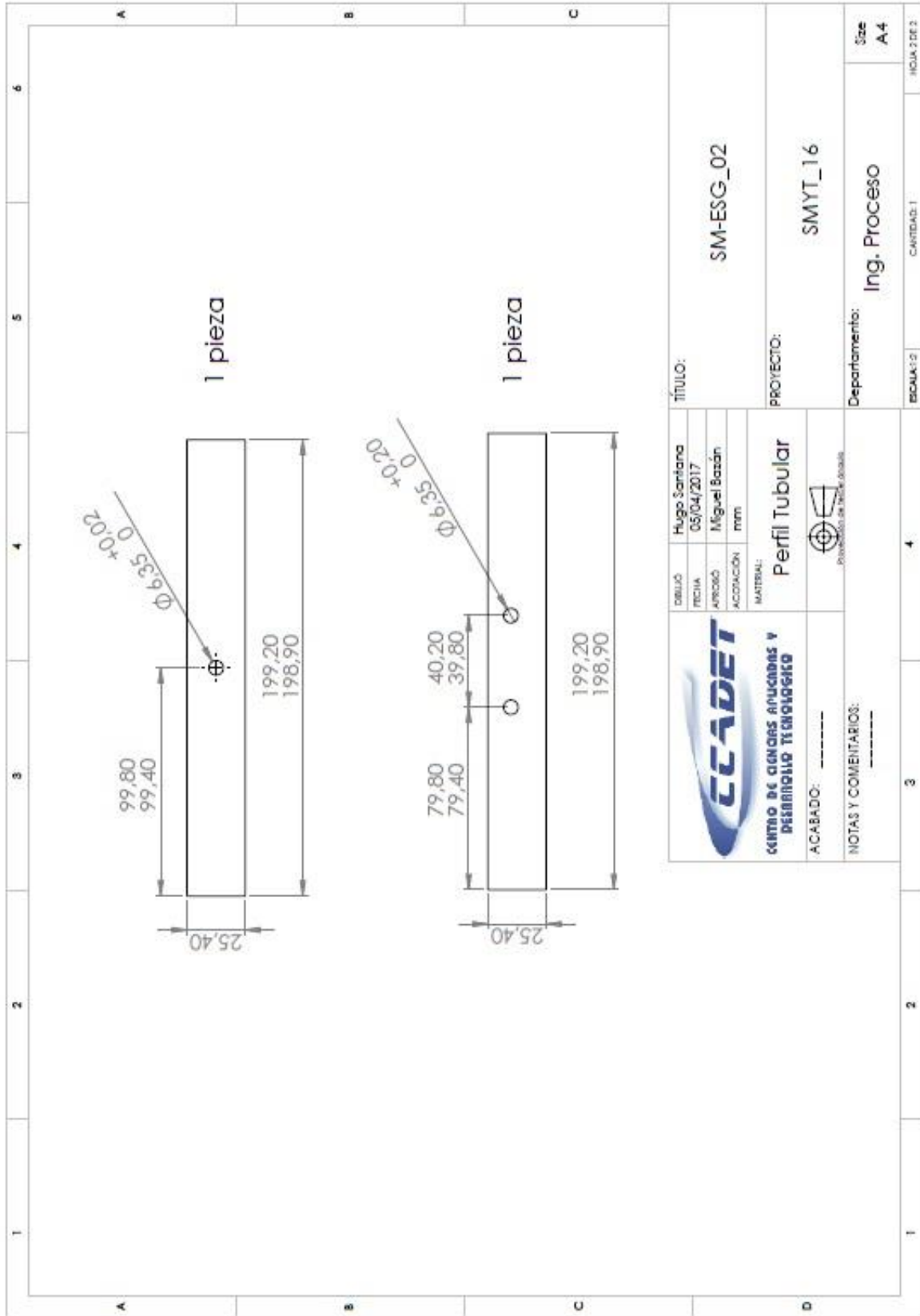
m: masa del sistema.


$\omega_e$ : Frecuencia de excitación.

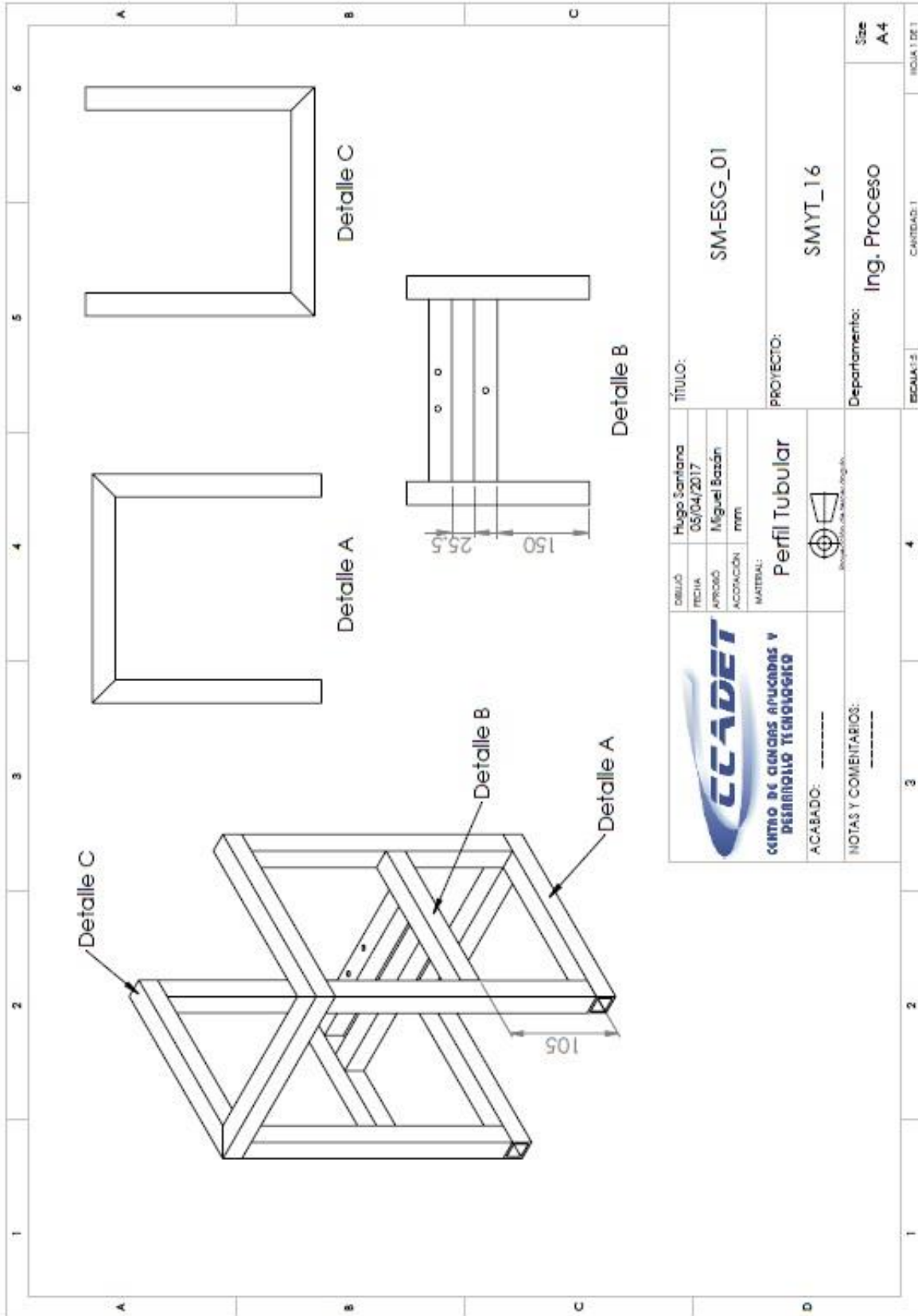
Anexo 3. Especificaciones técnicas del diseño de estructura general del prototipo.







 <b>CENTRO DE CIENCIAS AVANZADAS Y DISEÑO TECNOLÓGICO</b>	DIBUJO: Hugo Santana FECHA: 05/04/2017 APROBÓ: Miguel Bazán ACCIÓN: mm	TÍTULO: SM-ESG_02	
	MATERIAL: Perfil Tubular ACABADO: ----- NOTAS Y COMENTARIOS: -----	PROYECTO: SMYT_16 Departamento: Ing. Proceso	
ESCALA: 1:1		CANTIDAD: 1	HOJA 2 DE 2



#### Anexo 4. Especificaciones del microcontrolador *ATmega328P*

Microcontrolador	ATmega328P
Tensión de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (límite)	6-20V
Pines de E / S digitales	14 (de los cuales 6 proporcionan salida PWM)
Pines de E / S digitales de PWM	6
Clavijas de entrada analógica	6
Corriente DC por Pin E / S	20 mA
Corriente DC para 3.3V Pin	50 mA
Memoria flash	32 KB (ATmega328P) de los cuales 0,5 KB utilizados por el gestor de arranque
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Velocidad de reloj	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Longitud	68.6 mm
Anchura	53.4 mm
Peso	25 g

Fuente: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3> Consultado: 8/Enero/2018

Anexo 5. Especificaciones de rango de voltaje y corriente para relevador *SRD-05VDC-SL-C*

**7. CONTACT RATING**

Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity		7A 28VDC	10A 28VDC
Resistive Load ( $\cos\Phi=1$ )		10A 125VAC 7A 240VAC	10A 240VAC
Inductive Load ( $\cos\Phi=0.4$ L/R=7msec)		3A 120VAC 3A 28VDC	5A 120VAC 5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

Fuente: Hoja de especificaciones de relevador *SRD-05VDC-SL-C SONGLE*

Anexo 6. Especificaciones de valores eléctricos del controlador de velocidad *VARI-DRIVE*

**TABLE 2 – ELECTRICAL RATINGS**

Model No.	Part No.	Input Voltage (VAC - 50/60 Hz)	Max. AC Load Current (RMS Amps)	Armature Voltage (VDC)	Max. DC Load Current (DC Amps)	Max. Horsepower HP, (kW)
KBWM-120	9380	115	5.0	0 – 90	3.5	1/3, (0.25)
KBWM-240	9381	208/230	5.0	0 – 180	3.5	3/4, (0.50)
			5.0	0 – 90*	3.5	1/3, (0.25)

\*Note – Step-down Operation: Motor may have reduced brush life. Consult motor manufacturer.

Fuente: Manual *PENTA KB POWER kbwm*.

## Anexo 7. Circuito de accionamiento.

Para la activación del relevador utilizado como interruptor se trabajó con el transistor BC547. (Figura A1).

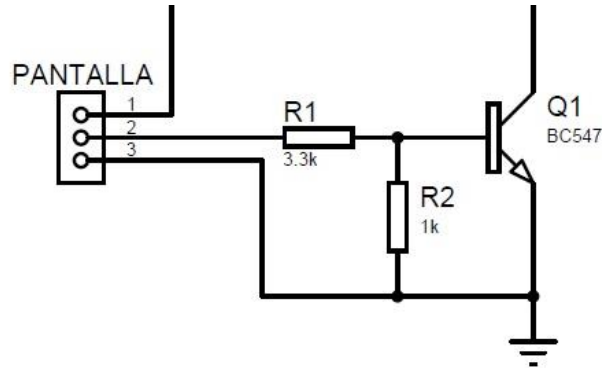


Figura A1. Circuito de accionamiento para relevador.

Cálculo:

$$\beta_{BC547} = 120; I_E = 100 \text{ mA}$$

$$I_E = I_B * (\beta + 1)$$

$$I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)} = \frac{100 \text{ mA}}{121} = .83 \text{ mA} \approx 1 \text{ mA}$$

$$V_B - (I_B * R_B) - V_{BE} = 0$$

$$R_B = \frac{V_B - V_{BE}}{I_B} = \frac{5 \text{ V} - 0.7 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 4.3 \text{ K}\Omega$$

$$R1 = 3.3 \text{ K}\Omega$$

$$R2 = 1 \text{ K}\Omega$$

Donde:

$\beta_{BC547}$ : Ganancia de transistor BC547

$I_B$ : Corriente de base.

$I_C$ : Corriente de colector.

