



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**“Automatización de la molienda en la  
fabricación artesanal de mezcal”**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERA MECATRONICA**

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

**ROSALES BARBIER PAMELA ANDREA**

Y PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO MECATRONICO**

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

**SUÁREZ SÁNCHEZ JOSÉ ANTONIO**

**DIRECTOR DE TESIS:**

**M. A. LUIS YAIR BAUTISTA BLANCO**



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

## AGRADECIMIENTOS

Dedicado a:

### **Rosalina Barbier Solano**

Mamá, sin ti jamás lo habría logrado, gracias por guiarme en este camino que no ha sido nada fácil y siempre alentarme a seguir adelante.

### **Andrea Solano Hernández**

Más que una abuela, mi madre, gracias por cuidarme, amarme y enseñarme que una vida sin esfuerzos no vale nada.

### **Sandi Nagelli Rosales Barbier**

Hermana, gracias por siempre estar en mí.

### **Familia**

Gracias por estar siempre a mi lado, en las buenas y en las malas.

### **Carlos Bryant Cristóbal Vázquez**

Gracias mi amor por la presión, sin ella todo hubiera sido desidia. Te amo.

### **Amigos**

Gracias por su solidaridad.

### **Maestros**

Gracias por la paciencia, los conocimientos y el apoyo.

**José Antonio Suárez Sánchez**

Compañero y amigo, ¡lo logramos! Simplemente gracias.

**Mi Alma Mater**

Gracias Universidad Nacional Autónoma de México por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de crecer tanto profesional como personalmente.

**Arnulfo Rosales Gutiérrez**

Papá, tengo la firme certeza que desde el lugar donde te encuentras, estarás orgulloso de mi, gracias por simplemente ser mi padre, protegerme y amarme incondicionalmente, para ti va este logro y todos los que le siguen. Te amo infinitamente, nunca te olvidaré.

“Por mi raza hablará el espíritu”

Pamela Andra Rosales Barbier  
Ciudad Universitaria, agosto de 2016

## AGRADECIMIENTOS

Es difícil expresar mi sentir y agrupar en unas cuantas palabras el tan profundo y sincero agradecimiento a quienes de una u otra manera me han ayudado y permitido llegar a la culminación de este trabajo, que representa no solo un escrito sino el término de una de las mayores satisfacciones que se pueden conseguir en la vida.

Primera y principalmente quisiera agradecer a mi Madre, que con su trabajo, dedicación, amor y apoyo me ha hecho el mejor regalo de todos al impulsarme a culminar este trabajo.

A mi tía, que para mí ha sido una segunda madre y siempre me ha apoyado a lo largo de toda mi vida estudiantil.

A mi hermano, que con su ejemplo y amistad me guio a estudiar esta gran carrera.

A mi hermana, que siempre me ha ofrecido su mano amiga para culminar mis proyectos.

A mis sobrinos, que conviven conmigo todos los días.

A todos los miembros de mi familia, que están y han estado y me han brindado sus palabras de apoyo y preocupación.

A Pamela, mi compañera de tesis, que no ha sido sólo eso sino que se convirtió en mi amiga, en mi confidente y en muchas ocasiones mi apoyo. Nada me da más gusto que haber realizado no sólo este trabajo sino mi carrera a lado de un ser tan maravilloso y especial.

A mis amigos que se han convertido en mi familia y que han estado conmigo soportándome y alentándome a lo largo, algunos, de casi toda mi vida; ustedes saben cuánto lo aprecio.

A mis compañeros de trabajo, que en mayor o menor medida me han apoyado y forzado a que esto sea una realidad.

A mis sinodales, en especial a mi asesor, M.ª. Luis Yair Bautista Blanco; que han aceptado orientarme y que a lo largo de toda la carrera me compartieron su valioso e invaluable conocimiento.

A mi alma mater, a mi querida institución, que me ha brindado el camino hacia una vida mejor, más completa y más prospera. Gracias “Universidad Nacional Autónoma de México”.

Final y especialmente a la memoria de mi padre, que no solamente me guio con sus sabios consejos, su esfuerzo, enseñanzas y las palabras más maravillosas que yo haya escuchado; sino que me dio la herencia más grande y maravillosa que una persona puede dar. Te quiero hoy y siempre en donde sea que tu presencia se encuentre.

¡Familia, mis logros son suyos y sin ustedes nada sería lo que hoy es, gracias!

José Antonio Suárez Sánchez  
Ciudad Universitaria, agosto de 2016

# INDICE

<b>INDICE</b> .....	1
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	4
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	8
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	10
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	12
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	14
<b>OBJETIVO</b> .....	16
<b>CAPÍTULO 1 Marco teórico</b> .....	17
1.1    Antecedentes .....	17
1.2    Relevancia del mezcal.....	26
1.2.1    Importancia del mezcal en el país .....	27
1.2.1.1    Estados y municipios productores de mezcal.....	28
1.2.1.2    Michoacán .....	37
1.2.1.3    Oaxaca.....	37
1.2.2    Consumo Nacional.....	40
1.2.3    Importancia del mezcal como producto de exportación.....	43
1.3    Áreas de oportunidad .....	48
1.3.1    Diferencias entre tequila y mezcal.....	48
1.3.2    Especies de agave.....	50
1.3.3    Industrialización .....	52
1.3.4    El mezcal en el mundo de las bebidas.....	53
1.4    Proceso de fabricación tradicional.....	56
1.4.1    Obtención de materia prima .....	57
1.4.2    Horneado .....	60
1.4.3    Molienda .....	63
1.4.3.1    Materiales y métodos.....	65
1.4.3.2    Análisis del proceso .....	66
1.4.4    Fermentación .....	67
1.4.5    Destilación .....	70
1.4.6    Reposado .....	72

<b>CAPÍTULO 2 Estado del Arte</b> .....	74
2.1 Normas.....	74
2.1.1 Normas aplicables en la industria del mezcal.....	76
2.1.1.1 Acerca de las plantas de maguey.....	76
2.1.1.2 Acerca de la producción de mezcal.....	77
2.1.1.3 Aspectos a mejorar .....	80
2.1.2 Denominación de Origen.....	83
2.2 Diferencias entre el mezcal artesanal e industrial.....	84
2.2.1 Tipos de mezcal.....	85
2.2.2 Tipos de productores de mezcal.....	86
2.2.3 Diferencias.....	89
2.2.4 Esencia del mezcal .....	80
2.3 Técnicas actuales.....	91
2.3.1 Nuevas tecnologías implementadas en la producción del mezcal.....	94
<b>CAPÍTULO 3 Diseño e Implementación</b> .....	96
3.1 Diseño conceptual.....	96
3.1.1 Requerimientos.....	96
3.1.2 Probables etapas para realizar un ciclo de molienda.....	97
3.1.3 Generación de conceptos .....	97
3.1.3.1 Concepto 1 .....	97
3.1.3.2 Concepto 2 .....	98
3.1.3.3 Concepto 3 .....	99
3.1.4 Selección del modelo.....	100
3.2 Modelado del sistema.....	101
3.2.1 Conceptos básicos.....	101
3.2.2 Modelado del sistema de trituración.....	102
3.3 Diseño asistido por computadora .....	105
3.3.1 Beneficios de CAD .....	105
3.3.2 Planos .....	106
3.3.3 Modelo final .....	108
3.4 Electrónica.....	110
3.4.1 Resistencias .....	112

3.4.2	Capacitor.....	112
3.4.3	Diodo .....	113
3.4.4	Puentes H.....	115
3.4.4.1	L293D.....	115
3.4.4.2	L298.....	115
3.4.5	Actuadores .....	116
3.4.6	Actuador Lineal LACT10P.....	117
3.4.7	Motor de la base (Motor principal) .....	118
3.4.8	Motor Bosch FPG .....	118
3.4.9	Motor etapa de limpieza .....	119
3.4.10	Sensores.....	119
3.4.10.1	Finales de carrera.....	120
3.4.10.2	Sensores opto electrónicos.....	120
3.4.10.3	De barrera.....	121
3.4.10.4	Sensor de herradura .....	121
3.4.11	PIC16F887 .....	122
3.5	Programación.....	126
3.6	Selección de materiales .....	129
3.6.1	Estructura .....	130
3.6.2	Sistemas .....	132
3.6.3	Cubiertas.....	137
3.7	Piedra.....	140
3.8	Sistema de Limpieza.....	143
<b>CAPÍTULO 4 Resultados .....</b>		<b>149</b>
<b>CAPÍTULO 5 Conclusiones.....</b>		<b>153</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>		<b>155</b>
<b>ANEXO I Planos.....</b>		<b>166</b>
<b>ANEXO II Modelo Final .....</b>		<b>200</b>
<b>ANEXO III Programación .....</b>		<b>202</b>



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Máyatl, deidad zapoteca.....	18
Figura 1.2 Cadena productiva de la industria del mezcal.....	27
Figura 1.3 Calificaciones de desempeño de los estados en el tercer trimestre de 2014. Las calificaciones son de 0 a 100, siendo 100 la mayor contribución al desarrollo económico del país.....	35
Figura 1.4 Ocupación por Actividad Económica.....	39
Figura 1.5 Envasado para Mercado Nacional.....	41
Figura 1.6 Mapa de la segmentación geográfica nacional de acuerdo con Información Sistematizada de Canales y Mercados (ISCAM).....	42
Figura 1.7 Envasado para Mercado de Exportación.....	43
Figura 1.8 Principales países consumidores de mezcal.....	46
Figura 1.9 Labrado de agave con tarecua.....	57
Figura 1.10 Coa: herramienta para jima o corte del maguey.....	57
Figura 1.11 Piñas jimadas de agave Espadín y Karawinskii (Madrecuixe).....	58
Figura 1.12 Paisaje con agaves Espadín cultivados.....	58
Figura 1.13 Paisaje con agaves silvestres.....	59
Figura 1.14 Descuartización de la piña con hacha.....	59
Figura 1.15 Horno cónico de piedra listo para cocer agaves. San Baltazar, Oaxaca.....	61
Figura 1.16 Llenado de horno.....	61
Figura 1.17 Horno completo y listo para tapar.....	62
Figura 1.18 Horno completamente cubierto.....	62
Figura 1.19 Cortado de piñas cocidas en trozos más pequeños.....	63

Figura 1.20 Molino de piedra tirado por un caballo. En el interior del molino se encuentran las piñas cocidas y trituradas.....	64
Figura 1.21 Agave cocido triturado en el interior del molino de piedra.....	64
Figura 1.22 Fuerzas en el proceso de molienda.....	66
Figura 1.23 Tinajas para fermentación.....	68
Figura 1.24 Tina con agave en fermentación.....	68
Figura 1.25 Redistribución de bagazo en el proceso de fermentación.....	69
Figura 1.26 Fermentación en los primeros días.....	69
Figura 1.27 Fermentación en los últimos días.....	70
Figura 1.28 Alambique de cobre enfriado con agua.....	70
Figura 1.29 Destilación de mezcal.....	72
Figura 1.30 Reposado de mezcal en barricas de madera.....	73
Figura 2.1 Modelo de molino mecanizado.....	94
Figura 2.2 Imagen de las pruebas efectuadas con el prototipo.....	95
Figura 2.3 Desgarradora industrial de agave.....	95
Figura 3.1 Modelo conceptual 1.....	98
Figura 3.2 Modelo conceptual 2.....	99
Figura 3.3 Modelo conceptual 3.....	99
Figura 3.4 Diagrama de cuerpo libre.....	102
Figura 3.5 Estructura final.....	108
Figura 3.6 Distintas tomas de modelo final.....	109
Figura 3.7 Fuente de alimentación con dos salidas de 12 V.....	110
Figura 3.8 Fuente de alimentación con salida de 19 V.....	110
Figura 3.9 Electrónica del modelo.....	111

Figura 3.10 Símbolo y curva característica tensión-corriente del diodo ideal.....	114
Figura 3.11 Ejemplo de funcionamiento del diodo ideal.....	114
Figura 3.12 Vista de la caja de engranes con la que cuenta el actuador línea...	118
Figura 3.13 Motor Bosch FPG.....	119
Figura 3.14 Principio de funcionamiento de un sensor fotoeléctrico de barrera.....	121
Figura 3.15 Esquema del sensor de herradura.....	122
Figura 3.16 Diagrama del PIC16F887.....	123
Figura 3.17 Configuración de los pines del PIC16F887.....	124
Figura 3.18 Proceso de conversión de código fuente a código ejecutable.....	126
Figura 3.19 Diagrama de estado de la programación.....	129
Figura 3.20 Clasificación que se le dio al material según su propósito.....	130
Figura 3.21 Imagen de la estructura final del modelo.....	131
Figura 3.22 Acoplamiento del motor con el eje principal.....	132
Figura 3.23 Rodamiento inferior del eje principal.....	133
Figura 3.24 Barra circular que atraviesa la piedra.....	134
Figura 3.25 Piedra acoplada al pistón.....	135
Figura 3.26 Distribución de las conexiones en las placas de pruebas.....	138
Figura 3.27 Cajas para colocar y proteger los sensores de barrera.....	138
Figura 3.28 Caja para protección de las placas de prueba y el sistema de potencia.....	139
Figura 3.29 Caja izquierda para recolección de bagazo.....	139
Figura 3.30 Caja derecha para recolección de bagazo.....	139
Figura 3.31 Caja de recolección para los líquidos generados en la molienda.....	139

Figura 3.32 Círculos usados como barrera en los carretes.....	140
Figura 3.33 Imágenes de las diferentes pruebas que se realizaron antes de la obtención de la piedra final.....	141
Figura 3.34 Piedra usada en las pruebas finales.....	142
Figura 3.35 Diferentes medidas de tubos de cartón.....	143
Figura 3.36 Boceto inicial de funcionamiento.....	144
Figura 3.37 Boceto de funcionamiento de la segunda configuración.....	145
Figura 3.38 Boceto de configuración elegida.....	145
Figura 3.39 Configuración 3, modelo 1.....	146
Figura 3.40 Configuración 3, modelo 2.....	147
Figura 3.41 Configuración 3. Diseño final.....	148
Figura 4.1 Aspecto de los pedazos de mezcal antes y al principio de la molienda.....	151
Figura 4.2 Aspecto de los pedazos de mezcal durante y después de la molienda.....	152

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Valor de los productos elaborados en la industria de las bebidas destiladas de agave por año.....	27
Tabla 2. Valor de la producción bruta total en la industria de las bebidas destiladas de agave por año.....	28
Tabla 3. Participación de los estados en la producción de mezcal.....	29
Tabla 4. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Oaxaca por año.....	30
Tabla 5. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Guerrero por año.....	30
Tabla 6. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de San Luis Potosí por año.....	31
Tabla 7. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Zacatecas por año.....	31
Tabla 8. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Durango por año.....	32
Tabla 9. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Guanajuato por año.....	32
Tabla 10. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Tamaulipas por año.....	33
Tabla 11. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Michoacán por año.....	33
Tabla 12. Distribución porcentual de la producción de mezcal por estado.....	36
Tabla 13. Ventas de mezcal por canal Mayorista.....	41
Tabla 14. Detalle del envasado para mercado de exportación.....	44

Tabla 15. Procedencia del mezcal de exportación.....	44
Tabla 16. Países destino del mezcal por año de incorporación.....	45
Tabla 17. Categorización de bebidas en Estados Unidos.....	47
Tabla 18. Botellas de mezcal venidas en Estados Unidos según su categoría....	47
Tabla 19. Especies de agave más usadas en la producción de mezcal.....	50
Tabla 20. Producción de Mezcal por especies de agave.....	52
Tabla 21. Detalle de la producción de Mezcal por especie de agave en el año 2014.....	52
Tabla 22. Consumo de alcohol en el mundo en el 2014.....	54
Tabla 23. Especificaciones físicas y químicas con las que el mezcal debe cumplir.....	79
Tabla 24. Diferencias tecnológicas entre productores de mezcal.....	88
Tabla 25. Tiempo que tardan en realizar la molienda los distintos productores de Guerrero.....	92
Tabla 26. Grupo de productores de acuerdo al tiempo que dedican a la molienda.....	92
Tabla 27. Datos experimentales de las propiedades mecánicas del agave hidrolizado.....	103
Tabla 28. Comparación entre el proceso de molienda con tracción animal y el proceso de molienda con tracción mecanizada.....	103
Tabla 29. Descripción de los planos del modelo final del proceso de molienda..	107
Tabla 30. Consumo de corriente de los actuadores utilizados.....	116
Tabla 31. Características disponibles vs usadas en el PIC16F887.....	125

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de este trabajo revisaremos desde diferentes puntos de vista la concepción del mezcal; pues conoceremos de su historia, su proceso de producción, los lugares donde se produce, los problemas a los que se enfrenta y las oportunidades que tiene; lo que nos permitirá tener un panorama general de lo que significa este producto con el fin de comprender el papel que juega en el desarrollo de las regiones donde esta bebida se crea.

Analizaremos las normas que rigen su producción, las diferencias frente a otros destilados de agave y las técnicas usadas para su creación, haciéndonos ver los puntos que son susceptibles de mejora.

En base al estudio de los puntos clave en el proceso de la molienda se desarrolló un modelo que aporta valor añadido a esta etapa en la producción del mezcal, respetado la manera en como artesanalmente se realiza. Así mismo se explica por qué se eligió esta etapa del proceso como objeto de mejora. Además, es importante mencionar que el modelo y los cálculos que nos llevaron a su realización se hicieron con datos a escala.

Se podrá revisar las características técnicas que se consideraron, tales como el diseño de la estructura, la selección de materiales, la electrónica del sistema, la manufactura del modelo funcional y la programación del mismo. También se revisará de manera detalla la implementación de la piedra de molienda y el sub-sistema de limpieza diseñado para este modelo.

Aunado a esto se colocan los planos de las diferentes partes que conformaron el modelo funcional y los planos de la estructura final.

Se presentan y analizan los resultados obtenidos al realizar las pruebas que se efectuaron del modelo, además de hacer la comparación frente a lo esperado y conocido.

Finalmente, se podrán observar las conclusiones y opiniones a las que llegamos acerca de los alcances que posee ese proyecto y las oportunidades de mejora que a su vez tiene.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El mezcal es un producto 100% mexicano que en la actualidad es un símbolo de orgullo y representa toda una tradición ancestral que se encuentra rodeada de un sinnúmero de historias, mitos y anécdotas que sólo un buen producto de nuestro país puede tener. Desafortunadamente no todo es tan bueno como el sabor de este líquido proveniente del suelo de diferentes estados de México, pues hasta no hace mucho tiempo, esta bebida estaba desacreditada, despreciada y subestimada; pero la mala fama que poseía no es más que sólo el inicio de un extenso recorrido de problemas a los que se ha tenido que enfrentar esta industria.

Muchos afirman que la producción de mezcal se hizo posible gracias a la llegada de las técnicas europeas de destilación cuando se dio la conquista, otros comentan que ya se consumía por los pueblos mesoamericanos en usos ceremoniales gracias a la concepción de medios de destilación distintos a los que actualmente se conocen, pero lo verdaderamente cierto es que desde sus inicios hasta nuestros días, y a pesar de considerar sus diferentes formas de preparación, la tecnificación del proceso con el que se crea esta bebida ha sido casi nula. Esta falta de tecnificación no es más que el resultado de dos puntos clave: la falta de demanda que existía y la conservación de lo artesanal.

No fue hasta que el mezcal apareció en la industria de las bebidas que la demanda de éste fue un tema importante. Hace 30 años no mucha gente estaba interesada en el producto y por tal motivo la forma en que se llevaba a cabo la creación de esta bebida no parecía realmente importante; pero cuando cada vez más gente se sintió atraída por degustarlo, las cosas cambiaron. Después el problema cambiaba de escenario y la pregunta a contestar era cómo aprovechar esta nueva moda; por lo que algunos cuantos optaron por la industrialización con el fin de tener grandes ganancias de este mercado emergente, lo cual no tuvo mucha aceptación por una gran mayoría de productores mezcaleros.

En este instante en el que la economía del país necesita de la creación de nuevas industrias y de la explotación de sus recursos de una manera sustentable, no es

una mala idea buscar en nuestras raíces, y de una manera innovadora, la solución a algunos de los puntos más críticos en el desarrollo de nuestra nación, como lo son el desempleo, la desigualdad y la falta de tecnología. Lo anterior, se ve respaldado por datos recientes tanto del gobierno del estado de Oaxaca como de encuestas a nivel nacional realizadas por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), que refieren un superávit en la balanza comercial de dicho estado, aunado a una mayor cantidad de ingresos, un mayor número de empleos generados y un crecimiento positivo de la industria en todo el país.

Es por eso que creemos que la verdadera pregunta en el presente acerca de la industria mezcalera debería ser: ¿Cómo aprovechar el crecimiento de una industria con tanta dinámica, para el desarrollo de una región sin olvidarnos de su tradición y lo que representa; y definitivamente sin perder de vista sus características y propiedades inigualables.

## JUSTIFICACIÓN

Como se precisó anteriormente, no se sabe a ciencia cierta en qué momento de la historia surge el mezcal y aunque probablemente tuvo sus inicios en el siglo XVI, no fue hasta la Revolución Mexicana que tuvo su primer impulso. Sin embargo su crecimiento fue muy lento, hace tan sólo algunos años la producción del mezcal de manera artesanal era ilegal por lo que todo se elaboraba de manera clandestina.

Por el contrario, en los últimos años se ha tratado de organizar e impulsar fuertemente a la industria. La creación de la norma oficial mexicana, la denominación de origen, la creación del Consejo Regulador del Mezcal, así como la Cámara Nacional de la Industria del Mezcal son sólo algunos ejemplos de la importancia que se le ha dado a este producto.

Recientemente el mezcal ha tenido un auge muy grande como bebida de degustación, tanto en Estados Unidos como entre diferentes naciones europeas, ya que están prefiriendo cada vez más los productos orgánicos y artesanales, lo cual le da ventaja a este producto cien por ciento mexicano.

Entonces, si la industria se encuentra recibiendo apoyo para su desarrollo y gracias a las exportaciones a distintos países de América, Europa y Asia, esta industria genera gran cantidad de empleos y divisas, cuáles son las causas de que Oaxaca siendo el principal productor de mezcal y otros estados donde se produce el mismo, tengan tanta pobreza y marginación, ¿qué es lo que falta para que esos estados se desarrollen por completo en este tipo de industria?.

Como ya se mencionó, en la actualidad la elaboración de mezcal resulta atractiva debido a las altas cotizaciones y gran demanda que este producto ha alcanzado en el mercado nacional e internacional. Sin embargo hay factores que limitan su elaboración, tales como la falta de materia prima, los elevados costos de producción, la poca evolución de la tecnología acorde a las necesidades de los productores de la región y la escasa asesoría técnica para su obtención y comercialización; así entonces, se puede ver por un lado, el gran potencial de este producto en un mercado que es prometedor y, al mismo tiempo, una gran

problemática que limita sobre manera a los productores de mezcal en los diferentes estados en los que se elabora este producto; por lo que es claro que se necesita el desarrollo de tecnología adecuada, para mejorar las condiciones de producción de mezcal en los palenques de las distintas regiones.

Por todo lo anterior, queda claro que el agave representa un recurso natural de gran importancia desde el punto de vista económico, cultural, social y agroecológico en nuestro país. Y es así, que el mezcal al ser un producto que se obtiene de éste, genera un mercado que necesita desarrollo pero que al mismo tiempo ofrece un gran número de oportunidades de crecimiento para México, para regiones como Oaxaca, para los productores y para las personas encausadas a desarrollar tecnología que facilite y mejore la producción de este "elixir de los dioses".

## **OBJETIVO**

El objetivo del presente trabajo es el desarrollo de un modelo funcional que realice el proceso de molienda, dentro de la producción de mezcal, de una manera automatizada, desmembrando la piña de agave y obteniendo como producto final bagazo, que posteriormente pueda servir para la fabricación de esta bebida.

### **Objetivos Específicos**

- Estudiar, comprender y analizar el proceso de molienda dentro de la producción de mezcal, considerando las técnicas artesanales y las diferentes variables que afectan en la realización dicha actividad.
- Desarrollar un modelo matemático que nos permita encontrar las variables necesarias para automatizar el proceso de molienda.
- Construir, a escala, los elementos necesarios para realizar la molienda de los pedazos de una piña de agave.
- Crear un modelo físico que efectué el proceso de molienda.
- Obtener bagazo como resultado del proceso de molienda efectuado por el modelo físico, el cual será evaluado para su posible utilización en la producción de mezcal.

# CAPÍTULO 1 Marco teórico

## 1.1 Antecedentes

Al escuchar la palabra mezcal, muchos de nosotros generamos un gesto de desagrado o repulsión, debido al gran desconocimiento que existe respecto a esta bebida tan enigmática y representativa de México.

Entonces, antes de hablar de la importancia que tiene el mezcal en la actualidad y de su forma tan peculiar de producción, es necesario adentrarnos en las raíces de éste para entender un poco más de su historia.

La palabra mezcal probablemente tiene su origen en la palabra Mezcalli o el aztequismo Mezcal y la palabra La, relativa a abundancia, y significa “donde abunda el mezcal”, según Cecilio A. Robledo en su Diccionario de la mitología nahoa. A su vez mexcalli se compone de metl, maguey, e ixcalli, cocido o hervido, y quiere decir “maguey cocido”.<sup>1</sup>

Fray Bernardino define Mizcal como “pencas de magueyes cocidas”, por último Remí Simeón define mezcalli en su Diccionario de la lengua náhuatl o mexicana (1885) más como se conoce ahora: licor obtenido del maguey.

Así mismo el científico alemán Alejandro Humboldt en el siglo XIX afirmó "el maguey es el más útil de todas las producciones que la naturaleza ha concedido a los pueblos de la América septentrional". Con estas definiciones encontramos sumamente entendible que el nombre botánico para el maguey sea el de agave, que proviene del griego agaue que significa admirable. Y agave es el nombre científico que le dio al maguey el naturalista sueco Carlos de Linneo a mediados del siglo XVIII.

---

<sup>1</sup> Salvatierra, Ariadna. El mezcal y su importancia para el desarrollo económico del estado de Oaxaca. Pág. 5. UDLAP

El origen mitológico de la bebida no es uno, hay grupos indígenas como los chatinos que cuentan cómo el mezcal, los cigarros y el fuego, son propiedad de los demonios y traídos a la tierra por un puercoespín.

Otra leyenda, es la versión zapoteca (etnia y región de Oaxaca donde se originó el mezcal), en esta se incorpora además el ingrediente del amor y su embriaguez como puente que reúne lo sagrado con lo humano. ¿Y por qué no, si la palabra mezcal proviene del náhuatl mexcalli, que significa "corazón del maguey", del cual se obtenían no sólo las bebidas fermentadas, sino también dulce y miel? La leyenda cuenta, que existía una diosa insensible y soberbia, aunque muy dadivosa. Su cuerpo semejaba el tronco de un agave, pero no eran pencas lo que de él sobresalía sino cuarenta mil senos. De ellos brotaba el elixir que consumían quienes la veneraban en la tierra; era Máyatl, deidad zapoteca del mezcal. Fría e insensible, se conectó por primera vez con sus sentimientos y sus sentidos cuando comenzaron a formarse unos gusanos en su corazón. Y quedó para siempre atrapada: así, conoció la excitación, el deseo y luego el amor. Muy pronto se enamoró de un apuesto y valiente, pero tímido guerrero, llamado Chag.



Figura 1.1 Máyatl, deidad zapoteca

Como era mortal, a pesar de que también se sentía atraído a Máyatl, Chag era incapaz de aspirar a una diosa: no se consideraba digno de sus favores. Fue un amor imposible hasta que un día Máyatl, en su desesperación, le ofreció a Chag el más hermoso y frondoso de sus senos para que de él bebiera el elixir que manaba de sus entrañas. Y bebió y bebió hasta que, embriagado, el guerrero imploró a la diosa: "hazme dios o hazte mujer:...". La diosa, conmovida, llevó su mano al corazón, sacó de ahí uno de los gusanos y se lo ofreció a Chag, con lo que el joven guerrero se sintió como un dios y se amaron intensamente por siete días y siete noches.

Otro de los mitos sobre el origen del mezcal, al parecer el más popular, dice que un rayo cayó sobre un maguey, haciendo en el acto la primer tatema<sup>2</sup>, una tatema celestial de donde surgió la mágica bebida considerada por algunos como un "elixir de los dioses".

Pero el mezcal, el cual conocemos actualmente, se cree que tiene otras raíces, hasta no hace mucho tiempo, las corrientes de investigación sobre los orígenes de los destilados de maguey y la producción de mezcal se basaban en que la destilación de fermentos de agave había iniciado gracias a la conquista española. El investigador Jorge Quiroz Márquez en su libro "El mezcal, orígenes, elaboración y recetas" hace referencia al nacimiento de esta bebida como un resultado de necesidad de los españoles por bebidas alcohólicas fuertes una vez que sus reservas fueron disminuyendo. En ese momento, muy probablemente antes de 1578 según el autor, los conquistadores se vieron en la necesidad de buscar nuevas fuentes de bebidas alcohólicas para ser destiladas y obtener bebidas de mayor intensidad alcohólica<sup>3</sup>, volteando a ver a los fermentados que tomaban los nativos, como el pulque, tepache, pozonque, socollule y el mexcalli, este último, resulta ser "...el antecedente directo de la palabra mezcal".

---

<sup>2</sup> Tatemar es un verbo cuya etimología proviene del nahua tlatemati, que significa poner sobre el fuego para soasar un alimento.

<sup>3</sup> Jorge Quiroz Márquez; "El mezcal, orígenes, elaboración y recetas"; Universidad José Vasconcelos de Oaxaca, 1997. Pág. 5.



Estas teorías afirman que la introducción en México de las técnicas de destilación tienen su origen en la llegada del destilador filipino a Colima, en el siglo XVI, junto con el cultivo de cocotero y un número importante de trabajadores filipinos dedicados a la elaboración de licor o vino de coco. Más tarde, esta misma técnica se aplicó a los fermentos de agave cocido en las regiones del volcán de Colima. Por otra parte, en el siglo XVII, a partir de la introducción en México del sistema de destilación árabe por medio del alambique y junto con el cultivo de caña de azúcar; se aprovecharon las técnicas y herramientas, adaptándolas a la destilación de los fermentos del agave en los valles de Amatitlán y Tequila, en Jalisco.

Sin embargo, en 1898 el explorador noruego Carl Lumholtz encontró destiladores muy sencillos en sus viajes por la sierra Huichola y Michoacán, concluyendo que eran anteriores a la conquista.

Por otra parte, una investigación reciente comprueba que las bebidas destiladas eran conocidas y elaboradas por los pueblos mesoamericanos antes de adoptar los métodos y herramientas de destilación de bebidas alcohólicas traídas por los europeos, como el alambique árabe y el filipino. En Colima encontraron vasijas tipo bule<sup>4</sup> y trífidas<sup>5</sup> que pueden haber sido utilizadas para destilar bebidas. Los experimentos realizados con este tipo de vasijas y destinados a comprobar si este tipo de destilación prehispánica resultaba en bebidas de agave conteniendo etanol fueron exitosos; los investigadores propusieron el origen y desarrollo de un "Destilador Mesoamericano tipo Capacha"<sup>6</sup>, a partir de ollas frijoleras y vaporeras fabricadas con barro. El tamaño de las vasijas encontradas, el contexto arqueológico y los rendimientos de etanol obtenidos en los experimentos sugieren un uso ceremonial, de alta relevancia social y cultural de las bebidas destiladas por parte de los pueblos mesoamericanos.

---

<sup>4</sup> Vasija hecha del fruto seco bule.

<sup>5</sup> Vasija asa de estribo con dos tubos

<sup>6</sup> Vasija que pareciera tener dos superpuestas.

Como ya se mencionó, el origen del mezcal es demasiado incierto, pero continuando con la suposición de que éste comenzó con la llegada de los españoles, sería importante mencionar que los indígenas no estaban acostumbrados a tomar bebidas con un alto contenido alcohólico y la introducción del aguardiente<sup>7</sup> fue desastrosa para ellos. Al contrario, los españoles eran bebedores empedernidos, su larga experiencia con bebidas de alto contenido alcohólico data del siglo VIII a.c., cuando los moros después de invadir España y extender su control sobre la península ibérica introdujeron el proceso de destilación. Y como la pequeña cantidad de bebidas fuertes que los españoles habían traído con ellos al nuevo mundo se terminó rápidamente y un sustituto se tenía que encontrar, pocos meses después del arribo a México, los mismos ya tenían destiladores en operación e iniciaron la búsqueda de la materia prima.

Para fortuna de los conquistadores, éstos encontraron pronto una bebida alcohólica moderada, la cual se obtenía de la savia de algunas especies de maguey. Descubrieron que este tipo de agave (uno de los 200 que existen en nuestro país), producía alimento, bebida y fibras para la elaboración de textiles, por tal motivo exclamó el enviado español del rey Carlos V en 1519: "nunca la naturaleza ha reunido en un solo vegetal, tantos elementos susceptibles de satisfacer las necesidades del hombre". Y con esto, surgieron bebidas de alto grado alcohólico obtenidas del agave a las que originalmente llamaron "vino de agave" o "vino de mezcal" de donde surgió el tequila a finales de 1800. Técnicamente hablando podría decirse que el tequila es una forma de mezcal, pero no que el mezcal es una forma de tequila.

A partir de entonces y durante, casi el resto de la época colonial la producción de bebidas americanas, como el pulque y el mestizo mezcal, se vio favorecida debido a la prohibición de cultivar vid y caña de azúcar por parte de la Corona Española en Territorios americanos en 1595, principalmente porque competía

---

<sup>7</sup> Bebida alcohólica de alta graduación que se obtiene por destilación del vino o de otras sustancias que fermentan, como algunos frutos, cereales, caña de azúcar y remolacha.

con los productos españoles como el vino de uva y otros licores del viejo continente. Además, los españoles se percataron que embriagar a los nativos servía como un medio de control sobre ellos ya que los embrutecía porque no se tenía la costumbre de tomar en exceso.

Así pues, el ingreso por venta de estas bebidas fue tan importante para la corona, que en 1608 Don Juan de Villela, gobernador de Nueva Galicia funda las Cajas Reales para cobrar el impuesto al Vino Mezcal. En el año de 1793 la Real Hacienda percibió 817,739 pesos solamente de los impuestos que gravaban esta industria en las ciudades de México, Toluca y Puebla”.

Sin embargo esta nueva costumbre también comenzó a desatar problemas sociales, mismos que se trataron de atenuar con medidas como la Ley Seca de 1785, cuando se prohibió por Real Orden, la producción de todas las bebidas embriagantes; incluso la iglesia amenazó al que las ingiriera con la excomunión.

Posterior a la determinación de la primera ley seca y al mejoramiento de los medios de comunicación con España, es muy probable que los nuevos pobladores hubiesen regresado a su acostumbrado vino, brandy y ron, pero aunque los españoles no consumían los productos locales no estaban ciegos de las grandes posibilidades de obtener extraordinarias ganancias de la venta de licores provenientes de las plantas mexicanas entre las masas, por lo tanto el maguey se comenzó a sembrar cada vez más. De manera evidente los indígenas pronto olvidaron cualquier imposición moral que los antiguos y prehispánicos tabúes les imponían en lo referente a bebidas embriagantes, y desafortunadamente cedieron al alcohol.

No habían pasado 20 años desde la fecha de la conquista y los españoles terratenientes comenzaron a quejarse de los dueños de las minas por atraer con mezcal a los trabajadores, esto por supuesto para que trabajaran en las minas. Desde ese entonces y a través del período colonial los funcionarios virreinales vacilaron entre permitir la manufactura del mezcal y gravar los ingresos por la venta del mismo o prohibirlo totalmente cuando el desorden

público lo ameritara, obviamente el licor representaba un ingreso por impuesto bastante alto, y ésa fue una razón por la cual los períodos de ley seca fueron muy cortos comparados con aquellos en que la producción y consumo del mezcal era permitido.

Una década después la corona concede el primer permiso a José María Guadalupe Cuervo para producir “vino de mezcal de tequila”. Los grandes hacendados, incipientes capitalistas, serían los que consiguieran los permisos de los diferentes gobiernos que se darían en la historia colonial e independiente de México, pagando los impuestos correspondientes y transformando la industria de los destilados en una fuente de explotación social de los trabajadores y el medio ambiente y priorizando ciertas variedades de maguey sobre otras.

Ya durante el Porfiriato, el avance tecnológico y de comunicaciones de Jalisco y el occidente del país, contrastado con la zona del istmo de Tehuantepec, comenzaron a marcar las claras diferencias entre el mezcal y el tequila.<sup>8</sup>

Durante el régimen porfirista, alrededor del año 1895, en apoyo al desarrollo capitalista, se introdujeron en Jalisco técnicas modernas de destilación. Con esto se inició la clara separación entre lo que era el tequila y el mezcal. El tequila adoptó la industrialización en su proceso de destilado para con ello poder aumentar su volumen de producción, pero al mismo tiempo perdió su espíritu y tradición que aún conserva el mezcal. El tequila, a diferencia del mezcal tuvo a su favor varios factores que ayudaron a su posterior consolidación. El primero de ellos fue la comunicación, el occidente mexicano, donde se producía el tequila, tuvo un amplio desarrollo comercial incluso antes de la introducción del ferrocarril. El istmo de Tehuantepec, gran productor de mezcal en esa época estaba aislado de los grandes centros de consumo del país. Otro factor que proyectó la comercialización del tequila fue la asimilación, sobre todo por parte de la población trabajadora, de una "cultura tequilera", tanto en lo agrícola como en lo industrial. Otra ventaja del tequila resultó ser

---

<sup>8</sup> Alberto Sánchez López; “Oaxaca tierra de maguey y mezcal”; Instituto Tecnológico de Oaxaca, 1989. Pág. 94.

nuevamente su ubicación en el sentido de ser uno de los estados con mayor población en el país que formaba un amplio mercado de consumo que prácticamente dominaba el centro del occidente del país. De esta forma, los tequileros se consolidaron como grupo no sólo resistiendo sino fortaleciéndose frente a la centralización económica y la modernización.<sup>9</sup>

Avanzando en el siglo XX, la influencia del capitalismo hace progresar las tendencias evolutivas de la industria de bebidas alcohólicas. En la década de los cuarenta, el proceso de transnacionalización alcanza a la industria tequilera y la pone en manos de extranjeros. Sin embargo, para asegurar la calidad y certificar este producto, se integra la Cámara Regional de la Industria Tequilera, la cual permite la consolidación de la industria y el aumento de la demanda.

Posteriormente, "campañas publicitarias consiguen incrementar la demanda nacional e internacional, lo que llega a una insuficiencia en la capacidad productiva del tequila, especialmente por la escasez de materia prima". Tratan de resolver la situación comprando agaves en otras partes de la República (entre ellas Oaxaca) lo cual va en contra de la Norma Oficial del Tequila. Esto repercute en la cadena productiva y afecta la economía de familias que por cientos de años se habían dedicado a la producción de mezcal.

Entre tumbos y reparos la industria mezcalera trataba de proteger su cadena productiva y patrimonio cultural, a través de la búsqueda y establecimiento de la Norma Oficial del Mezcal, publicada en 1949 para proteger la materia prima y el proceso de elaboración del mezcal. Si bien era una buena iniciativa, esta norma no cumplió con ser lo suficientemente específica para brindar una protección real, por lo que para mejorarla, el 17 de agosto de 1994 se publicó en el Diario Oficial de la Federación la Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994 Bebidas-Alcohólicas-Mezcal-especificaciones. También en 1994 se declaró Fla protección de la denominación de origen "Mezcal", contemplando

---

<sup>9</sup> Rogelio Luna Zamora, "La historia del tequila, de sus regiones y sus hombres"; México D.F. CNCA, 1991; Págs. 75-76.

la siembra, cultivo y extracción de los géneros de agave propios para la bebida, comprendidos en la Norma Mexicana NMX-V8-1993-SCFI, en los estados de Guerrero, Durango, San Luis Potosí, Zacatecas y en Oaxaca específicamente la denominada “Región del Mezcal”. El 12 de diciembre de 1997, se constituye el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad el Mezcal A.C. (COMERCAM), establecido como un organismo privado, de alcance nacional para vigilar el cumplimiento de las diferentes normas, reglamentaciones y denominaciones que delimitan la legalidad de la bebida, dando servicio a productores de agave, productores, envasadores y comercializadores de mezcal. Y el jueves 29 de noviembre de 2001, se publicó en el DOF, el territorio protegido por la denominación de origen.

Ante la crisis tequilera por la escasez de agave y la consecuente adulteración de los tequilas con azúcares de caña en el 2000, cuando el kilo de agave pasó de 84 centavos a 16 pesos, el puesto por antonomasia del tequila como bebida de identidad nacional fue relegado poco a poco. El tequila perdió prestigio. Fue el momento en que el mezcal, antes una bebida desclasada y denigrada, fue ganando terreno.

Sin embargo, a pesar del boom que ha tenido esta bebida, Hacienda no lo ve como una bebida de identidad nacional o de producción artesanal, para ellos es alcohol y el impuesto es lo mismo para un pequeño productor que para una empresa transnacional.

En Puebla existe, por ejemplo, una ley de producción artesanal para proteger la cerámica de talavera, debería haber algo similar con el mezcal, pues es un producto artesanal.

Entonces, como hemos visto a lo largo de la historia, los agaves nativos de cada región, así como las técnicas ancestrales que se siguen utilizando en la elaboración del mezcal, representan un patrimonio biológico y cultural único e invaluable. El consumo de mezcal es parte fundamental de la historia, la cultura, la tradición y la identidad de México. Es un pilar en el bienestar de las comunidades locales y de los ecosistemas que sustentan dichos cultivos.

Sentir el mezcal es rescatar una tradición única para México y para el mundo entero.

Una festividad sin mezcal es inconcebible. El mezcal es “el agüita que hace hablar” y como dice el refrán popular... “para todo mal mezcal y para todo bien... ¡también!”.

## 1.2 Relevancia del mezcal

Hasta hace poco la bebida del mezcal era concebida como un líquido corriente y que solamente era para el consumo de las clases sociales menos favorecidas, esta concepción errónea poco a poco se ha ido modificando hasta llegar a la importancia que actualmente tiene tanto en el consumo interno como en el internacional.

El sector de las bebidas alcohólicas que no solo es protagonista de tendencias, modas y estilos de vida, sino que también conforma un mercado que tan solo en 2012 registró un valor de 173,108 mdd en América Latina y tuvo un crecimiento de 60.1% en el periodo 2007-12.

Así, según la tendencia prevista por Euromonitor International<sup>10</sup>, el consumo en restaurantes y bares se promueve con la cata de mezcal y creativos tragos mezclados, mientras que el consumo a través de supermercados, almacenes, tiendas de conveniencia, etc. se promueve mediante una mejoría en la distribución a especialistas en alimentos y bebidas y con atractivas botellas de diseños artísticos que dejan al descubierto el misticismo y el origen artesanal de esta bebida 100% mexicana.

---

<sup>10</sup> Euromonitor International es una consultora dedicada a proporcionar datos y análisis de diversos productos. La firma con sede en Londres fue fundada en 1972 y provee una gran cantidad de estudios de mercado, ya sea por zona, país, categoría, canal o consumidor. Actualmente cuenta con analistas en 80 países.

### 1.2.1 Importancia del mezcal en el país

La cadena productiva de la industria del mezcal se conforma de 5 eslabones. Estos eslabones se ilustran en la imagen que a continuación se presenta.

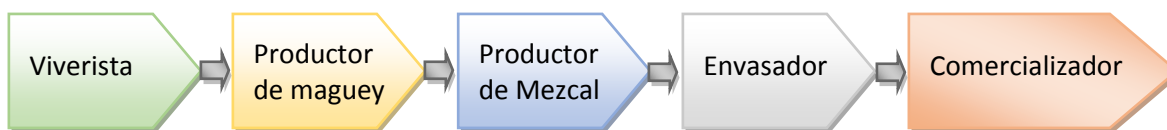


Figura 1.2 Cadena productiva de la industria del mezcal

Según datos de la Encuesta Anual de la Industria Manufacturera (EAIM), sólo en el periodo que va del 2009 al 2012 la industria de bebidas destiladas de agave elaboró productos con un valor cercano a los 60 mil millones de pesos.

Tabla 1. Valor de los productos elaborados en la industria de las bebidas destiladas de agave por año

Año	Miles de Pesos
<b>2009</b>	15, 757, 121
<b>2010</b>	15, 597, 270
<b>2011</b>	14, 391, 419
<b>2012</b>	14, 216, 598

Pero el valor de los productos elaborados no es toda la derrama económica que una industria puede generar. La producción bruta total, que sí lo es, se integra sumando conceptos tales como: el valor de los productos elaborados (el cuál es el que mayor porcentaje de participación tiene), los ingresos por maquila, otros ingresos por servicios (margen bruto de compra-venta, ingresos por alquileres, ingresos por reparación y mantenimiento, ingresos por regalías, ingresos por outsourcing, venta de publicidad, fletes, producción de activos



para uso propio, etc.); y la variación de existencias (aumento o disminución) de productos en proceso.<sup>11</sup>

Tabla 2. Valor de la producción bruta total en la industria de las bebidas destiladas de agave por año

<b>Año</b>	<b>Miles de Pesos</b>
<b>2009</b>	16, 338, 646
<b>2010</b>	16, 016, 565
<b>2011</b>	15, 303, 566
<b>2012</b>	15, 542, 227

De acuerdo a los datos de las dos tablas anteriores, podemos observar que año tras año la industria de las bebidas destiladas de agave ha tenido ganancias cada vez mayores. Lo anterior impacta a lo largo de toda la cadena productiva y genera mejores condiciones y estabilidad en la vida de las personas que dependen directamente de esta industria.

#### 1.2.1.1 Estados y municipios productores de mezcal

Como veremos en el capítulo siguiente, la obtención de la denominación de origen en la producción de mezcal ha sido el resultado de un trabajo progresivo a través del tiempo. Esta denominación nos menciona ciertas regiones donde se es permitido producir este líquido.

Actualmente se produce mezcal en un total de 8 estados y a continuación se presenta la participación que tienen dichos estados y los municipios en donde este producto se lleva a cabo.

---

<sup>11</sup> Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Síntesis metodológica de la Encuesta Anual de la Industria Manufacturera EAIM [En línea]. SCIAN 2007, 2012. p. 35

Tabla 3. Participación de los estados en la producción de mezcal

Estado	Año de incorporación a la DOM	Número de Municipios	Porcentaje del estado
<b>Oaxaca</b>	1994	570	100%
<b>Guerrero</b>	1994	81	100%
<b>Durango</b>	1994	39	100%
<b>San Luis Potosí</b>	1994	58	100%
<b>Zacatecas</b>	1994	58	100%
<b>Guanajuato</b>	2001	1	2%
<b>Tamaulipas</b>	2003	11	25%
<b>Michoacán</b>	2012	29	26%

**847**

Como podemos ver en la tabla anterior, paulatinamente se ha dado la incursión de nuevos estados en la producción del mezcal y es evidente que Oaxaca es por mucho el estado donde más municipios se dedican a esta actividad. Aún así los estados de Guerrero, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas producen mezcal en todos sus municipios, muy por el contrario encontramos a Guanajuato, donde sólo un municipio lo produce.

Según datos de la Federación Nacional de Municipios de México, existen en nuestro país un total de 2,445 municipios y en 847 de ellos se produce actualmente mezcal, lo que representa que este producto se elabora en el 34% del territorio nacional.

Ahora veamos en las siguientes tablas, el número de productores de maguey, productores de mezcal, envasadores y comercializadores asociado al Consejo Regulador del Mezcal por estado. Estos datos también vienen desglosados por año.

Tabla 4. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Oaxaca por año

Unidades de Servicios	Hasta 2011	2012	2013	2014
Productor de Maguey	119	172	212	230
Productor de Mezcal	200	264	332	357
Envasador	98	103	135	147
Marcas (Comercializador)	198	228	270	303
<b>Total</b>	<b>615</b>	<b>767</b>	<b>949</b>	<b>1,037</b>
Porcentaje de Crecimiento	-	24.7 %	23.7 %	9.3 %

Tabla 5. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Guerrero por año

Unidades de Servicios	Hasta 2011	2012	2013	2014
Productor de Maguey	14	23	24	27
Productor de Mezcal	40	42	51	60
Envasador	5	6	6	8
Marcas (Comercializador)	5	6	7	10
<b>Total</b>	<b>64</b>	<b>77</b>	<b>88</b>	<b>105</b>
Porcentaje de Crecimiento	-	20.3 %	14.3 %	19.3 %

Tabla 6. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de San Luis Potosí por año

Unidades de Servicios	Hasta 2011	2012	2013	2014
Productor de Maguey	1	2	2	2
Productor de Mezcal	5	7	7	7
Envasador	5	6	6	6
Marcas (Comercializador)	6	6	6	6
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>21</b>
Porcentaje de Crecimiento	-	23.5 %	0 %	0 %

Tabla 7. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Zacatecas por año

Unidades de Servicios	Hasta 2011	2012	2013	2014
Productor de Maguey	3	4	4	4
Productor de Mezcal	20	20	20	20
Envasador	19	19	19	19
Marcas (Comercializador)	21	21	21	22
<b>Total</b>	<b>63</b>	<b>64</b>	<b>64</b>	<b>65</b>
Porcentaje de Crecimiento	-	1.6 %	0 %	1.6 %

Tabla 8. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Durango por año

Unidades de Servicios	Hasta 2011	2012	2013	2014
Productor de Maguey	5	5	6	7
Productor de Mezcal	14	14	16	17
Envasador	10	10	12	13
Marcas (Comercializador)	9	9	11	11
<b>Total</b>	<b>38</b>	<b>38</b>	<b>45</b>	<b>48</b>
Porcentaje de Crecimiento	-	0 %	18.4 %	6.7 %

Tabla 9. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Guanajuato por año

Unidades de Servicios	Hasta 2011	2012	2013	2014
Productor de Maguey	3	4	4	4
Productor de Mezcal	4	4	4	4
Envasador	5	6	6	6
Marcas (Comercializador)	4	5	5	5
<b>Total</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>
Porcentaje de Crecimiento	-	28.75 %	0 %	0 %

Tabla 10. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Tamaulipas por año

Unidades de Servicios	Hasta 2011	2012	2013	2014
Productor de Maguey	1	3	3	5
Productor de Mezcal	2	4	4	6
Envasador	2	2	2	6
Marcas (Comercializador)	1	1	1	3
<b>Total</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>20</b>
Porcentaje de Crecimiento	-	100 %	0 %	100 %

Tabla 11. Unidades de servicio asociadas al CRM en el estado de Michoacán por año

Unidades de Servicios	Hasta 2011	2012	2013	2014
Productor de Maguey	-	0	0	22
Productor de Mezcal	-	0	1	23
Envasador	-	0	1	25
Marcas (Comercializador)	-	0	1	2
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>72</b>
Porcentaje de Crecimiento	-	-	-	2300 %

Con los datos de las tablas anteriores podemos observar que el estado que tuvo un mayor crecimiento fue Michoacán, así también es el único que no

producía mezcal bajo la denominación de origen sino hasta hace 2 años. Por el contrario el estado que menor crecimiento ha tenido en los últimos años es Zacatecas, que refleja un crecimiento casi nulo.

Lo anterior contrasta de manera importante con las calificaciones obtenidas por la mayoría de los estados que producen mezcal en cuanto a su desempeño en el ámbito económico. Estas calificaciones otorgadas por “México ¿Cómo vamos?”<sup>12</sup> fueron resultado de la evaluación de 10 variables que contribuyen directamente con el desarrollo como son: crecimiento, empleo formal, productividad laboral, pobreza laboral, exportaciones, deuda, estado de derecho, informalidad, diversificación laboral y desigualdad económica.

Como se puede observar en la gráfica siguiente, Guanajuato es el estado que menor crecimiento tuvo en el 2014 en cuanto a la industria de mezcal, pero de los estados productores de esta bebida es el que mayor calificación obtuvo en el estudio. De manera inversa se encuentran estados como Oaxaca y Michoacán, que poseen de las calificaciones más bajas, pero en cuanto a la industria mezcalera son los que mayor crecimiento han tenido, principalmente Michoacán. En cuanto a los demás estados, estos guardan una relación no tan alejada entre sus calificaciones y el porcentaje de crecimiento en la industria en el año 2014.

De aquí la necesidad de impulsar esta industria para el beneficio particular de cada estado y el general de nuestro país; pues si bien es claro que ha existido una mejora con el paso de los años, también es inevitable observar que falta mucho por trabajar para que la industria sea punta de lanza en el desarrollo económico de México.

---

<sup>12</sup> Colectivo de investigadores integrado por un grupo plural de académicos y expertos en economía y política pública mexicana, que evalúan el desempeño del país a fin de impulsar un crecimiento acelerado y sostenido del país.

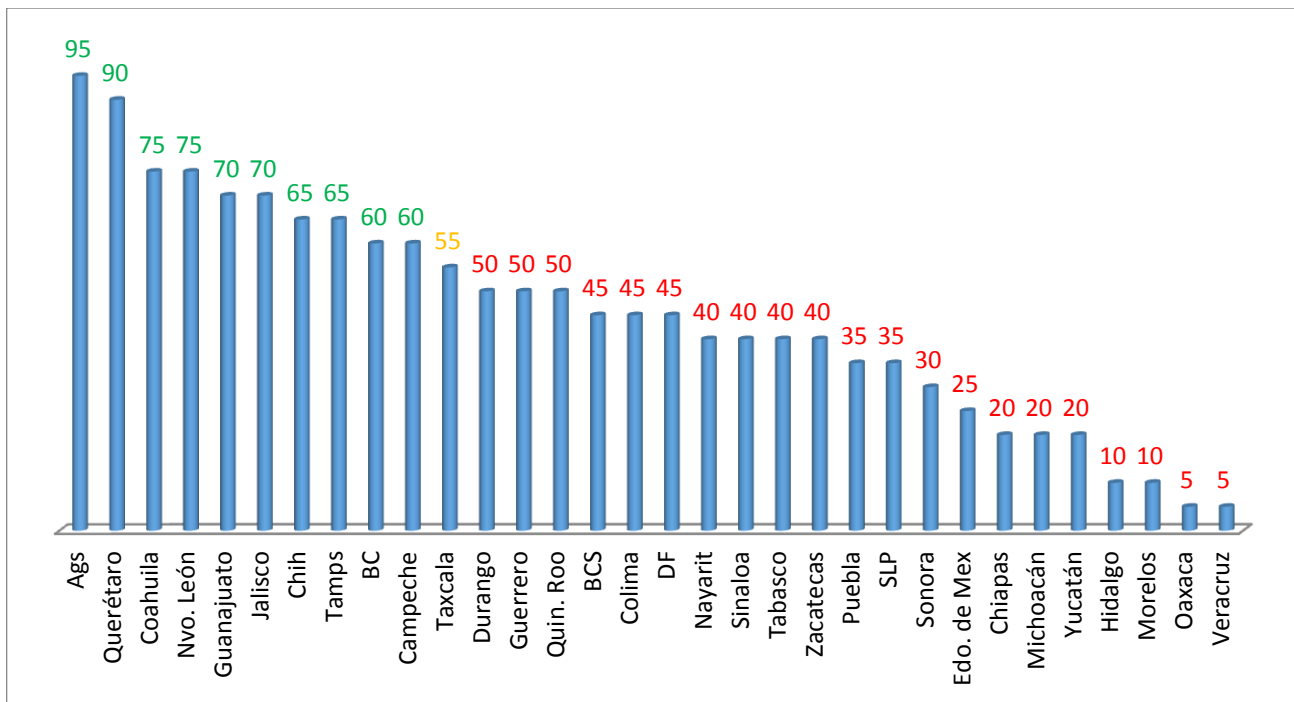


Figura 1.3 Calificaciones de desempeño de los estados en el tercer trimestre de 2014. Las calificaciones son de 0 a 100, siendo 100 la mayor contribución al desarrollo económico del país

Por otra parte Oaxaca, además de tener un buen crecimiento en la industria mezcalera, es el único estado donde se refleja una notada diferencia entre el número de productores de mezcal y el número de comercializadores del mismo, pues hay bastante más marcas que productores de esta bebida; es en parte por ello que el mezcal producido en esta entidad federativa es el más conocido tanto nivel nacional como internacional; pues hoy en día la mercadotecnia de un producto es necesaria para su posicionamiento en el mercado.

Veamos ahora la participación que cada estado tiene en la producción de esta bebida.



Tabla 12. Distribución porcentual de la producción de mezcal por estado

Estado	2011	2012	2013	2014
Oaxaca	77.4 %	93.0 %	99.4 %	93.7 %
Zacatecas	22.2 %	4.5 %	0.1 %	4.4 %
Guerrero	0.3 %	1.6 %	0.4 %	0.9 %
Durango	0.0 %	0.6 %	0.0 %	0.4 %
Michoacán	-	0.0 %	0.0 %	0.5 %
Guanajuato	0.0 %	0.2 %	0.1 %	0.0 %
Tamaulipas	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
San Luis Potosí	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %

La tabla 12 refleja la marcada preponderancia de Oaxaca a través de todos los años, pero fue en el 2013 que acaparo la producción casi por completo. Para el 2014 su participación de más de 90% en la producción lo sigue consolidando como el pilar de la industria.

Zacatecas por su parte sigue siendo el segundo productor más importante, pero con una marcada disminución en su participación, pasando del 22.2% que tenía en el 2011 a un 4.4% que obtuvo hace dos años.

Así mismo la participación en el 2014 de Guerrero, Michoacán y Durango es mínima mientras que la de Guanajuato, Tamaulipas y San Luis Potosí es nula.

Debido a su actual incorporación a la industria y a su crecimiento del 2300% en el 2014, a continuación, revisaremos con un poco más de detalle lo que ha significado para Michoacán su incorporación a la DOM.

Posteriormente revisaremos el caso específico de Oaxaca, pues es el estado que más mezcal produce y el que más importancia tiene para la industria del mezcal.

### 1.2.1.2 Michoacán

A tan sólo dos años de su incorporación a la denominación de origen, la industria del mezcal ha crecido en Michoacán como en ningún otro estado. Su crecimiento acelerado le ha permitido posicionarse en el 4to lugar de los estados que más litros de mezcal producen.

De acuerdo a datos dados a conocer a finales del 2014 por la Secretaria de Economía, Michoacán contaba con 300 productores que generaban un aproximado de 3, 250 empleos directos en el estado. Lo anterior se traduce en la elaboración de 230 mil litros al año de mezcal.

Hay que recordar que actualmente de los 113 municipios con lo que cuenta Michoacán, sólo el 26%, es decir 29 de ellos se encuentran incorporados a la denominación de origen.

Por otra parte, también en el 2014 hubo un apoyo de dos millones y medio con el cual se beneficio a 51 productores con el fin de hacer frente a las necesidades que demanda la certificación, según mencionó el Secretario de Desarrollo Rural del estado, Jaime Rodríguez López.

Un fenómeno muy particular del estado es que existe el objetivo de establecer una marca colectiva, que podría ser quizás más importante que las certificaciones para los productores de esta región, pues como ya se había mencionado con anterioridad, el posicionamiento de una marca es vital para el desarrollo de un producto, en muy buena parte por la derrama económica que éste genera.

### 1.2.1.3 Oaxaca

En su tercer informe de gobierno, el actual gobernador de Oaxaca Gabino Cué, hizo mención especial a la industria del mezcal y expresó que en los últimos años ésta se ha convertido en una de las más dinámicas para el

estado. Así mismo dijo que representa una gran oportunidad de negocio y promoción de nuestra cultura.

Tan sólo en el 2012 operaban 420 palenques, mientras que para el año 2013, 460 se encontraban en operación, 9% más que el año anterior; asimismo, en 2013 se destilaron 2 500 000 litros de mezcal, lo que significó 30 mil personas dedicadas a la producción de agave, 7% más que en 2012. De igual manera, la capacidad instalada para envasar mezcal se incrementó 9%.

Además se tenían registradas 150 marcas de mezcal que se comercializan en los ámbitos nacional e internacional, las cuales propiciaron que en ese año más de 914 mil litros de mezcal fueran exportados al mercado internacional a diferencia de los 768 mil litros que lo hicieron en 2012, lo que significó un aumento del 19%, lo que produjo un incremento de ventas por concepto de exportación de 51%, al pasar de 3 591 000 dólares en 2012 a 5 440 000 dólares en 2013, lo que mantuvo el promedio de venta a 9 dólares por litro de mezcal de exportación.

Para el año 2014 ya eran 300 las marcas certificadas por el Comercam en el estado, las mismas que reportaron ventas por 115 mdp.

Con el fin de seguir impulsando el desarrollo de esta actividad, se ha implementado en este estado el proyecto “Impulso integral para elevar la competitividad de la industria del mezcal en el estado de Oaxaca”, cuyo objetivo es elevar la competitividad de la industria por medio del fortalecimiento de los palenques ubicados en la “Ruta del Mezcal”, ruta que va desde la ciudad de Oaxaca de Juárez hasta la de Santiago Matatlán.

Por su parte la subsecretaria de desarrollo empresarial de la entidad, Ángela Hernández mencionó en el presente año que la Secretaría de Turismo y Desarrollo Económico de Oaxaca (STyDE) desarrollará la ruta “Camino del Mezcal”, que incluirá la visita a 10 palenques ubicados en seis municipios de la entidad; con lo que se pretende financiar el equipamiento y la certificación de los palenques, además de mejorar la imagen urbana de los municipios que formarán parte de la ruta. Cabe destacar que este plan es similar al que se

implementó en 2007 para la industria tequilera con la “Ruta del Tequila”, que incluía a cinco municipios de Jalisco y a 100 empresas.

Muy por el contrario de esta bonanza económica, Oaxaca es una de las tres entidades federativas más pobres de México. Según los indicadores de bienestar del INEGI es una entidad de muy alta marginación. La productividad del trabajo es baja debido a los bajos niveles de escolaridad, la deficiente alimentación y la mala salud de la mayor parte de los oaxaqueños; por lo que los anteriores factores encierran a la economía oaxaqueña en un círculo vicioso de pobreza.

Por otro lado, la entidad se sostiene sobre todo de las actividades agropecuarias, del turismo y el comercio, pero poco de la industria. De hecho, y como se muestra en la gráfica, en el 2001 la industria manufacturera tenía una mayor participación en la ocupación económica.

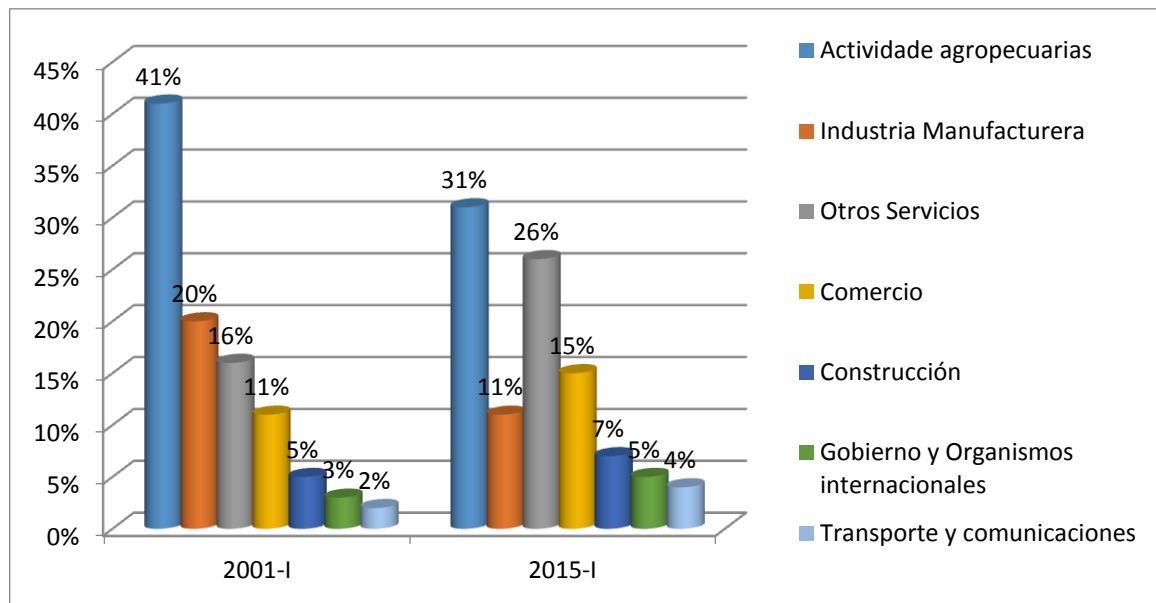


Figura 1.4 Ocupación por Actividad Económica

En este contexto, la industria del mezcal es la más importante y dinámica por la cantidad de empleos y de divisas que genera a través de las exportaciones a algunos países de América, Europa y Asia. Esta actividad colabora no sólo

con la creación de empleos en la industria manufacturera, sino por el contrario favorece al comercio y al turismo del estado.

Así mismo y para continuar apoyando a la industria del mezcal, los años pasados a través del proyecto Fortalecimiento del cultivo del agave se destinaron recursos por 7 250 000 pesos a efecto de establecer 500 hectáreas de agave y construir una fábrica artesanal para la producción de mezcal, en beneficio de 400 productores: 100 mujeres y 300 hombres. También se destinarán otros 60 mdp para modernizar y certificar a 278 palenques y para la capacitación de los productores.

De esta forma, el estado de Oaxaca intentará mantener y aumentar la preponderancia que hasta el momento le hace acumular el 74% de la infraestructura de la industria mezcalera.

### 1.2.2 Consumo Nacional

Como revisaremos más adelante, la aceptación del mezcal en el mercado nacional ha sido mayor en estos últimos años, pues como asegura Víctor César Velázquez, secretario de industria y comercio de Oaxaca, “El mezcal está de moda” y se ha vuelto una bebida popular en bares, restaurantes y hoteles, que de 2011 a la fecha, reporta crecimientos anuales en su consumo de entre 11% y 18%; lo cual favorece de manera directa a gran número de personas que se dedican a esta actividad económica.

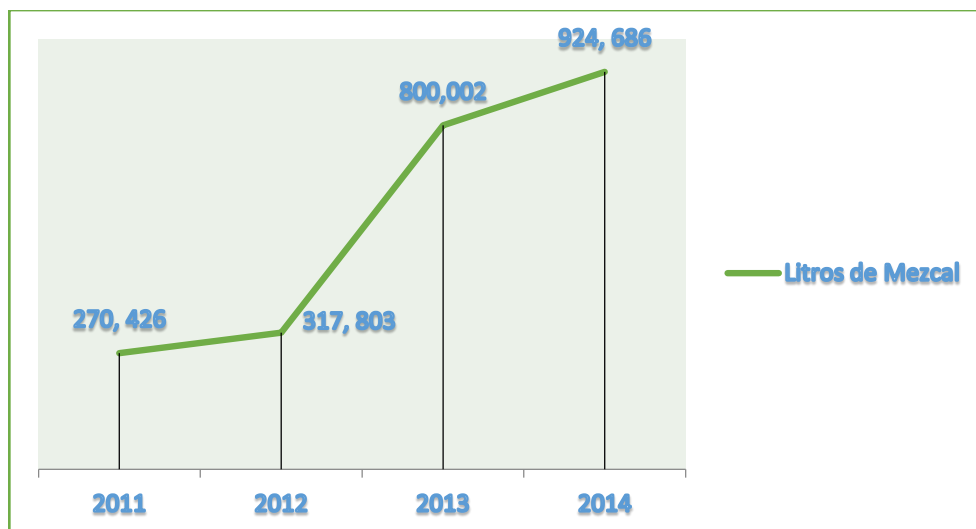


Figura 1.5 Envasado para Mercado Nacional

Según datos del Gobierno de Oaxaca, el Distrito Federal, Monterrey, la Riviera Maya (Cancún, Playa del Carmen) y Puebla, son los destinos en el país donde existe un mayor consumo de esta bebida.

Tabla 13. Ventas de mezcal por canal Mayorista

Regiones	2012	2013	2014
Pacífico	4.2%	3.9%	3.1%
Noreste	13.8%	11.6%	12.0%
Bajío	12.2%	14.0%	13.7%
Centro	11.1%	11.2%	11.4%
Valle de México	46.6%	46.9%	46.9%
Sureste	12.2%	12.4%	12.9%



Figura 1.6 Mapa de la segmentación geográfica nacional de acuerdo con Información Sistemizada de Canales y Mercados (ISCAM)

Como podemos apreciar de la figura y tabla anteriores, la tendencia de ventas del Mezcal a nivel nacional se concentra mayormente en la región denominada Valle de México que comprende el Distrito Federal y 12 municipios del Estado de México.

Con este 'boom' mezcalero, los precios se incrementaron 12.4 por ciento en el 2014, de 240.7 pesos por litro a 304.2 pesos por litro, el mayor entre todas las bebidas espirituosas que se venden en México, que incluye tequila, whisky, vodka, entre otros.

Y, por si fuera poco, con el propósito de seguir esta tendencia el Gobierno del estado de Oaxaca invertirá 290 millones de pesos (mdp) en los próximos años para impulsar la venta del mezcal en todo el territorio nacional.

Por otro lado existen empresas y personas cada vez interesadas en colaborar con esta industria, tal es el caso de Bacardí, empresa con tradición en la producción y comercialización de ron, pues firmó un acuerdo para vender los productos de Casa Armando Guillermo Prieto, que es una fábrica de mezcal establecida en el estado de Oaxaca. Ésta última anticipa alcanzar un ritmo de crecimiento de 37% anual en ventas, dado el comportamiento de la demanda

mostrada por la bebida a nivel nacional. El precio de estos productos va desde 190 hasta 700 pesos, por lo que con tal oferta buscan también contribuir al crecimiento del consumo interno en México.

### 1.2.3 Importancia del mezcal como producto de exportación

Si bien es cierto que el mercado interno siempre marca una tendencia, actualmente en este mundo globalizado las exportaciones son un factor clave para el crecimiento de un sector. El mezcal no queda fuera de esta afirmación y quizás hasta la sobrepase, pues como indican los números más recientes, el mezcal gusta más en el extranjero. De acuerdo con datos del Consejo Regulador del Mezcal, en 2014, se exportaron 1 millón 157 mil 420 litros de dicha bebida, mientras que en México se consumieron 924 mil 686 litros.

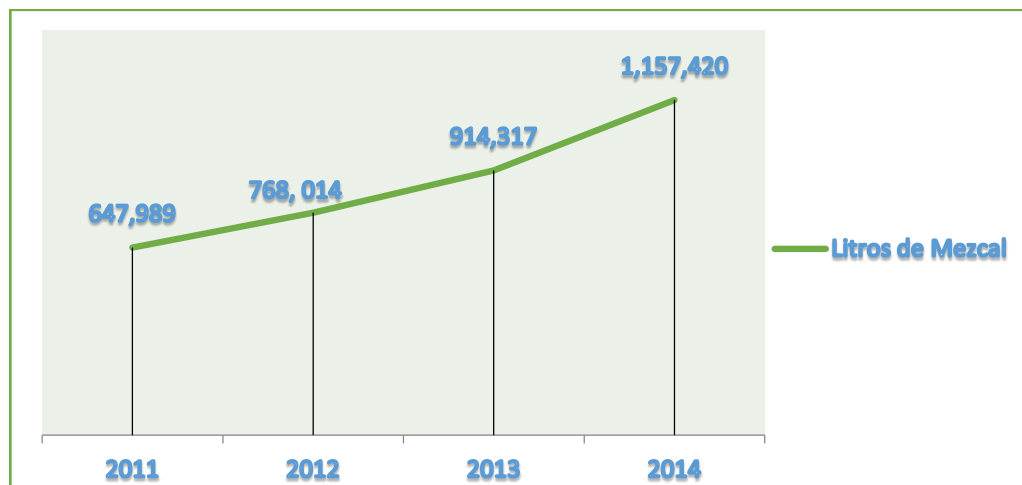


Figura 1.7 Envasado para Mercado de Exportación

Y no sólo los litros de mezcal aumentaron sino también las marcas que lograron exportar sus productos, pues mientras que en el 2011 eran 68 las marcas que salían del país, en el 2014 ya eran 116, lo que significó un aumento del 78.8 por ciento en los últimos tres años.



Tabla 14. Detalle del envasado para mercado de exportación

Estado	2011	2012	2013	2014
Oaxaca	84.5%	87.9%	91.2%	88.7%
Guerrero	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%
Durango	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
San Luis Potosí	5.4%	1.6%	2.1%	1.5%
Zacatecas	2.6%	1.8%	1.8%	0.8%
Guanajuato	0.4%	0.6%	0.3%	0.7%
Tamaulipas	0.4%	0.3%	0.0%	0.0%
Michoacán	-	0.0%	0.0%	0.1%
Fuera de la DOM	6.6%	7.8%	4.6%	8.0%

En este rubro, como en los demás, el estado de Oaxaca es el que lidera al realizar la mayor parte de los envíos de esta bebida, con el 88.7 por ciento de participación en el 2014.

Tabla 15. Procedencia del mezcal de exportación

Estado	2011	2012	2013	2014
Oaxaca	96.1%	96.2%	95.9%	96.1%
Guerrero	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%
Durango	0.9%	1.4%	1.9%	2.3%
San Luis Potosí	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Zacatecas	2.5%	1.8%	1.8%	0.8%
Guanajuato	0.4%	0.6%	0.4%	0.7%
Tamaulipas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Michoacán	-	0.0%	0.0%	0.1%

Tabla 16. Países destino del mezcal por año de incorporación

	2011	2012	2013	2014
Estados Unidos	Italia	Austria	China	Bahamas
Alemania	Japón	Ecuador	Dinamarca	Bélgica
Argentina	Latvia	El Salvador	Irlanda	Emiratos Árabes Unidos
Australia	Noruega	Hong Kong	Panamá	Honduras
Brasil	Nueva Zelanda	Islas Caimán		
Canadá	Paraguay	Singapur		
Chile	Perú			
Costa Rica	Polonia			
Eslovaquia	República Checa			
España	Rusia			
Francia	Sudáfrica			
Guatemala	Suiza			
Holanda	Taiwán			
Inglaterra	Turquía			

Son cada vez más los países interesados en conocer esta bebida espirituosa de origen mexicano; y entre los principales consumidores se encuentran países como Estados Unidos, Alemania, Chile y España. Actualmente son 42 países los países en los que se vende mezcal.



Figura 1.8 Principales países consumidores de mezcal

Según datos de ProMéxico, durante el 2013, los principales destinos de exportación de mezcal fueron Estados Unidos (55%), Australia (9%), Chile (4%) y Reino Unido (3%); Alemania, por su parte, representa un (2.5%).

Por esta creciente aceptación de la bebida y el constante aumento en su demanda, no extraña que en la alemana Mezcalería Berlín una botella de mezcal artesanal cueste entre 30 y 100 euros (es decir, entre unos 560 y 1,900 pesos). Algunas ediciones especiales de mezcales pueden llegar a un precio de 170 euros (casi 3,200 pesos).

En Estados Unidos, que es el principal destino de exportación del mezcal, se suele categorizar a las bebidas de acuerdo a su precio y el mezcal solamente se ubica en las últimas dos categorías con un precio promedio de 38 dólares por botella (Aproximadamente unos 475 pesos). El 60% de las botellas se puede considerar en la categoría Super Premium.

Tabla 17. Categorización de bebidas en Estados Unidos

Categorías	Precio de botella en anaquel
Value	< 12 Dlls
Premium	12 – 18 Dlls
High End	18 – 30 Dlls
Super Premium	> 30 Dlls

Tabla 18. Botellas de mezcal venidas en Estados Unidos según su categoría

Categorías	Porcentaje de Botellas Exportadas	Precio Promedio
Value	0%	-
Premium	0%	-
High End	40%	23 Dlls
Super Premium	60%	48 Dlls

Con el afán de seguir la tendencia de consumo en este país, durante los dos años anteriores, se realizaron doce actividades de promoción y activación del mezcal en Nueva York, además de desarrollar tres seminarios para chefs, barmans, meseras y meseros de los principales restaurantes de esa ciudad.

Como dato adicional, cabe decir que el año pasado se exportaron 200 cajas de mezcal a esta ciudad, que con las acumuladas del 2014 sumaron 600 cajas, cuyo resultado es una derrama económica de 1 400 000 pesos; además de que actualmente está en más de 42 puntos de venta en esa urbe.

Estas acciones dirigidas a fortalecer los programas de incremento a la comercialización del mezcal han tenido como resultado que se mantenga en superávit la balanza comercial del estado, en 37 800 000 pesos, en buena parte debido a la promoción y comercialización de este sector, que aumentó 50% de sus exportaciones, lo que significó 12% de dicha balanza comercial y una derrama económica para las más de 26 mil familias que dependen de esta industria.

Es claro ver entonces que el crecimiento del empleo se beneficia de las exportaciones, es por ello que México al ser un país exportador puede disminuir su nivel de desempleo, lo cual es muy importante para un país en vías de desarrollo como el nuestro.

### 1.3 Áreas de oportunidad

Según Gerardo López, quién es presidente de la Cámara Nacional de Comercio en Pequeño, Servicios y Turismo de la Ciudad de México (Canacope), existen tres pendientes para qué avance la venta del mezcal en el país; pues falta avanzar en la presentación, la comercialización y en las certificaciones. Factores que facilitan la colocación del producto en el mercado. Aunado a los anteriores factores existe un sinfín de áreas en las que esta industria podría encontrar posibilidades de crecimiento. A continuación se presentan algunos de los mismos.

#### 1.3.1 Diferencias entre tequila y mezcal

Ante la crisis tequilera por la escasez de agave y la consecuente adulteración de los tequilas con azúcares de caña en 2000 –cuando el kilo de agave pasó de 84 centavos a 16 pesos–, el puesto por antonomasia del tequila como bebida de identidad nacional fue relegado poco a poco. El tequila perdió prestigio. Fue el momento en que el mezcal, antes una bebida desclasada y denigrada, fue ganando terreno. “Este boom del mezcal comenzó hace unos 15 años, cuando empezaron a llegar mezcales al DF; llegó acompañado con la búsqueda de lo mexicano, con algo que durante mucho tiempo se despreció”.<sup>13</sup>

Esencialmente ambos productos son el producto de la destilación del agave, pero existen diferencias claves entre una y otra bebida. Principalmente existen 3 diferencias que todos podemos reconocer a simple vista. La primera es el

---

<sup>13</sup> Marco Ochoa es un diseñador, originario de la Ciudad de México pero de familia oaxaqueña, que se dedica a tiempo completo a la difusión de la cultura de los mezcales tradicionales.

lugar de creación y su consecuente denominación de origen; el tequila se produce principalmente en Jalisco mientras que el mezcal tiene su principal punto de partida en Oaxaca. La segunda diferencia la encontramos en el tipo de agave que se utiliza para su producción; el tequila se produce con Tequilana Weber o mejor conocido como agave azul, por su parte el mezcal se elabora con la variedad Angustifolia Haw o Espadín en el 80% de los casos, mientras que en el restante 20% se utilizan agaves como el Culxpe, Madreculxpe, Biculxpe, Tobaxiche, Tepeztate o Tepextate, Tobalá, Jabalí, Coyote, entre al menos otras 8 diferentes especies e incluso mezcolanzas de las anteriores. La última diferencia importante se refiere a la composición del líquido, pues mientras el tequila puede contener hasta 49% de otras sustancias, es decir 51% agave; el mezcal debe de ser 100% agave.

Además de las anteriores podemos encontrar un sin fin de variaciones y diferencias como el proceso de elaboración o el porcentaje de exportaciones y sus diferentes mercados de consumo. Por ejemplo, actualmente en el 60% de los mezcales se conserva el proceso artesanal, mientras que el tequila normalmente se produce de manera industrial con autoclaves para la cocción y tanques de acero inoxidable para su fermentación.

Por otra parte, durante el 2013 Estados Unidos, Alemania, España, Francia y Reino Unido fueron los principales consumidores de tequila, pues a esos países se exportaron 126.6 millones de litros de la bebida. En ese mismo año, Estados Unidos, Chile, Australia, Reino Unido y Francia fueron los mayores importadores de mezcal, con un total de 617 mil litros.<sup>14</sup> En el primer semestre del 2014, las cosas no cambiaron demasiado, pues aunque las exportaciones aumentaron en un 47.5%, mientras el tequila exportaba 170.8 millones de litros el mezcal sólo colocó 720 mil 500 litros.<sup>15</sup>

---

<sup>14</sup> Sociedad. 5 diferencias claves entre el tequila y el mezcal. El Financiero [En línea]. 15 de Septiembre de 2014.

<sup>15</sup> Navarrete, Georgina. Crece la demanda en el extranjero de tequila, cerveza y mezcal. Milenio [En línea]. 8 de Diciembre de 2014.

### 1.3.2 Especies de agave


Retomando y profundizando en el punto de las especies con las que se puede fabricar mezcal, nos encontramos con que el origen del agave se remonta a más de 10 millones de años y su consumo humano a más de 10 mil, con una variedad de más de 200 especies y con una amplia diversidad en cuanto a sabor, color y tamaño. Esta planta se encuentra prácticamente en todo el mundo, pues fue llevada a Europa por los españoles.

De estas variedades México posee la mayor cantidad pues posee aproximadamente 156 tipos, y aunque existen más de 50 especies diferentes con las que se puede elaborar mezcal, la NOM 70 sólo reconoce más de 20.

De las anteriores las que se presentan en la siguiente tabla son las más conocidas y usadas.

Tabla 19. Especies de agave más usadas en la producción de mezcal.

Imagen	Nombre	Descripción
	<b>Arroqueño</b> ( <i>Agave americana</i> var <i>oaxacensis</i> )	Variedad domesticada, el dulce arroqueño es uno de los magueyes mezcaleros más longevos
	<b>Cenizo</b> ( <i>Agave durangensis</i> )	Utilizado para producir pulque y mezcal, es exclusivo de Durango y Zacatecas
	<b>Cimarrón</b> ( <i>Agave salmiana</i> subsp. <i>crassispina</i> )	Del altiplano potosino-zacatecano, región mezcalera integrada natural y culturalmente
	<b>Espadín</b> ( <i>Agave angustifolia</i> )	El maguey más usado, ancestro del maguey azul tequilero y del henequén

	<b>Estoquillo</b> ( <i>Agave univittata</i> subsp. <i>lophanta</i> )	De inflorescencia espigada, pequeño pero con mucho azúcar, es característico de Tamaulipas
	<b>Lechuguilla</b> ( <i>Agave maximiliana</i> )	De él se derivan mezcales que fueron prohibidos en Sinaloa en el siglo XVIII
	<b>Mexicano</b> ( <i>Agave rhodacantha</i> )	Su belleza y solitaria presencia en las tierras altas le valieron el nombre de "mexicano"
	<b>Papalometl</b> ( <i>Agave potatorum</i> )	El tobalá es de los magueyes silvestres más apreciados para mezcal en Oaxaca
	<b>Papalote</b> ( <i>Agave cupreata</i> )	Dulce y bronco como los mezcales y las culturas de la cuenca del Balsas
	<b>Serrano</b> ( <i>Agave americana</i> )	El primer maguey conocido en Europa, una de las especies mezcaleras del noreste de México
	<b>Tepextate</b> ( <i>Agave marmorata</i> )	Su hermosa inflorescencia tiene importantes usos ornamentales y ceremoniales
	<b>Madrecuixe</b> ( <i>Agave karwinskii</i> )	Propio de zonas áridas del sur y con numerosas variantes

Por otra parte, y como ya habíamos mencionado con anterioridad, el agave más importante para la industria del mezcal es el espadín. Esto se puede observar claramente en las tablas que se muestran a continuación.



Tabla 20. Producción de Mezcal por especies de agave.

Agave	2011	2012	2013	2014
Angustifolia	82%	90%	95%	77%
Otras especies	18%	10%	5%	23%

Tabla 21. Detalle de la producción de Mezcal por especie de agave en el año 2014

Especie	2014
Angustifolia	77.4%
Ensamblés	8.4%
Tequilana	3.7%
Karwinskii	2.9%
Potatorum	2.7%
Cupreata	1.4%
Marmorata	0.7%
Otras especies	2.8%

Por todo lo anterior es claro que la oportunidad de explotar e incorporar otras especies de agave a la industria es amplia; y con el debido cuidado que se tiene que dar a esta planta, podría ser uno de los pilares en los que se sustente el crecimiento de la producción del mezcal.

### 1.3.3 Industrialización

Uno de los campos en los que la industria del mezcal tiene que avanzar y consolidarse es en el de la implementación de tecnologías que le permitan un crecimiento sustentable.

Según datos del estudio sobre el impacto que las Modificaciones a la NOM-070 traerán a la industria del Mezcal, realizado por la Universidad Autónoma de Chapingo, señala que la producción de mezcal en Oaxaca, Guerrero y Durango se lleva a cabo mediante un sistema que, por su complejidad, no se

refleja en una mejoría sustancial para los productores de maguey y los dueños de los pequeños palenques.

Es por lo anterior que actualmente el estado de Oaxaca tiene un proyecto para apoyar a los palenques, que serán objeto de dotación de equipo y mejoramiento de su infraestructura, asimismo se les ofrecerá el Diplomado Gestión de Calidad, que les permitirá competir en mercados internacionales.

En este sentido, para incrementar la participación de la industria en el mercado, el proyecto contempla apoyar la certificación del mezcal en la norma NOM-070-SCFI-1994 Bebidas Alcohólicas-Mezcal-Especificaciones, hecho que formaliza la producción de mezcal en el estado, dando certeza a la persona consumidora sobre la calidad del producto, al tiempo que mejora su precio de mercado. El proyecto atenderá a 120 empresas, conservando 360 empleos y generando 90 más; asimismo se estima un incremento en la capacidad de producción de 300 mil litros de mezcal artesanal certificado, con una inversión de 14.7 millones de pesos.

Lo anterior es un claro ejemplo de la necesidad de encontrar nuevas formas de producción del mezcal, lo cual representa una oportunidad de crecimiento y mejoramiento de los actuales procesos.

#### 1.3.4 El mezcal en el mundo de las bebidas

El consumo de alcohol en el mundo va en aumento y el de mezcal no se queda atrás, lo que hace a este mercado uno muy dinámico. Por lo tanto, y con el objetivo de cubrir esta demanda, la posibilidad de un crecimiento en la industria es palpable.

Tan sólo en el 2012, se consumieron 251 miles de millones de litros de bebidas alcohólicas, siendo la cerveza la que más demanda generó. A continuación se presenta la participación por tipo de bebida en el consumo mundial de alcohol.

Tabla 22. Consumo de alcohol en el mundo en el 2014

Bebidas	Porcentaje
Cervezas	77.7%
Vinos	11.6%
Destilados	8.4%
Otros	2.4%

De acuerdo con estos datos, el Mezcal ocupa el 0.01% del consumo mundial de bebidas espirituosas, lo que representa otra oportunidad de crecimiento para esta industria.

En cada destino al que llega se le contempla con una visión distinta, se arraiga en cada cultura de una forma diferente, desde ritos misteriosos hasta su utilización como afrodisiaco; además de que se le suele identificar como un producto orgánico debido a su producción artesanal y la exclusión de cualquier componente químico.

El mezcal puede considerarse en los mercados internacionales como una bebida exótica, con un sabor único y con condiciones de producción especiales, lo cual no tienen otras bebidas y brinda ventaja de este producto sobre los demás.<sup>16</sup>

La exportación planea beneficios tales como el crecimiento económico y el ingreso de divisas. Frecuentemente la entrada al mercado internacional significa una mayor inversión en tecnologías de producción, que se refleja en una mejor calidad de los productos y en la elevación de la eficiencia con la que se elaboran.

Diversos estudios indican que las posibilidades de éxito del mezcal son elevadas y que las fortalezas que posee esta bebida están por encima de las debilidades de la misma. Entre las principales fortalezas nos encontramos con la denominación de origen, la variedad del mezcal, mano de obra

---

<sup>16</sup> Salvatierra García, A; El mezcal y su importancia para el desarrollo económico del estado de Oaxaca. El sector exportador: retos y oportunidades en el mercado de la Unión Europea, UDLAP, 2003. p. 51.

especializada y la certificación del producto con la norma NOM-070-SCFI-1994. Por otro lado, las debilidades que nos podrían generar preocupaciones son la nula previsión de la conservación y manejo sustentable de las especies, altos costos en trámites por parte de la COMERCAM, que es el Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal A. C., y la concentración de la industria en pocas empresas.

Además, como se ha venido mencionando en este trabajo, hay diferentes especies de agaves que son susceptibles de su utilización para la fabricación del mezcal, principalmente el espadín; pero contrario a lo anterior es importante mencionar que esta extensa variedad de agaves que existe en Oaxaca, estado que posee una considerable ventaja etnobotánica, aún no se ha aprovechado al máximo, lo que representa una oportunidad para aumentar la producción del mezcal.

Así mismo, México posee una gran variedad de tratados de libre comercio con diferentes países, lo cual puede ser una ventana de oportunidad para los productos producidos en nuestro país, entre ellos el mezcal.

Según un estudio reciente,<sup>17</sup> Alemania es uno de los países más llamativos para exportar la bebida del mezcal. Entre muchas cosas, los tratados que México guarda con este país hacen que sea un destino bastante atractivo para su venta, puesto que debido a los convenios existentes se eliminan las barreras arancelarias y se cuenta con libre acceso para los productos de origen mexicano. Así mismo, este país nos brinda un sinnúmero de exposiciones dedicadas a la producción de bebidas espirituosas, vinos y maltas, en las cuales bien se podría colocar el mezcal. Por último, una consideración importante también la encontramos en su economía y poder adquisitivo, pues Alemania es la 3era economía mundial y desde 1991, el poder adquisitivo en Alemania ha aumentado constantemente.<sup>18,19</sup>

---

<sup>17</sup> Altúzar García, Sandra L. Alemania como alternativa para la exportación de mezcal. D.F., 2009. Tesina de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas. p.

<sup>18</sup> Portal Alemania. Salarios alemanes y poder adquisitivo. [En línea].

A partir del 12 de diciembre del 2014, el CRM se convirtió en miembro de OrigGIIn, la organización mundial más relevante del mundo en materia de indicaciones geográficas y denominaciones de origen. A la fecha, como miembros de México figuran únicamente el Mezcal y el Tequila.

#### 1.4 Proceso de fabricación tradicional

Como ya hemos mencionado anteriormente, el mezcal es una bebida destilada auténticamente mexicana, ya que los agaves se distribuyen por todo el territorio mexicano. Para el proceso de elaboración de mezcales se utilizan diferentes especies de agaves; por cada región y maguey empleados los mezcales tradicionales de México adoptan sus nombres: Bacanora, Sotol, Minero, Arroqueño, Quitupeño, Zihuaquio, Comiteco, Tonaya, Papalote, Tobalá, Raicilla, entre muchos otros.

El proceso de producción de mezcal tradicional se compone de 6 etapas:

- Obtención de materia prima
- Horneado
- Molienda
- Fermentación
- Destilación
- Reposado

Las técnicas y los materiales son similares en todas las vinatas o fábricas de mezcal, aunque existen sutiles diferencias que caracterizan a cada una según la tradición. Por ejemplo, la variedad de maguey empleado, la molienda, las herramientas, el tipo de horno y alambique.

---

<sup>19</sup> Esto es importante debido a que una de las formas de calcular el poder de adquisición es mediante el estudio de paridad del poder adquisitivo, estudio realizado anualmente por el Banco Mundial y el cual a su vez toma datos de la encuesta de paridad sobre alimentación, bebidas y tabaco.

### 1.4.1 Obtención de materia prima

Para iniciar con la elaboración del mezcal, primero se necesita adquirir la materia prima, para lograr esto, se necesita el labrado del maguey, el cual consiste en que una vez que este alcanza el estado de madurez, se procede a labrarlo mediante el uso de la tarecua y el machete.



Figura 1.9 Labrado de agave con tarecua

Después, se corta o jime el agave, que consiste en cortar las pencas y la raíz del agave para dejar solamente el corazón ó piña (se le llama así porque su forma es muy similar a una piña). Este proceso se hace mediante la utilización de herramientas de corte como machetes y en especial con la coa que es un objeto semicircular de metal afilado y con un mango de madera para su sujeción.



Figura 1.10 Coa: herramienta para jima o corte del maguey



Figura 1.11 Piñas jimadas de agave Espadín y Karawinskii (Madrecuixe)

El trabajo de jimar los agaves no es algo sencillo ya que implica desde buscar y encontrar los agaves (en el caso de los silvestres), arrancarlos de la tierra, cortarlos, moverlos, cargar el vehículo para el transporte, transportarlo y descargarlo en el palenque<sup>20</sup>.



Figura 1.12 Paisaje con agaves Espadín cultivados

---

<sup>20</sup> Forma en que se suele denominar a una fábrica de mezcal.



Figura 1.13 Paisaje con agaves silvestres

Ya descargadas las piñas en el palenque y para que la siguiente etapa, “horneado”, sea más uniforme y se pueda optimizar la cocción, las piñas que son de gran tamaño, se cortan en dos o cuatro partes y de esa forma, el proceso se hace eficaz. A esta etapa se le llama “la descuartizada”, y de igual forma que en la etapa de jimar, se utiliza alguna herramienta de corte, como el hacha.



Figura 1.14 Descuartización de la piña con hacha



## 1.4.2 Horneado

El segundo paso consiste en transformar la inulina del agave (principal polisacárido presente en la planta), mediante hidrólisis, en azúcares susceptibles de fermentarse. Cuando la piña es rasurada, su color es blanco. Cuando se hornea, toma un color caramelo como el del piloncillo o panela, pues los polisacáridos se han convertido en azúcar.

Posiblemente esta es la parte más importante en el proceso, históricamente hablando, ya que fueron nuestros antepasados hace miles de años los que descubrieron estas propiedades tan importantes en los agaves. Se dice que porque un rayo caído del cielo fue el encargado de quemar un maguey en el campo y fue ahí cuando se dieron cuenta del valioso alimento que les podía proporcionar.

Para obtener los azúcares de la piña de agave, lo principal es seleccionar las piñas según su tamaño, esto es para facilitar su manejo y cocción, ya que hay que elevar su temperatura mediante el uso de hornos, típicamente cónicos de piedra y bajo tierra calentados con madera gruesa. Por ejemplo, en Oaxaca se utiliza comúnmente madera de mezquite o encino.

El pozo cónico tiene un diámetro aproximado de 2.5 a 3.5 m (8-12 p) cavado en la tierra. Los pozos son alineados con piedras calientes, luego con hojas de agave, petate y tierra. Transcurridas seis o diez horas, el calor de la combustión es retenido por las piedras que se encuentran al rojo vivo, y el horno ha alcanzado entre 900 y 1000 °C, temperatura que se considera adecuada para empezar a cargar la materia prima, entonces las "piñas" se acomodan en el horno y se cubren con bagazo<sup>21</sup> y mantas durante un período de 3 días. Se deja la piña cocinando en el pozo durante tres días. Esto les permite absorber los sabores de la tierra, la madera y el humo.

---

<sup>21</sup> Residuo de los frutos que se exprimen para sacarles el jugo.



Figura 1.15 Horno cónico de piedra listo para cocer agaves. San Baltazar, Oaxaca

Para colocar las piñas dentro del pozo, se debe esperar a que la temperatura del mismo esté en su “punto” según los maestros mezcaleros, esto significa que se tiene que esperar hasta que la leña este totalmente consumida y que las piedras estén al rojo vivo, de lo contrario al meter las piñas con todavía madera quemándose, recogerán ese olor y por lo tanto el mezcal también.



Figura 1.16 Llenado de horno

Cuando el horno alcanza la temperatura adecuada, se procede a colocar las piñas de manera ordenada y compacta sobre las piedras calientes, formando una especie de pirámide.



Figura 1.17 Horno completo y listo para tapar

Una vez puestas todas las piñas sobre el fuego, se procede a tapar el horno mediante el uso de bagazo proveniente de producciones anteriores, mantas (costales, mantas de plástico, etc), tierra y troncos para sellar completamente el horno.



Figura 1.18 Horno completamente cubierto

Cuando el horno está completamente sellado con tierra y troncos entonces se deja un mínimo de 72 horas para su cocimiento.

### 1.4.3 Molienda

Una vez cocidas las piñas de los agaves, se cortan nuevamente en trozos más pequeños de aproximadamente  $1 \text{ dm}^3$ , con hacha o machete para colocarlos en la molienda.



Figura 1.19 Cortado de piñas cocidas en trozos más pequeños.

Hay distintos tipos de sistemas para llevar a cabo esta etapa, sin embargo la más utilizada y tradicional es la que se explica a continuación.

Los trozos de piña cortada, son colocados dentro de un aro de piedra, de aproximadamente 5 metros de diámetro, en el centro hay un poste vertical que conecta un eje a una enorme rueda de piedra, de aproximadamente 500 kilos, tirada o jalada por un animal de carga (caballo o mula), este tipo de molino se llama molino chileno, thaona chilena o molino egipcio.

La molienda comienza cuando la rueda de piedra comienza a girar sobre los pedazos del agave cocido, dejando una especie de pasta y bagazo. El encargado del molino tiene que estar constantemente removiendo el bagazo y el agave cocido para que la piedra pase sobre de ella y la triture.



Figura 1.20 Molino de piedra tirado por un caballo. En el interior del molino se encuentran las piñas cocidas y trituradas.



Figura 1.21 Agave cocido triturado en el interior del molino de piedra.

La molienda es un punto crítico en el proceso de elaboración del mezcal, por su influencia en el rendimiento del producto terminado. Es un proceso complicado y es una función de características como material, tamaño, forma, dureza, humedad, tipo de herramienta, resistencia de fractura, resistencia de compresión, módulo de elasticidad, etc.

#### 1.4.3.1 Materiales y métodos

Según estudios ya realizados, para abrir mecánicamente las células del material biológico (piña de maguey) existen cuatro principios; la presión, el golpe, el choque y el corte. En estos principios se aplican los fenómenos de romper, moler y cortar. La selección de la máquina adecuada para estos procesos es muy reducida debido a las características del material; de importancia para la molienda son la fricción y la resistencia al corte de la piña de maguey. Debido a la presencia de material sólido y líquido en la planta, hay tres elementos básicos en el modelo para caracterizarlas, esos son el cuerpo viscoso, elástico y plástico. Desde el punto de vista energético, las máquinas accionadas por el principio de corte por deslizamiento reducen más efectivamente el material, pero la cantidad de células abiertas es menor que con los otros principios. El uso de impacto y choque se distingue en las máquinas del tipo molino de martillos; porque en éstos, las células se abren más en comparación con el corte únicamente, pero el coeficiente de energía requerida para cada nueva área de material reducido de tamaño es muy deficiente. Las máquinas del tipo de rueda rodante con pivote central (molino chileno o tahona), aplican en su accionar tres efectos; de fricción, presión y corte. Con esta combinación se prepara adecuadamente el material para una extracción sencilla y completa de las mieles.

### 1.4.3.2 Análisis del proceso

El coeficiente de rendimiento en un molino mecánico va de 7% hasta 12%; por lo que, la selección del molino es fundamental para una buena preparación del material, logrando que la integración tecnológica encuentre su máximo en el proceso de producción. La integración tecnológica, la textura y estructura del bagazo optimizará la extracción de las mieles. Con el molino de cuchillos (o incluso el hacha, que es una herramienta muy utilizada en las mezcaleras) es posible realizar un corte donde interviene el estiramiento y la formación de astillas con grietas. El corte por deslizamiento reduce la fuerza necesaria para el corte, y si la superficie de la astilla es muy áspera, es decir, la superficie es muy extensa y con gran topografía, la extracción es simple y efectiva, además por la deformación plástica del material vegetal se reduce la fuerza de fricción entre la cuchilla y el material.

El molino chileno o tahona presenta movimientos de rotación, torsión y traslación alrededor del eje central; las piñas de maguey se parten en trozos y se colocan al paso de la piedra para ser trituradas y exprimidas gracias al giro y traslación.

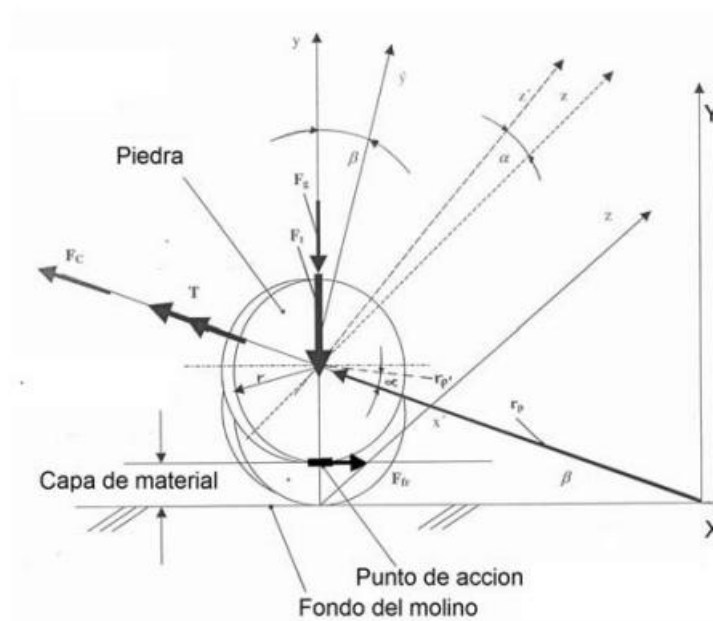


Figura 1.22 Fuerzas en el proceso de molienda

La torsión afloja y desgarras las fibras de la piña, facilitando la salida de las mieles. Los trozos de las piñas son acomodados en el metate frente a la piedra, prensando y extrayendo las mieles. Al paso de la piedra el bagazo se compacta, se agregan más trozos de piña y se da el número de pasos que se considere necesario hasta que se haya extraído la mayor cantidad de mieles.

La densidad de la piedra tiene que ser la máxima posible y el área de contacto pequeña, para así incrementar la presión sobre el material. Y es útil que los canales sobre la superficie de la piedra tengan una dirección hacia el centro del molino, con el fin de que el jugo salga en dirección de las fuerzas del material comprimido.<sup>22</sup>

#### 1.4.4 Fermentación

El agave ya triturado después de la molienda, se coloca en recipientes para que se fermente durante algunos días, aunque la fermentación comienza realmente al terminar el cocimiento del agave.

El tipo de material con que están hechos los recipientes en los que se llevará a cabo la fermentación juegan un papel importante en el sabor del mezcal, los hay hechos de cuero de res, recipientes de cemento o piletas de tabique, piletas de piedra de cantera, recipientes construidos con troncos completos a manera de canoa, de plástico, de acero inoxidable, recipientes de madera en forma de cajón, ollas de barro rojo y el más común que es el de forma de cubeta o cilíndrico fabricado con tiras o cintas de madera, se utilizan diferentes maderas según la región. Estos recipientes, por lo regular tienen una capacidad de 1000 a 2000 litros (300 – 500 galones).

Los recipientes se llenan aproximadamente al 75% de su capacidad con el agave triturado durante algún tiempo para después agregar agua hasta llegar al 90% de su capacidad, logrando así acelerar la fermentación. En algunas

---

<sup>22</sup> Análisis de la Molienda en el Proceso de Elaboración de Mezcal. Hector. M. Durán y Jose L. Pulido. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería. 2007



ocasiones se le agrega un porcentaje de otros azúcares (permitido hasta un 80 % agave y 20% otros azúcares) a la masa (bagazo).



Figura 1.23 Tinajas para fermentación

El agua juega un papel importante en el sabor del mezcal debido a las propiedades en la región de la que procede. Después de que el recipiente se ha llenado al 90 de capacidad con agua, se deja un tiempo fermentar para luego llenar por completo el contenedor con agua tibia. Se tienen que dejar unos 15 cm de espacio en la tina ya que al fermentarse el agave y el agua suben.



Figura 1.24 Tina con agave en fermentación

Existen dos formas de fermentación del agave: natural y acelerada. En la primera como su nombre indica, no se adiciona ningún químico para acelerar el proceso de fermentación, que dependiendo de la temperatura ambiente, el tipo de tina, el tipo de agave, sus propios microorganismos, sus levaduras,

etcétera, puede ser de 8 a 20 días. Y en la fermentación acelerada se agregan químicos como el sulfato de amonio y una cáscara de un árbol llamado timbre.

Durante la fermentación hay que remover cada cierto tiempo todo el contenido de la tina para conseguir un proceso completo.

Al principio de la fermentación se perciben fuertes olores alcohólicos y dulces, los cuales van disminuyendo con el paso del tiempo hasta tener un olor avinagrado y un color café oscuro. También en las primeras etapas de la fermentación la temperatura del contenido se eleva considerablemente debido al proceso que se está llevando a cabo.



Figura 1.25 Redistribución de bagazo en el proceso de fermentación



Figura 1.26 Fermentación en los primeros días



Figura 1.27 Fermentación en los últimos días

### 1.4.5 Destilación

La separación de las sustancias volátiles de las no volátiles del tepache proveniente de la etapa de fermentación, es lo que se conoce como destilación.

En el tepache encontramos materia sólida (no volátiles) y líquida (volátiles) los cuales deben de ser separados mediante la destilación. En la parte líquida hay alcoholes, cetonas, ésteres, etc. Y en la sólida hay grasas y sales minerales, fibras, etc.



Figura 1.28 Alambique de cobre enfriado con agua

Al someter al tepache a la acción del calor provoca la evaporación de alcoholes e impurezas, quedando separada de los materiales sólidos. Si esos gases son colectados y retornan a su estado natural se obtiene un alcohol que en el caso del agave recibe el nombre de mezcal en los estados con Denominación de Origen.

La destilación se lleva a cabo mediante un proceso de doble destilado en alambique de cobre el cual es alimentado con fuego y consta de una olla, un serpentín y un conector. Este proceso inicia cuando se vacía el bagazo y el jugo del maguey a la olla la cual empieza a ebulir y a producir vapor, el cual al pasar por el tubo conector y llegar al serpentín se convierte en líquido, obteniéndose como un primer producto las puntas del mezcal, posteriormente siguiendo con el proceso se obtiene el cuerpo y al finalizar se obtienen las colas del mezcal. Para la segunda destilación, solo se utilizan las puntas y el cuerpo obtenido de la primera destilación, del cual se obtiene como resultado un mezcal refinado.

La primera destilación produce un alcohol de hasta 20° a 25°, bajando paulatinamente la graduación en el transcurso de la destilación. Para elaborar un producto de mejor calidad se redestila todo el producto, con el fin de estandarizar la graduación mezclando con agua para llegar a una graduación de 40°, que es como es embotellado regularmente por todos los comercializadores. O también para su reposo o añejamiento.

Tradicionalmente el mezcal no debe ser rebajado con agua, eso se llama adulteración de bebidas, ya que los mezcales tradicionales tienen una graduación arriba de 45°, la estandarización sólo beneficia a la industrialización de la bebida, matando así la tradición.



Figura 1.29 Destilación de mezcal

#### 1.4.6 Reposado

“El mezcal es la única bebida del mundo que nace añejada, puesto que su materia prima tarda en madurar de siete a 35 años”, dice Torrentera luego de dar un sorbo

a su mezcal. “Por tanto, el mezcal no necesita ningún tipo de aditamento para curarlo o añejarlo. Los whiskys o vodkas, o cualquier otro espíritu destilado utilizan como base el grano, y los granos se pueden cosechar dos veces al año. En el caso del mezcal hay que esperar a que madure el maguey.”<sup>23</sup>

El mezcal se añeja rápidamente en comparación con otros fermentados. Se almacena en grandes barriles de madera por periodos de 2 meses a 7 años. Durante este tiempo el mezcal adquiere un color dorado, y su sabor está influido por los barriles de madera. Entre más tiempo se deja añejar, adquiere un color más oscuro y se nota la diferencia en su sabor.

Sin embargo, el reposado del mezcal en barricas de madera pierde los sabores más finos por lo que no es recomendable. Tradicionalmente el mezcal se reposa en vidrio para conservar sus características organolépticas<sup>24</sup>.

---

<sup>23</sup> Las batallas por el mezcal. Tryno Maldonado. 18/08/2013.

<sup>24</sup> Propiedades de las sustancias orgánicas e inorgánicas que pueden apreciarse por los sentidos.



Figura 1.30 Reposado de mezcal en barricas de madera

## **CAPÍTULO 2 Estado del Arte**

### **2.1 Normas**

Se conoce como norma a una regla, un conjunto de éstas, una ley, una pauta o un principio que se impone, se adopta y se debe seguir para realizar correctamente una acción o también para guiar, dirigir o ajustar la conducta o el comportamiento de los individuos.

La norma se puede aplicar en la gran mayoría de conocimientos o áreas. En la tecnología y la industria, una norma es el procedimiento, modelo o patrón, al que se ajusta un trabajo, una tarea o un proceso. También es la regla que determina el tamaño, la composición y otras características, como la calidad que debe tener un objeto o un producto industrial para garantizar un equilibrio socioeconómico en el mercado.

Las normas comentadas anteriormente, son elaboradas o redactadas y aprobadas por varias instituciones internacionales en un proceso denominado normalización o estandarización.

Más específicamente una norma técnica es un documento aprobado por un organismo reconocido que establece especificaciones técnicas basadas en los resultados de la experiencia y del desarrollo tecnológico, que hay que cumplir en determinados productos, procesos o servicios.

Las normas resultan fundamentales para programar los procesos de producción.

Se crean con el consenso de todas las partes interesadas e involucradas en una actividad, como pueden ser fabricantes, consumidores, laboratorios y centros de investigación.

Entre los múltiples beneficiados con las normas se encuentran los gobiernos, las industrias y los consumidores.

Para los gobiernos, las normas aseguran que los bienes y servicios cumplen requisitos obligatorios relacionados con la salud, la seguridad, el medio ambiente,

etcétera. También sirve como medio de control en el comercio exterior entre los países.

Al sector industrial le permite demostrar el cumplimiento de los requisitos establecidos en los acuerdos contractuales o que hacen parte de obligaciones legales, mientras que al consumidor le permite identificar productos o servicios que cumplen con los requisitos, o proveedores confiables.

En el caso de las certificaciones, por ejemplo, cualquier acreditación que en una empresa está implementada, como alguna ISO, le otorgará la oportunidad de abrir la puerta de otros mercados, tanto nacionales como internacionales. Aunque las normas ISO no se caracterizan por ser obligatorias, sí que pueden darle un valor añadido a las empresas.

Y es precisamente el valor añadido que una empresa o industria le puede dar a su producto lo que hace que ésta se posicione o crezca en el mercado.

En el caso particular de nuestro país, nosotros contamos con las NOM que son las Normas Oficiales Mexicanas. Según nos dice la Revista del Consumidor las NOM tienen como principal objetivo prevenir los riesgos a la salud, la vida y el patrimonio y, por lo tanto, son de observancia obligatoria.

Las NOM son las regulaciones técnicas que contienen la información, requisitos, especificaciones, procedimientos y metodología que permiten a las distintas dependencias gubernamentales establecer parámetros evaluables para evitar riesgos a la población, a los animales y al medio ambiente.

El gobierno es el encargado de identificar los riesgos, evaluarlos y emitir las NOM. Sin embargo, en el proceso se suman las consideraciones de expertos externos provenientes de otras áreas. Las NOM están conformadas por comités técnicos integrados por todos los sectores interesados en el tema, como lo son investigadores, académicos y cámaras industriales o de colegios de profesionistas.



## 2.1.1 Normas aplicables en la industria del mezcal

Las reglamentaciones que inciden en la cadena productiva del mezcal básicamente se pueden dividir en 2: las que hablan sobre el aprovechamiento de los magueyes silvestres, que son la materia prima en la elaboración del mezcal; y las normas que hablan acerca de la producción, envasado y comercialización del líquido.

### 2.1.1.1 Acerca de las plantas de maguey

Para la extracción de magueyes silvestres y su aprovechamiento legalmente es necesario apegarse a las siguientes leyes, reglamentos y normas:

- La Ley de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)
  - Artículo 97, del aprovechamiento de los recursos naturales no maderables
- La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)
- La Norma Oficial Mexicana NOM-005-RECNAT-1997 que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de plantas completas.
- La NOM-012-REC NAT que establece los procedimientos, criterios y especificaciones para realizar el aprovechamiento, transporte y almacenamiento de leña.
- La Ley General de Vida Silvestre (LGVS)
  - Artículo 24, sobre los conocimientos, innovaciones y prácticas de las comunidades rurales.
  - Artículo 93 sobre el aprovechamiento para fines de subsistencia.
- La Ley de Desarrollo Rural Sustentable (LDRS)

Dentro de lo más importante de las anteriores encontramos que La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable en su artículo 97º dice que "El aprovechamiento de recursos no maderables únicamente requerirá de un aviso por escrito a la autoridad competente".

En el caso del maguey, recurso forestal no maderable del que se utilizan las plantas completas, la NOM 005-RECNAT-1997 requiere la presentación de un plan de manejo simplificado bajo los lineamientos indicados en ella.

Para cumplir con la norma al aprovechar el maguey, el dueño o poseedor del predio debe presentar un aviso o notificación por escrito a la SEMARNAT, para un periodo de uno o cinco años. La Norma dispone que sólo se aprovechen los magueyes maduros y se deben respetar veinte de cada cien magueyes maduros para que produzcan semilla, escogiéndolos entre los más grandes y fuertes, sin embargo para cada especie será distinto el número mínimo de plantas a destinar como semilleros por temporada. Para lo anterior es necesario realizar un estudio técnico donde se generen los datos correspondientes.

Por su parte la Ley de Desarrollo Rural Sustentable, prohíbe la destrucción de selvas o bosques para cambio de uso del suelo, como está sucediendo en Oaxaca y otros estados para siembra de plantaciones de magueyes.

### 2.1.1.2 Acerca de la producción de mezcal

Por otro lado, para la elaboración, transporte, envasado, comercialización y exportación del mezcal se tienen las siguientes disposiciones:

- NOM-070-SCFI-1994, Bebidas Alcohólicas-Mezcal Especificaciones
- Lineamientos del COMERCAM

Añadido a lo anterior, la propia NOM-070-SCFI-1994<sup>25</sup> establece que hay que atender, para la comprobación de las especificaciones, la Norma Oficial Mexicana y Normas Mexicanas vigentes que se mencionan a continuación:

---

<sup>25</sup> NOM-070-SCFI-1994. Bebidas Alcohólicas. Mezcal. Especificaciones. Diario Oficial de la Federación. Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, D.F., México, 28 de noviembre de 1994. [En línea].

- NOM-030-SCFI Información comercial de cantidad en la etiqueta – Especificaciones.
- NMX-V-013 Bebidas alcohólicas - Determinación de porcentaje de alcohol en volumen (% Vol.) a 20°C.
- NMX-V-014-S Bebidas alcohólicas destiladas - Determinación de alcoholes superiores (aceite de fusel).
- NMX-V-017 Método de prueba para la determinación de extracto seco y cenizas en bebidas alcohólicas destiladas.
- NMX-V-021 Métodos de prueba para la determinación de metanol en bebidas alcohólicas.
- NMX-Z-012 Muestreo para la inspección por atributos.

La NOM-070-SCFI-1994, Bebidas Alcohólicas-Mezcal Especificaciones fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de junio de 1997 y es la norma rectora de las obligaciones a cumplir para producir y comercializar mezcal de manera legal.

Entre las principales cosas de las que habla esta NOM está el tipo de magueyes a usar en la elaboración de mezcal, los cuales son los siguientes<sup>26</sup>:

- Agave Agustifolia Haw (Maguey Espadín)
- Agave Esperrima Jacobi (Maguey de cerro, bruto o cenizo)
- Agave Weberi Cela (Maguey de Mezcal)
- Agave Potatorum Zucc (Maguey de Mezcal)
- Agave Salmiana Otto Ex Salm SPP Crassispina (Trel) Gentry (Maguey verde o mezcalero)
- Otras especies de agave, siempre y cuando no sean utilizadas como materia prima para otras bebidas con denominaciones de origen dentro del mismo Estado.

---

<sup>26</sup> NOM-070-SCFI-1994, *op. cit.*

Así mismo, señala los tipos de mezcal de acuerdo al porcentaje de carbohidratos:

- Mezcal Tipo I : 100% Agave
- Mezcal Tipo II: compuesto de 80% Agave y 20% azúcares de otro origen

Además, de acuerdo al manejo que se le dé al líquido posterior a la destilación y rectificación, existen 3 categorías de mezcales:

- Mezcal joven: es el recién destilado
- Mezcal reposado: se deja reposar por lo menos tres meses
- Mezcal añejo o añejado: se deja por lo menos un año en barricas de madera

Por otro lado, todos los tipos de mezcal deben seguir con las especificaciones físicas y químicas que se establecen en la tabla siguiente.

Tabla 23. Especificaciones físicas y químicas con las que el mezcal debe cumplir

Especificaciones	Mínimo	Máximo
% de alcohol en volumen a 20°C	36.0	55.0
Extracto seco g/l	0.2	10.0
Miligramos por 100 centímetros cúbicos referidos a alcohol anhídrido - Acidez total	-	170.00
Alcoholes superiores mg/100 ml	100.0	400.0
Metanol mg/100 ml	30.0	300.0

La NOM-70 también nos habla de temas tales como los datos que debe contener la etiqueta del producto, las precauciones para la conservación y manejo del mezcal, las regulaciones del envasado, las regulaciones del mezcal, el embalaje, el almacenamiento, el muestreo y los métodos de prueba usados para comprobar su autenticidad y sobre la comercialización del mismo.

Además de lo anterior, los productores de mezcal que certifican su producto tienen que notificar al Consejo Mexicano Regulador de la Calidad del Mezcal

(COMERCAM) quien envía un verificador, con perfil profesional de químico, para constatar el proceso de elaboración del mezcal.

A partir de la acreditación del COMERCAM, el 7 de abril de 2003, ésta se convirtió en la única instancia que puede otorgar las certificaciones legales para los procesos de elaboración y comercialización del mezcal en los estados bajo la denominación de origen y bajo las restricciones impuestas por la NOM-070.

La Entidad Mexicana de Acreditación (EMA), le otorgó la acreditación número 33/03 como organismo de certificación de producto, para evaluar la conformidad de la NOM-070-SCFI-1994 Bebidas Alcohólicas-Mezcal-Especificaciones y el 28 de abril de ese mismo año, la Dirección General de Normas de la Secretaría de Economía emitió su aprobación.

### 2.1.1.3 Aspectos a mejorar

Como hemos visto la ausencia de una norma obligatoria genera una atmósfera de incertidumbre respecto a las especificaciones que deben de cumplir los productores, envasadores y comercializadores. Es por ello que es necesario tener una norma que abarque los criterios necesarios, pero que así mismo represente la voluntad y las preocupaciones de quien se dedica a la fabricación del producto.

En este sentido la NOM 070 ha sufrido cuatro modificaciones desde su creación hasta la fecha y aunque ha habido intentos por reestructurarla no se ha conseguido llegar a ningún acuerdo entre las partes involucradas, a pesar de la necesidad que existe de reforzar y explotar una industria que tendría mucho potencial de crecimiento.

Las cinco modificaciones a las que ha sido sujeta esta reforma se dieron en los años de 2001, 2003, 2009, 2012 y 2015. Cuatro de estas modificaciones dieron por resultado la inclusión de regiones en los estados de Guanajuato, Tamaulipas y Michoacán a la denominación de origen del mezcal. La modificación del 2009 fue acerca de los miligramos de metanol por cada 100ml de bebida.

Como se puede apreciar, aunque los cambios en la norma fueron importantes, pues permitieron la ampliación de zonas partícipes en la denominación de origen, no resultaron en un cambio relevante a los procedimientos de elaboración que se tienen actualmente, ni a la inclusión de todos los productores de mezcal que hay a lo largo de la denominación de origen.

La NOM 070 es una norma que se ha criticado mucho y ha causado muchas inconformidades, ya que enlista a tan sólo cinco de las muchas especies de maguey empleadas para elaborar mezcal. A los botánicos también les enoja que los nombres científicos aparezcan mal escritos.

La norma no incluye explícitamente al *Agave cupreata*, que se ocupa en Guerrero y Michoacán, ni a la gran mayoría de los magueyes mezcaleros de México, ni siquiera a todos los de Oaxaca.

Además, según el presidente de la asociación Pro Cultura del Mezcal, Sergio Inurrigarro, la NOM 70 del mezcal debe ser revisada cada cinco años conforme lo establece la Ley Federal de Metrología y Normalización, para proteger y respetar la denominación de la bebida.

La propuesta de modificar la NOM 070 ubicaría a los pequeños productores de mezcal en tres categorías: mezcal, que comprende el uso de todo tipo de tecnología para su fabricación; mezcal artesanal, que considera el cocimiento del maguey en hornos de piso y mamposterías, machacado a mano, en tahona, molino chileno, egipcio o desgarradora, fermentado en tinajas u oquedades de madera, cuero o piedra, destilado en ollas de barro, alambiques de cobre con montera de cobre, acero inoxidable, madera o barro; y mezcal ancestral, que contempla el cocimiento en hornos de piso, machacado a mano, fermentado en tinajas u oquedades de madera, cuero o piedra y destilado en ollas de barro.

Por otra parte el cambio a la NOM dividiría al mezcal en 4 tipos: blanco, madurado, tradicional y artesanal.

Así como hay cambios que podrían beneficiar a la producción, hay otros que podrían afectar la calidad del producto, como Rigoberto Acosta<sup>27</sup> menciona respecto a la propuesta de producir mezcal utilizando magueyes jóvenes, a pesar de que un centro de investigación de Jalisco y los conocimientos básicos de destilado indican que el uso de un maguey joven contiene metales y no tiene la concentración idónea de azúcares. “No se pueden usar magueyes tiernos porque tienen mayor metanol y acidez, puede producir más volumen pero no significa que sea lo mejor, que tenga la misma calidad, va a tener el sabor, olor pero no las otras propiedades”, puntualiza.

Los productores de mezcal, al igual que los de maguey, se caracterizan por trabajar de manera independiente y con una relativamente escasa articulación con otros miembros de la cadena productiva, y su acceso al financiamiento es casi nulo, limitando la inversión que realizan para el desarrollo y mejoramiento de los palenques, así como de las técnicas productivas que realizan para la elaboración de la bebida.

Por otro lado, la mayor parte de los productores de mezcal desconocen las prácticas de industria limpia y muy pocos realizan innovaciones tecnológicas en sus procesos de producción. Gran parte de los productores elabora mezcal de manera estacional, pues la época de lluvias impide la cocción de las piñas en los hornos que no cuentan con techado.

Es por todo lo anterior que se debe de estar consciente de que si bien existe la urgencia de contar con una NOM adecuada a las exigencias del mezcal, se debe de realizar tomando en cuenta los intereses de todos los involucrados, encontrando un balance entre la necesidad de crecimiento y la obligación de mantener la calidad existente.

---

<sup>27</sup> Rigoberto Acosta González, fue presidente del Consejo Mexicano de Productores de Maguey-Mezcal en el 2009, en el año en curso funge como representante en Guerrero del mismo consejo y es también presidente del Consejo Regional de la Sierra de Guerrero (Cresig).

## 2.1.2 Denominación de Origen

Según apunta la Secretaría de Relaciones Exteriores, en su comunicado de prensa 054 del 22 de mayo del año anterior<sup>28</sup>, la denominación de origen es una figura jurídica de protección en materia de propiedad industrial. Con esta, se protegen productos que cuentan con características propias de una región, como son los factores naturales y humanos que determinen su calidad o características peculiares.

Se entiende por denominación de origen el nombre de una región geográfica del país que sirva para designar un producto originario de la misma y cuya calidad y características se deban exclusivamente al medio geográfico, comprendiendo en éste los factores naturales y humanos.

Según la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI), México está adherido desde 1964 al Arreglo de Lisboa, relativo a la protección de denominaciones de origen y su registro internacional. A nivel nacional, la autoridad encargada de protegerlas y regularlas es el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

Entre las ventajas de un producto con esta designación destaca el acceso de los mismos a los mercados nacionales e internacionales, dado que debe cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas que garantizan su calidad. Las denominaciones de origen distinguen a los productos nacionales en el mercado global, y les da valor agregado por prestigio y distinción, lo que redundará en la preferencia del público consumidor.

En la actualidad, México cuenta con 14 denominaciones de origen. En el sector de bebidas: tequila, mezcal, bacanora, sotol y charanda. En artesanías: talavera, olinalá y ámbar de Chiapas. En la hortofruticultura: café Chiapas, café Veracruz, mango Ataulfo, vainilla de Papantla, chile habanero de Yucatán y arroz de Morelos.

---

<sup>28</sup> Denominaciones de Origen de México. (Comunicado de Prensa 054). Embajada de México en Argentina, Secretaría de Relaciones Exteriores. 22 de mayo de 2015. [En línea]



La denominación del tequila fue la primera que se emitió en México. En cuanto al mezcal, el 17 de agosto de 1994, se publica en el Diario Oficial de la Federación, el Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994, Bebidas Alcohólicas-Mezcal-Especificaciones; para el 28 de noviembre de ese mismo año, se publica en el mismo medio, la resolución mediante la cual se otorga la protección prevista a la denominación de origen “Mezcal”, para ser aplicada a la bebida. Cabe señalar que esta última, fue registrada el 9 de marzo de 1995 por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual con sede en Ginebra, Suiza.

De acuerdo con lo descrito, queda establecido el marco legal y el reconocimiento mundial, en lo que se refiere a la producción del mezcal, mismo que le permite su comercialización en el extranjero como una bebida de calidad garantizada, compitiendo con productos similares de otros países.

Aunado a lo anterior, una denominación de origen tiene asociada una instancia certificadora. A principios del 2003 fue legalizado el Consejo Mexicano Regulador del Mezcal, el COMERCAM, como esta instancia.

Actualmente son 848 municipios repartidos en 8 estados los que cuentan con la denominación de origen. Los estados que cuentan con esta denominación son: Durango, Guanajuato, Guerrero, Michoacán, Oaxaca, San Luis Potosí, Tamaulipas y Zacatecas.

## 2.2 Diferencias entre el mezcal artesanal e industrial

La diversidad de sabores y aromas que encontramos en el mezcal tiene que ver con tres aspectos: el primero, con el tipo y procedencia de maguey usado y el entorno ecológico en el que creció; el segundo, con el gusto histórico de la región de procedencia, que se conforma de acuerdo a elementos diversos y el tercero, con las prácticas culturales y tecnologías empleadas en la elaboración del mismo.

Las prácticas culturales y tecnológicas, el tercer aspecto, dan sabores precisos al mezcal. Por ejemplo, la cocción del maguey: si fue en horno de tierra tendrá un sabor y olor a ahumado y a madera, que es el método tradicional empleado, en

algún momento de su historia, en todas y cada una de las zonas mezcaleras; si fue cocido en horno de mampostería o autoclave con vapor, tendrá un sabor más simple. La fermentación (con/sin bagazo) y el material del que estén hechas las tinas donde se lleve a cabo, así como los microorganismos de cada región, darán también un sabor distinto al producto. Si la destilación es con o sin bagazo también influirá en el sabor, así como el tipo y material del alambique (de olla de barro, de cobre, etc.) y el número de destilaciones que se realicen.

O también se pueden diferenciar por el porcentaje de carbohidratos utilizados para su elaboración. Para conocer a que se refiere esta parte, será necesario conocer la clasificación de los tipos de mezcal según la característica que se acaba de mencionar.

### 2.2.1 Tipos de mezcal

De acuerdo con la NOM-070-SCFI-1994 existen dos tipos de mezcal, estos dependen del porcentaje de carbohidratos provenientes del agave utilizado en su fabricación.

- Tipo I. Mezcal 100% Agave.

Producto que se obtiene de la destilación y rectificación de mostos<sup>29</sup> preparados directa y originalmente con los azúcares de las cabezas maduras de los agaves. Este tipo de mezcal puede ser joven, reposado o añejo y susceptible de ser abocado.

- Tipo II. Mezcal.

Producto que se obtiene de la destilación y rectificación de mostos en cuya formulación se han adicionado hasta un 20% de otros carbohidratos permitidos por las disposiciones legales correspondientes.

Ahora, se definirán los tipos de productores de mezcal que existen a lo largo del país y al mismo tiempo se hará una breve comparación de las técnicas que utilizan

---

<sup>29</sup> Jugo o extracto de algún fruto, antes de su fermentación.

para cada proceso, de lo cual resultan las diferencias entre el mezcal artesanal y el industrial, en cuanto a la tecnificación.

### 2.2.2 Tipos de productores de mezcal

De acuerdo con el Plan Rector Sistema Nacional Maguey-Mezcal<sup>30</sup>, la producción de mezcal se clasifica en 3 grupos: los del altiplano potosino y zacatecano, grupo I; los pequeños productores, grupo II y el grupo III de los tecnificados modernos.

- El grupo I

Se caracteriza por estar concentrados en los estados de San Luis Potosí y Zacatecas. Las fábricas están ubicadas en cascos de haciendas<sup>31</sup>, con antecedentes interesantes de la época colonial sobre tecnología, donde se localizan hornos verticales de piedra con capacidad para cocer hasta 40 toneladas de agave y que operan a base de vapor generado en calderas que funcionan con combustóleo, tahonas de piedra para moler las piñas cocidas, pilas de madera para fermentación y alambique de cobre. Estas fábricas pueden trabajar de dos a tres turnos por día y pueden producir de 10 hasta 20 mil litros en un mes.

Hasta ahora, en esta región, las empresas productoras de mezcal sólo producen el 100% agave, pero la tecnología con que cuentan y el proceso de producción les permite elaborar, si lo desean, el mezcal Tipo II. Para este grupo de productores la posibilidad de elaborar mezcal Tipo II, mejoraría el rendimiento alcohólico del mosto y reduciría la presión sobre los agaves silvestres, porque se recolectarían menos plantas.

- El grupo II

Donde se concentra la mayoría de los productores de mezcal localizados en los estados de Guerrero, Oaxaca y Durango. Este grupo está representado por un gran número de pequeñas factorías llamadas “palenques” o “vinatas”. Son fábricas familiares que conservan la tradición y producen en promedio mil litros de

---

<sup>30</sup> SAGARPA, ITESM, INCA, (2006). Plan rector sistema nacional maguey mezcal. [www.magueymezcal.org](http://www.magueymezcal.org)

<sup>31</sup> Conjunto de edificios principales de una hacienda o estancia.

mezcal al mes. Tienen hornos cónicos en el subsuelo donde calientan piedras con leña para la cocción del agave, tahonas tiradas por una mula o caballo, las tinas de fermentación son de madera de 500 o 1000 litros, alambiques de cobre y en zonas como Oaxaca, ollas de barro sobrepuestas. La mayoría de los productores trabajan sólo en una temporada del año y en época de lluvia se dedican a labores agrícolas.

- El grupo III

Localizado al sur de Zacatecas y las nuevas mezcaleras de Durango y Tamaulipas, las fábricas cuentan con mayor grado de tecnificación, y existen los molinos de trapiche, tinas y alambiques de acero inoxidable. A diferencia de las fábricas del sureste de Zacatecas, San Luis Potosí, las de Oaxaca, Guerrero y Durango, donde se produce de manera artesanal, los productores de mezcal del grupo III tienen el equipamiento necesario para realizar mejores prácticas de manufactura y cumplir las normas de inocuidad exigidas en el mercado internacional.

El grupo III de productores de mezcal puede verse incrementado con las nuevas fábricas que están en construcción en Oaxaca y Durango, donde se pretende utilizar tecnologías para extraer todas las mieles e inulinas del agave.

En la siguiente tabla, se muestran las diferencias tecnológicas por grupo de productores de mezcal. Donde hay cuadros vacíos es porque se utilizan técnicas similares.

Tabla 24. Diferencias tecnológicas entre productores de mezcal

Fase	Productor Grupo I	Productor Grupo II	Productor Grupo III
Especie (s) de agave	Varias, sobre todo silvestres	Una sola, preferentemente el espadín (agave angustifolia haw)	Uso exclusivo de maguey espadín
Cocimiento	Hornos de tierra	Hornos de tierra con piedras calientes	Autoclave a vapor
Desgarre	Hachas	Hachas, machetes	Desgarradora
Molienda	Con mazos de madera o de piedra	Tahona (molinos con rueda de piedra jalada por bestias de tiro)	Desgarradoras mecánicas
Evaluar azúcares y rectificar mostos	Se puede agregar otros azúcares	Normalmente no se agregan otros azúcares	Se puede agregar otros azúcares
Fermentación	Mosto sin bagazo en tinas de madera	Mosto con bagazo en tinas de madera	Mosto sin bagazo en tinas de acero inoxidable
Destilación	En ollas de barro con carrizo como tubería	Alambique de cobre con el uso de leña	Alambique de acero inoxidable con uso de gas
Comercialización	Local y regional	Local. Regional y exportación	Local, regional y exportación
Tipo de mezcal producido	Tipo I, Tipo II	Tipo I	Tipo I, Tipo II

Como se puede observar, el grupo I y II, producen mezcal artesanal y el grupo III mezcal industrial; sin embargo, el uso de la tecnología no implica que el mezcal sea o no artesanal como se explicará adelante.

### 2.2.3 Diferencias

- El mezcal industrial utiliza la tecnología más moderna para producir un aguardiente de 38°. Todos los procesos son automatizados y en este evento, “el mezcal”, va perdiendo cosas que los tradicionales atesoran, según los expertos tiene un dejo dulzón y le falta cuerpo, no raspa.
- El mezcal artesanal intenta mantener inalterables los procesos de producción que envuelven cultivos orgánicos, trabajo comunal, búsqueda de pureza, calidad, sabor y textura, entre otras cosas.
- En algunos procesos industriales no se usa agave al 100% y se utilizan azúcares para complementar, lo que está permitido por las normas oficiales pero eso no otorga precisamente los mejores resultados en la boca. Estos mezcales suelen ser más dóciles con el sentido del gusto y puede que hasta les falte sabor, y desde luego, calidad.
- El mezcal tradicional, presume ser artesanal, de agave 100%, y en estos procesos la resultante es un aguardiente potente, o muy agradable, cuyo grado alcohólico puede alcanzar hasta los 55°, según el límite de las normas. Su doble destilación en barro, cobre o metal, le concede sabores que no tiene el mezcal industrial.

### 2.2.4 Esencia del mezcal

En la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se hace un estudio sobre la identificación de los compuestos que generan los microorganismos que intervienen en el proceso de fermentación y que le confieren particularidades sensoriales al mezcal, los cuales aportan sabor al mezcal; pero también pueden incidir en la calidad sanitaria del producto, lo cual

llevaría a entender qué microorganismos podrían ser los más importantes a fin de mejorar la calidad del mezcal en su producción artesanal o industrial.

El doctor Francisco Ruiz Terán, quien dirige la investigación, refiere que el estudio se ha centrado en fermentaciones de mostos elaborados con las especies de *Agave angustifolia* (agave espadín) y *Agave potatorum* (agave tobalá) de la llamada región mezcalera del estado de Oaxaca.

A diferencia del proceso industrial, el destilado artesanal provee al mezcal cualidades sensoriales particulares debido a los diferentes compuestos que aportan los microorganismos presentes en la fermentación, los cuales se desarrollan en las fermentaciones y su crecimiento depende de varios factores, como clima, cantidad de oxígeno y azúcares disueltos en el mosto, entre otros.

El biotecnólogo de la UNAM refiere como ejemplo que en los poblados en los que se fabrica artesanalmente mezcal como negocio familiar, hay diferencias en el sabor de un producto a otro, e incluso al de la casa de enfrente. Esa distinción la dan los microorganismos que participan de la fermentación.

“Claro que el proceso influye, aunque parezca que es el mismo el que realizan todos los fabricantes. Los microorganismos que están en la fermentación son los que van a transformar a los compuestos orgánicos, y éstos darán las características particulares a cada mezcal, lo que se conoce como bouquet en los mezcales sin añejamiento”, detalla el doctor Ruiz Terán.

Por lo tanto, el que el mezcal sea artesanal o industrial, va más allá de la tecnología que se utilice en los procesos de su fabricación, es decir, esto depende más de los microorganismos encontrados en el proceso de fermentación, por lo que se puede decir que el automatizar un proceso no alterará ninguna de las propiedades del mezcal mientras se tengan controladas las características mencionadas anteriormente y las cuales dependen en mayor medida del proceso de fermentación y destilación.

## 2.3 Técnicas actuales

De acuerdo con el Diagnóstico del Sistema Producto Maguey Mezcal en el estado de Oaxaca del año 2013, los productores de mezcal se ubican, considerando su nivel tecnológico, en las siguientes categorías:

- Artesanal con actividades manuales. La molienda se realiza machacando el agave con mazo de madera sobre canoas de piedra o madera. En este tipo de producción se tienen hornos con o sin revestir con piedra, uso de leña tanto para el horneado como para la destilación y fermentación en tinas de piedra, cuero, cemento o madera.

Los rendimientos de este tipo de producción van desde los once hasta los treinta y cinco kilogramos de piña por litro, de acuerdo a si es destilación en alambique o en olla de barro; ya que se ha encontrado que el rendimiento utilizando este último medio es menor.

- Artesanal con sistema tradicional. En este tipo de producción la molienda es realizada con molino chileno, cocción en hornos con o sin revestir con piedra, uso de leña tanto para la cocción del maguey como para el destilado, fermentado en piletas de cemento, tinas de cuero, tambos de plástico o en su mayoría tinas de madera.

Los rendimientos del proceso de elaboración van desde seis hasta mayores de veinte kilogramos de piña por litro de mezcal de acuerdo al equipo de destilación utilizado.

- Artesanal con innovaciones tecnológicas. En este tipo de producción se consideran aquellas innovaciones tecnológicas desarrolladas o implementadas en cualquier etapa del proceso. Así, algunos productores emplean gas para la destilación; la molienda se realiza con maquinaria, la fermentación se desarrolla en tinas de plástico o madera en áreas protegidas de la intemperie, los hornos están revestidos de piedra y pueden tener modificaciones de diseño para mejorar su eficiencia energética.



El rendimiento puede ser desde seis hasta veinte kilogramos de piña por litro de mezcal de acuerdo al equipo de destilación utilizado y la especie de agave empleada.

En el estado de Guerrero ocurre una situación similar según reporta el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco<sup>32</sup>, pues la molienda se realiza principalmente de manera manual (con maso o hacha) y con molino de rastrojo. La primera forma de molienda tiene la ventaja de que se realiza con herramientas poco costosas pero se requiere de mucho personal, mucho tiempo, se desperdicia mucha materia prima y se realiza con poca higiene. En el segundo caso aunque se utilizan máquinas que funcionan con gasolina o diesel, siguen siendo poco costosas y los tiempos de molienda disminuyen, desafortunadamente el equipo al no ser el adecuado para el propósito puede dañarse con facilidad y no se obtiene el mayor beneficio del agave.

El 95% de los productores de mezcal de Guerrero ocupa en la molienda un molino de rastrojo, mientras que el 5% lo realiza en canoa, que es la forma manual. A continuación se presentan tablas con los métricos de la actividad de molienda:

Tabla 25. Tiempo que tardan en realizar la molienda los distintos productores de Guerrero

Tiempo	Días
Mínimo	1
Máximo	45
Promedio	19.3

Tabla 26. Grupo de productores de acuerdo al tiempo que dedican a la molienda

Días de molienda	Número de productores
Menos de 5 días	16
Entre 5 y 10 días	37
Más de 10 días	22

<sup>32</sup> CIATEJ. Transferencia de tecnología para la estandarización de los procesos de producción y envasado de mezcal en el estado de Guerrero. En: El control de proceso en la producción artesanal de mezcal Guerrerense. (Primer día, 7 de febrero de 2014, Axaxacualco, Guerrero). Fundación Produce de Guerrero, A.C. [En línea]

Aunado a lo anterior, el tipo de maguey que se utiliza impacta directamente en el rendimiento de kilogramos de piña para la obtención de un litro de mezcal; por ejemplo, el maguey salmiana cuenta con un menor contenido de azúcares por la condición climática de la región donde se cultiva, la cual es el sureste zacatecano y el norte de San Luis Potosí, donde las bajas precipitaciones y las heladas, obligan a la planta a ser más fibrosa y tener unas pencas más gruesas. Esto hace que sea necesario utilizar una mayor cantidad de piñas.

Esta cantidad de fibra es la misma que afecta en la molienda, pues dependiendo del ángulo de ataque y la presión que se le aplique a la piña, es la cantidad de bagazo que podremos utilizar para su consiguiente fermentación. Esto concuerda con los datos de las clasificaciones anteriores, donde podemos observar que la forma en que se realice la molienda impacta directamente en la cantidad de mezcal que se genera.

Actualmente se trabaja en que la modificación a la NOM 070 reconozca las 3 clasificaciones anteriores y les dé las siguientes afiliaciones:

- Mezcal ancestral. Contempla el cocimiento del maguey en hornos de piso, machacado a mano, fermentado en tinajas u oquedades de madera, cuero o piedra y destilado en ollas de barro.
- Mezcal artesanal. Considera el cocimiento del maguey en hornos de piso y mampostería, machacado a mano, en tahona, molino chileno, egipcio o desgarradora, fermentado en tinajas u oquedades de madera, cuero o piedra, destilado en ollas de barro, alambique de cobre con montera de cobre, acero inoxidable, madera o barro.
- Mezcal. Abarca el uso de todo tipo de tecnología para su fabricación.

Adicionalmente el CRM trabaja para reducir el impuesto Especial Sobre Producción y Servicios (IEPS) bajo la diferenciación del mezcal producido de manera industrial y el producido de manera artesanal; esto siguiendo con lo hecho por la industria del tabaco que en el 2009 redujo en un 81% este impuesto para los puros y otros tabacos labrados hechos enteramente a mano.

La propuesta de reducción dejaría una tasa de gravamen del 10.07% de IEPS, lo que representa sólo el 19% de la tasa del 53% que actualmente existe.

### 2.3.1 Nuevas tecnologías implementadas en la producción del mezcal

En el 2013 un grupo de ingenieros del CIIDIR-Oaxaca perteneciente al IPN, presentaron un prototipo de molino mecanizado con el objetivo de atender las necesidades de producción de mezcal.<sup>33</sup> Su proyecto consistió en la utilización de un motor eléctrico en sustitución de los tractores y caballos que actualmente se ocupan para mover las piedras de tahona en el proceso de molienda. Ellos encontraron diferentes factores que afectan la calidad de la trituración, como lo son el número de revoluciones por minuto, la potencia empleada, la densidad de la piedra con la que se realiza el proceso y el ángulo de ataque de la misma con respecto al material a ser utilizado. A continuación se presentan imágenes del prototipo obtenido.



Figura 2.1 Modelo de molino mecanizado

---

<sup>33</sup> Caballero C., Magdaleno, Montes B., José L., Silva R., María E. Prototipo de Molino Mecanizado de Agave Angustifolia Haw Hidrolizado. Oaxaca, México. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca. 2013, SOMIM. [En línea]



Figura 2.2 Imagen de las pruebas efectuadas con el prototipo

Por otra parte, cada vez son más regulares las desgarradoras industriales que realizan de manera más rápida el proceso de molienda, sin embargo estas modifican la forma tradicional de hacer mezcal y modifican sus propiedades, incluyendo su sabor. A continuación se presenta un ejemplo de las mismas.



Figura 2.3 Desgarradora industrial de agave

Como podemos apreciar hay un sinnúmero de oportunidades de mejora e innovaciones aplicables en los procesos de producción de mezcal, pero consideramos que al ser un producto que normalmente es buscado por su aspecto cultural, no hay que perder de vista la forma tradicional de llevar a cabo la realización de esta bebida y dejar de lado por completo las costumbres que se tienen para conseguir este fin, logrando así un punto intermedio entre la industrialización y la conservación de las tradiciones.

## **CAPÍTULO 3 Diseño e Implementación**

### **3.1 Diseño conceptual**

Para este proyecto se buscó realizar un modelo conceptual, que nos permitiera idealizar una máquina y su interacción con todos los mecanismos que la integrarían, consiguiendo así validar que el modelo cumpliría con los requerimientos que más adelante se enlistarán.

En primer lugar se tomaron en cuenta los requerimientos planteados para la necesidad a cubrir. La necesidad en este caso fue el diseño de una máquina que nos permitiera realizar una prueba de concepto a escala de la trituración automatizada del agave que se utiliza para elaborar mezcal.

Gracias a todos los datos mencionados anteriormente en el marco teórico y en el estado del arte, es que surge esta idea de realizar una máquina capaz de triturar de forma automatizada el agave de mezcal, pero sin perder la parte artesanal que es característica de esta emblemática bebida.

#### **3.1.1 Requerimientos**

Los requerimientos para el diseño son los siguientes:

- El diseño debe de ser capaz de triturar la mayor parte de la piña, aflojando y desgarrando las fibras de esta, facilitando la salida de las mieles.
- La máquina diseñada debe realizar el proceso de molienda de una manera automática, sin la intervención humana.
- La alimentación de la máquina debe hacerse de forma manual.
- Debe haber un sistema de limpieza automático para quitar el bagazo que ya esté bien triturado.

### 3.1.2 Probables etapas para realizar un ciclo de molienda

Se identificaron en primera instancia las etapas necesarias para realizar el ciclo de molienda propuesto.

- Alimentación
- Molienda de la piña
- Filtro de las mieles
- Protección que no permita la salida del bagazo
- Limpieza del bagazo

Teniendo en cuenta estas cinco probables etapas, se decidió que todos los diseños a realizar incluyan como mínimo los siguientes mecanismos:

- Mecanismo de molienda
- Mecanismo de protección
- Mecanismo de limpieza

Con esto se ya se podía idealizar algunos conceptos de cómo podría ser el diseño de la máquina para triturar agave.

### 3.1.3 Generación de conceptos

Para generar los posibles conceptos, se tomó como base la solución al requerimiento que se consideró más importante, el cual es permitir que la mayor parte de las mieles salga al momento de realizar la trituración del agave previamente horneado, procurando abarcar cada uno de los demás requerimientos planteados. Los diseños generados fueron tres y se describen a continuación.

#### 3.1.3.1 Concepto 1

En este modelo se planteaba un sistema de trituración mediante fuerza de gravedad, es decir, se tendría una malla lo suficientemente rígida e inmóvil para

soportar el peso de las piñas y la fuerza de la piedra de trituración. La piedra encargada de triturar, estaría sujeta a un motor o a un mecanismo en la parte de arriba de todo el sistema, que al ser liberada permitiera la caída libre de esta, consiguiendo aplastar poco a poco la piña. Después se subiría la piedra y se dejaría caer nuevamente, repitiendo el proceso una y otra vez hasta obtener bagazo.

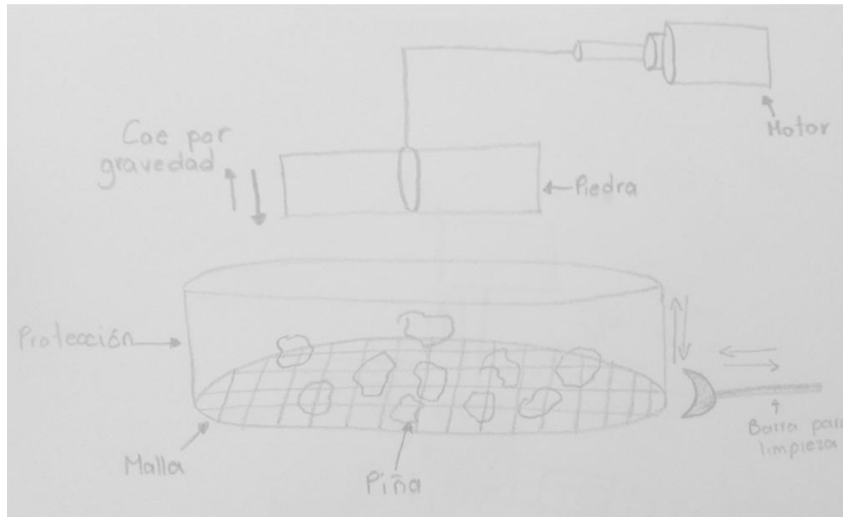


Figura 3.1 Modelo conceptual 1

### 3.1.3.2 Concepto 2

En este modelo conceptual se planteaba tener una malla rígida para colocar las piñas a triturar, pero a diferencia del primer modelo, la malla no estaría inmóvil sino que sería la que estuviera girando. Encima de la malla se colocaría una rueda de algún material con cierta dureza para no deformarse, cuartearse, etc. al tener contacto entre sí. La rueda sujeta en algún punto de la estructura pudiera tener un grado de libertad, girando en su mismo eje sin tener desplazamiento alguno. Las piñas, al girar la malla, quedarían prensadas entre esta y la piedra, consiguiendo bagazo después de determinadas vueltas.

Es importante recalcar que el motor para girar la malla se encontraría debajo de ésta.

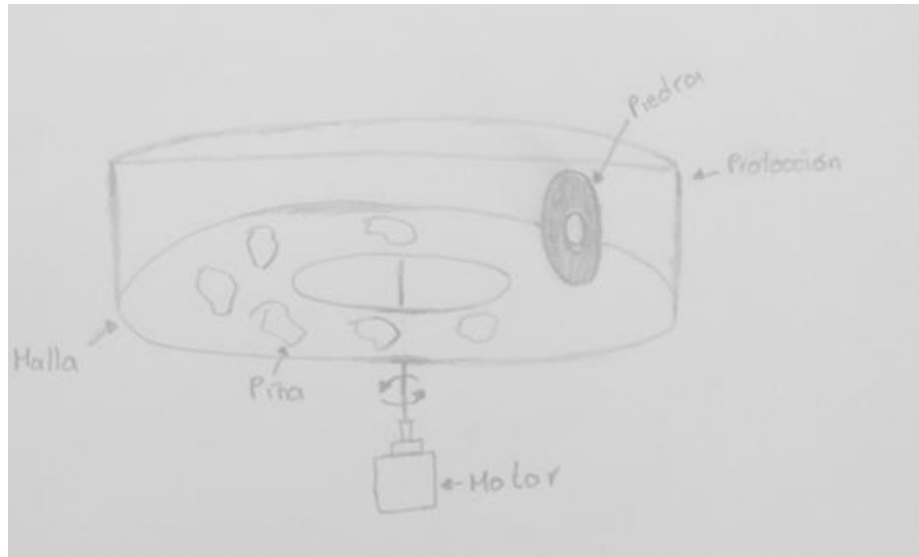


Figura 3.2 Modelo conceptual 2

### 3.1.3.3 Concepto 3

Este modelo sería casi idéntico al anterior, con la única diferencia de que el motor que haría girar a la malla se encontraría en la parte superior de la estructura.

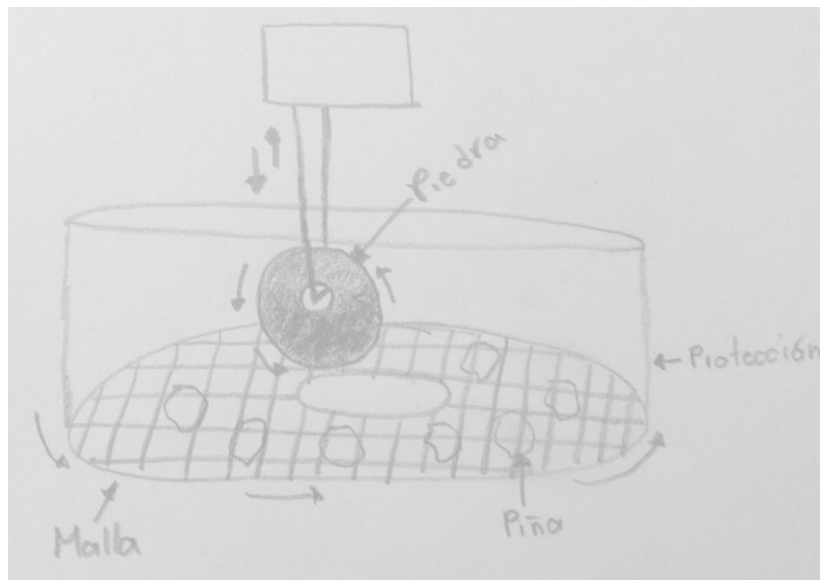


Figura 3.3 Modelo conceptual 3



Cabe mencionar que en los tres modelos se consideraba colocar una protección alrededor de la malla para impedir que las piñas se cayeran al momento de la trituración, pero además esta debería de ser movable de tal forma que permitiera que el mecanismo de limpieza realizara su trabajo y limpiara de extremo a extremo la malla. Este mecanismo se pensaba como un brazo robótico.

#### 3.1.4 Selección del modelo

El modelo seleccionado fue el tercero, a continuación se explican las razones del por qué los otros dos fueron descartados.

De acuerdo a toda la teoría de la que ya se ha hablado anteriormente, un molino artesanal en el que el caballo hace girar la rueda que va triturando la piña, se obtienen tres movimientos, rotación, torsión y traslación, lo cual es algo que no se podría obtener con el principio de la caída libre del primer modelo conceptual, lo cual nos hizo sobreseerlo.

El segundo modelo, realizaba los tres movimientos descritos anteriormente, sin embargo el motor que hacía girar la malla se encontraba debajo de esta, dificultando la manufactura de la estructura, ya que todo debería estar centrado en el motor que además de hacer girar la malla, debería de soportar el peso de esta, el peso de las piñas y las fuerzas que conllevará la trituración.

Por lo tanto, el modelo que cumplía con nuestros requerimientos, fue el tercero.

Y es importante mencionar que se decidió realizar un modelo a escala que permitiese comprobar que la interacción de todos los sistemas planteados podría funcionar y mejorar significativamente la manera en que se realiza actualmente este proceso en la fabricación del mezcal.

El elemento más importante de este modelo era la piedra, de la cual se desprendió el modelado del sistema principal. Después de esto, se trató de adaptar los elementos (sensores, actuadores, etc.) con los que ya contábamos a nuestro modelo seleccionado.

## 3.2 Modelado del sistema

Para efectuar el análisis de un sistema, es necesario obtener un modelo matemático que lo represente. El modelo matemático equivale a una ecuación matemática o un conjunto de ellas en base a las cuales podemos conocer el comportamiento del sistema.

Es necesario comentar que el modelo matemático que se desarrolla a partir de un sistema no es único, debido a lo cual se pueden lograr representaciones diferentes del mismo proceso.

### 3.2.1 Conceptos básicos

La masa de un cuerpo es la cantidad de materia que contiene.

La fuerza se define como la causa que tiende a producir un cambio en el movimiento del cuerpo al cual se aplica.

Segunda ley de Newton para los sistemas de traslación: La fuerza aplicada a un cuerpo es igual a la masa de dicho cuerpo por su aceleración.

$$ma = \sum_i F_i$$

Segunda ley de Newton para los sistemas de rotación: En estos sistemas el equivalente del concepto masa y fuerza corresponde al de inercia y par, respectivamente.

$$J\alpha = \sum_i T_i$$

Donde:  $J$  es el momento de inercia de la carga

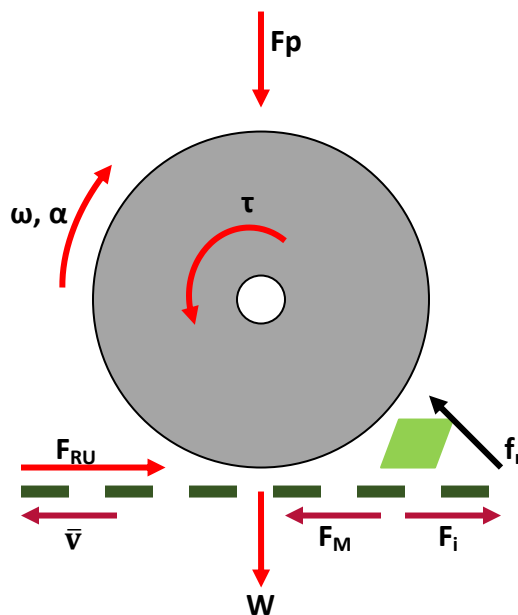
$\alpha$  es la aceleración angular

$T$  es el par aplicado

### 3.2.2 Modelado del sistema de trituración

Para la realización de este proyecto, existían dos datos importantes de conocer, la presión necesaria que el actuador eléctrico debía ejercer para triturar piñas con volumen de aproximadamente  $0.001\text{m}^3$ , y el par del motor de la malla.

El motor principal es el encargado de hacer girar la malla que al hacer contacto con la piedra, provoca un movimiento rotacional. Y este movimiento en conjunto con la fuerza del actuador lineal, hacen posible la trituración de la piña. Por lo cual, se necesita hacer el modelado del sistema, considerando las fuerzas que a continuación se ejemplifican en el diagrama de cuerpo libre.



Donde:

- $F_p$  = Fuerza del pistón
- $F_{RU}$  = Fuerza de la rueda
- $W$  = Peso de la piedra
- $\tau$  = Par del motor
- $\omega$  = Velocidad angular de la piedra
- $\alpha$  = Aceleración angular de la piedra
- $F_i$  = Fuerza de inercia de la malla
- $F_M$  = Fuerza del motor
- $f_r$  = fuerza de fricción de la piña

Figura 3.4 Diagrama de cuerpo libre

Datos:

Algunos datos, se obtuvieron del escalamiento que se hizo con datos recopilados de distintos trabajos acerca de este tema, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 27. Datos experimentales de las propiedades mecánicas del agave hidrolizado.

Concepto	Cantidad
Fuerza específica de la trituración relacionada con 1 cm de longitud de cilindro	223.34 N/cm
Esfuerzo de compresión de agave hidrolizado	0.455 Mpa
Módulo de elasticidad de agave hidrolizado	5.61 Mpa
Densidad del agave	1500 Kg/m <sup>2</sup>
Coeficiente de fricción de agave hidrolizado	0.3

Tabla 28. Comparación entre el proceso de molienda con tracción animal y el proceso de molienda con tracción mecanizada.

Concepto	Molienda con tracción animal	Molienda con tracción mecanizada
Tracción	Animal	Tracción mecánica
Transmisión de potencia	Eslabones flexibles	Sistemas de mecanismos
Peso de la piedra de molienda	753.24 Kg	1765.55 Kg
Porcentaje de material procesado sin moler	45%	0%-2%
Caballos de potencia	1.40 hp	10 hp
Velocidad angular del sistema	3.46 rpm	12 rpm
Ángulo del deflector direccionador de agave	Sin direccionamiento	45° respecto al eje de la piedra de molienda

$$W = mg = 15[N]$$

$$P = 1493.189[Pa]$$

$$m_{RU} = \text{masa de la rueda (piedra)} = 1.5[Kg]$$

$$m_p = \text{masa de la piña} = 0.38[Kg]$$

$$F = 15[N]$$

$$r_{RU} = \text{radio de la rueda (piedra)} = 0.1[m]$$

$$U_p = \text{Coeficiente de fricción de agave hidrolizado} = 0.3$$

$$g = 9.81[m/s^2]$$

Aplicación de leyes de la mecánica de Newton (cálculos):

$$FA = W + F_p + F_{RU} \sin \theta - f_r \sin \theta$$

$$F_p = f_r \sin \theta - F_{RU} \sin \theta$$

$$F_M = F_{RU} \cos \theta + F_i - f_r \cos \theta$$

$$\therefore FA = W = 15N$$

$$\theta = 0$$

$$F_p = 0$$

$$\theta \neq 0$$

$$F_p = f_r \sin \theta - F_{RU} \sin \theta$$

$$F_M = F_{RU} \cos \theta + F_i - f_r \cos \theta$$

$$F_M = \tau_M r_M = 0.9N$$

$$F_{RU} = \tau_{RU} r_{RU} = r_{RU}^2 m \frac{d\omega}{dt} = (0.01)(1.5Kg) \frac{d\omega}{dt} = 0.015 \frac{d\omega}{dt}$$

$$F_i = r_{RU} m_{RU} \frac{d\omega}{dt} = (0.1)(1.5Kg) \frac{d\omega}{dt} = 0.15 \frac{d\omega}{dt}$$

$$f_r = u_p m_p mg = (0.3)(0.38Kg) (9.81 m/s^2) = 1.11834N$$

$$0.9 = 0.015 \frac{d\omega}{dt} \cos \theta + 0.15 \frac{d\omega}{dt} - 1.11834 \cos \theta$$

$$F_p = 1.1183 \sin \theta - 0.015 \frac{d\omega}{dt} \sin \theta$$

Con  $\theta = 45^\circ$

$$F_p = 0.6071[N]$$

Con los datos anteriores, ya se podía saber que requerimientos se necesitaban en el diseño, para que la molienda se llevara con éxito.

En el modelo funcional se hizo uso de una rueda de aproximadamente 3Kg, hecha con cemento y piedra. En lo que respecta a los actuadores, se eligió usar un motorreductor con 6 Kg-cm de par para el movimiento de la malla, un pistón eléctrico que puede soportar 50 Kg con carga dinámica para subir y bajar la rueda.

### 3.3 Diseño asistido por computadora

Computer-aided design (CAD) es el uso de programas computacionales para crear representaciones gráficas de objetos físicos ya sea en dos o tres dimensiones (2D o 3D). El CAD se utiliza en los procesos de ingeniería desde el diseño conceptual y hasta el final del proceso de diseño de productos, a través de análisis dinámico de ensambles hasta la definición de métodos de manufactura. Esto le permite al ingeniero analizar interactiva y automáticamente las variantes de diseño, para encontrar el diseño óptimo para manufactura mientras se minimiza el uso de prototipos físicos.

#### 3.3.1 Beneficios de CAD

Los beneficios del CAD incluyen menores costos de desarrollo de productos, aumento de la productividad, mejora en la calidad del producto y un menor tiempo de lanzamiento al mercado.

- Mejor visualización del producto final, los sub-ensambles parciales y los componentes en un sistema CAD agilizan el proceso de diseño.

- El software CAD ofrece gran exactitud de forma que se reducen los errores.
- El software CAD brinda una documentación más sencilla y robusta del diseño, incluyendo geometría y dimensiones, lista de materiales, etc.
- El software CAD permite una reutilización sencilla de diseños de datos y mejores prácticas.

### 3.3.2 Planos

Para este proyecto, se decidió utilizar un CAD que nos facilitará la visualización del modelo funcional, permitiendo un diseño interactivo en el que todo el tiempo se pudieran realizar modificaciones a la idea principal, ya que todo varía de acuerdo al material utilizado, motores, diseño, necesidades, etc.

El software elegido para realizar el modelo funcional, fue CATIA, ya que nos proporcionaba un muy buen comportamiento frente a cambios existentes, al reutilizar piezas y ensamblajes de otros proyectos. Además de que se pueden realizar vínculos entre piezas y no sólo con las “constrains”. Y con respecto a los planos, es muy sencillo de utilizar, ya que si en el modelo 3D hay cambios en las dimensiones o en cualquier otro módulo, en los planos también se ven reflejados, porque todo el diseño se encuentra vinculado.

Se utilizaron tres módulos de CATIA:

- Part Design, el cual está dedicado a la creación de modelos sólidos y nos permitió realizar todas las piezas que conformarían nuestro modelo final
- Assembly Design, es un módulo para crear ensamblajes de varias piezas, y con este obtuvimos nuestro modelo final, un aproximado de cómo se vería construido en la realidad.
- Drafting, tiene como objetivo la generación de planos 2D. Lo utilizamos para generar los planos que contuvieran todas las dimensiones de nuestro proyecto y así poder dar a detalle las características de éste.

Para ver a detalle los planos de todos los elementos que conforman el modelo final del proceso de molienda, ver ANEXO I. Y a continuación, se coloca una lista de todos los planos con una breve descripción.

Tabla 29. Descripción de los planos del modelo final del proceso de molienda.

# De Plano	Descripción
Plano 1	Estructura principal donde se colocaron los motores, sensores, contenedores y todos los elementos del modelo que ejemplificaría el funcionamiento del proceso de molienda.
Plano 2	Acoplamiento de la malla con el eje principal de giro.
Plano 3	Actuador lineal, que permite subir y bajar la piedra.
Plano 4	Motor principal para el movimiento de la malla y por ende el de la piedra.
Plano 5	Acoplamiento donde se colocó la piedra.
Plano 6	Piedra de cemento que permite la trituración.
Plano 7	Rodamiento para el eje principal.
Plano 8	Protección para impedir la caída del bagazo.
Plano 9	Esta rueda se utilizó dos veces para el mecanismo de subida de la protección.
Plano 10	Motor para el mecanismo que sube la protección evitando la caída de bagazo.
Planos 11 - 13	Elementos que conforman el mecanismo de limpieza.
Planos 14 - 16	Estructura para sensores de piñas.
Planos 17 - 22	Sub-ensamble de protección de circuito eléctrico.
Planos 23 - 26	Sub-ensamble de caja para bagazo.
Planos 27 - 30	Sub-ensamble de caja contenedora de bagazo.
Planos 31 - 33	Sub-ensamble de caja para el jugo sobrante.



### 3.3.3 Modelo final

A continuación se muestra el ensamble final, tanto en modelo 3D como en un plano 2D pero sin dimensiones, ya que éstas se indican en todos los planos anteriores con los elementos que ya se han descrito.

Esta representación sólo es un aproximado del modelo físico, ya que a éste se le realizaron modificaciones conforme se fue manufacturando.

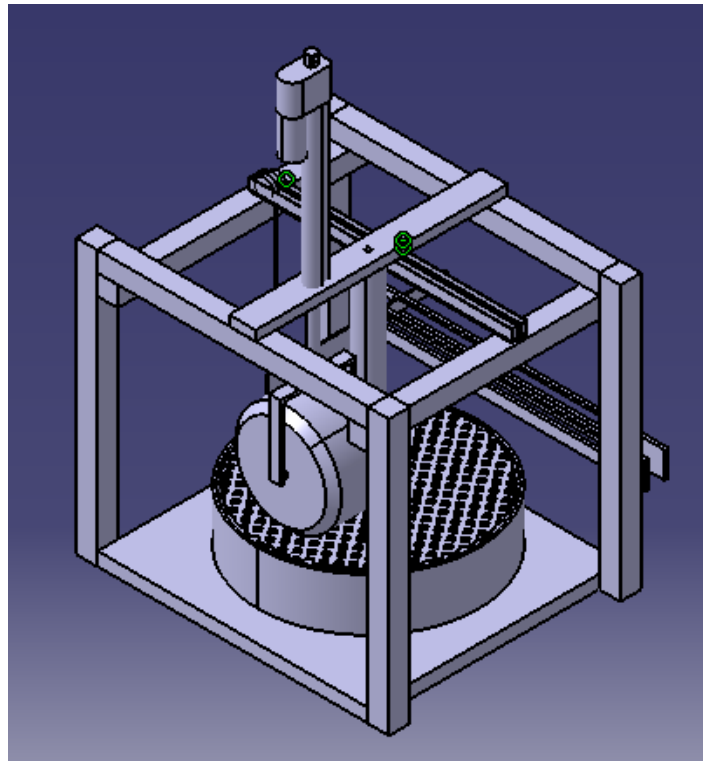


Figura 3.5 Estructura final

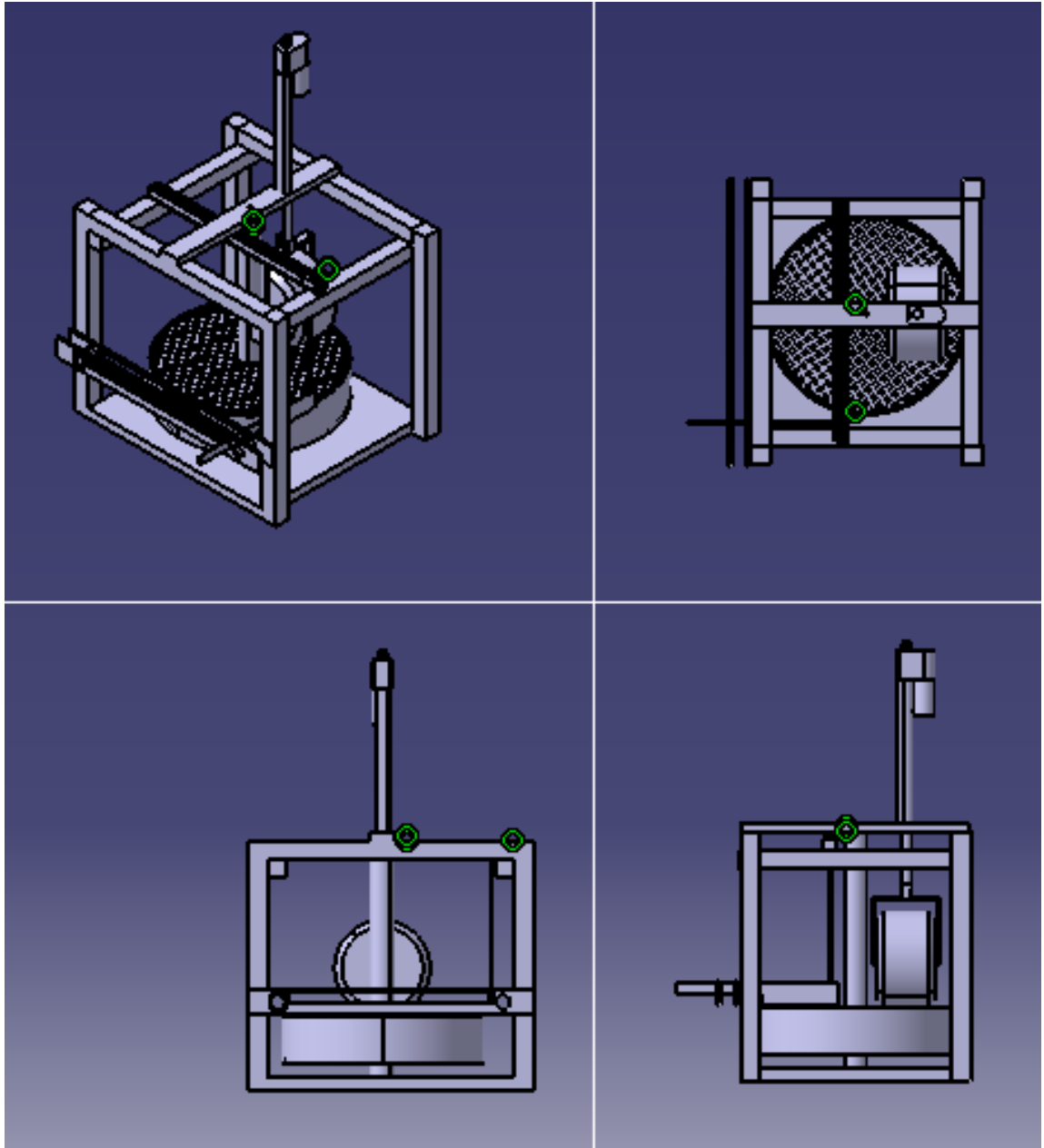


Figura 3.6 Distintas tomas de modelo final.

Para ver el plano del modelo final Ver ANEXO II Modelo Final.

### 3.4 Electrónica

A continuación se presentan los diagramas eléctricos del proyecto. Básicamente se pueden dividir en la etapa de alimentación del sistema y la parte electrónica.

Es importante mencionar que los materiales eléctricos usados obedecieron a las necesidades de corriente y voltaje; mientras que los sensores seleccionados, además de ser conocidos, ofrecían una buena lectura de las variables o eventos que necesitábamos cuantificar.

Por otra parte hay que mencionar que se ocuparon los siguientes actuadores debido a que eran con los que se contaba, o bien los que pudimos obtener en base a préstamos, cuidando que cumplieran con las características requeridas para el correcto funcionamiento del modelo conceptual.

Los primeros dos diagramas son de la fuente de poder que se usó para la alimentación de los actuadores. Aunado a esto se usó un cargador de celular de 5 Volts para la alimentación de sensores y semiconductores.

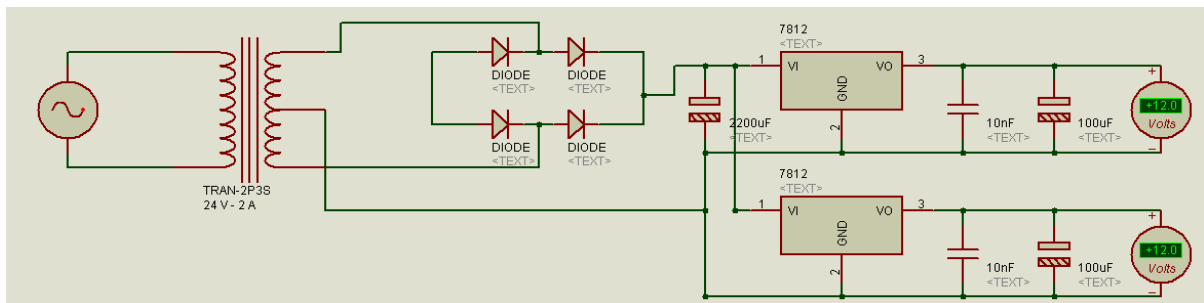


Figura 3.7 Fuente de alimentación con dos salidas de 12 V

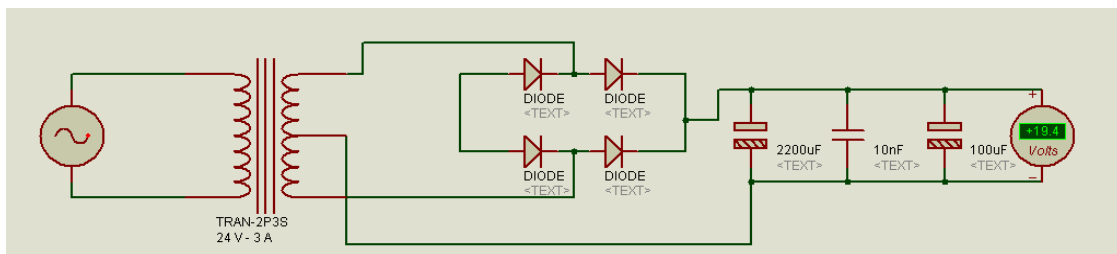


Figura 3.8 Fuente de alimentación con salida de 19 V

El diagrama anterior corresponde a la fuente de alimentación de los motores que más corriente demandaban, pues al llegar a su pico de corriente bajaban el nivel de voltaje y si éste disminuía debajo de los 12 volts no se lograba que operaran.

Por último, el siguiente diagrama muestra los elementos usados para el accionamiento de los diferentes actuadores. Los botones lógicos representan las entradas que generan los sensores utilizados, mientras que el potenciómetro utilizado en el puerto dos simula el canal analógico.

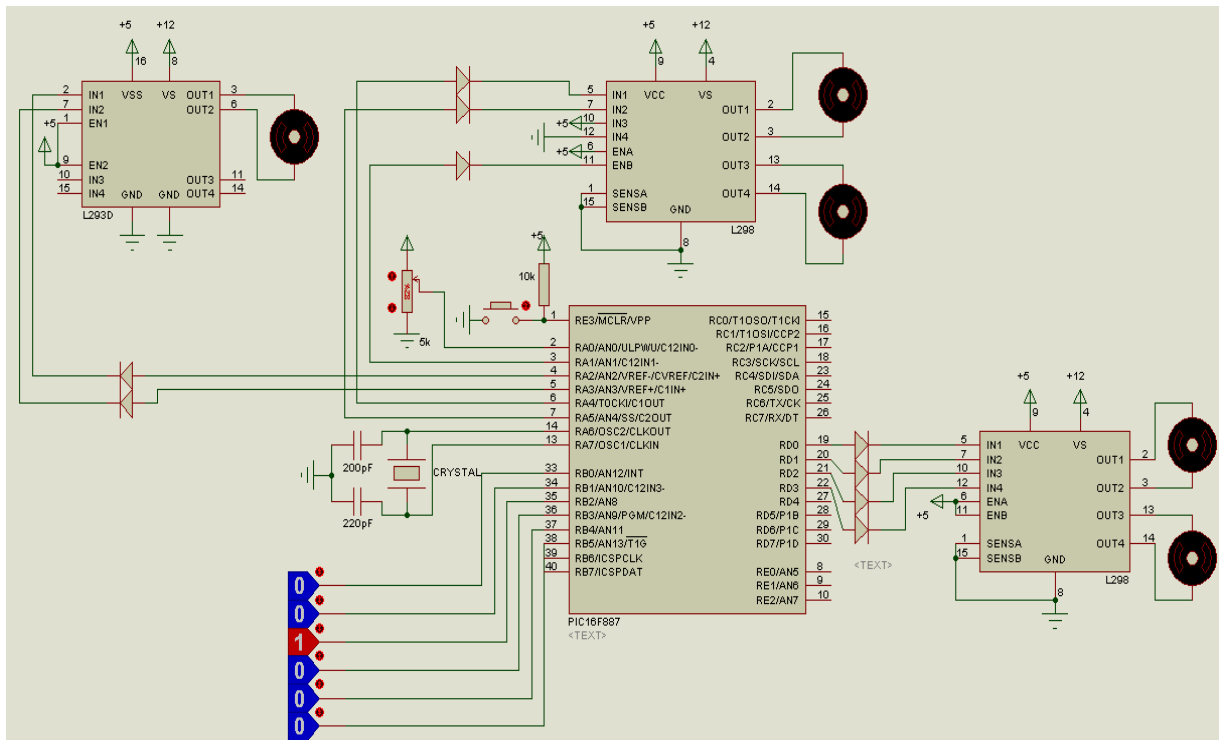


Figura 3.9 Electrónica del modelo

Como podemos apreciar en los diagramas anteriores, el modelo físico está constituido de diferentes elementos electrónicos, por lo que a continuación aunaremos en estos componentes y se justificará su implementación.

La mayoría de los circuitos eléctricos, sino es que todos, implementan algún tipo de resistencia y/o capacitor, sin su intervención no se hubiesen podido desarrollar una infinidad de circuitos tal como los conocemos, como por ejemplo los sistemas de radio, televisión, teléfonos, detectores de metales y equipos de audio. Es por ello que de estos dos elementos son de los primeros que se hablará.

### 3.4.1 Resistencias

La resistencia eléctrica es la oposición o dificultad al paso de la corriente eléctrica. Cuanto más se opone un elemento de un circuito a que pase por él la corriente, más resistencia tendrá. Hay algunos elementos que su única función es precisamente ésa, oponerse al paso de la corriente u ofrecer resistencia al paso de la corriente para limitarla y que nunca supere una cantidad de corriente determinada. Un elemento de este tipo se llama resistencia. El resistor es el componente pasivo por naturaleza. Su función es disipar energía. El valor de una resistencia viene determinado por su código de colores.

### 3.4.2 Capacitor

Un capacitor o condensador eléctrico, es un dispositivo formado por dos placas metálicas separadas por un aislante llamado dieléctrico. Un dieléctrico o aislante es un material que evita el paso de la corriente.

Un capacitor se utiliza para almacenar energía y liberarla rápidamente. Uno de sus principales usos es como filtro de rizado; esto quiere decir que los capacitores se utilizan para eliminar ("filtrar") el rizado o picos remanentes de la conversión de corriente alterna (AC) en continua (DC) realizada por el circuito rectificador. Esta función se encuentra en las fuentes de alimentación, es por ello que fueron utilizados para la implementación de los primeros circuitos.

En circuitos digitales se transportan pulsos electrónicos a altas velocidades. Estos pulsos en un circuito pueden interferir con las señales de otros circuitos colindantes, por lo cual se incluyen capacitores para minimizar la interferencia. A pesar de que son más pequeños que los usados en los suministros de energía, realizan la misma función básica: absorber el ruido eléctrico que es disipado.

Existen diferentes variedades de capacitores, pero aquí sólo hablaremos de los dos tipos de capacitores que se usaron: cerámicos y electrolíticos.

**Capacitor electrolítico de aluminio:** este posee una capacitancia por volumen muy elevada y además, son muy económicos, es por esto que son sumamente

utilizados. Estos contienen hojas metálicas que poseen un electrolito que puede ser seco, pastoso o acuoso. Los capacitores eléctricos de aluminio se pueden encontrar no polarizados y polarizados, siendo estos últimos los más comunes y los que se utilizaron en este proyecto.

**Capacitores eléctricos de cerámica:** estos se destacan por ser económicos y de reducido tamaño. Además, poseen un gran intervalo de valor de aplicabilidad y capacitancia. Son ideales para aplicaciones de derivación, filtrado y acoplamiento. El material dieléctrico que se utiliza en estos capacitores puede ser titanato de calcio, de bario o bien, dióxido de titanio con la adición de otros aditivos. Los capacitores eléctricos de cerámica tienen forma de disco o tubular.

### 3.4.3 Diodo

El diodo es un componente que permite la circulación de corriente entre sus terminales en un determinado sentido, mientras que la bloquea en el sentido contrario.

Asimismo, es común que al mismo se lo llame rectificador, ya que es un dispositivo capaz de suprimir aquella parte negativa que presente cualquier señal, en principio, para luego transformar una corriente alterna en una corriente continua.

En la figura 3.10 se muestran el símbolo y la curva característica tensión-intensidad del funcionamiento del diodo ideal. El sentido permitido para la corriente es de A a K.

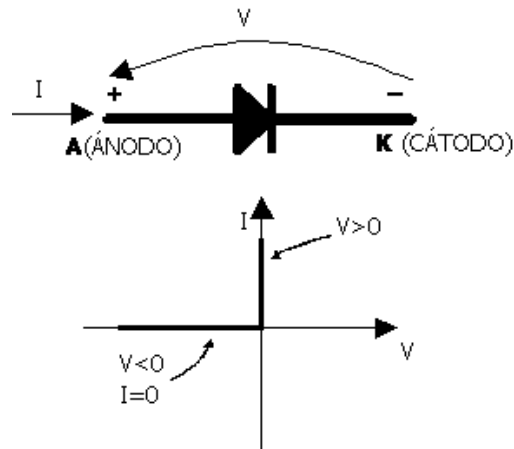


Figura 3.10 Símbolo y curva característica tensión-corriente del diodo ideal

El funcionamiento del diodo ideal es el de un componente que presenta resistencia nula al paso de la corriente en un determinado sentido, y resistencia infinita en el sentido opuesto. La punta de la flecha del símbolo circuital, representada en la figura anterior, indica el sentido permitido de la corriente.

$$\left. \begin{array}{l} V = 0 \\ I > 0 \end{array} \right\} \Rightarrow R = \frac{V}{I} = 0 \text{ presenta resistencia nula.}$$

$$\left. \begin{array}{l} V < 0 \\ I = 0 \end{array} \right\} \Rightarrow R = \frac{V}{I} = \infty \text{ presenta resistencia infinita.}$$

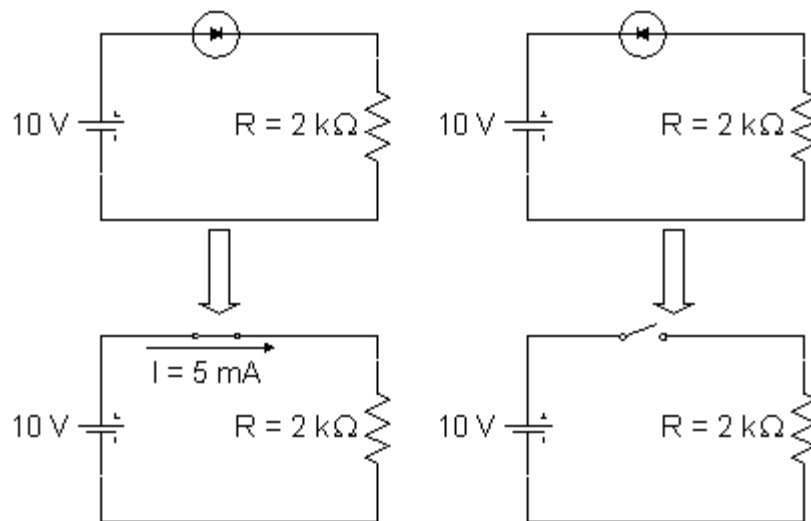


Figura 3.11 Ejemplo de funcionamiento del diodo ideal.

Según está colocada la fuente, la corriente debe circular en sentido horario.

En el circuito de la izquierda, el diodo permite dicha circulación, ya que la corriente entra por el ánodo, y éste se comporta como un interruptor cerrado. Debido a esto, se produce una caída de tensión de 10V en la resistencia, y se obtiene una corriente de 5mA.

En el circuito de la derecha, el diodo impide el paso de corriente, comportándose como un interruptor abierto, y la caída de tensión en la resistencia es nula: los 10V se aplican al diodo.

Es por lo anterior que se utilizó este componente tanto en la construcción de la fuente de poder para transformar la corriente alterna en corriente continua y como protección del PIC ante las corrientes negativas generadas por el funcionamiento de los motores.

#### 3.4.4 Puentes H

Para dotar de energía a los motores se tuvo que implementar una etapa de potencia para cada motor. Para ello se usaron 2 tipos de puente H, esto debido al consumo de corriente que demandaban los diferentes motores. El puente H es exactamente un circuito electrónico que sirve de ayuda en el control de diferentes tipos de motores y solenoides.

##### 3.4.4.1 L293D

Es un puente H que entre sus principales características cuenta con un rango de operación que va desde los 4.5 V a los 36 V. Así mismo otorga una corriente de salida de 600 mA con picos de hasta 1.2 A por canal. Se usó este tipo de puente H para controlar el motor que se empleó en la etapa de limpieza.

##### 3.4.4.2 L298

Puente H de 15 pines que soporta un mayor nivel de voltaje y amperaje que el L293D. Provee un voltaje de operación de 46 V y otorga una corriente de hasta 4 A. Además cuenta con protección por calentamiento y con inmunidad ante ruido alto. Este tipo de integrado fue utilizado para el pistón que mueve la piedra que



muele los pedazos de piña, así como para el motor que hace girar la base y para los motores que suben la protección.

Se utilizó en los anteriores motores debido al consumo de corriente que exigían. A continuación se presenta una tabla con los consumos medidos de cada motor:

Tabla 30. Consumo de corriente de los actuadores utilizados

Actuador	Consumo de Corriente		
	Sin carga [mA]	Con carga [mA]	Pico Máximo [mA]
<b>Actuador Lineal</b>	550	810	1210
<b>Motor Principal</b>	100	600	1040
<b>Motores Protección</b>	2000	2900	3600
<b>Motor etapa limpieza</b>	250	600	800

### 3.4.5 Actuadores

Los actuadores tienen como misión generar el movimiento de los elementos de una máquina según las órdenes dadas por una unidad de control. Los actuadores pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica.

Los motores eléctricos son los más utilizados, por su fácil y preciso control.

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- Motores de corriente continua (DC):
  - Controlados por inducción.
  - Controlados por excitación.
- Motores de corriente alterna (AC):
  - Síncronos.
  - Asíncronos.
- Motores paso a paso.

Una máquina de corriente continua (generador o motor) se compone principalmente de dos partes. El estator da soporte mecánico al aparato y contiene los devanados principales de la máquina, conocidos también con el nombre de polos, que pueden ser de imanes permanentes o devanados con hilo de cobre sobre un núcleo de hierro. El rotor es generalmente de forma cilíndrica, también devanado y con núcleo, alimentado con corriente directa mediante escobillas fijas (conocidas también como carbones). Para que se pueda dar la conversión de energía eléctrica en energía mecánica de forma continua es necesario que los campos magnéticos del estator y del rotor permanezcan estáticos entre sí.

Los motores de corriente continua o directa son los más usados en la actualidad debido a su facilidad de control. Además cuentan con un par de arranque alto en comparación con los de corriente alterna.

Por las razones anteriores es que decidimos utilizar este tipo de actuadores en la construcción de nuestro modelo funcional.

#### 3.4.6 Actuador Lineal LACT10P

Éste dispositivo convierte el movimiento de rotación del motor en un movimiento lineal por medio de un tornillo sinfín que tiene acoplado. Por cada vuelta del tornillo el engrane gira un diente.

Este motor puede soportar 50 kg a carga dinámica y alcanzar una velocidad máxima de 1.3 cm/s. Cuenta con sensores de límite a ambos lados y cuenta con un potenciómetro que nos da retroalimentación de su posición. Su carrera es de 25 cm y la reducción del motor es de 20:1. Funciona a 12 V y su consumo de corriente va de los 500 mA sin carga a exceder los 3 A a máxima carga dinámica.

El actuador fue usado para mover la piedra de la molienda hacia arriba y hacia abajo y debido al peso de la misma, éste no tuvo problema para moverla. Por otra parte el potenciómetro fue usado para conocer la posición del actuador y por lo tanto de la piedra.

La desventaja que encontramos en usar este tipo de actuador es que tenía rotación, por lo que tuvimos que encontrar una manera de limitar este movimiento.

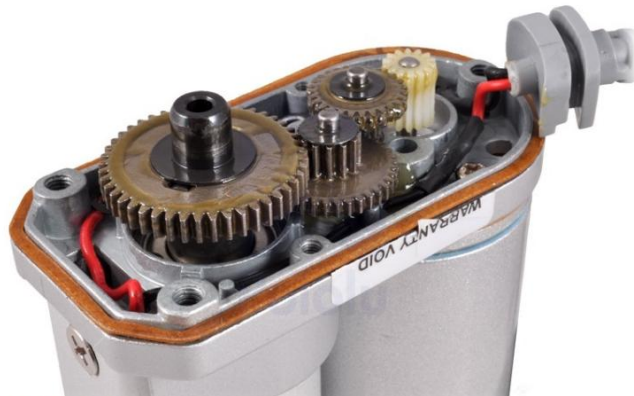


Figura 3.12 Vista de la caja de engranes con la que cuenta el actuador lineal

### 3.4.7 Motor de la base (Motor principal)

Para lograr suministrar la fuerza necesaria para la molienda de las piñas de agave, se utilizó un motorreductor marca TSUKASA de 12 volts, capaz de generar un par igual 6 Kg-cm lo cual es suficiente para cumplir con el requisito encontrado en la etapa de diseño. Los motorreductores son elementos mecánicos adecuados para el accionamiento de todo tipo de máquinas y aparatos, dado que reducen de forma eficiente, constante y segura la velocidad.

Las ventajas de usar este tipo de motores es que tienen una alta eficiencia en la transmisión de potencia, alta regularidad en cuanto a potencia y par transmitidos y ocupan poco espacio.

### 3.4.8 Motor Bosch FPG

Este tipo de motores son usados para elevar los vidrios en los autos. Cuentan con un tornillo sinfín (parecido al de un actuador lineal), de tal forma que al aplicar una carga el motor se mueve y al quitarla mantiene la última posición en la que había estado. Esto fue útil para elevar la protección, pues además de que presentan un buen torque, al momento de quitar la corriente guardan su posición lo que representó una opción frente a los motores a paso, que para mantener la posición necesitan que sus bobinas estén energizadas. El único inconveniente de este tipo de motores es que exigen un pico alto de corriente al accionarlos, por lo que fue

necesario una etapa de potencia más detallada que los demás actuadores utilizados.

El motor que nosotros usamos es utilizado por Ford Motor Company y es un motor Bosch FPG 0 130 822 316.



Figura 3.13 Motor Bosch FPG

### 3.4.9 Motor etapa de limpieza

El sistema de limpieza no requirió de un motor con características tan estrictas como el que se usó para el movimiento de la base. Aun así se necesitaba un motor que generará un buen torque, por lo que se decidió implementar un motoreductor marca Faulhaber®, número 2342L012CR. Este tiene la capacidad de otorgar un torque de 1.72 Nm, consumiendo desde 75 mA sin carga hasta 1400mA con carga, exigiendo una alimentación de 12 V.

### 3.4.10 Sensores

Un sensor es un dispositivo que está capacitado para detectar acciones o estímulos externos y responder en consecuencia. Estos dispositivos pueden transformar las magnitudes físicas o químicas en magnitudes eléctricas.

### 3.4.10.1 Finales de carrera

Los interruptores o sensores finales de carrera, también llamados interruptores de posición, son interruptores que detectan la posición de un elemento móvil mediante accionamiento mecánico y son el tipo de sensor de contacto más común.

Son muy habituales en la industria para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición.

Existen multitud de tipos de interruptores final de carrera que se suelen distinguir por el elemento móvil que genera la señal eléctrica de salida.

Se tienen, por ejemplo, los de lengüeta, bisagra, palanca con rodillo, varilla, palanca metálica con muelle, de pulsador, etc.

En nuestro modelo utilizamos 4 sensores de este tipo, más específicamente de lengüeta. Dos se colocaron en el sistema de limpieza y los otros dos se utilizaron para detectar cuando la protección se encuentra retraída. Se decidió utilizar este tipo de sensor debido a la facilidad de su implementación y a que nos daban las lecturas que necesitábamos de acuerdo a la programación que realizamos, pues los motores no paraban hasta recibir la señal de que el elemento había llegado al final de su carrera.

### 3.4.10.2 Sensores opto electrónicos

Los sensores optoelectrónicos permiten la detección precisa y sin contacto de los objetivos. Emiten luz infrarroja, roja o láser, y el objetivo debe interrumpir el haz de luz o reflejarlo hacia el sensor para activar la salida del mismo. Los modos de detección optoelectrónica se dividen en tres tipos principales, que son reflexión total (barreras fotoeléctricas unidireccionales), retrorreflexión (barreras fotoeléctricas de reflexión) y reflexión difusa (detectores fotoeléctricos).

Los sensores optoelectrónicos permiten controlar presencia, color, distancia, tamaño, forma y otros muchos atributos del objetivo. Pueden realizar estas funciones a mayor distancia que otros métodos de detección y disponen de numerosas opciones de montaje y flexibilidad.

### 3.4.10.3 De barrera

Para la detección de piñas se usó precisamente un sensor optoelectrónico de barrera; en un sensor de barrera, el emisor y el receptor se posicionan opuestos entre sí, pero alineados, de modo que la luz del primero incide directamente sobre el segundo. La detección se realiza por sombra o bloqueo, es decir cuando el objeto interrumpe el haz de luz. Se utilizan principalmente para la detección de objetos pequeños, el posicionamiento preciso de piezas y el conteo de partes, razones por la cual se usó este tipo de sensor en el conteo de pedazos de piña que entran en el modelo. Su principal desventaja es que el emisor y el receptor deben conectarse independientemente y deben estar bien alineados.

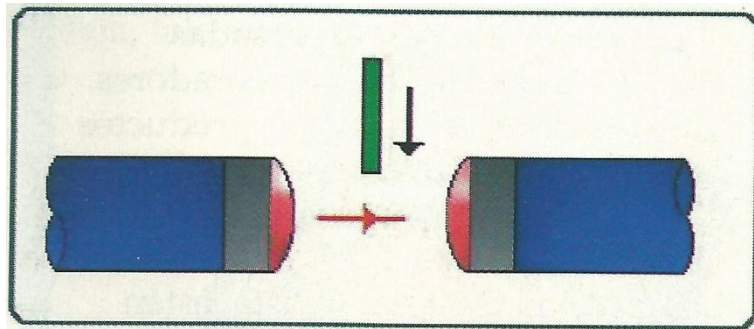


Figura 3.14 Principio de funcionamiento de un sensor fotoeléctrico de barrera

### 3.4.10.4 Sensor de herradura

Los sensores en herradura son una versión de la tecnología de barrera, sigue el mismo principio de funcionamiento pero la configuración de los componentes es diferente, ambos elementos se encuentran enfrentados a la misma altura, en una carcasa (normalmente plástica) en forma de herradura en donde la ranura es normalmente estrecha. Una de sus aplicaciones más comunes es como encoder en el control de vueltas, también se utilizan para detección de marcas y separación de etiquetas.

Por lo anterior se decidió usar este tipo de sensor en el conteo de las vueltas que realizaba la plataforma de trituración, dado que su montaje facilitaba su implementación y contaba con una separación pequeña pero a la vez justa que

permitió detectar la pieza que fungía como pestaña, indicándonos cada vez que se realizaba una vuelta completa.

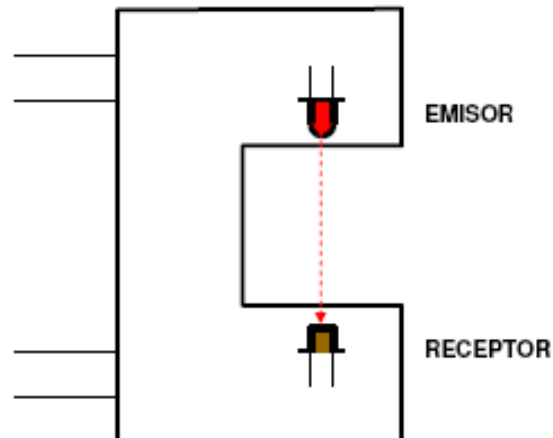


Figura 3.15 Esquema del sensor de herradura

### 3.4.11 PIC16F887

El PIC16F887 es un poderoso y económico microcontrolador de 40 terminales. Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Entre las principales características de éste, nos encontramos con:

- Arquitectura RISC (Reduced Instruction Set Computer) con sólo 35 instrucciones diferentes.
- Velocidad de operación de 20 MHz y 200 ns por ciclo de instrucción.
- Capacidad de interrupción
- Oscilador interno (frecuencia de 8 MHz a 31KHz)
- Ahorro de energía
- Rango de operación de 2 V a 5.5 V
- Rango de temperatura extendido (-40°C a 125°C)
- Reset al encender y por medio de un pulso de entrada

- Memoria ROM flash de 8 KB que soporta 100,000 re-programaciones
- Memoria EEPROM de 256 bytes que puede grabar datos hasta en 1,000,000 de ocasiones.
- Retención de datos por más de 40 años
- Consumo bajo de corriente que va de los 50 nA en modo espera hasta 220  $\mu$ A en operación.
- Lectura y escritura de memoria en tiempo de ejecución
- 35 pines de entradas/salidas con interrupción por cambio de estado.
- ADC con resolución de 10 bit en 14 canales.
- PWM incorporado
- Comunicación serial

Lo anterior es suficiente para aplicaciones en la industria o en dispositivos electrónicos donde se requiera conectar varios periféricos.

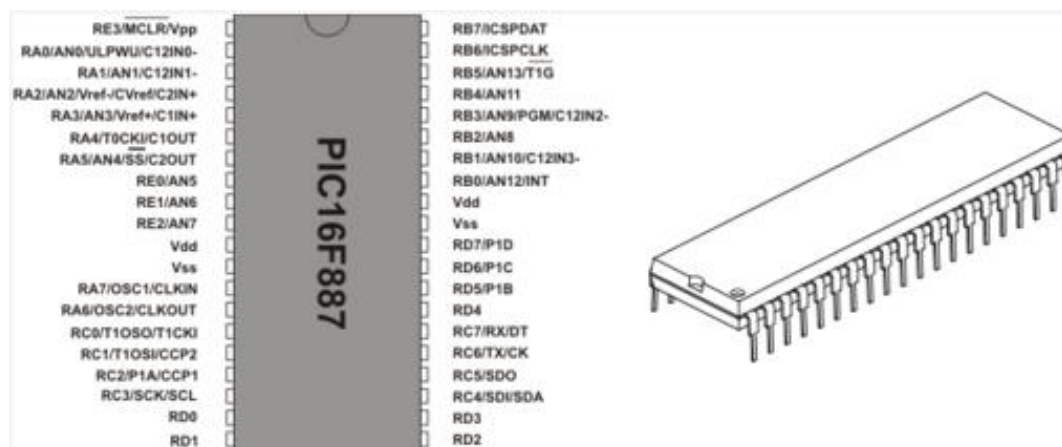


Figura 3.16 Diagrama del PIC16F887



Otra de las características de este microcontrolador es que la mayoría de sus pines son multipropósito, lo cual nos permite hacer uso del mismo de acuerdo a nuestras necesidades. El propósito de estos pines debe ser definido por medio de software, debido a que no pueden ser utilizadas simultáneamente, pero sí pueden cambiar durante el proceso.

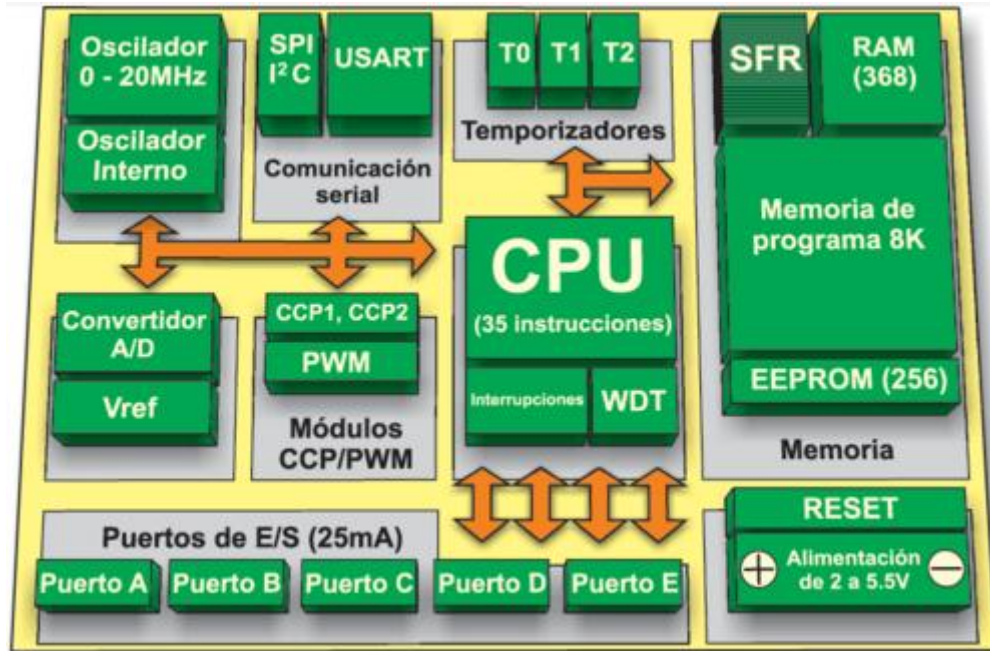


Figura 3.17 Configuración de los pines del PIC16F887

Este PIC cuenta con tres tipos de memoria: ROM, RAM y EEPROM.

En la ROM se guarda el programa a ejecutar. Ésta puede ser grabada y reescrita de manera muy sencilla con un dispositivo comúnmente llamado programador.

La memoria EEPROM puede guardar de manera permanente ciertos datos, incluso al apagar la fuente de alimentación, pero éstos también pueden ser modificados durante la ejecución del programa si así se requiere.

La memoria RAM se divide en dos: un lugar donde podemos almacenar datos de corrida como contadores, timers, etc. y otro donde se encuentran el registro de funciones, los cuales no pueden ser cambiados y fueron establecidos durante el

proceso de fabricación. Tal es el caso del funcionamiento del convertidor A/D, el módulo de comunicación serial, etc.

Dado lo anteriormente descrito este tipo de microcontrolador fue adecuado para su implementación en este proyecto. En la siguiente tabla se muestra el comparativo de las propiedades que fueron usadas frente a las que pueden ser usadas.

Tabla 31. Características disponibles vs usadas en el PIC16F887

Disponibles	Usadas
40 terminales	24 terminales
35 entradas/salidas	16 = 9 salidas y 7 entradas
ADC en 14 canales	Se usó 1 canal como ADC
Reset al encender y por medio de un pulso de entrada	Se implementó un reset por medio de pulso a la entrada de la terminal 1 del PIC
Comunicación serial	Se usó para la adquisición de valores provenientes del ADC
Capacidad de interrupción	Se usó para la lectura de cambio de estado de los sensores

Las demás características sirvieron para el funcionamiento mismo del modelo, como el nivel de voltaje y amperaje, la arquitectura RISC, la velocidad de procesamiento, etc. Aunque pareciera que el número de terminales sin utilizar es elevado, es importante considerar que esta situación se planteó así dado que se trata de un modelo que puede crecer con el tiempo y requeriría una mayor cantidad de señales de entrada y accionamiento de salidas, otros PICs de la misma familia y con las mismas características sólo contaban con 28 terminales y 24 entradas/salidas por lo que quedaban muy justos en las necesidades. A demás de lo anterior, ya se tenía una mayor experiencia usando este tipo de familia de micro controlador, por lo que se decidió elegirlo frente a otros dispositivos.

### 3.5 Programación

El programa se escribió en MPLAB en lenguaje de programación C. MPLAB es un software desarrollado por Microchip, el cual provee un ambiente para desarrollar códigos aplicables a micro controladores PIC.

El proceso de compilación de un programa empieza cuando el código fuente escrito en lenguaje C se traduce a código máquina, también llamado código objeto mediante un compilador (en este caso MPLAB). Este código es el conjunto de instrucciones y datos escritos en un lenguaje que entiende el ordenador directamente: binario o código máquina (de ahí el nombre).

Luego de lo anterior un programa nombrado enlazador toma el archivo objeto y las bibliotecas incluidas en el código fuente y construye un archivo ejecutable. El contenido de éste es tradicionalmente un archivo binario. En nuestro caso se genera un archivo HEX, que a su vez es cargado en el microcontrolador a través de un dispositivo comúnmente llamado programador, el cual se comunica de manera serial con la computadora.

A continuación se presenta un diagrama que resume los pasos que se siguen para trasladar el programa inicial al micro controlador.



Figura 3.18 Proceso de conversión de código fuente a código ejecutable

Ya explicado el trayecto desde la escritura del programa hasta su implementación en el microcontrolador, es tiempo de explicar la escritura del mismo y sus diferentes partes.

Todo empieza con la cabecera del programa que contiene las librerías, palabras de configuración y los contadores que nos ayudan a pasar de un ciclo a otro.

Después se colocan las instrucciones necesarias para aumentar los contadores de acuerdo a las veces que los sensores manden un cambio de estado. Estos contadores permiten llevar la secuencia de una manera adecuada, debido a que el proceso es cíclico.

Se usaron interrupciones para asegurar que sólo en cambios de estado se produjera un conteo y a su vez que éstos no se perdieran; ya que una interrupción permite sacar al programa de su secuencia habitual para realizar otra actividad, en este caso el conteo.

Para asegurar tener la menor interferencia en el sistema y que las variables empezaran con un valor nulo, éstas se inicializan al comienzo del programa principal y todas las salidas se pondrán en un flanco bajo.

Además de ello se colocan las instrucciones de configuración, las cuales son necesarias para habilitar permisos tales como las interrupciones.

Posteriormente se presenta el programa principal, las órdenes que tiene que ejecutar el microcontrolador dependiendo de la entrada de señales que se generen. Es aquí donde los contadores juegan un papel crucial, pues de estos depende el número de ocasiones que puede pasar una situación antes de que se encienda una bandera y se pase a la siguiente etapa del proceso.

Por ejemplo, la variable cv (conteo de variables) se encuentra comparada con un mayor o igual de 20, lo que hace que esta etapa del proceso se inicie hasta que el sensor nos mande 20 o más señales por cambio de estado. Si se desea aumentar la cantidad de vueltas a dar, lo único que se necesitaría hacer es aumentar el número 20. Esto nos permite configurar el programa de una manera más sencilla de acuerdo a las necesidades que se presenten, así si el bagazo aún no estuviera

bien triturado, podemos aumentar el valor de comparación y conseguir un mejor resultado.

Lo mismo sucede con otras variables de control tales como clt (conteo de limpieza terminada) o cp (conteo de piñas). Con la primer variable podemos aumentar el número de veces que realizaremos el ciclo de limpieza, mientras que la otra nos permite saber cuántos pedazos de piña de agave permitiremos que se ingresen al modelo antes de iniciar el proceso de molienda.

Como podemos apreciar este tipo de variable nos ayuda a que sea más flexible el proceso y podamos encontrar puntos claves, como la cantidad promedio de vueltas que se requieren antes de que se pueda considerar que está bien triturada una piña de mezcal.

A continuación se presenta un diagrama de estado donde se puede visualizar la secuencia que sigue nuestra programación.

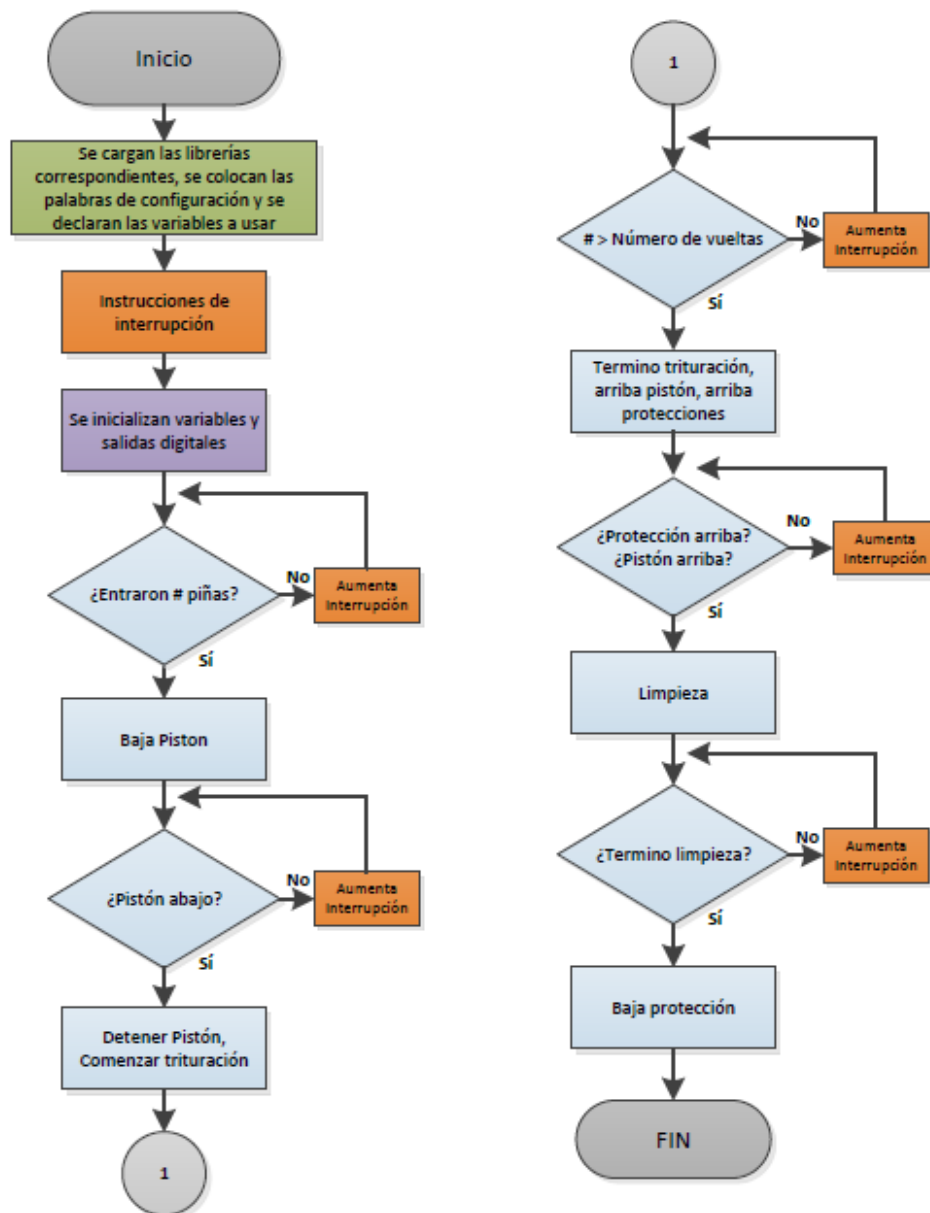


Figura 3.19 Diagrama de estado de la programación

Para mayor referencia podemos consultar el Anexo III, donde se encuentra toda la programación realizada.

### 3.6 Selección de materiales

La selección de materiales dependió de tres diferentes variables. La primera fue el precio; la segunda fue la utilidad del mismo y con esto nos referimos a cómo

estaría colocado y con qué partes tendría interacción; y la tercera y última fue la facilidad de trabajarlo y manipularlo, es decir su peso y que tan fácil era cortarlo, desbástalo, perforarlo, etc.

Partiendo de lo anterior, según su utilidad clasificamos el material de acuerdo al siguiente diagrama.

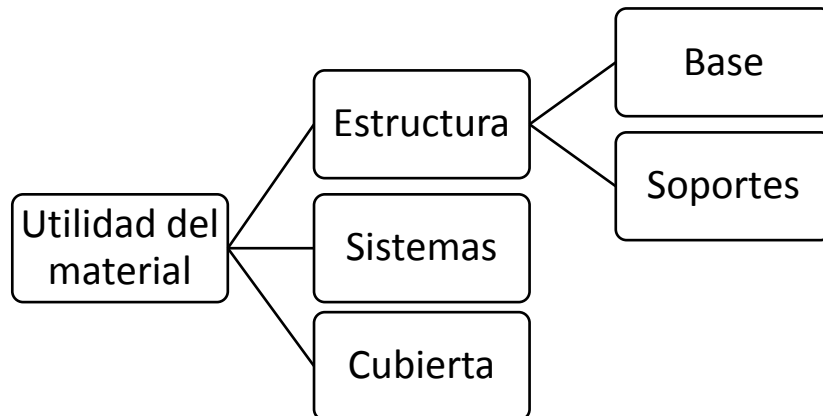


Figura 3.20 Clasificación que se le dio al material según su propósito

### 3.6.1 Estructura

Dentro de la selección de materiales lo primero que se eligió fue el material para la estructura. Se seleccionó éste con base en la experiencia, de un catálogo de materiales de un distribuidor conocido<sup>34</sup>; donde se indican las medidas y el peso de los diferentes materiales, y de acuerdo a nuestras necesidades. Con lo anterior surgieron 3 posibilidades: tubos cuadrados, tubos rectangulares y una combinación de ángulos con barras.

Posteriormente se cotizaron y analizaron estos diferentes tipos de perfiles de aluminio. Se eligió el tubo cuadrado ya que fue el más barato y la necesidad no requería alguno en específico; además de que este también resultó ser el de menor peso. Finalmente se vio su ensamble y se seleccionó la medida apropiada del tubo con respecto al peso final esperado de la estructura, esta medida fue de 38.1 mm por lado con una pared interior de 1.27 mm. Dado lo anterior, se pudo

<sup>34</sup> Cuprum. Catálogo Industrial de Perfiles. Aluminio. [En línea].

seleccionar el modo de sujeción, por lo que se decidió ocupar escuadras de aluminio y tornillería para tal propósito.



Figura 3.21 Imagen de la estructura final del modelo

El siguiente elemento que se eligió fue el material que se ocuparía para la base. Principalmente se tenía pensado en una placa de aluminio, pero había tres inconvenientes en esto: el peso era excesivo, el costo del material era alto y la dificultad para maquinar la placa era elevada dado el calibre que se necesitaba. Fue por lo anterior que se decidió ocupar madera pues fue mucho más barata, mucho más ligera y la facilidad de manejo fue mayor, el único inconveniente a nuestro parecer fue la estética, pero funcionalmente no afectaba en nada.

Por otro lado, y contrario a lo anterior, se decidió que el material del puente donde se colocaría el motor principal y el actuador lineal necesitaba contar con una mayor rigidez por el peso y la fuerza que tendría que soportar. Por ello se seleccionó una barra rectangular de aluminio lo suficientemente gruesa para soportar todos estos elementos.



### 3.6.2 Sistemas

Ya decidido el material que se ocuparía en la estructura se continuó por establecer el que se implementaría para cada sistema. Para este fin el modelo se dividió en tres sistemas: el de molienda, el de limpieza y el de protección. El primer sistema que se analizó fue el de molienda, el cual contempla la piedra y el material usado para hacer posible la trituración de la piña de mezcal. En éste lo primero que se estudió fue el acoplamiento del motor con el elemento que haría girar la superficie, que a su vez haría girar la piedra.

Para este elemento se propuso un eje. Al principio se sugirió una barra circular de aluminio; pero al igual que en los materiales pasados su costo era elevado, por lo que se cambió la idea a un tubo circular. Lo anterior disminuyó los costos, pero aumentó el trabajo de acoplamiento del motor, ya que fue necesario añadir en uno de los costados una pequeña barra que sería ensamblada con el tubo por medio de un tornillo y de pegamento adecuado. Esta pequeña barra permitió que el motor quedara unido al tubo, logrando así el movimiento requerido. La unión del motor se realizó mediante un perno que atraviesa la barra.



Figura 3.22 Acoplamiento del motor con el eje principal

Ahora quedaba por resolver la restricción de movimiento del eje principal. Para esto en la base se colocó un rodamiento, el cual permitía al eje girar pero impedía que éste tuviera un desplazamiento.



Figura 3.23 Rodamiento inferior del eje principal

Posteriormente se tuvo que unir el eje a la superficie, pero antes habría que decidir de qué material sería ésta última. Debido a que nuestro diseño exigía un material que dejara filtrar la mayor cantidad posible de líquidos y que fuera a su vez rígido, además de que fuera inoxidable puesto que estaría en contacto directo con la piña de mezcal.

Por todo lo anterior se seleccionó un tipo de malla de aluminio, parecida a la que se usa en las coladeras. Cabe mencionar que para darle más rigidez se colocaron varias capas de la misma malla. Todas éstas se unieron a través de tornillería y barras de aluminio de 3 mm, que a su vez brindan más soporte y representaron una oportunidad de unión con el eje principal.

Mediante escuadras de diferentes tamaños y tornillos, se logró unir la superficie de la molienda con el eje. Los tornillos atraviesan el eje a diferentes alturas, logrando unir las 8 barras que soportan la superficie. Es por esta última razón que se buscó

barras de aluminio que tuvieran la rigidez necesaria y que fueran lo menos pesadas posibles.

Fue entonces que se decidió el material con el que se construiría la piedra. Básicamente para este objetivo se utilizó cemento y piedras, logrando así el requerimiento de peso y densidad que se buscaba, pero la construcción de la misma se abordará más adelante.

Por otro lado, al iniciar las primeras pruebas nos dimos cuenta de que el actuador lineal contaba con una rotación que no esperábamos, por lo que nos vimos obligados a restringir ese movimiento. Primero se acopló la piedra mediante una agarradera construida con una barra circular y tres barras rectangulares. Ésta a su vez se unió al actuador mediante un tornillo que atravesaba el mismo y una abrazadera que fija la agarradera a éste último. La barra circular atraviesa la piedra y las barras rectangulares forman un arco como se muestra en la figura.



Figura 3.24 Barra circular que atraviesa la piedra



Figura 3.25 Piedra acoplada al pistón

Ya teniendo bien sostenida la piedra se pudo restringir el movimiento colocando dos guías a los costados de la piedra, las cuales permiten que ésta suba y baje, pero no permiten que la piedra se salga de su eje. Una de las guías va desde el puente que sostiene el motor y el eje hasta la base del modelo, mientras que otra sólo va del primero a un poco más arriba de la superficie donde se trituran las piñas. Debido a que este material tenía que soportar el torque ocasionado por el movimiento de la superficie, se eligieron barras rectangulares de aluminio de 6 mm. Estas barras a su vez se unieron a la estructura por medio de escuadras y tornillos.

Después de lo anterior se seleccionaron los materiales que se implementarían en el sistema de limpieza, el cual se complementa principalmente de la barra que arrastra los restos de bagazo y la guía por donde pasa la misma. Además de esto se necesitó seleccionar el tipo de mecanismo que movería la barra.

Lo primero que se seleccionó fue el material de la barra, pues éste además de rígido tenía que ser flexible en el extremo que estaría en contacto con el bagazo, pero también tenía que ser lo suficientemente fuerte para no doblarse al querer arrastrar los pedazos. Se buscaron diferentes tipos de recogedores y escobas, pero algunos eran muy flexibles y no servían para tal propósito. Fue por eso que se encontró un tipo de limpiador de ventanas que cumplía con lo requerido, el único inconveniente fue que se tenía que cortar el extremo de la base, pues era muy grande y aumentaba el peso del limpiador.

Ahora había que buscar una barra donde poder colocar el limpiador, por lo que se pensó en metal, madera, plástico y PVC. El PVC se descartó porque desprendía partículas al oponer resistencia al movimiento, lo cual no era deseable y el plástico porque no tenía la suficiente resistencia y se podía romper, a menos que aumentáramos el calibre del mismo; pero si hacíamos esto el peso afectaba en el arrastre de la barra.

Teniendo como opción metal o madera, añadimos una variable más, el material con el que se fabricaría la guía, pues si ocupábamos metal en esta también teníamos que ocuparla en la barra, pues desgastaría en mayor manera la madera tras cada pasada y viceversa si la barra la construíamos de metal. El trabajo en metal suponía un mayor costo y una mayor dificultad, aunado al hecho de que este también tenía un mayor peso. Por todo lo anterior se decidió usar MDF, al ser más barato, menos pesado y más fácil de manejar; pues sólo se necesitó dibujar los cortes necesarios en CATIA y mandar a cortar los mismos.

Ya teniendo lo anterior sólo faltaba seleccionar el mecanismo que transmitiría el movimiento. Para este fin estudiamos la implementación de bandas y cadenas, pero se seleccionó la segunda opción debido a que generaba un mayor arrastre. Para colocarla se añadió al motor un piñón y se colocó otro al otro extremo. Estos piñones se compraron, lo cual facilitó la implementación de la cadena. Así sólo se tuvo que unir la cadena a la barra, para lo que se usó un par de pijas.

Siguiendo con los sistemas, se seleccionaron los materiales necesarios para la protección, la cual impide que los pedazos de bagazo salgan de la superficie donde se lleva a cabo la molienda. Pensando en que este material estaría en contacto con los pedazos de agave y al mismo tiempo con dicha superficie, se decidió usar una hoja de aluminio inoxidable; y ésta al ser delgada ocasiona que los motores no tengan que cargar más peso del estrictamente necesario.

Por otro lado, se necesitaban unas guías que impidieran que al subir la protección se desviara, para ello se utilizaron dos carriles de cajones, que al mismo tiempo hacen que el desplazamiento de la protección sea más sencillo al contar con balines en el interior. Estos carriles se colocaron en los extremos del modelo y se

sujetaron de la base y de los travesaños de la estructura; por medio de escuadras, barras y tornillería.

Finalmente se decidió el modo de sujetar estas protecciones a los motores que las moverían. Para ello se seleccionó un alambre de aluminio de varios filamentos, que sujeta la protección por dos lados y a su vez está enrollado en carretes que se diseñaron especialmente para su colocación en cada motor. Dichos carretes son de plástico y tienen un recubrimiento de plastilina epóxica.<sup>35</sup>

### 3.6.3 Cubiertas

Para proteger los circuitos, evitar que los cables se enredaran, tener un mejor orden de las conexiones y mejorar el aspecto visual; se decidió utilizar canaletas a los lados de la estructura, la cuales tienen la ventaja de ser auto adheribles y contar con una tapa removible que permite un fácil acceso a los cables. Por otra parte se le colocaron etiquetas a los cables para tener el control de cada uno y así evitar confundirlos. Aunado a esto se realizaron tablas con la distribución de los mismos en las placas de pruebas usadas, con el fin de que si algún cable se salía de su lugar supiéramos donde conectarlo de vuelta. Debido a que se usaron dos placas de pruebas, se tuvieron cuatro tablas diferentes que a su vez representaban una sección; a estas secciones se les asignó una letra de la A a la D. Cada tabla está compuesta de 3 columnas, la primera señala el número de sección y pin al que se deben conectar los elementos que están contenidos en las dos siguientes columnas.

Las mismas se presentan a continuación.

---

<sup>35</sup> Masa compuesta por 2 partes, que comúnmente es usada para modelismo. Al ser combinadas estas dos partes crean una reacción exotérmica ligera que cataliza el material, haciendo que éste se adhiera a casi cualquier superficie.

PIN - Prd	Elemento1	Elemento2
A18		
A19		
A20	PIC1	Res-Vcc
A21	PIC2	S10
A22	PIC3	PHD1-6
A23	PIC4	PHN-2
A24	PIC5	PHN-7
A25	PIC6	PHD1-10
A26	PIC7	PHD1-12
A27	PIC8	Vcc
A28	PIC9	
A29	PIC10	
A30	PIC11	Vcc
A31	PIC12	Ground
A32	PIC13	Cap-Tim-Ground
A33	PIC14	Cap-Tim-Ground
A34	PIC15	
A35	PIC16	
A36	PIC17	
A37	PIC18	
A38	PIC19	PHD2-5
A39	PIC20	PHD2-7
A40		
A41		
A42		
A43		
A44		
A45		
A46		
A47	T1-1	S3
A48	T1-2	T1-3
A49	T1-3	T1-2
A50	T1-4	PIC33
A51	T1-5	S8
A52	T1-6	PIC34
A53	T1-7	Ground
A54		
A55		
A56	T2-1	S13
A57	T2-2	PIC35
A58	T2-3	S14
A59	T2-4	PIC36
A60	T2-5	
A61	T2-6	
A62	T2-7	Ground

PIN - Prd	Elemento1	Elemento2
B18		
B19		
B20	PIC40	
B21	PIC39	
B22	PIC38	T2-10
B23	PIC37	T2-8
B24	PIC36	T2-4
B25	PIC35	T2-2
B26	PIC34	T1-6
B27	PIC33	T1-4
B28	PIC32	Vcc
B29	PIC31	Ground
B30	PIC30	
B31	PIC29	
B32	PIC28	
B33	PIC27	
B34	PIC26	
B35	PIC25	
B36	PIC24	
B37	PIC23	
B38	PIC22	PHD2-12
B39	PIC21	PHD2-10
B40		
B41		
B42		
B43		
B44		
B45		
B46		
B47	T1-14	Vcc
B48	T1-13	
B49	T1-12	
B50	T1-11	
B51	T1-10	
B52	T1-9	
B53	T1-8	
B54		
B55		
B56	T2-14	Vcc
B57	T2-13	
B58	T2-12	
B59	T2-11	S18
B60	T2-10	PIC38
B61	T2-9	S17
B62	T2-8	PIC37

PIN - Prd	Elemento1	Elemento2
C18	PHD2-15	Ground
C19	PHD2-13	M6
C20	PHD2-11	Vcc
C21	PHD2-9	Vcc
C22	PHD2-7	PIC20
C23	PHD2-5	PIC19
C24	PHD2-3	M2
C25	PHD2-1	Ground
C26		
C27		
C28		
C29		
C30		
C31		
C32		
C33		
C34		
C35	PHN-8	12V
C36	PHN-7	PIC5
C37	PHN-6	M16
C38	PHN-5	Ground
C39	PHN-4	Ground
C40	PHN-3	M15
C41	PHN-2	PIC4
C42	PHN-1	Vcc
C43		
C44		
C45		
C46		
C47		
C48		
C49		
C50	PHD1-15	Ground
C51	PHD1-13	M13
C52	PHD1-11	Vcc
C53	PHD1-9	Vcc
C54	PHD1-7	Ground
C55	PHD1-5	Vcc
C56	PHD1-3	M12
C57	PHD1-1	Ground
C58		
C59		
C60		
C61		
C62		

PIN - Prd	Elemento1	Elemento2
D18	PHD2-14	M7
D19	PHD2-12	PIC22
D20	PHD2-10	PIC21
D21	PHD2-8	Ground
D22	PHD2-6	Vcc
D23	PHD2-4	12V
D24	PHD2-2	M1
D25		
D26		
D27		
D28		
D29		
D30		
D31		
D32		
D33		
D34		
D35	PHN-3	
D36	PHN-10	
D37	PHN-11	
D38	PHN-12	Ground
D39	PHN-13	Ground
D40	PHN-14	
D41	PHN-15	
D42	PHN-16	Vcc
D43		
D44		
D45		
D46		
D47		
D48		
D49		
D50	PHD1-14	M14
D51	PHD1-12	PIC7
D52	PHD1-10	PIC6
D53	PHD1-8	Ground
D54	PHD1-6	PIC3
D55	PHD1-4	12V
D56	PHD1-2	M11
D57		
D58		
D59		
D60		
D61		
D62		

Figura 3.26 Distribución de las conexiones en las placas de pruebas

Otro uso que se le dio al MDF fue para colocar y proteger los sensores de barrera, para lo que fue necesario dibujar las cajitas en CATIA.

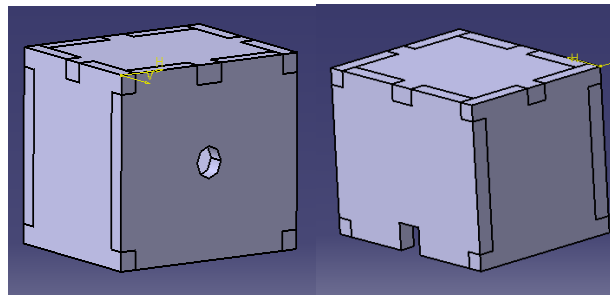


Figura 3.27 Cajas para colocar y proteger los sensores de barrera

Así mismo se dibujaron otras cajas de mayor medida para proteger las placas de pruebas y el sistema de potencia del modelo, lo cual a su vez permitió dar una mayor estética.

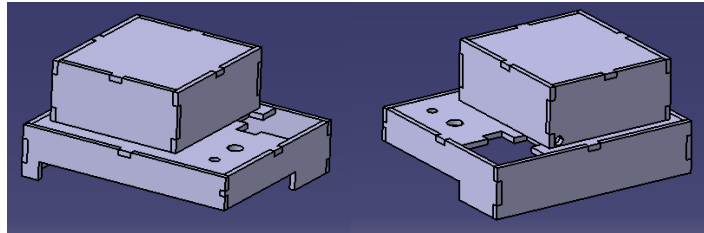


Figura 3.28 Caja para protección de las placas de prueba y el sistema de potencia

Éste material también fue usado para crear los recipientes donde caen los pedazos de agave, el bagazo y el líquido obtenido del proceso de molienda.

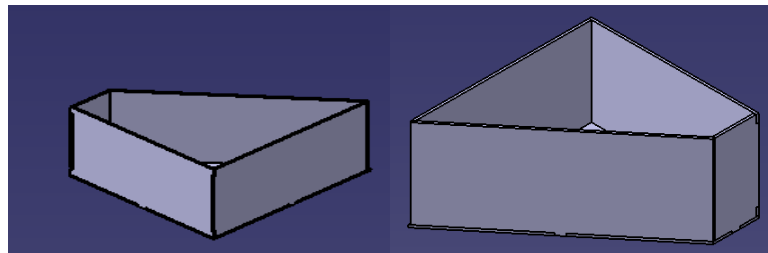


Figura 3.29 Caja izquierda para recolección de bagazo

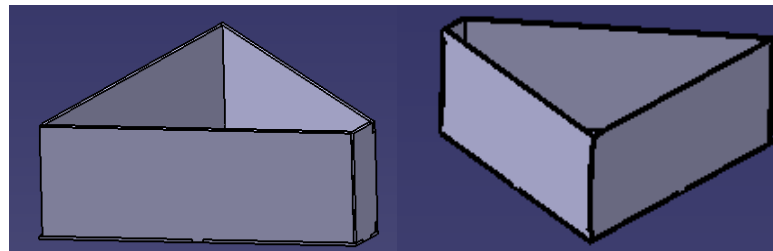


Figura 3.30 Caja derecha para recolección de bagazo

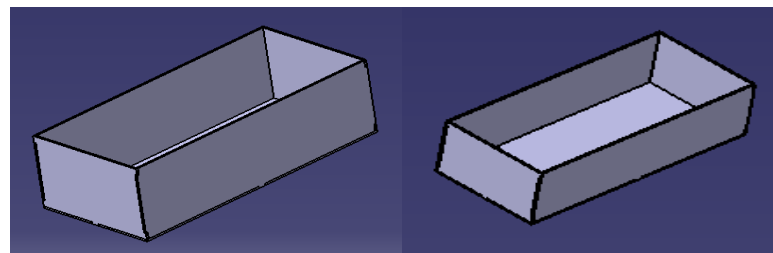


Figura 3.31 Caja de recolección para los líquidos generados en la molienda

La última aplicación que se le dio al MDF fue la fabricación de discos que se colocaron en los extremos de los carretes donde se enrolla el cable que jala la protección del sistema, con lo que se asegura que este cable no se salga del carrete y realice su tarea adecuadamente.



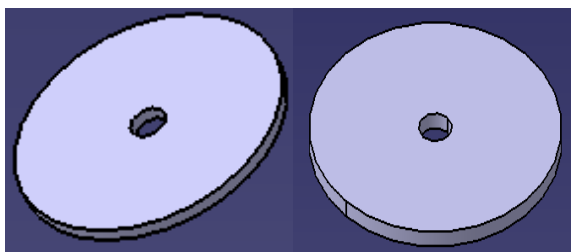


Figura 3.32 Discos usados como barrera en los carretes

Como se puede apreciar en las explicaciones anteriores, el MDF resultó un buen aliado para la estética y las cubiertas de diferentes partes del modelo; gracias a su facilidad de manejo, precio y características.

### 3.7 Piedra

La creación de la piedra fue una de las partes más interesantes y también una de las cosas en la que teníamos menos experiencia. Realizando pruebas y cometiendo errores hicimos al menos 8 tipos de piedras, a algunas les faltaba un pedazo, otras estaban disparejas o les faltaba o sobraba peso.

Así mismo, antes de realizarla se pensó en cómo y de que materiales hacerla. Los dos elementos anteriores estaban ligados, ya que de los materiales a ocupar dependía el cómo. Una de las primeras opciones fue fabricarla con una piedra más grande y esculpirla de manera que se lograra la forma circular pero debido a la dificultad del trabajo se prefirió escoger pequeñas piedras y unirlos con cemento. Posteriormente se descubrió que al hacer esto y por el tamaño que se requería de la piedra, el peso era demasiado elevado por lo que se decidió hacerla de puro cemento. Cuando hicimos esto descubrimos que el peso no era el necesario ya que era menor al que necesitábamos. Así que finalmente se utilizó una mezcla de cemento con un par de rocas. Es preciso decir que lograr el peso en el tamaño requerido era importante para cumplir con la densidad necesaria para conseguir una mejor molienda; pues la piedra es quizás el elemento más importante en este proceso.



Figura 3.33 Imágenes de las diferentes pruebas que se realizaron antes de la obtención de la piedra final

Además de lo anterior también nos encontramos con la selección del tipo de cemento a usar, pues había tres posibilidades: blanco, gris y mortero, que es básicamente es una combinación de los dos anteriores. El blanco tenía una mayor porosidad por lo que se deshacía más y su color hacía que su aspecto no fuera agradable después de unas cuantas pasadas. El gris tenía el inconveniente de ser menos maleable por lo que no llenaba los diferentes recipientes y era más difícil hacer detalles finales. Por consiguiente se usó mortero, pues reunía las características de ambos. Aun así para asegurar una mayor resistencia al desgaste por el impacto de la piedra con la superficie de molienda se decidió usar un sellador, el cual formó una capa que mantiene unidas las partículas del cemento y al mismo tiempo da un efecto impermeable a la piedra, lo que ocasiona que ésta no absorba otras partículas y no se vea afectada por el líquido que desprende el bagazo.



Figura 3.34 Piedra usada en las pruebas finales

Por otro lado, para darle la forma a la piedra se seleccionaron diferentes recipientes tales como moldes redondos, tortilleros de plástico, de metal y hasta pequeñas ollas. Con esto se suscitaron diversos inconvenientes como el llenado, la unión y hasta el retiro de los mismos para obtener la piedra final.

El primer intento se realizó poniendo encontrados dos recipientes y vertiendo la mezcla, desafortunadamente al hacer esto el material se salía por entre las uniones de en medio, lo cual ocasionaba que la piedra no terminara de formarse. Posteriormente se intentó hacer por mitades, pero se tenía el inconveniente de que la piedra tendía a fracturarse en medio de las uniones. Luego se usó una olla y en la parte de arriba se colocó una tapa, pero el cemento quedó tan pegado que no podía retirarse al final, por lo que se tuvo que romper la olla. Cabe mencionar que todo esto ocasionó la pérdida de materiales y un costo extra, por lo que se decidió usar un tubo para concreto, el cual se ocupa para la construcción de pilares. El tubo es básicamente un rollo de cartón recubierto que impide que la mezcla de cemento se disperse al verterla, dando una forma uniforme al cilindro. Esta última fue la solución que encontramos a nuestro problema, con la ventaja de que además podíamos escoger el diámetro exacto que queríamos en nuestra piedra, ya que existen diferentes medidas de estos tubos.



Figura 3.35 Diferentes medidas de tubos de cartón

Otro punto importante en la construcción de nuestra piedra fue el hecho de que ésta tenía que tener rodamientos y un túnel en medio donde pudiera pasar la barra que la sostendría, la cual a su vez estaría unida al actuador lineal, como ya se había hablado con anterioridad. Se decidieron usar rodamientos debido a que la piedra tenía que girar en su propio eje al hacer contacto con la superficie de molienda.

Para lo anterior se utilizó un pedazo de PVC con un diámetro ligeramente mayor a la barra que sostendría la piedra. Este PVC a su vez se unió a los rodamientos mediante plastilina epóxica y un pegamento especial llamado “plastiacero”<sup>36</sup>. Así la piedra puede girar sin inconveniente al estar sostenida por la barra.

Todo lo anterior resultó en una piedra que ha resistido todas las pruebas finales y no se ve con afectaciones importantes, pero aún más importante es el hecho de que logró cumplir con su objetivo.

### 3.8 Sistema de Limpieza

El requisito principal de este sistema, era quitar toda la piña que quedaba totalmente triturada sobre la malla, es decir, el bagazo. Este sub-proceso debía

---

<sup>36</sup> El plastiacero es un adhesivo epóxico con carga de acero en pasta que se usa para reparación de metales, sellar fugas y unir metales con otros materiales o inclusive entre ellos, ya que posee alta resistencia mecánica.

consistir en colocar de manera automática el bagazo, en contenedores que estarían en los costados de la estructura.

Para este modelo se pensaron tres tipos de configuraciones, dos de ellas se descartaron por cuestiones de espacio y la que se eligió, tuvo tres modificaciones a lo largo de la manufactura y pruebas de funcionamiento.

La primera configuración que se descartó, consistía en un brazo con un grado de libertad, una junta rotacional y restricción de movimiento de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , el cual debería de estar acoplado en una de las orillas de la estructura. Esta opción no se eligió, ya que no se contaba con el espacio suficiente para el brazo cuando estuviera en reposo, es decir, cuando el proceso de trituración se estuviera llevando a cabo, y además el acoplamiento a la estructura implicaría el uso de más elementos mecánicos. A continuación se muestra una imagen que describe aproximadamente como se pensaba que debía ser el funcionamiento de esta configuración.

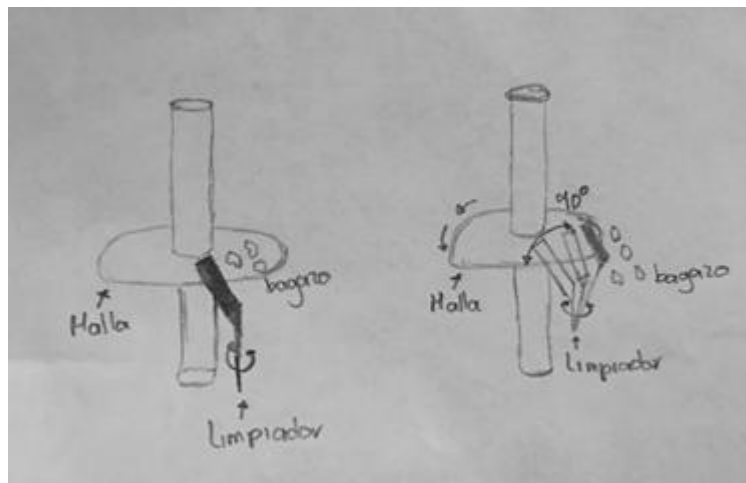


Figura 3.36 Boceto inicial de funcionamiento

En esta configuración, el brazo es el que hace todo el trabajo de llevar el bagazo fuera de la malla.

La segunda, se trataba de un brazo con un grado de libertad y de igual forma con junta rotacional y restricción de  $90^\circ$ . En la imagen siguiente, se muestra una idea de cómo debería de haber funcionado esta configuración. No se escogió, ya que

no se contaba con espacio suficiente y además no se aseguraba de retirar la mayor parte del bagazo.

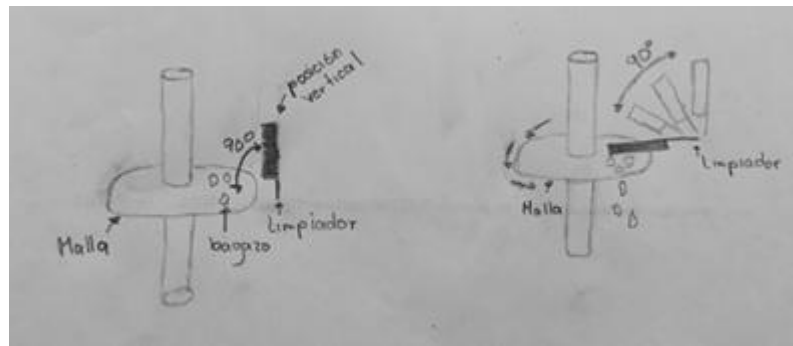


Figura 3.37 Boceto de funcionamiento de la segunda configuración

Para ésta configuración, el brazo sólo baja hasta estar casi en contacto con la malla y el giro de la misma hace que los bagazos salgan hasta caer en un contenedor.

Finalmente se decidió optar por el tercer arreglo, el cual estaba basado en una barra que recorría horizontalmente la malla, de extremo a extremo de la estructura, mientras la malla giraba cierto tiempo para que se pudiera eliminar el bagazo de todas partes.

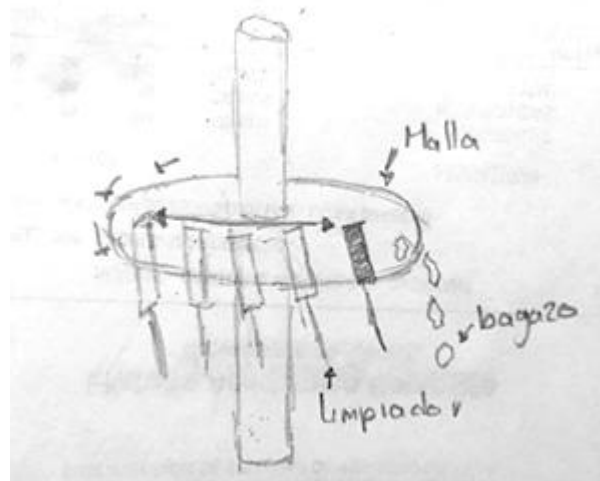


Figura 3.38 Boceto de configuración elegida

Su manufactura fue bastante difícil, ya que desde un principio no se diseñó bien el modelo ni la forma de adaptar el motor que movería la barra.

La primera iteración se hizo con barras de madera que fueron cortadas con una sierra, sin embargo estos cortes no fueron precisos ya que se hicieron manualmente. Lo que provocó que la barra que pasaría por en medio, tuviera bastantes grados de libertad de los cuales no poseíamos el control, esto hacía que el mecanismo se atorara y dejara de funcionar. Además se usó una banda que no le daba el soporte necesario a la barra limpiadora. Por último, a la barra le adaptamos un limpiador de hule que no era lo bastante rígido para empujar los pedazos de bagazo.



Figura 3.39. Configuración 3, modelo 1.

En vista de que este diseño presentaba bastantes problemas, se decidió hacer tres modificaciones necesarias:

1. Cortar las barras con láser y en MDF, para que las medidas fueran precisas.
2. Cambiar la banda, por una cadena de paso 25 y sus respectivos engranes
3. Cambiar la barra limpiadora por una con material más rígido.
4. Colocación de una corredera que ayudara a restringir los movimientos de la barra limpiadora.



Figura 3.40 Configuración 3, modelo 2.

Cuando se probó el funcionamiento con los nuevos cambios, se observó que la barra limpiadora, que no había sido cortada con láser, seguía presentando problemas con el movimiento horizontal. Aunado a esto, también se debía a que los engranes y la cadena no se ajustaban correctamente a las medidas de las barras, porque fueron diseñadas sin tomar en cuenta el paso de ésta.

Entonces, como última solución, se mandaron cortar nuevamente todas las barras incluida la del limpiador, en corte láser, contemplando las medidas de la cadena y de los engranes. Y se quitó la corredera, ya que no era necesaria porque ahora todo estaría con las dimensiones adecuadas.





Figura 3.41 Configuración 3. Diseño final

Su funcionamiento consistía en recorrer la malla horizontalmente de izquierda a derecha, desde un extremo de la estructura hacia el otro, con la malla girando cierta cantidad de segundos para que se pudieran limpiar todas las áreas que contenían bagazo. Y a los costados de la estructura, se encontraban los contenedores para el bagazo.

## **CAPÍTULO 4 Resultados**

Los resultados obtenidos fueron mayormente satisfactorios pero existen muchas mejoras que aún se pueden realizar para que el modelo sea óptimo.

Antes que nada, hay que tener en cuenta que la piña con la que se realizaron las pruebas finales no era una piña madura de 7 o más años como con las que se produce el mezcal, sino que tenía aproximadamente de 3 a 4 años, por lo que la cantidad de jugos que ésta tenía era bastante menor. No obstante, se pudo obtener jugo durante el proceso de molienda, lo cual fue la primera señal de que se estaba triturando la piña de mezcal. Además de esto las primeras pruebas que se realizaron se hicieron con una piña de 4 a 5 años y con ésta obtuvimos más jugos, por lo que podemos concluir que la cantidad de jugo que se obtiene depende exclusivamente de la edad de la piña y no de nuestro modelo.

Cabe mencionar que antes de empezar con el proceso de molienda, se cortaron pedazos de la piña de agave y se metieron a hornear, siguiendo con los pasos establecidos en la forma artesanal de fabricar el mezcal. Así mismo preferimos primero cortar los pedazos y luego hornearlos, pues aunque este criterio es opcional de cada fabricante artesanal de mezcal, de esta forma pudimos hacer más pruebas ya que sólo horneábamos la cantidad de piña que ocuparíamos; al contrario de las primeras pruebas que realizamos, donde metimos toda una piña completa y al no ocuparla toda, los pedazos restantes se echaron a perder. Otro punto interesante que descubrimos en esta parte del proceso, fue que efectivamente fue más fácil cortar la piña una vez ya cocida, pues ésta era más blanda, por lo que en una producción a grande escala, nosotros sugeriríamos primero cocerlas y después cortarlas.

Con la cantidad de piña que fue establecida en un principio la piedra logró triturar de buena manera los pedazos de agave, lamentablemente por la forma en que fue programado el modelo; si la cantidad de pedazos aumentaba la fuerza del motor no era suficiente para mover la piedra. Así mismo con el pasar de las vueltas, cuando el bagazo se compactaba, la piedra ya no ejercía la fuerza necesaria para

seguir triturando el bagazo; por lo que se llegaba a un punto en que la piedra ya no aplastaba el bagazo. Lo anterior se podría solucionar con la implementación de una variable que monitoree la cantidad y espesor de las piñas, así cuando haya más piñas o haya una piña de mayor tamaño la piedra se colocará a mayor altura y cuando haya menor cantidad de piñas o éstas ocupen un menor espacio la piedra baje más; con lo que se conseguiría ejercer la misma cantidad de fuerza en todo momento de la trituración.

Una de las cosas que más curiosidad nos dio fue el hecho de que mientras se llevaba a cabo el proceso de molienda los jugos obtenidos del bagazo desprendían un olor muy característico, típico de esta etapa del proceso en la producción artesanal. Esto es una de las cosas que nos hacen pensar que nuestro proceso se acerca bastante a la realidad a la que queríamos llegar.

Cuando palpamos los residuos de bagazo estos tenían una consistencia similar a la esperada, ya que la mayoría de los trozos estaban completamente triturados, algunos tenían la apariencia de hilos, otros se encontraban apelmazados y sólo hubo un pedazo que a nuestro parecer no se trituró por completo, pues aún si se le apretaba se podía comprimir un poco más.

A continuación se presenta una tabla con los diferentes tiempos de cada ciclo de prueba que se realizó, los cuales se dejaron de hacer hasta que ya no se ejercía más presión sobre el bagazo. Se dieron 30 vueltas por cada ciclo de molienda que se efectuó.

Tabla 32. Tiempo de ciclo

Ciclo	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°
Tiempo [min]	10	5	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3

Como podemos apreciar los primeros ciclos fueron los más tardados debido a que le tomaba más tiempo al motor lograr hacer girar la piedra para que pasara por encima de los pedazos de agave, también cabe mencionar que aquí es cuando se forzaba más al motor, pues el sistema demandaba más torque.

A continuación se presentan imágenes de los pedazos de piña de mezcal antes, durante y después de la etapa de la molienda. En la primera imagen se muestran los pedazos acabados de hornear y aún en el recipiente donde se realizó este proceso. Posteriormente, arriba a la derecha y abajo a la izquierda, se muestran los pedazos de piña después de unas cuantas pasadas. Comparando estas imágenes podemos observar cómo la molienda va desmembrando la piña. Finalmente se presenta la figura del bagazo ya en el recipiente; aquí se percibe cómo algunos de los pedazos se volvieron prácticamente hilos de mezcal y, aunque otros no lo lograron por las razones ya expuestas con anterioridad, su consistencia es diferente a la de un principio debido a que la presión generada permitió extraer los jugos del agave, con lo que se puede decir que se alcanzó el objetivo buscado.



Figura 4.1 Aspecto de los pedazos de mezcal antes y al principio de la molienda



Figura 4.2 Aspecto de los pedazos durante y después de la molienda

## **CAPÍTULO 5 Conclusiones**

A lo largo de este proyecto se han descubierto y analizado los puntos clave dentro de la etapa de molienda en la fabricación del mezcal, pero aún más importante ha sido el hecho de demostrar que existen formas alternativas y más eficientes de realizar esta etapa sin afectar los procedimientos artesanales; dado que uno de los aspectos principales de este trabajo es darle valor agregado a la creación de esta bebida sin modificar las propiedades que la hacen única.

Antes que nada es importante mencionar que la industria y la creación de nuevas ideas son unas de las únicas maneras de mejorar e impulsar la economía de un país y de una zona. Nosotros creemos que el mezcal puede ser una oportunidad de bienestar para las regiones donde se produce, más aún considerando que esta bebida se produce en algunos de los lugares más pobres y con más violencia del país; y qué mejor que aprovechar y usar las tradiciones y bondades de tu región para tu superación.

Uno de los puntos más importantes e interesantes que se descubrieron es la relación que debe tener la piedra para ser lo más efectiva posible en la molienda. Esta relación va relacionada con la densidad de la piedra y el área de contacto de la misma. Mientras más peso sea aplicado en una menor área, más será la presión y la piña de mezcal desprenderá más líquido y se formará bagazo de una manera más rápida. Es aquí donde entra otra variable importante, pues mientras menor sea la cantidad de líquido que contenga el bagazo, éste habrá desprendido más propiedades y mejorará el sabor y características del mezcal producido. Es por ello que dos de los aspectos que más cuidaba el modelo creado eran exactamente las características de la piedra; es decir peso, dimensiones y el material con que se construyó, y la capacidad de filtrar la mayor cantidad de líquido.

En cuanto a la configuración hay bastantes puntos buenos que rescatar pero al mismo tiempo hay que trabajar y tener en consideración otros. De acuerdo a los resultados obtenidos se probó que esta configuración logra reducir el tiempo de

molienda y el porcentaje de bagazo que se genera. Aun así hay que mejorar en la calidad de la manufactura y cambiar algunas cosas en la configuración para optimizar el proceso, a continuación se presenta un listado con las oportunidades de mejora que detectamos durante la etapa de resultados:

- Corte más preciso de las diferentes partes a ensamblar
- La cercanía de la protección a la base de la molienda aumentaría la cantidad de bagazo obtenida
- Retroalimentación de la cantidad de bagazo, para aumentar o disminuir la cercanía de la piedra a la superficie de molienda, con el fin de provocar más presión en la piña y conseguir una mejor molienda.
- Mejorar o cambiar el sistema de limpieza ya que presenta problemas en el arrastre de bagazo dependiendo de la cantidad que haya de éste.
- Creación de una interfaz que permita cambiar las configuraciones predeterminadas del sistema, tales como la cantidad de vueltas a dar en la molienda o la cantidad de pasadas para limpiar la superficie de la misma.
- Retroalimentación de los sensores en tiempo real para tener un control más apropiado de las variables que intervienen en el sistema.

Aunado a lo anterior hay que tener en cuenta que de acuerdo a la cantidad y tamaño de las piñas que se desee procesar habría que pensar en cambiar el sistema eléctrico por uno neumático y hacer una mayor inversión en componentes y materiales para adecuar a la escala necesaria.

Finalmente, creemos que este proyecto puede seguir creciendo si se agregan otros sistemas que den un valor agregado a la elaboración del mezcal sin eliminar las tradiciones y; lo que es más importante, conservando las propiedades que hacen tan especial este producto.

## REFERENCIAS

- 1) Metales Díaz. Productos [En línea].  
<http://www.metalesdiaz.com/Productos> [Fecha de consulta: Junio, 2015]
- 2) Cuprum. Catálogo Industrial de Perfiles. Aluminio. [En línea].  
[http://www.slideshare.net/slideshow/embed\\_code/15630137](http://www.slideshare.net/slideshow/embed_code/15630137) [Fecha de consulta: Junio, 2015]
- 3) Félix Zavala, José. (2008) El Mezcal de Oaxaca. El oficio de historiar [En línea].  
<http://eloficiodehistoriar.com.mx/2008/05/27/el-mezcal-de-oaxaca/> [Fecha de consulta: Junio, 2015]
- 4) Puertovallarta.net. (2015) Mezcal, el elixir de los Dioses [En línea].  
<http://www.puertovallarta.net/espanol/informacion-general/mezcal.php>  
[Fecha de consulta: Junio, 2015]
- 5) Instituto Nacional de Estadística. Paridades de poder adquisitivo. Cifras INE: Boletín informativo del Instituto Nacional de Estadística. [En línea]. Marzo de 2003.  
[http://www.ine.es/revistas/cifraine/cifine\\_paridad0403.pdf](http://www.ine.es/revistas/cifraine/cifine_paridad0403.pdf) [Fecha de consulta: Junio, 2015]
- 6) El Banco Mundial. INB per cápita, PPA (a \$ internacionales actuales). [En línea].  
<http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GNP.PCAP.PP.CD> [Fecha de consulta: Junio, 2015]
- 7) Portal Alemania. Salarios alemanes y poder adquisitivo. [En línea].  
<http://www.portalalemania.com/economia/2015/01/28/salarios-alemanes-y-poder-adquisitivo.html> [Fecha de consulta: Junio, 2015]
- 8) Altúzar García, Sandra L. Alemania como alternativa para la exportación de mezcal. D.F., 2009. Tesina de Licenciatura. Instituto Politécnico Nacional. Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas. Disponible en:  
<http://itzamna.bnct.ipn.mx/dspace/bitstream/123456789/3744/1/A7.1755.pdf>  
[Fecha de consulta: Junio, 2015]
- 9) Bacanada. Diferencia entre Mezcal y Tequila. [En línea].  
<http://bacanada.mx/es/content/diferencia-entre-mezcal-y-tequila> [Fecha de consulta: Julio, 2015]



- 10) Castillo, Toni. Diferencias entre Tequila y Mezcal. Tequilas.net [En línea]. 10 de Septiembre de 2013. Disponible en: <http://es.tequilas.net/articulo/diferencias-entre-tequila-y-mezcal> [Fecha de consulta: Julio, 2015]
- 11) Sociedad. 5 diferencias claves entre el tequila y el mezcal. El Financiero [En línea]. 15 de Septiembre de 2014. Disponible en: <http://www.elfinanciero.com.mx/sociedad/diferencias-clave-entre-el-tequila-y-el-mezcal.html> [Fecha de consulta: Julio, 2015]
- 12) Navarrete, Georgina. Crece la demanda en el extranjero de tequila, cerveza y mezcal. Milenio [En línea]. 8 de Diciembre de 2014. Disponible en: [http://www.milenio.com/negocios/Desarrollo\\_economico-exportacion\\_mexicana-exportar\\_alcohol\\_0\\_416358641.html](http://www.milenio.com/negocios/Desarrollo_economico-exportacion_mexicana-exportar_alcohol_0_416358641.html) [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 13) Maldonado, Tryno. Las batallas por el mezcal. Emeequis: Mezcal: de los dioses a los hipsters [En línea]. 19 de agosto de 2013. Disponible en: <http://www.m-x.com.mx/xml/pdf/309/46.pdf> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 14) Salvatierra García, Ariadna. El mezcal y su importancia para el desarrollo económico del estado de Oaxaca. El sector exportador: retos y oportunidades en el mercado de la Unión Europea. Puebla, 2003. Tesis de Licenciatura. Universidad de las Américas Puebla. Escuela de Ciencias Sociales. Departamento de Relaciones Internacionales e Historia. Disponible en la colección de Tesis Digitales de la Universidad de las Américas Puebla: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lri/salvatierra\\_g\\_a/indice.html](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lri/salvatierra_g_a/indice.html) [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 15) Alto Nivel. Bebidas alcohólicas y sus tendencias en México. Alto Nivel [En línea]. 3 de Octubre de 2013. Disponible en: <http://www.altonivel.com.mx/38414-bebidas-alcoholicas-y-sus-tendencias-en-mexico.html> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 16) De la Rosa, Gustavo. Mezcal, la nueva estrategia de Bacardí. CNN Expansión [En línea]. 7 de noviembre de 2013. Disponible en: <http://www.cnnexpansion.com/negocios/2013/11/05/barcardi-incursiona-en-venta-del-mezcal> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 17) Rodríguez, Ivet. Oaxaca se une al 'boom' del mezcal con 290 mdp. CNN Expansión [En línea]. 11 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.cnnexpansion.com/negocios/2015/07/10/oaxaca-quiere-subirse-al-boom-del-mezcal> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]

- 18) Eumed.net: Enciclopedia Virtual. (2002) La industria del mezcal y la economía oaxaqueña [En línea].  
<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/mx/ramales-mezcal-a.htm> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 19) Travel by Mexico. (2012) Mezcal – Elaboración Artesanal. [En línea].  
<http://www.travelbymexico.com/oaxaca/attractivos/?nom=eoaxmezcal>  
[Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 20) Jiménez Vizcarra, M. Claudio. El vino mezcal, tequila y la polémica sobre la destilación prehispánica. Guadalajara, Benemérita Sociedad de Geografía y Estadística del Estado de Jalisco, Agosto 2013. Disponible en:  
<http://static.squarespace.com/static/5259baa6e4b0ef38087cffe0/t/52fea472e4b01bd45db45f31/1392419954247/El%20Vino%20Mezcal%20tequila%20y%20la%20polemica%20sobre%20la%20destilacion%20prehispanica.pdf>  
[Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 21) México desconocido. (2015) La Historia del Mezcal, ebida Caída del Cielo. [En línea]. <http://www.mexicodesconocido.com.mx/mezcales.html> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 22) Casa Mezcal. (Marzo 2009) Historia del Mezcal. [En línea].  
<http://historiadelmezcal.blogspot.mx/2009/03/historia-del-mezcal.html>  
[Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 23) Travel by Mexico. (2012) Mezcal – Elaboración Artesanal. [En línea].  
<http://www.travelbymexico.com/oaxaca/attractivos/?nom=eoaxmezcal>  
[Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 24) Jiménez Vizcarra, M. Claudio. El vino mezcal, tequila y la polémica sobre la destilación prehispánica. Guadalajara, Benemérita Sociedad de Geografía y Estadística del Estado de Jalisco, Agosto 2013. Disponible en:  
<http://static.squarespace.com/static/5259baa6e4b0ef38087cffe0/t/52fea472e4b01bd45db45f31/1392419954247/El%20Vino%20Mezcal%20tequila%20y%20la%20polemica%20sobre%20la%20destilacion%20prehispanica.pdf>  
[Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 25) México desconocido. (2015) La Historia del Mezcal, ebida Caída del Cielo. [En línea]. <http://www.mexicodesconocido.com.mx/mezcales.html> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 26) Casa Mezcal. (Marzo 2009) Historia del Mezcal. [En línea].  
<http://historiadelmezcal.blogspot.mx/2009/03/historia-del-mezcal.html>  
[Fecha de consulta: Agosto, 2015]

- 27) NOM-070-SCFI-1994. Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. Diario Oficial de la Federación. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial, D.F., México, 28 de noviembre de 1994. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/noficiales/NOM-070-SCFI-1994.PDF> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 28) Euromonitor International. (2015) Making Sense of Global Markets [En línea]. <http://www.euromonitor.com/en-euromonitor-about-us> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 29) Morales Rodríguez, Romualdo. Ingeniería Básica de una Planta para la Industria del Mezcal en Mitla, Tlacolula, Oaxaca. Oaxaca, 2008. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR-Oaxaca. Disponible en: <http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/435/Romualdo%20Morales%20.pdf?sequence=1> [Fecha de consulta: Agosto, 2015]
- 30) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2015) Banco de Información Económica [En línea]. <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 31) Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Síntesis metodológica de la Encuesta Anual de la Industria Manufacturera EAIM. SCIAN 2007, 2012. Disponible en: [http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/metodologias/est/SM\\_EAIM.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos//prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/metodologias/est/SM_EAIM.pdf) [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 32) Wikipedia. (2015) Balanza comercial [En línea]. [https://es.wikipedia.org/wiki/Balanza\\_comercial](https://es.wikipedia.org/wiki/Balanza_comercial) [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 33) Federación Nacional de Municipios de México. (2015) Geografía Política Municipal [En línea]. [http://www.fenammm.org.mx/site/index.php?option=com\\_content&view=article&id=187&Itemid=123](http://www.fenammm.org.mx/site/index.php?option=com_content&view=article&id=187&Itemid=123) [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 34) Forbes México. (2015) Los estados con mayor crecimiento económico en México [En línea]. <http://www.forbes.com.mx/los-estados-con-mayor-crecimiento-economico-en-mexico/> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 35) México ¿cómo vamos? (2014) Hay un México que crece, ¿dónde está?: Semáforos económicos estatales [En línea]. [http://www.mexicocomovamos.mx/wp-content/uploads/2014/12/MCV\\_ReporteSemEstados3T2014\\_GraficasYMapas.pdf](http://www.mexicocomovamos.mx/wp-content/uploads/2014/12/MCV_ReporteSemEstados3T2014_GraficasYMapas.pdf) [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]

- 36) Juárez, Sarah. Producción de mezcal genera 3 mil 250 empleos directos en Michoacán. Quadratin [En línea]. 25 de noviembre de 2014. Disponible en: <https://www.quadratin.com.mx/economia/Produccion-de-mezcal-genera-3-mil-250-empleos-directos-en-Michoacan/> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 37) Subsecretaría de empleo y productividad laboral. Información laboral: Oaxaca [En línea]. Disponible en: [http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/conoce/areas\\_atencion/areas\\_atencion/web/pdf/perfiles/perfil%20oaxaca.pdf](http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/conoce/areas_atencion/areas_atencion/web/pdf/perfiles/perfil%20oaxaca.pdf) [Fecha de consulta: Septiembre, 2015].
- 38) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Maguey – Mezcal [En línea]. Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Cultivos%20Agroindustriales/Impactos%20Maguey%20Mezcal.pdf> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015].
- 39) Rodríguez, Ivet. DF es el principal consumidor de mezcal. Manufactura [En línea]. 9 de julio de 2015. Disponible en: <http://www.manufactura.mx/industria/2015/07/09/df-es-el-principal-consumidor-de-mezcal> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 40) Secretaria de Economía. Pro México: Comparte [En línea]. 20 de octubre de 2014. No. 38. Disponible en: <http://www.promexico.gob.mx/documentos/pm-comparte/boletin-promexico-comparte-38.pdf> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 41) Munaiz, Claudia. Mezcal, la bebida humana y divina. Vanguardia [En línea]. 31 de Agosto de 2012. Disponible en: <http://www.vanguardia.com.mx/mezcallabebidahumanaydivina-1363393.html> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 42) Mezcales de Oaxaca. Producción del Mezcal [En línea]. <http://www.mezcalesdeoxaca.com/producciondelmezcal.html#.Vgc95Yml600> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 43) Las Garrafas, mezcal de Oaxaca. Tipos de agaves. [En línea]. [http://mezcalgarrafas.com/tipos\\_agave.html](http://mezcalgarrafas.com/tipos_agave.html) [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 44) Tierra mezcalera. Tipos de Maguey. [En línea]. [http://tierramezcalera.com/es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2&Itemid=45](http://tierramezcalera.com/es/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=45) [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]

- 45) Redacción. Propone el Comercam restringir a métodos artesanales la producción de mezcal. Almomento Noticias. [En línea]. 6 de Junio de 2014. Disponible en: <http://www.almomento.mx/propone-el-comercam-restringir-a-metodos-artesanales-la-produccion-de-mezcal/> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 46) Casa Mejicú. (Abril 2013) Mezcal: El elixir que hay que aprender a degustar. [En línea]. <https://casamejicu.wordpress.com/2013/04/10/mezcal-el-elixir-que-hay-que-aprender-a-degustar/> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 47) Hidalgo Reyes, Martín, Cruz Meza, Pedro. Tecnificación del Proceso de Producción de Mezcal, en el Estado de Oaxaca, México. Madrid, España. Universidad Autónoma de Chapingo, Colegio de Postgraduados, México. 2010. Disponible en: [http://aeipro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10\\_2137\\_2149.2918.pdf](http://aeipro.com/files/congresos/2010madrid/ciip10_2137_2149.2918.pdf) [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 48) M. Durán, Hector, L. Pulido, José. Análisis de la Molienda en el Proceso de Elaboración de Mezcal. San Luis Potosí, México. Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), Facultad de Ingeniería. Información Tecnológica, Vol. 18, 2007. Pp. 47-52. Disponible en: <http://www.revistavirtualpro.com/download/analisis-de-la-molienda-en-el-proceso-de-elaboracion-del-mezcal.pdf> [Fecha de consulta: Septiembre, 2015]
- 49) Pérez Ricárdez, Cornelio I. Los mezcales y sus tradiciones: complejidad, gastronomía, control social y gusto histórico. Disponible en: [http://mezcalestradicionales.mx/mezcales\\_herencia\\_cultural\\_y\\_bio/Ponencias%20PDF/2%20Mezcales%20y%20tradiciones.pdf](http://mezcalestradicionales.mx/mezcales_herencia_cultural_y_bio/Ponencias%20PDF/2%20Mezcales%20y%20tradiciones.pdf) [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]
- 50) NOM-070-SCFI-1994, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 9 de julio de 2009. Modificación. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5101711&fecha=05/08/2009](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5101711&fecha=05/08/2009) [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]
- 51) NOM-070-SCFI-1994, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 21 de noviembre de 2012. Modificación. Disponible en: [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5278677&fecha=22/11/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5278677&fecha=22/11/2012) [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]
- 52) Sopitas.com. (2015) Mezcal industrial vs Mezcal tradicional ¿cuál debemos tomar? [En línea]. <http://www.sopitas.com/378391-mezcal-industrial-vs-mezcal-tradicional/> [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]

- 53) Retos en supply chain. (2014) Finalidad de las normas ISO: ¿para qué sirven? [En línea].  
<http://retos-operaciones-logistica.eae.es/2014/07/finalidad-de-las-normas-iso-para-que-sirven.htm> [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]
- 54) Significados. (2014) Significado de Norma [En línea].  
<http://www.significados.com/norma/> [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]
- 55) Biblioteca. Universidad de Alcalá. (2015) Normas técnicas [En línea].  
[http://www3.uah.es/bibliotecaformacion/BPOL/FUENTESDEINFORMACION/normas\\_tcnicas.html](http://www3.uah.es/bibliotecaformacion/BPOL/FUENTESDEINFORMACION/normas_tcnicas.html) [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]
- 56) Mezcal: Producto 100% Mexicano. Embajada de México en Serbia, Secretaria de Relaciones Exteriores. 02 de abril de 2013. Disponible en:  
<http://embamex.sre.gob.mx/serbia/index.php/es/component/content/article/129-mezcal-producto-100-mexicano.com> [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]
- 57) Revista del consumidor. (2010) ¿Qué son las Normas Oficiales Mexicanas (NOM)? [En línea].  
<http://revistadelconsumidor.gob.mx/?p=7077> [Fecha de consulta: Noviembre, 2015]
- 58) Berumen Barbosa, Miguel Enrique. La Organización y Norma. En su: Oaxaca: La Actividad Productiva Maguey – Mezcal. Santiago Matatlán, Oaxaca, México. Febrero del 2009. Pp. 10-18. Disponible en:  
<http://www.eumed.net/libros-gratis/2009a/492/LA%20ACTIVIDAD%20PRODUCTIVA%20MAGUEY%20MEZCAL%20La%20Organizacion%20y%20Norma.htm> [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 59) Rodríguez, Oscar. Cambio de reglas para el mezcal. Milenio [En línea]. 24 de junio de 2014. Disponible en:  
[http://www.milenio.com/estados/mezcal-norma-nuevas\\_reglas-cada\\_5\\_anos\\_0\\_323367790.html](http://www.milenio.com/estados/mezcal-norma-nuevas_reglas-cada_5_anos_0_323367790.html) [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 60) Pacheco Pólito, Anarsis. Reclaman productores contra nueva NOM para fabricar mezcal; es “regresiva”, advierten. El Sur, periódico de guerrero [En línea]. 10 de junio de 2014. Disponible en:  
<http://suracapulco.mx/archivoelsur/archivos/161015> [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 61) Denominaciones de Origen de México. (Comunicado de Prensa 054). Embajada de México en Argentina, Secretaria de Relaciones Exteriores. 22 de mayo de 2015. Disponible en:  
<http://embamex.sre.gob.mx/argentina/index.php/component/content/article/2>

- [32-denominaciones-de-origen-de-mexico](#) [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 62) Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Tratados administrados por la OMPI. [En línea]  
[http://www.wipo.int/treaties/es/ShowResults.jsp?treaty\\_id=10](http://www.wipo.int/treaties/es/ShowResults.jsp?treaty_id=10) [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 63) Larios, Xóchitl. Entregan Denominación de Origen Mezcal en Guanajuato. El Economista [En línea]. 4 de Octubre de 2015. Disponible en:  
<http://eleconomista.com.mx/estados/2015/10/04/entregan-denominacion-origen-mezcal-guanajuato> [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 64) Vinífera.com. (2010) Mezcal de historia y coolness al rescate de la cultura nacional [En línea].  
<http://vinisfera.com/r/archivo/4112> [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 65) NOM-070-SCFI-1994, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. Diario Oficial de la Federación. México, D.F., 2 de octubre de 2015. Modificación. Disponible en:  
[http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5410331&fecha=02/10/2015](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5410331&fecha=02/10/2015) [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 66) Morales C., Nicolás, Escobar M., Dario A., Paredes H., Efraín. Estudio Sobre el Impacto que las Modificaciones a la NOM-070 Traerán a la Industria del Mezcal. Universidad Autónoma de Chapingo, CRUCEN. Agosto 2007. Disponible en:  
<http://www.crupy-uach.org.mx/encuentro/img/experiencias/doc/03366a1b4b97c0c65907400d8a143feb.pdf> [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 67) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Plan Rector Sistema Nacional Maguey Mezcal. En: Sesión (19 de Noviembre de 2005, San Luis Potosí, San Luis Potosí). Disponible en:  
<http://www.sientemezcal.com/pdf/PlanRector.pdf> [Fecha de consulta: Diciembre, 2015]
- 68) CIATEJ. Transferencia de tecnología para la estandarización de los procesos de producción y envasado de mezcal en el estado de Guerrero. En: El control de proceso en la producción artesanal de mezcal Guerrerense. (Primer día, 7 de febrero de 2014, Axaxacualco, Guerrero). Fundación Produce de Guerrero, A.C. Disponible en:  
[http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/12/2013/trimestrales/anexo\\_651-5-2014-02-9.pdf](http://siproduce.sifupro.org.mx/seguimiento/archivero/12/2013/trimestrales/anexo_651-5-2014-02-9.pdf) [Fecha de consulta: Enero, 2016]

- 69) Caballero C., Magdaleno, Montes B., José L., Silva R., María E. Prototipo de Molino Mecanizado de Agave Angustifolia Haw Hidrolizado. Oaxaca, México. Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca. 2013, SOMIM. Disponible en:  
[http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2013/pdfs/A1/A1\\_292.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2013/pdfs/A1/A1_292.pdf) y [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542013000500007&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2071-00542013000500007&script=sci_arttext) [Fecha de consulta: Enero, 2016]
- 70) Producción de Mezcal. Prácticas Seguras en el Sector Agroindustrial. Secretaría del Trabajo y Previsión Social. México, 2009. Disponible en:  
[http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/publicaciones/prac\\_seg/prac\\_chap/PS%20mezcal.pdf](http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/publicaciones/prac_seg/prac_chap/PS%20mezcal.pdf) [Fecha de consulta: Enero, 2016]
- 71) Magritep. Desgarradora Agave. [Videograbación]. Youtube, 6 de mayo 2010. [En línea], 0:43 [min], sonido, color. Disponible en:  
<https://www.youtube.com/watch?v=9xXkE00P1jc> [Fecha de consulta: Enero, 2016]
- 72) Profesor Molina. El Diodo. [En línea].  
<http://www.profesormolina.com.ar/tutoriales/diodo.htm> [Fecha de consulta: Enero, 2016]
- 73) Definición ABC. (2016) Definición de Diodo. [En línea].  
<http://www.definicionabc.com/tecnologia/diodo.php> [Fecha de consulta: Enero, 2016]
- 74) Texas Instruments Incorporated. L292, L293D. Data Sheet [En línea]. Dallas, Texas, Estados Unidos. Revisado en enero de 2016. Disponible en:  
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 75) STMicroelectronics. L298 – Dual Full-Bridge Driver. Data Sheet [En línea]. Italia, enero de 2000. Disponible en:  
[http://www.st.com/web/catalog/sense\\_power/FM142/CL851/SC1790/SS1555/PF63147?sc=internet/analog/product/63147.jsp](http://www.st.com/web/catalog/sense_power/FM142/CL851/SC1790/SS1555/PF63147?sc=internet/analog/product/63147.jsp) [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 76) Pololu. (2016) Concentric LACT10P-12V-20 Linear Actuator with Feedback: 10" Stroke, 12V, 0.5"/s. [En línea].  
<https://www.pololu.com/product/2311> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 77) TSUKASA. DC Geared Motor. Tokio, Japon, 2003. Pp. 6-7. Disponible en:  
[http://www.micromech.co.uk/dir\\_products/pdf/tsukasa/dc\\_geared\\_motor\\_en\\_g.pdf](http://www.micromech.co.uk/dir_products/pdf/tsukasa/dc_geared_motor_en_g.pdf) [Fecha de consulta: Febrero, 2016]

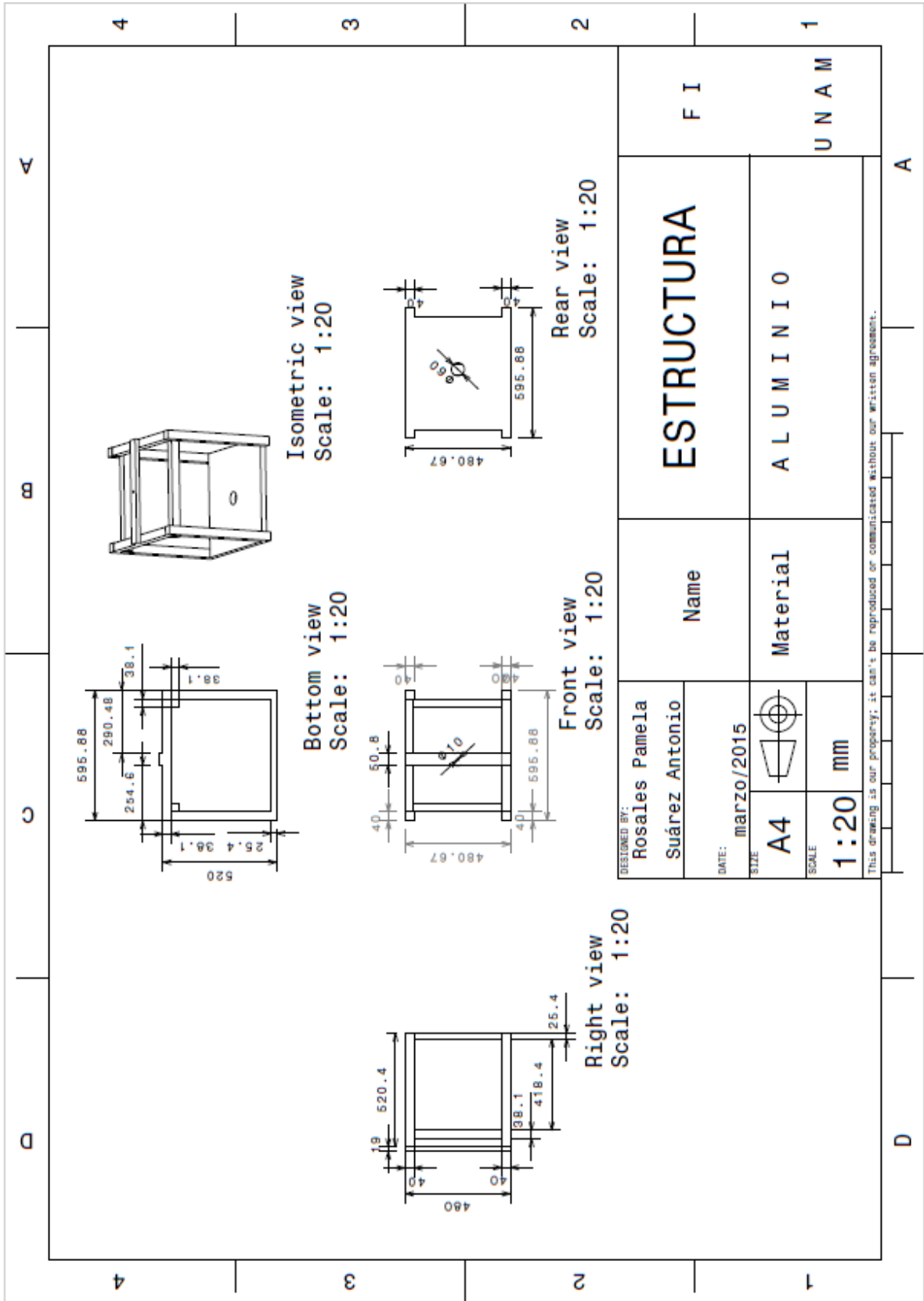


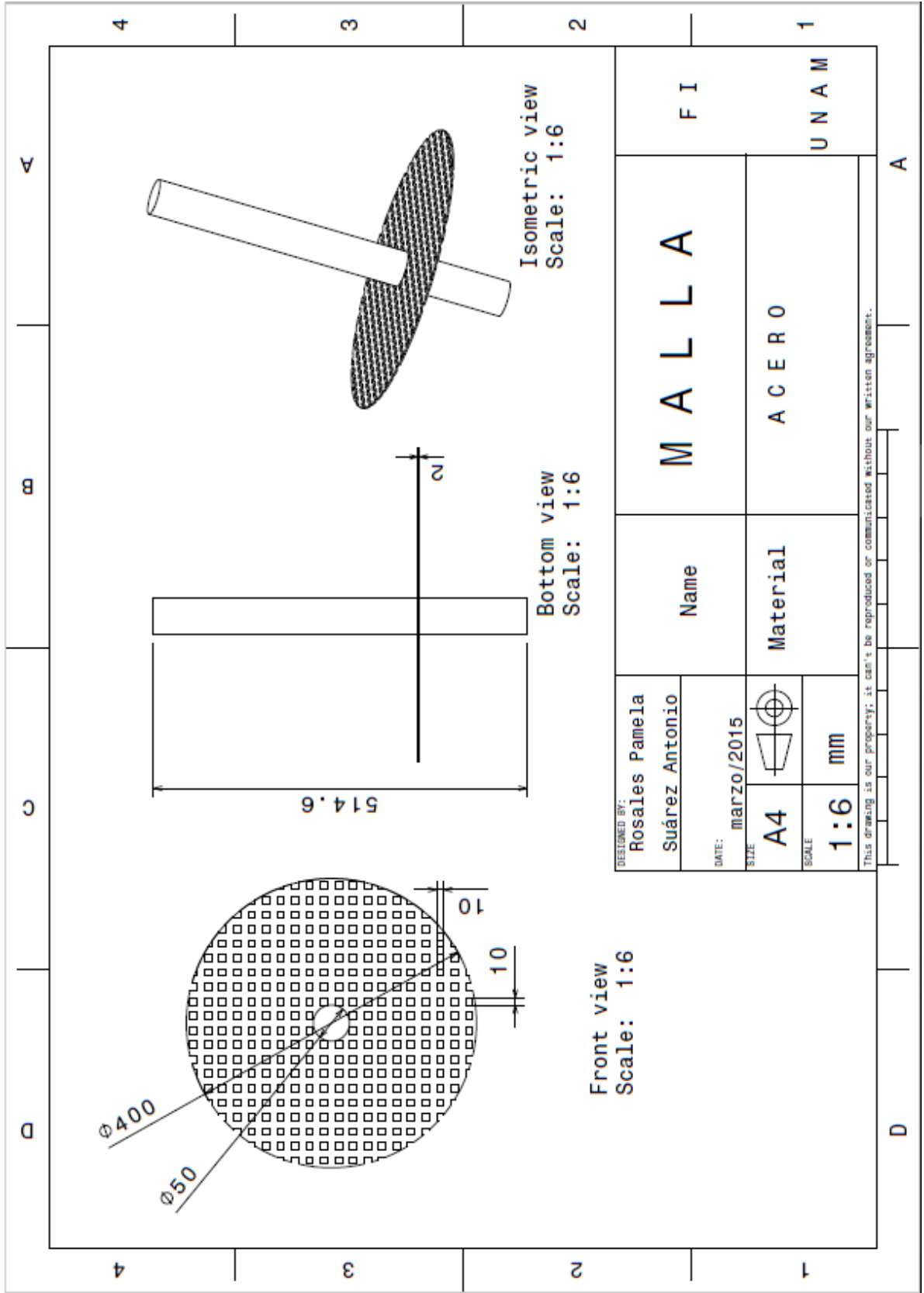
- 78) Proton, Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. Actuadores. [En línea].  
<http://proton.ucting.udg.mx/materias/robotica/r166/r68/r68.htm> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 79) Definición .DE. (2016) Definición de Sensor. [En línea].  
<http://definicion.de/sensor/> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 80) QuimiNet. (2006) ¿Qué son los interruptores finales de carrera? [En línea].  
<http://www.quiminet.com/articulos/que-son-los-interruptores-finales-de-carrera-7838.htm> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 81) Electronicasi.com. (2012) Fotodetector. [En línea].  
<http://www.electronicasi.com/enseanzas/electronica-elemental/aprender-electronica-practicando/aprende-practicando-fotodetector/> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 82) Balluff. (2016) Sensores optoelectrónicos. [En línea].  
<http://www.balluff.com/balluff/MMX/es/products/overview-photoelectric-sensors.jsp> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 83) Barahona Quelal, Bayardo Julián. Construcción de una Maquina Etiquetadora Automática para Envases Cilíndricos con Etiquetas Autoadhesivas. Tesis (Tecnólogo en electromecánica). Quito. Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos, Febrero de 2011. Disponible en:  
<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3758/1/CD-3539.pdf> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 84) eHow. (2016) ¿Para qué son usados los capacitores? [En línea].  
[http://www.ehowenespanol.com/son-usados-capacitores-info\\_74664/](http://www.ehowenespanol.com/son-usados-capacitores-info_74664/) [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 85) Tipos de.org. (2016) Tipos de capacitores. [En línea].  
<http://www.tiposde.org/construccion/477-tipos-de-capacitores/> [Fecha de consulta: Febrero, 2016]
- 86) Microchip Technology. PIC16F882/883/884/886/887. Data Sheet [En línea]. Estados Unidos, 2007. Disponible en:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41291D.pdf> [Fecha de consulta: Marzo, 2016]
- 87) MikroElektronika. (2016) Características Básicas del PIC16F887. [En línea].  
<http://learn.mikroe.com/ebooks/microcontroladorespic/chapter/caracteristicas-basicas-del-pic16f887/> [Fecha de consulta: Marzo, 2016]

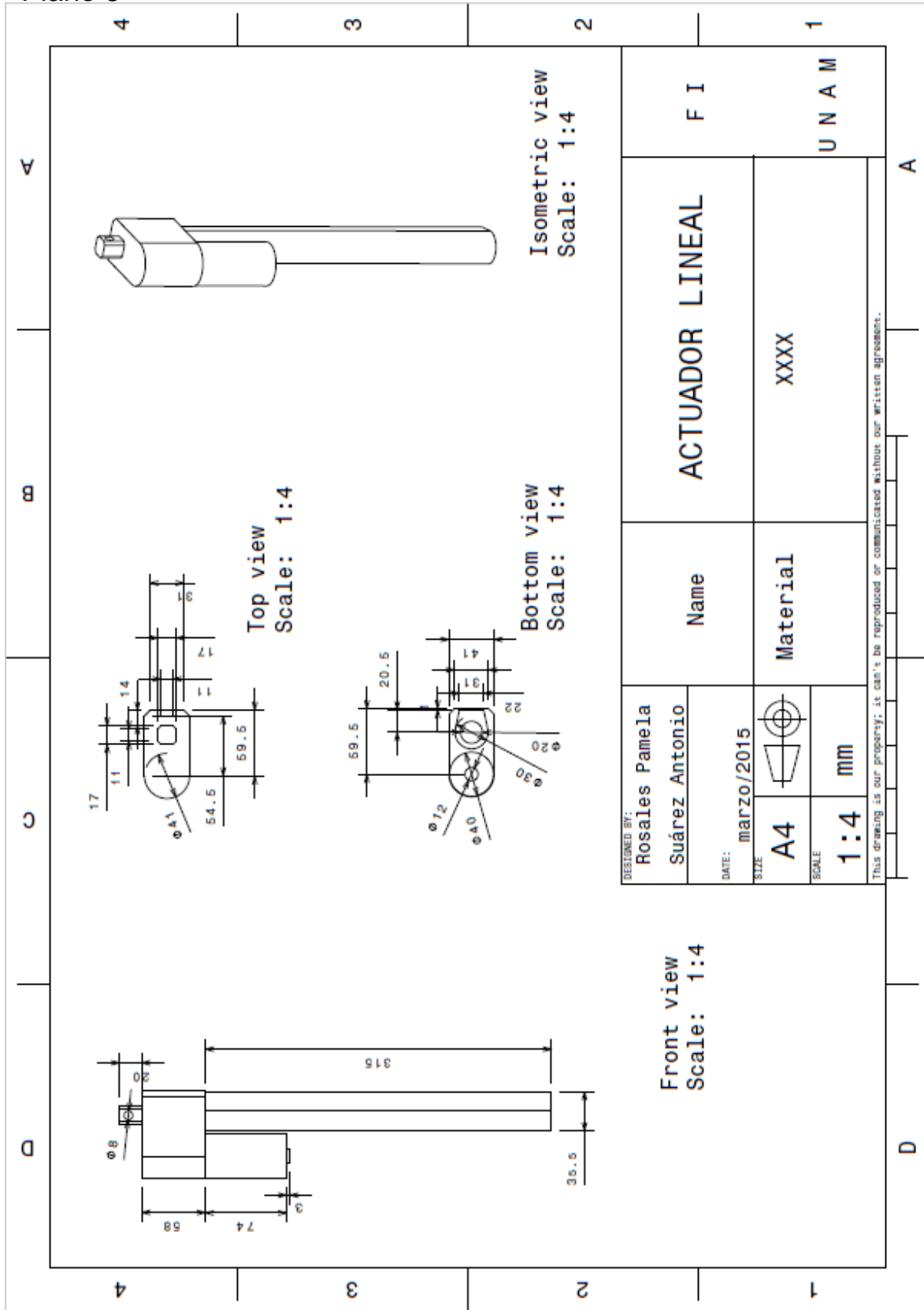
- 88) Wikipedia. (2016) Microcontrolador. [En línea]. <https://es.wikipedia.org/wiki/Microcontrolador> [Fecha de consulta: Marzo, 2016]
- 89) Microchip. (2016) MPLAB<sup>®</sup> X Integrated Development Environment (IDE). [En línea]. <http://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide> [Fecha de consulta: Marzo, 2016]
- 90) Entornos de Desarrollo. (2011) Código Fuente, Código Objeto Y Código Ejecutable. Máquinas Virtuales. [En línea]. <http://entornosdedesarrollo.blogspot.mx/2011/11/codigo-fuente-codigo-objeto-y-codigo.html> [Fecha de consulta: Marzo, 2016]
- 91) SlideShare. (2010) 2da parte instalación del compilador. [En línea]. <http://es.slideshare.net/yuli02/2da-parte-instalacin-del-compilador> [Fecha de consulta: Marzo, 2016]
- 92) Cemex. (2016) Tipos de Cemento. [En línea]. <http://www.cemexmexico.com/Cemento/TiposCemento.aspx> [Fecha de consulta: Abril, 2016]
- 93) Guía para la redacción de Referencias Bibliográficas. Universidad de Chile, Sistema de Servicios de Información y Bibliotecas, Área de Automatización, Santiago, 2004. [En línea]. Disponible en: <http://bibliotecas.uchile.cl/servicios/referencias-bibliograficas.pdf> [Fecha de consulta: Marzo, 2016]
- 94) Normas para citar correctamente [En línea]. [http://commonweb.unifr.ch/artsdean/pub/gestens/f/as/files/4740/21367\\_140455.pdf](http://commonweb.unifr.ch/artsdean/pub/gestens/f/as/files/4740/21367_140455.pdf) [Fecha de consulta: Marzo, 2016]

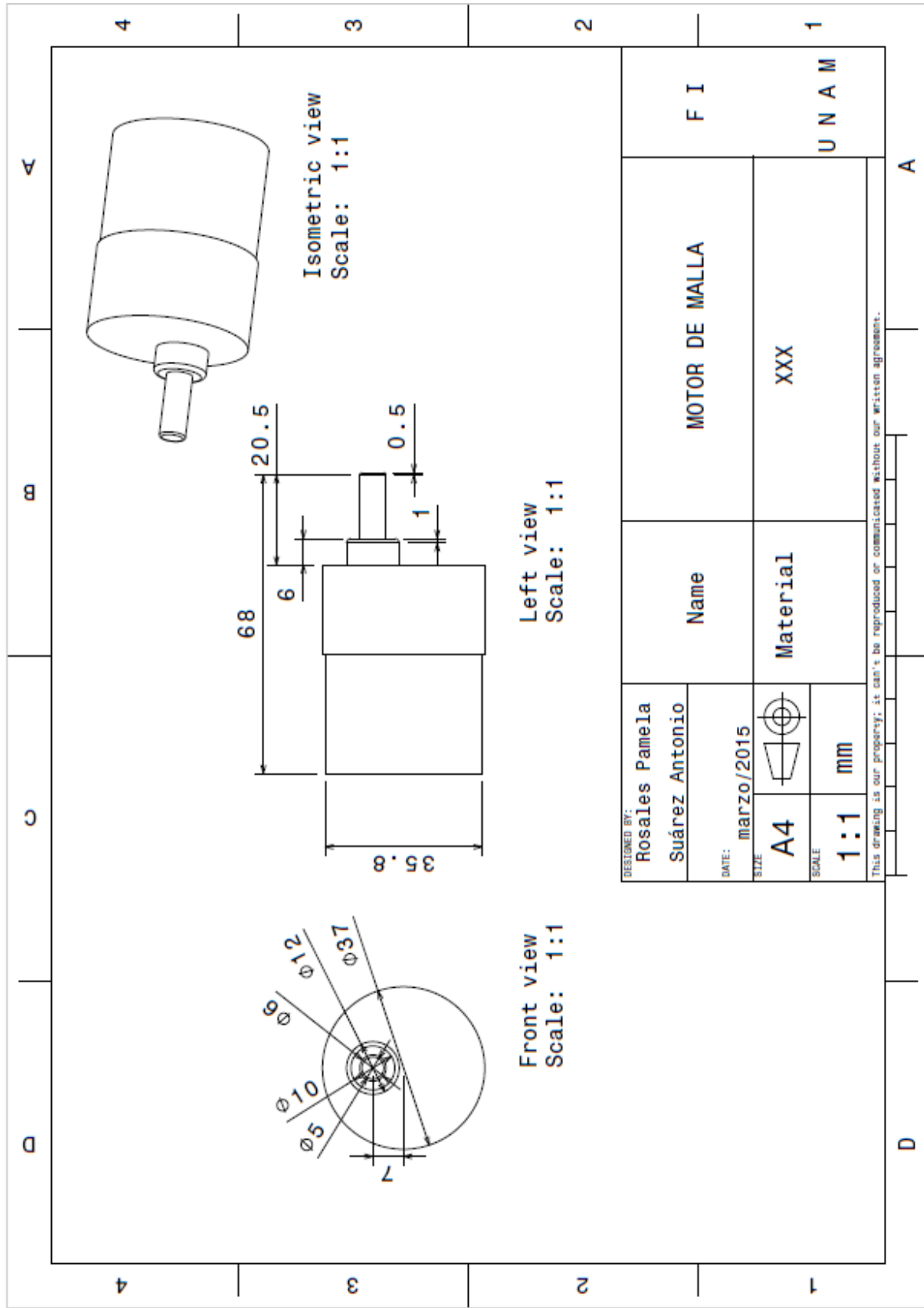
## **ANEXO I Planos**

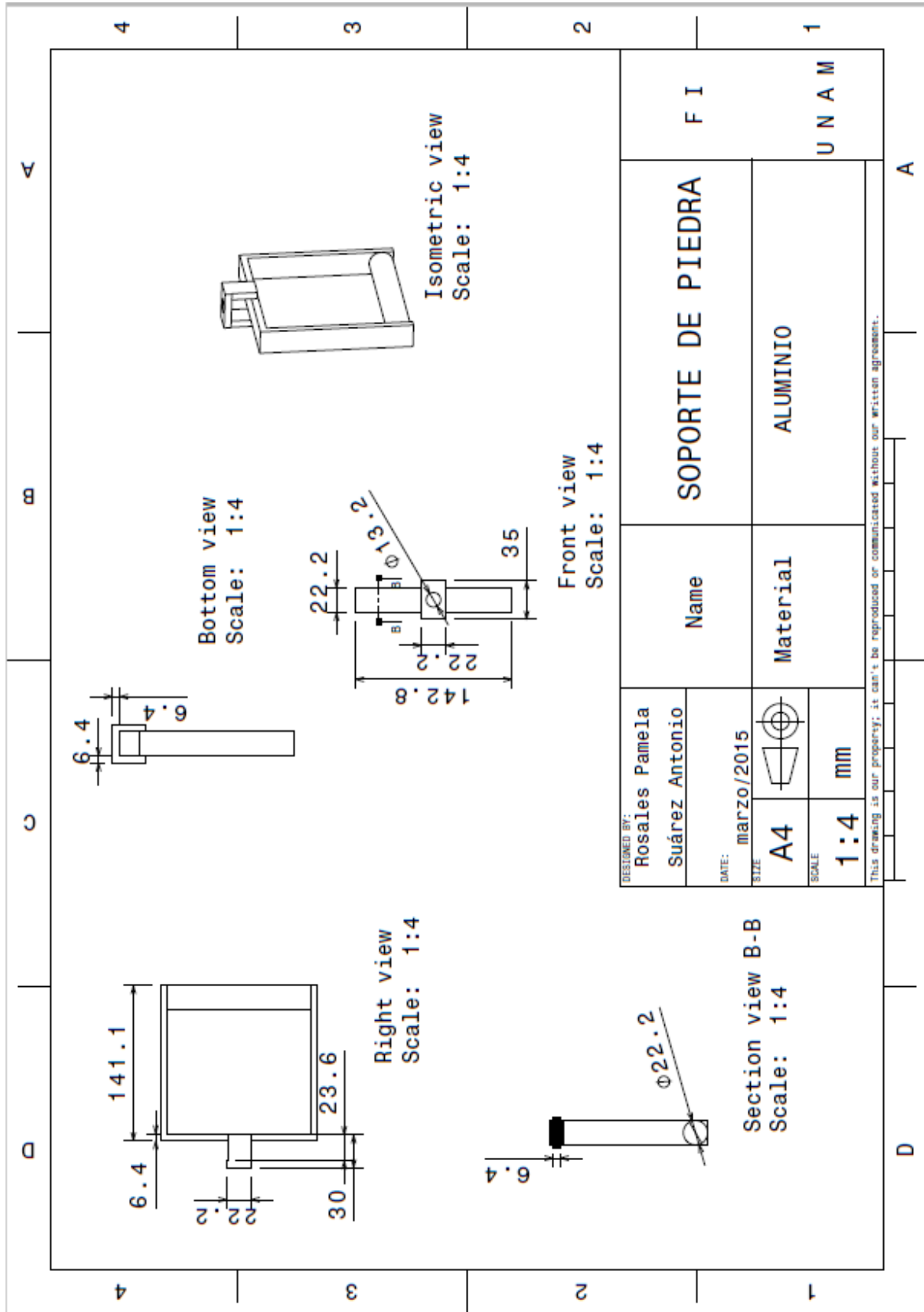
Planos de los elementos del modelo funcional de trituración.



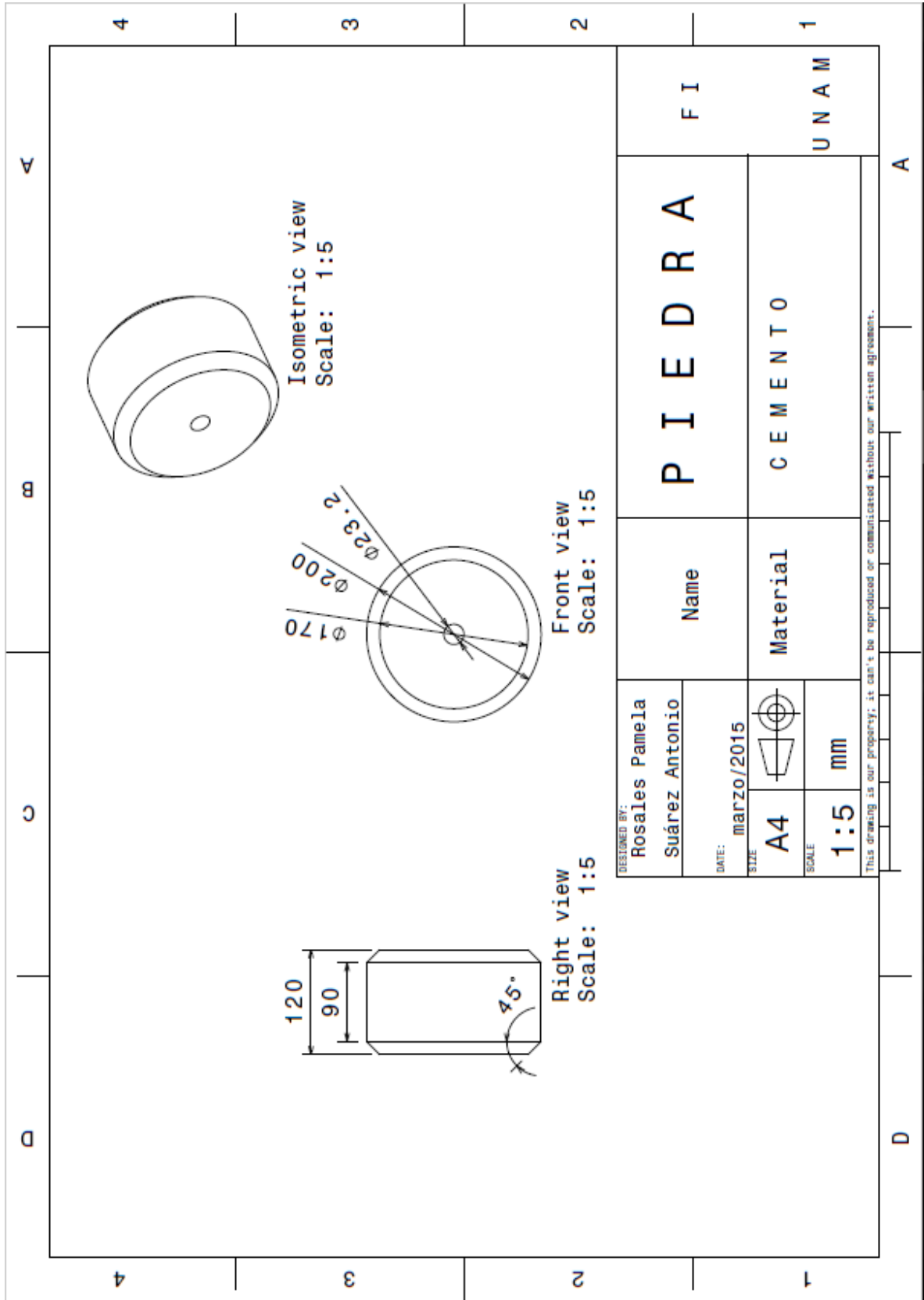


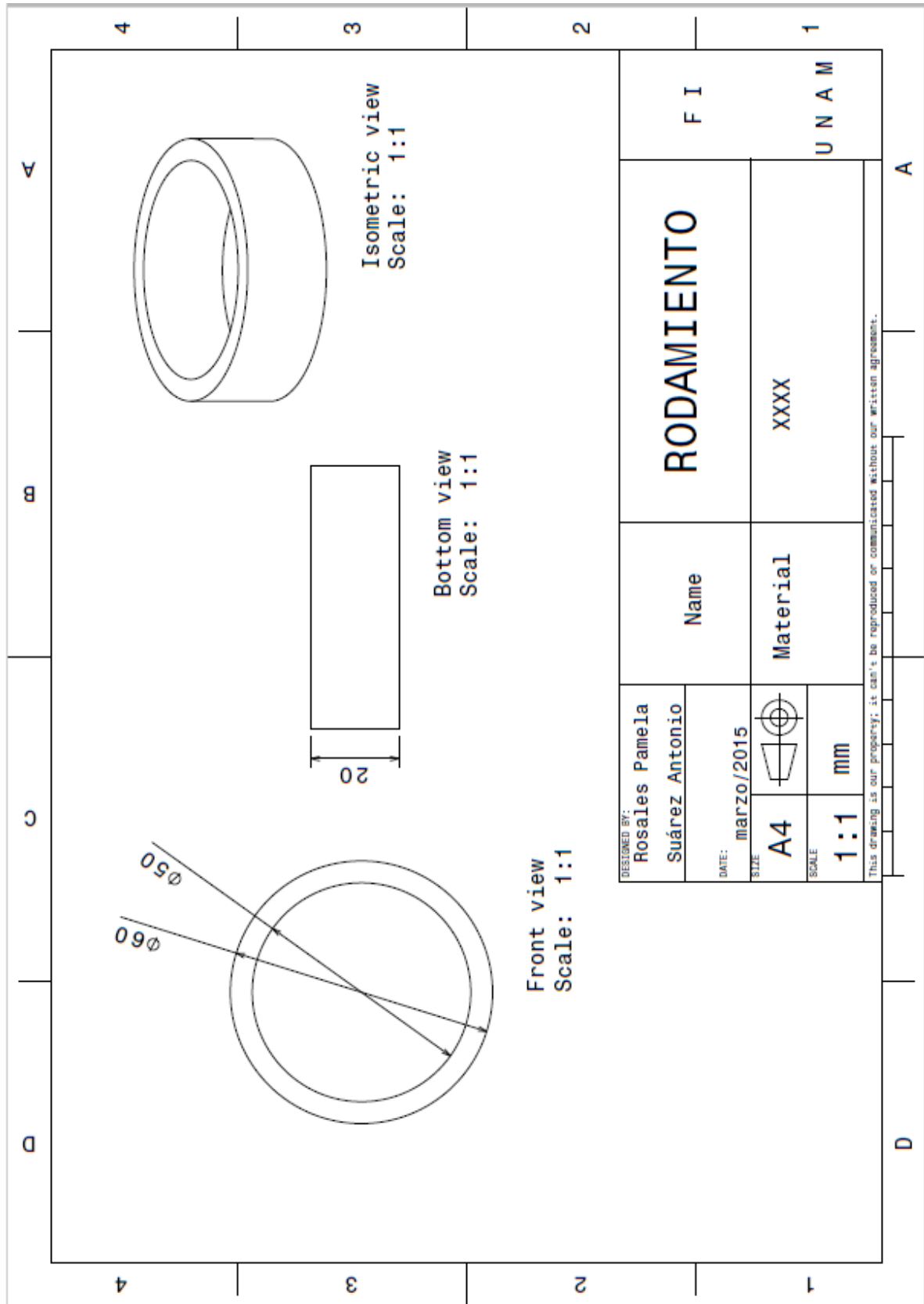


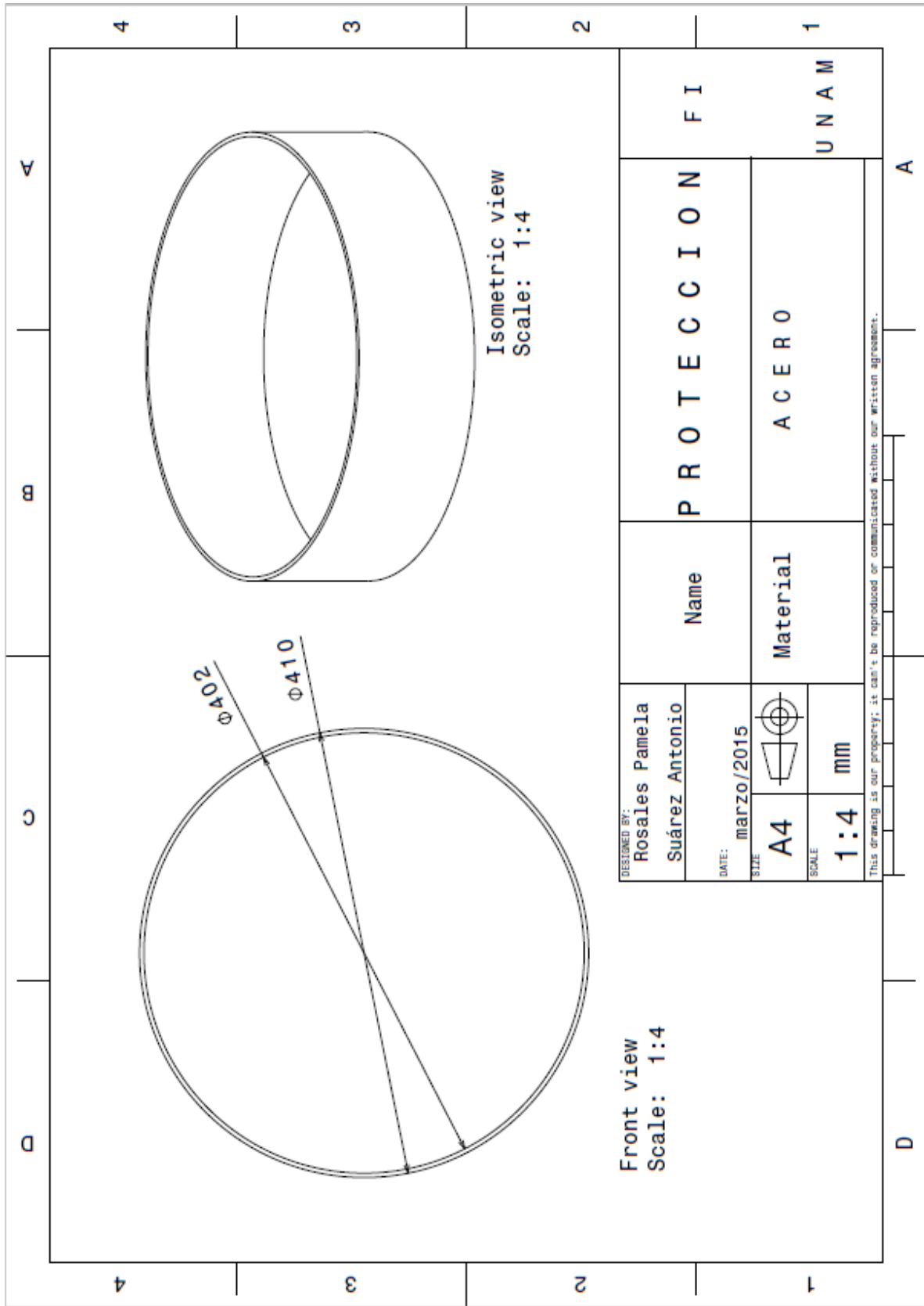


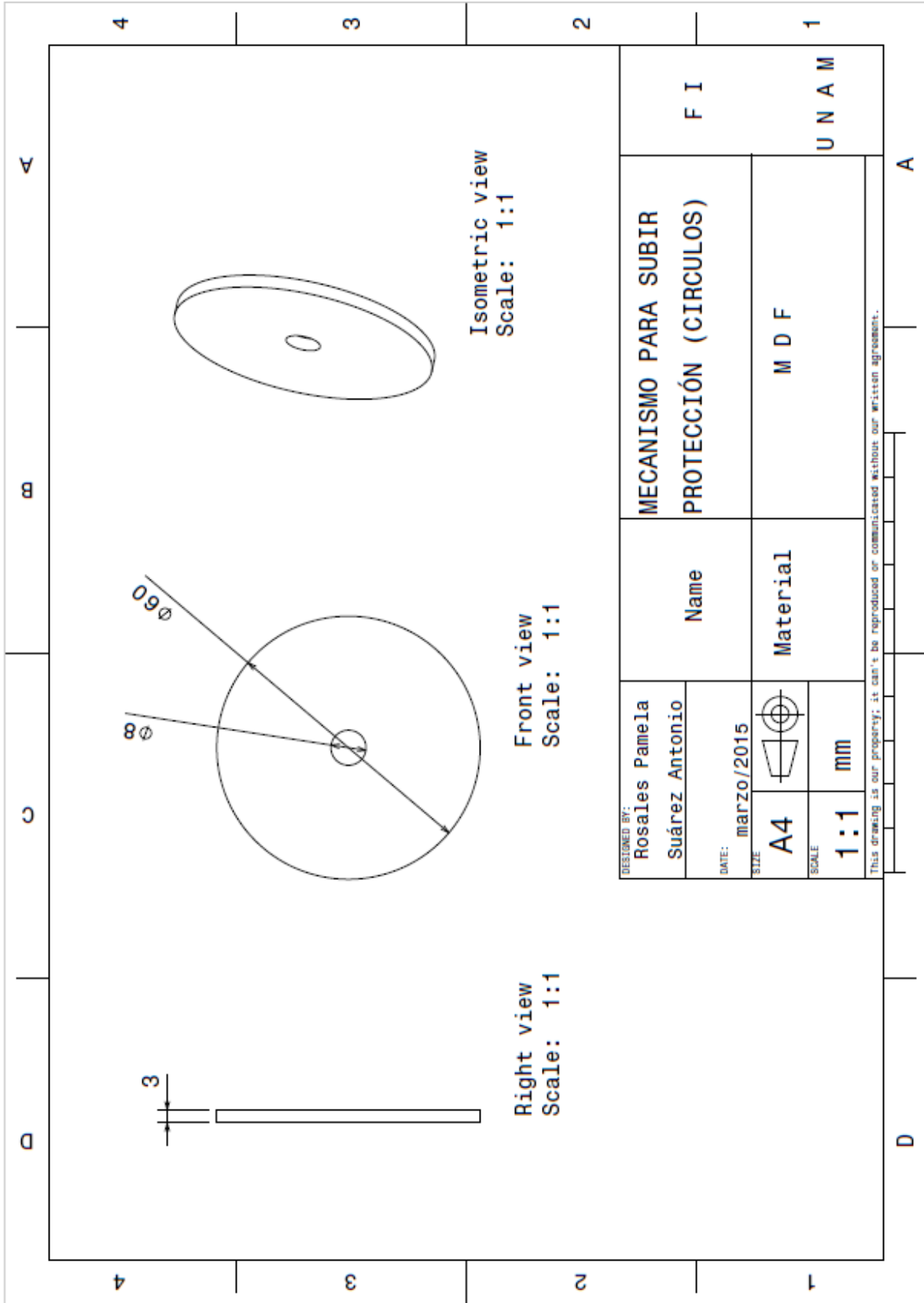


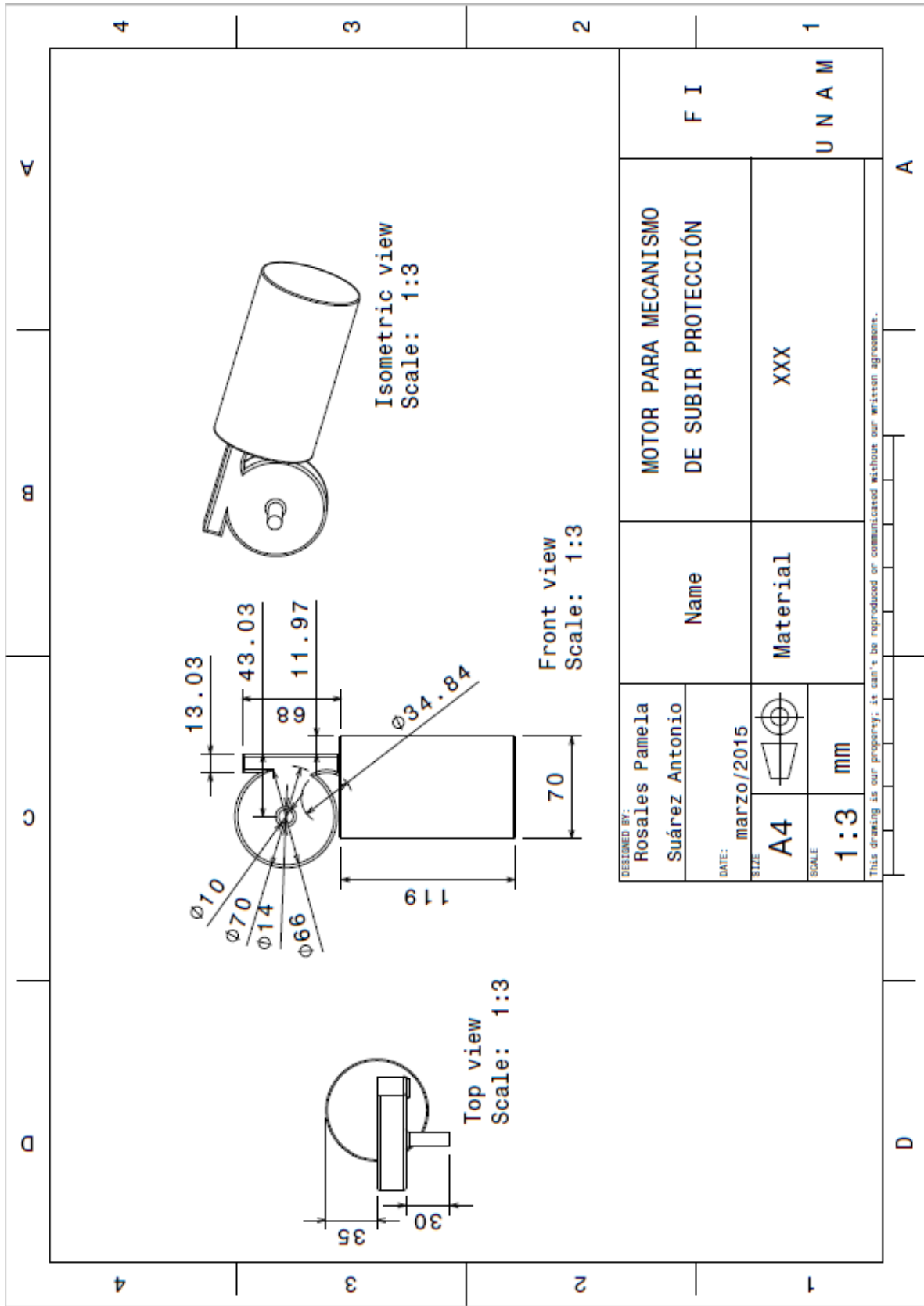




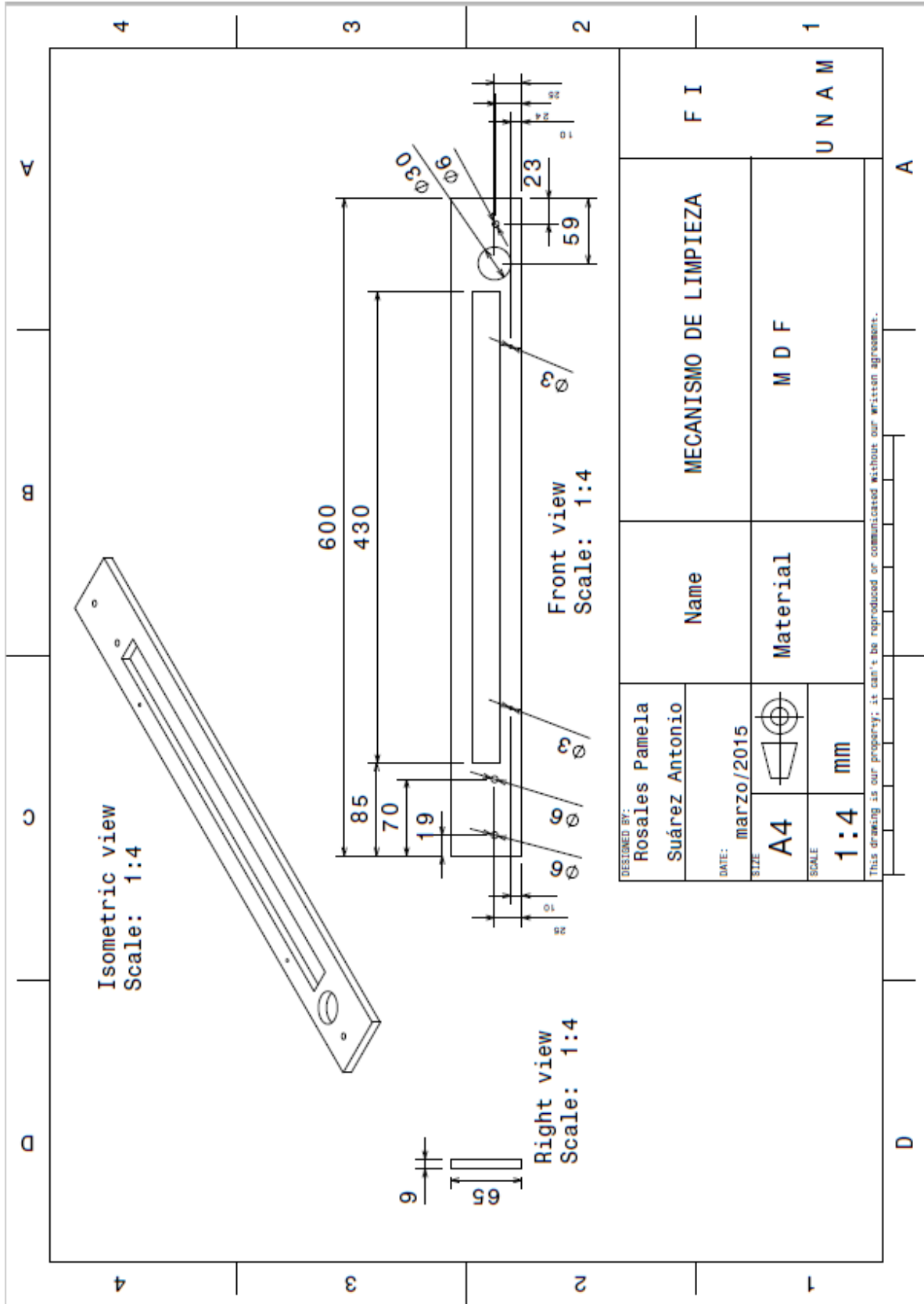


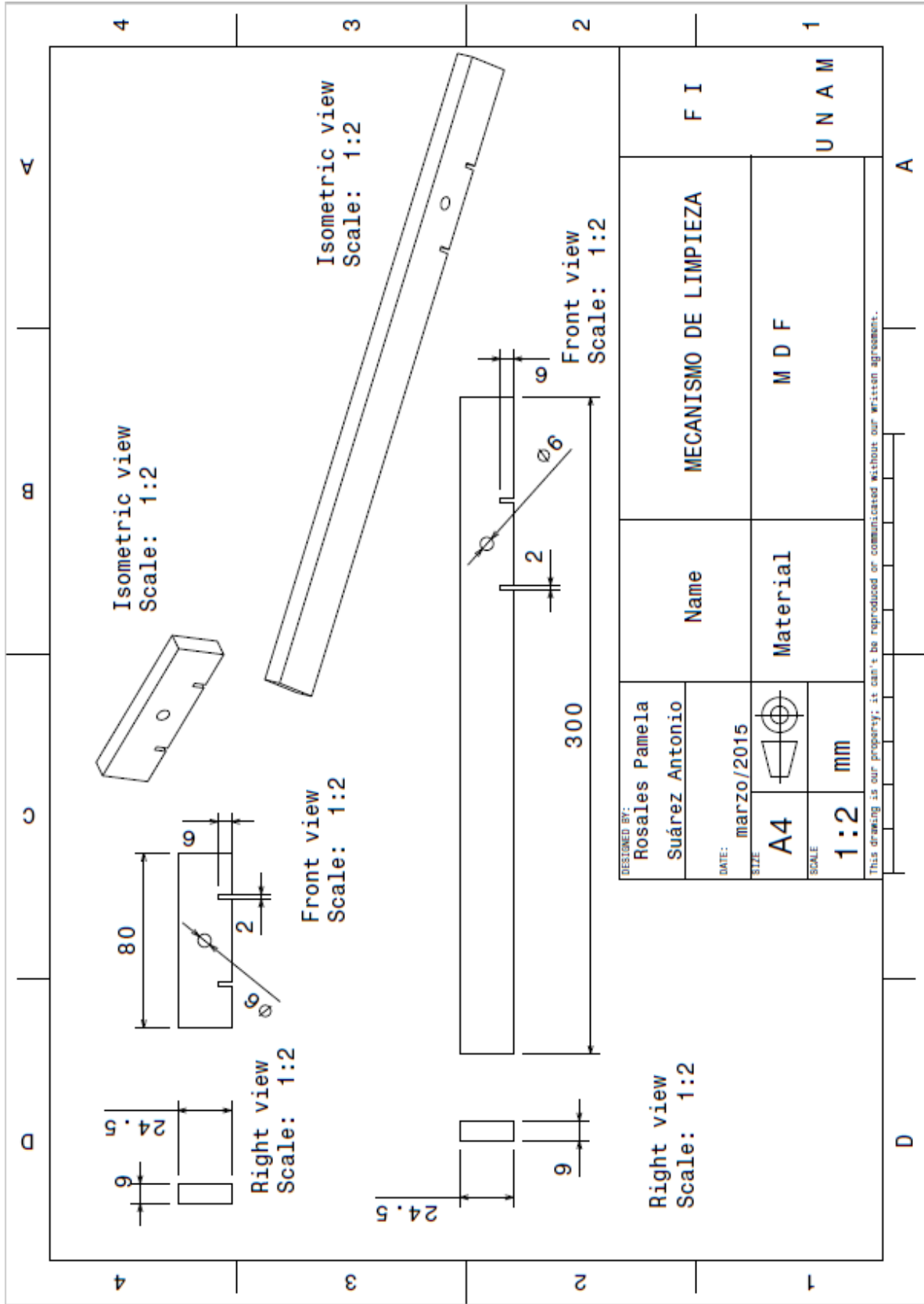




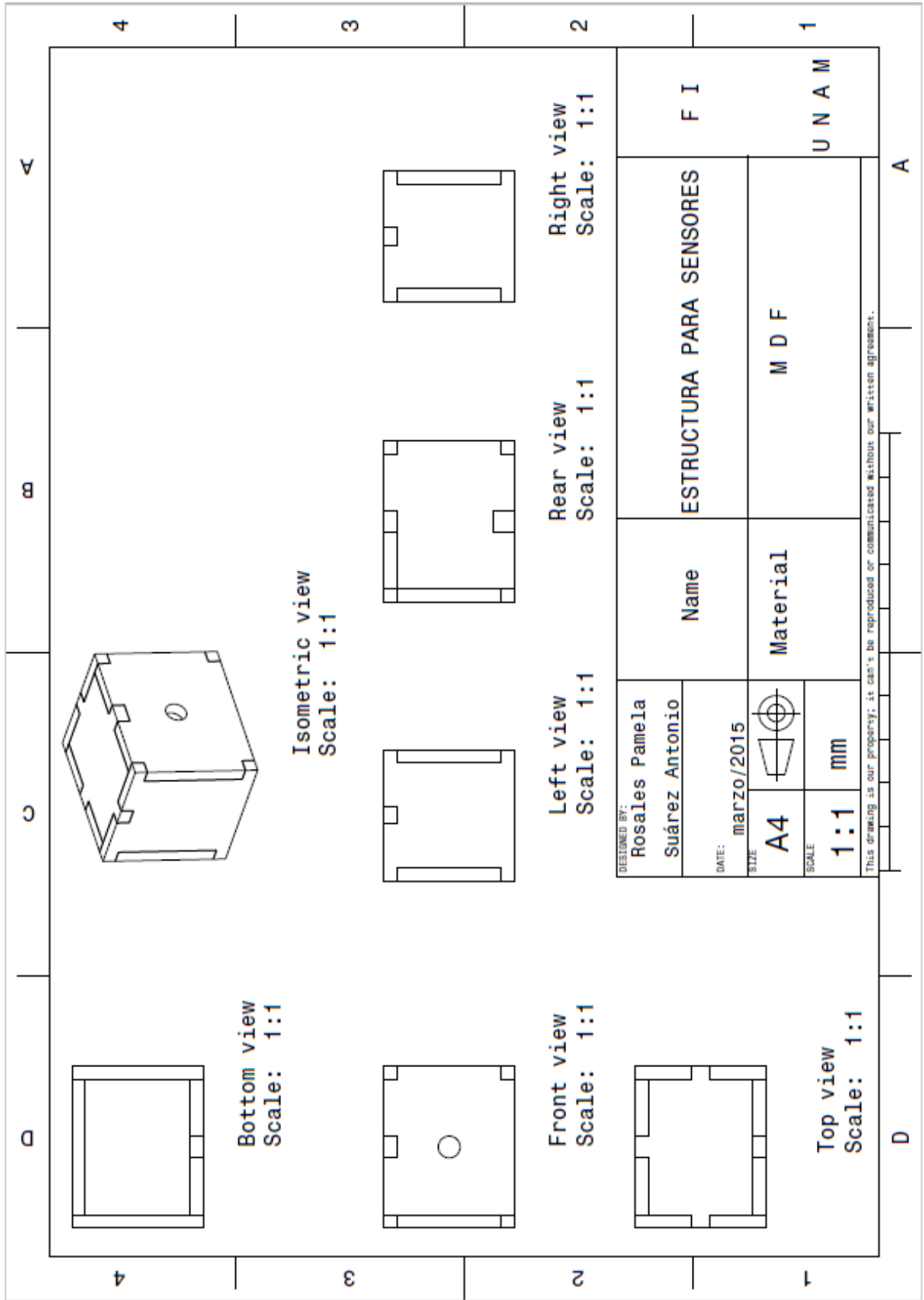


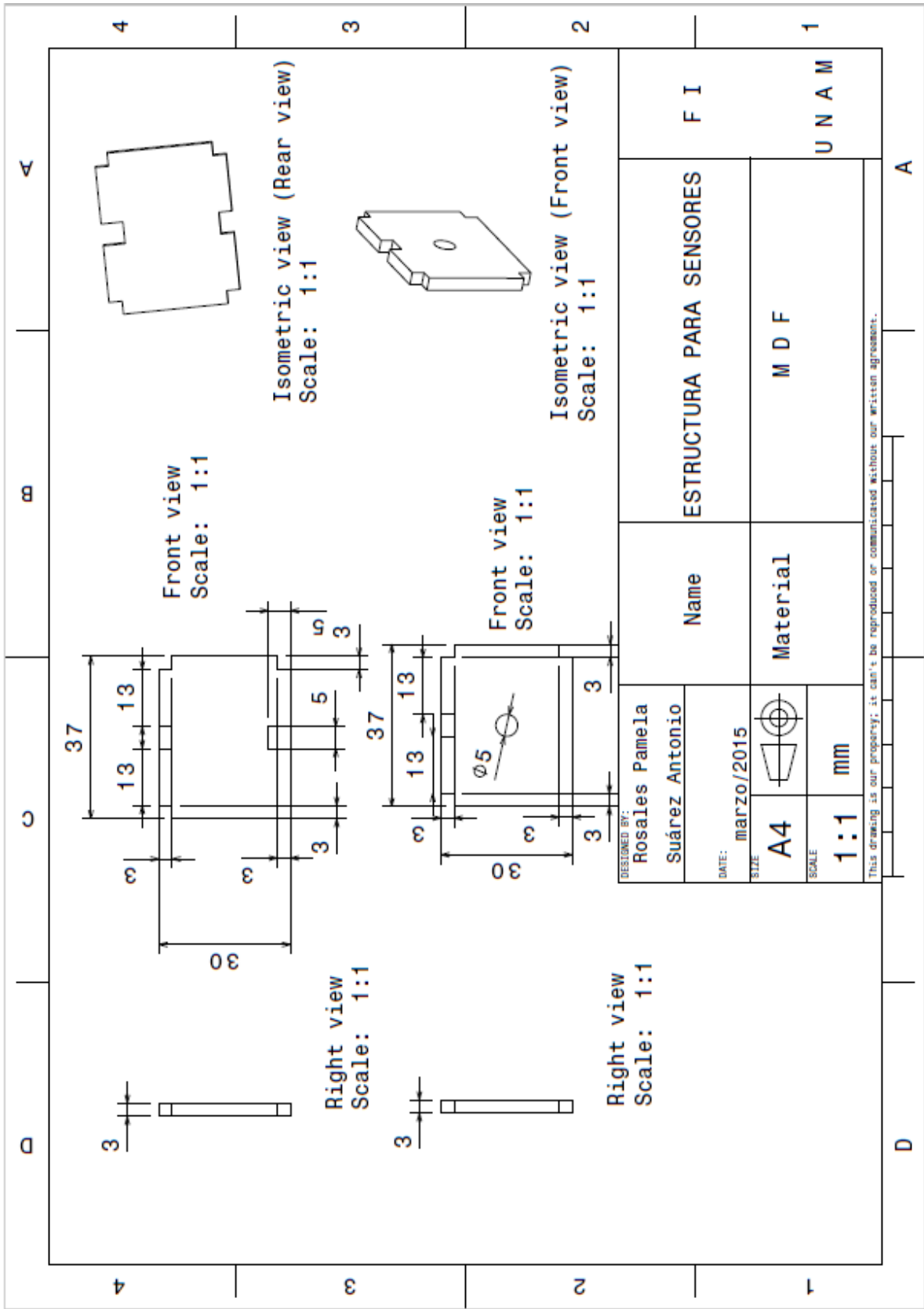


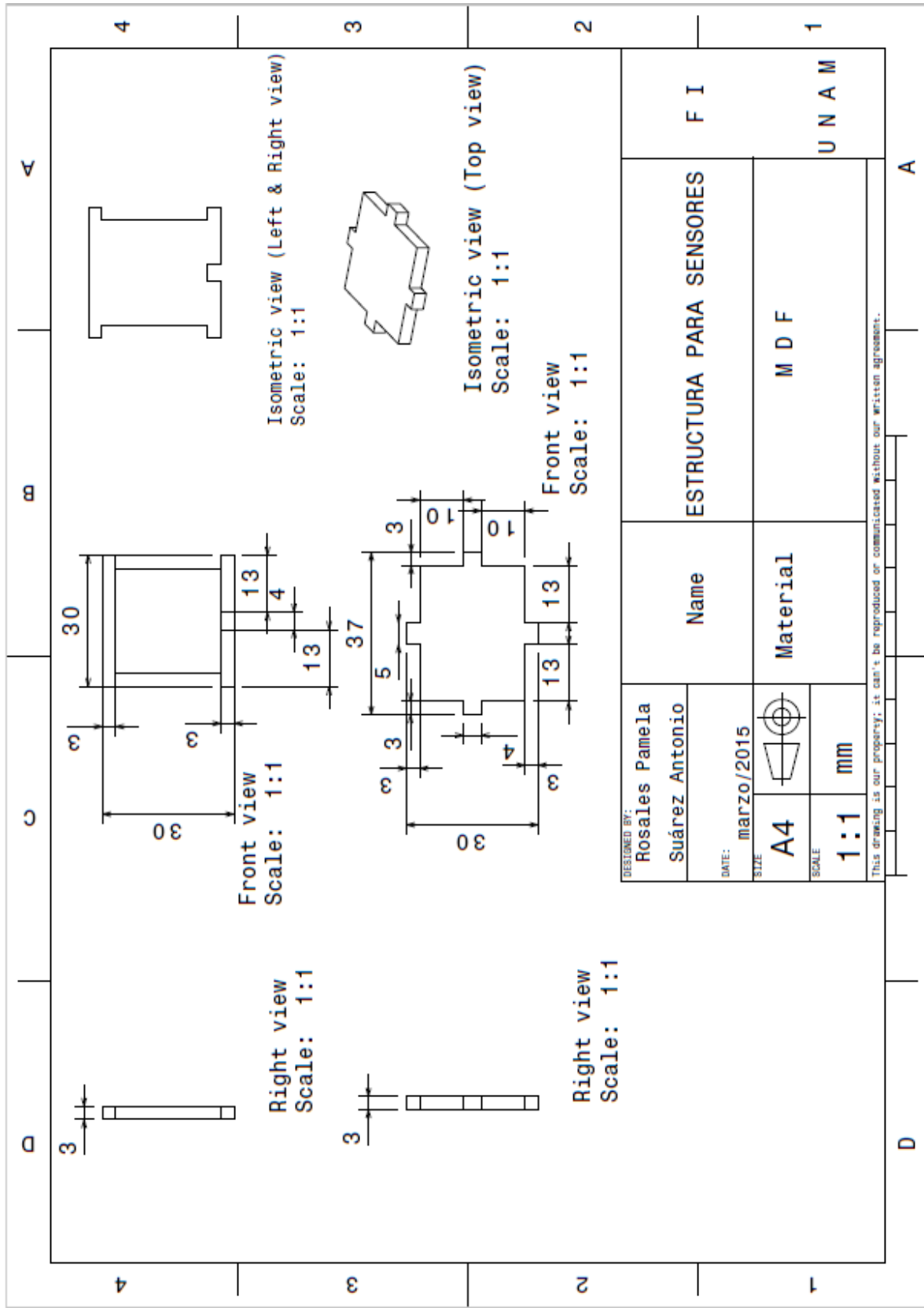


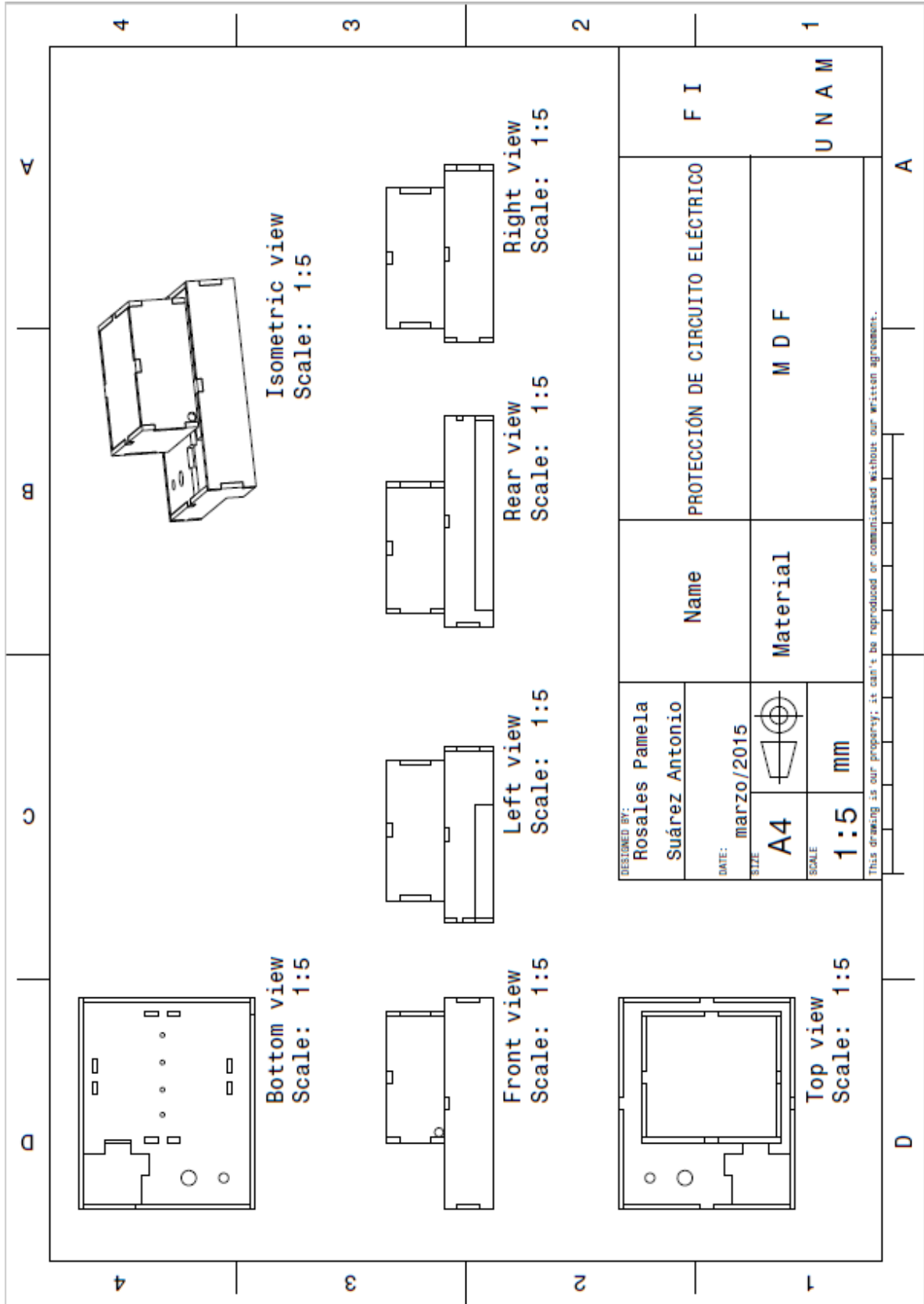


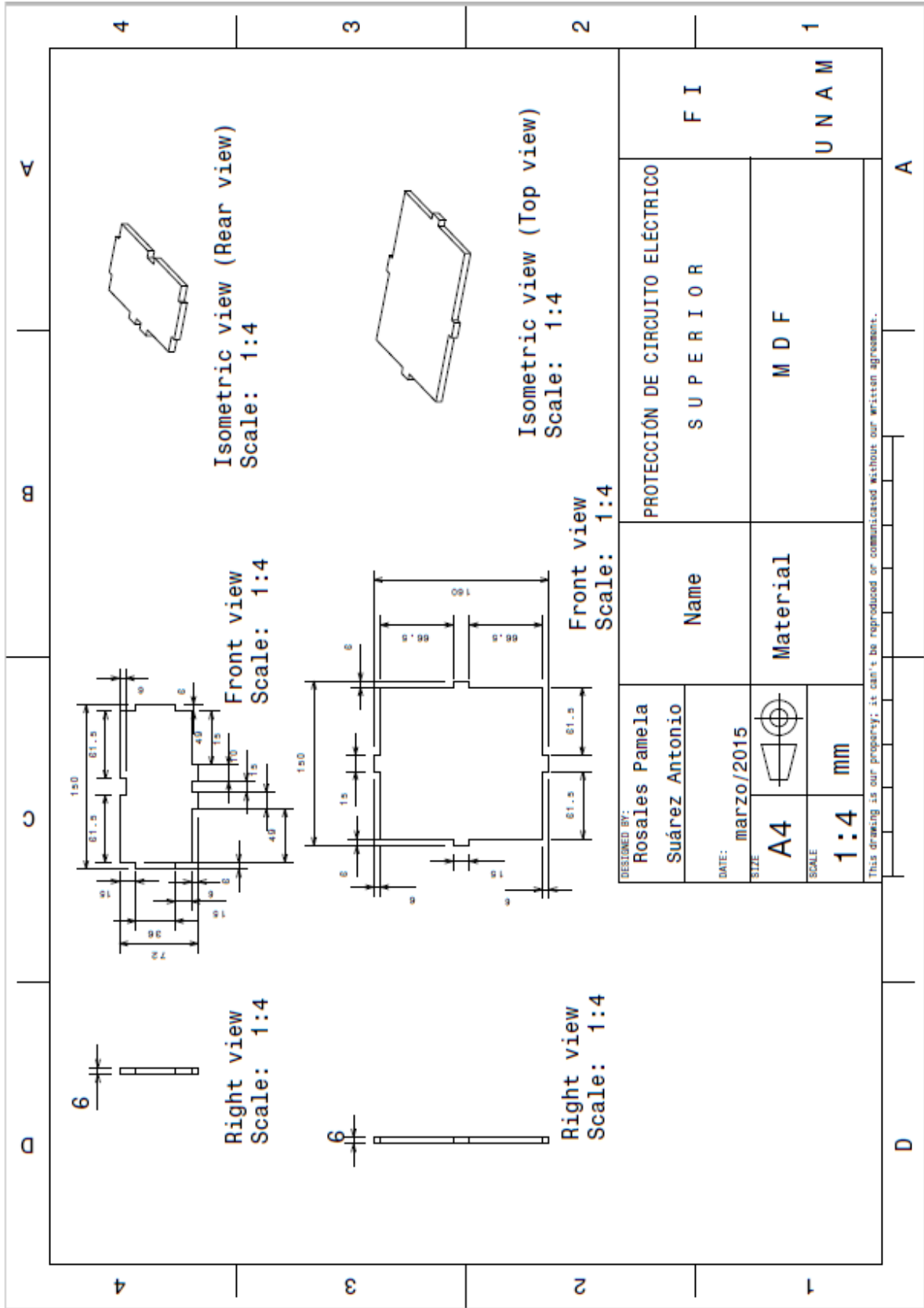






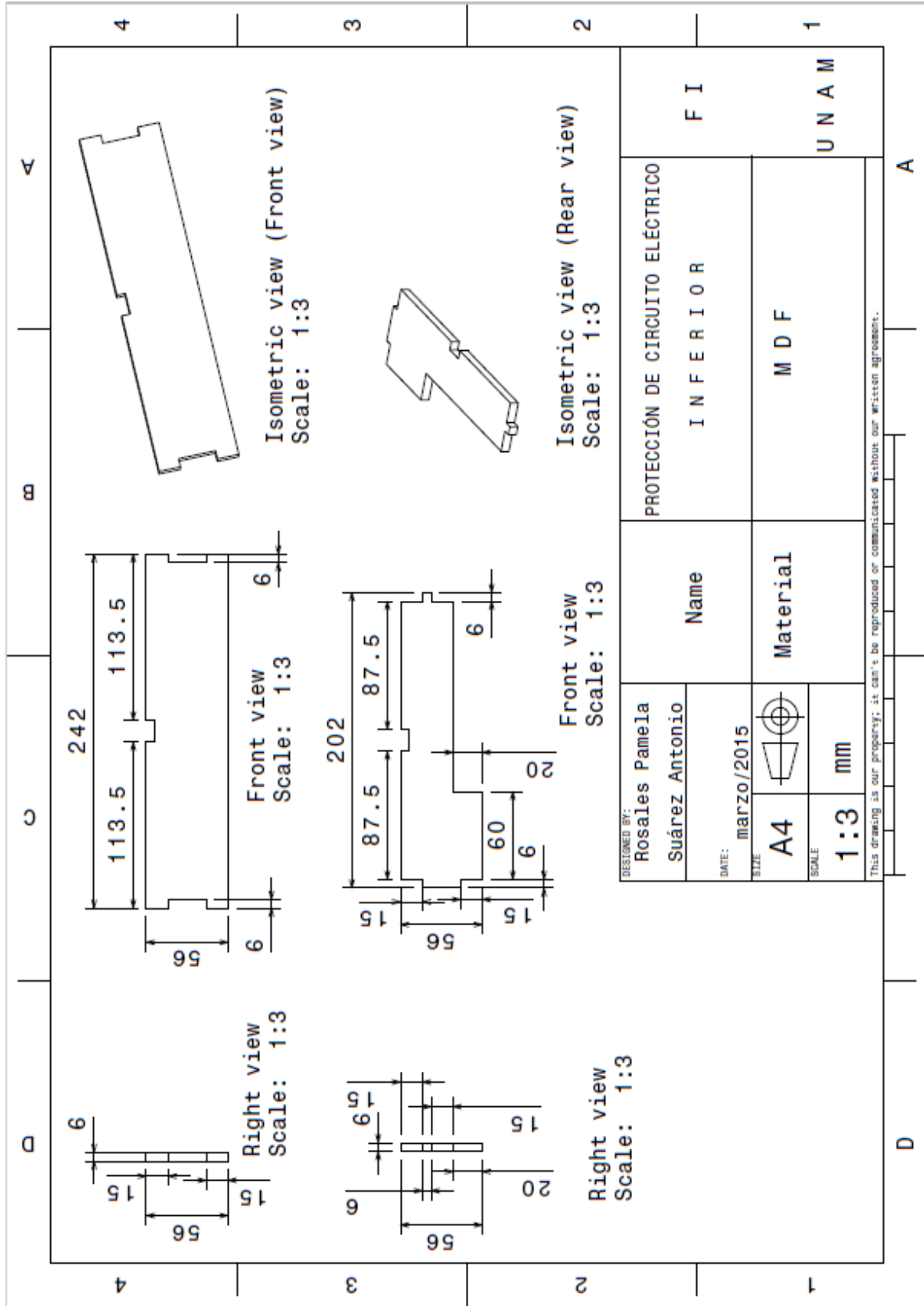




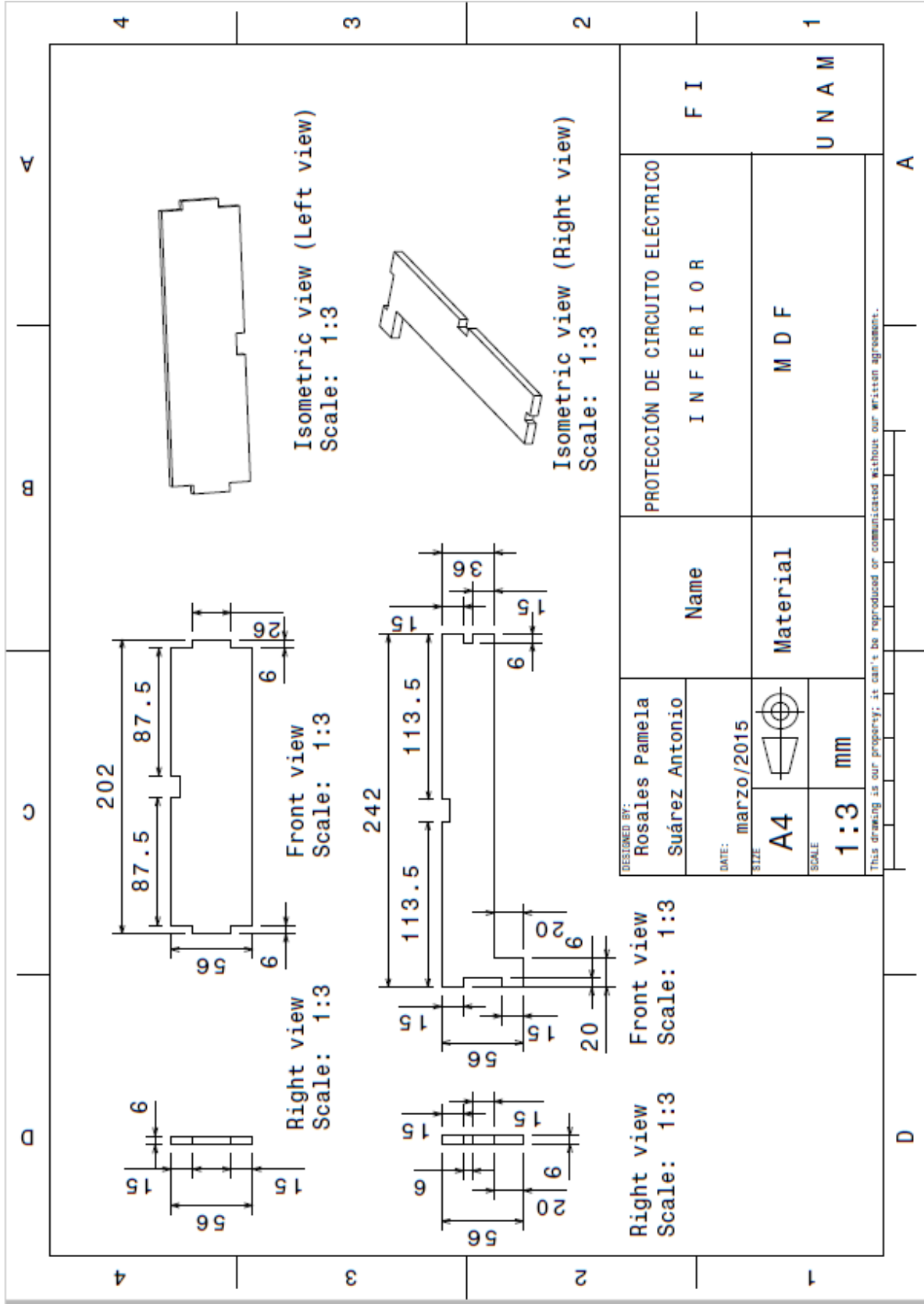


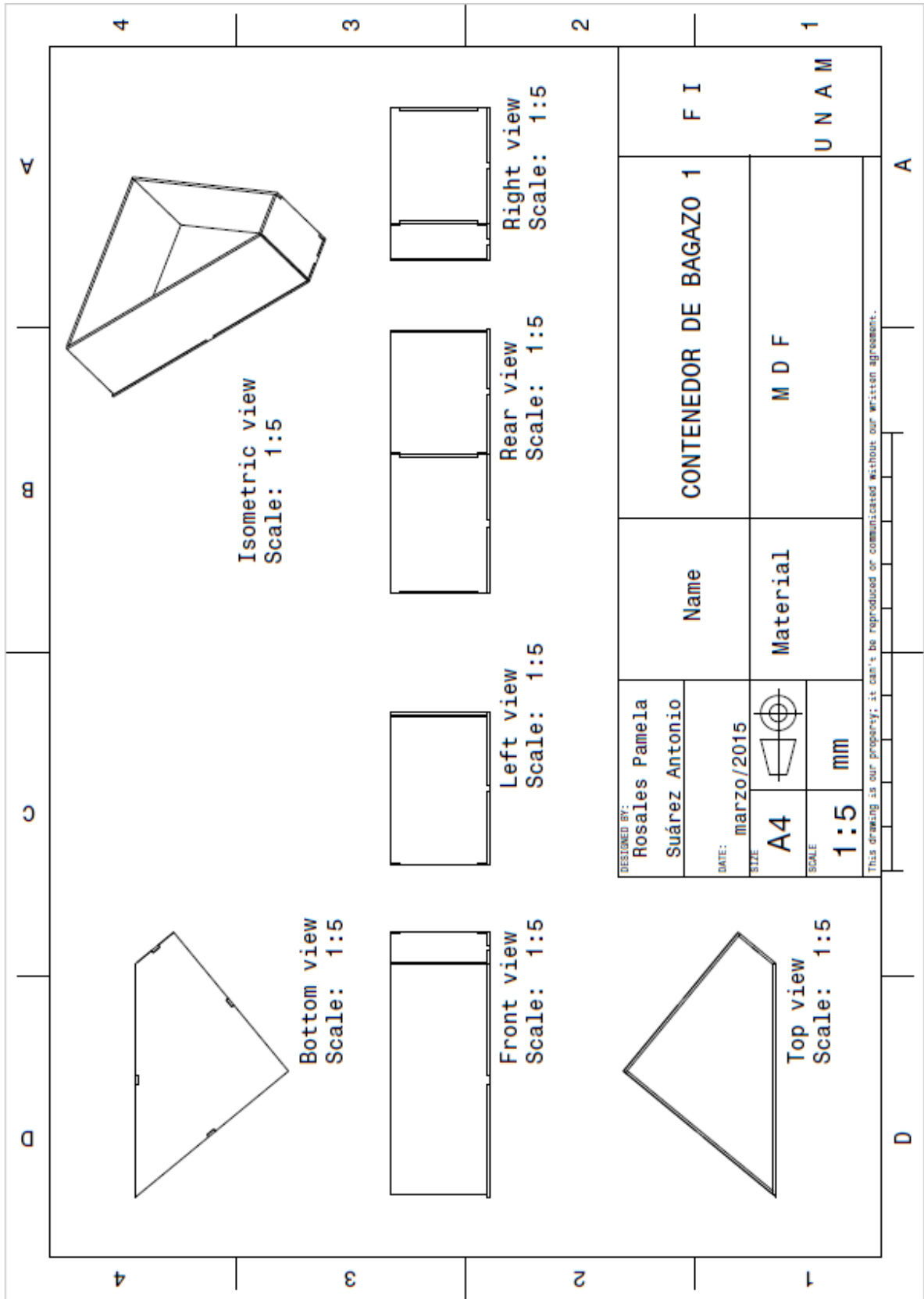


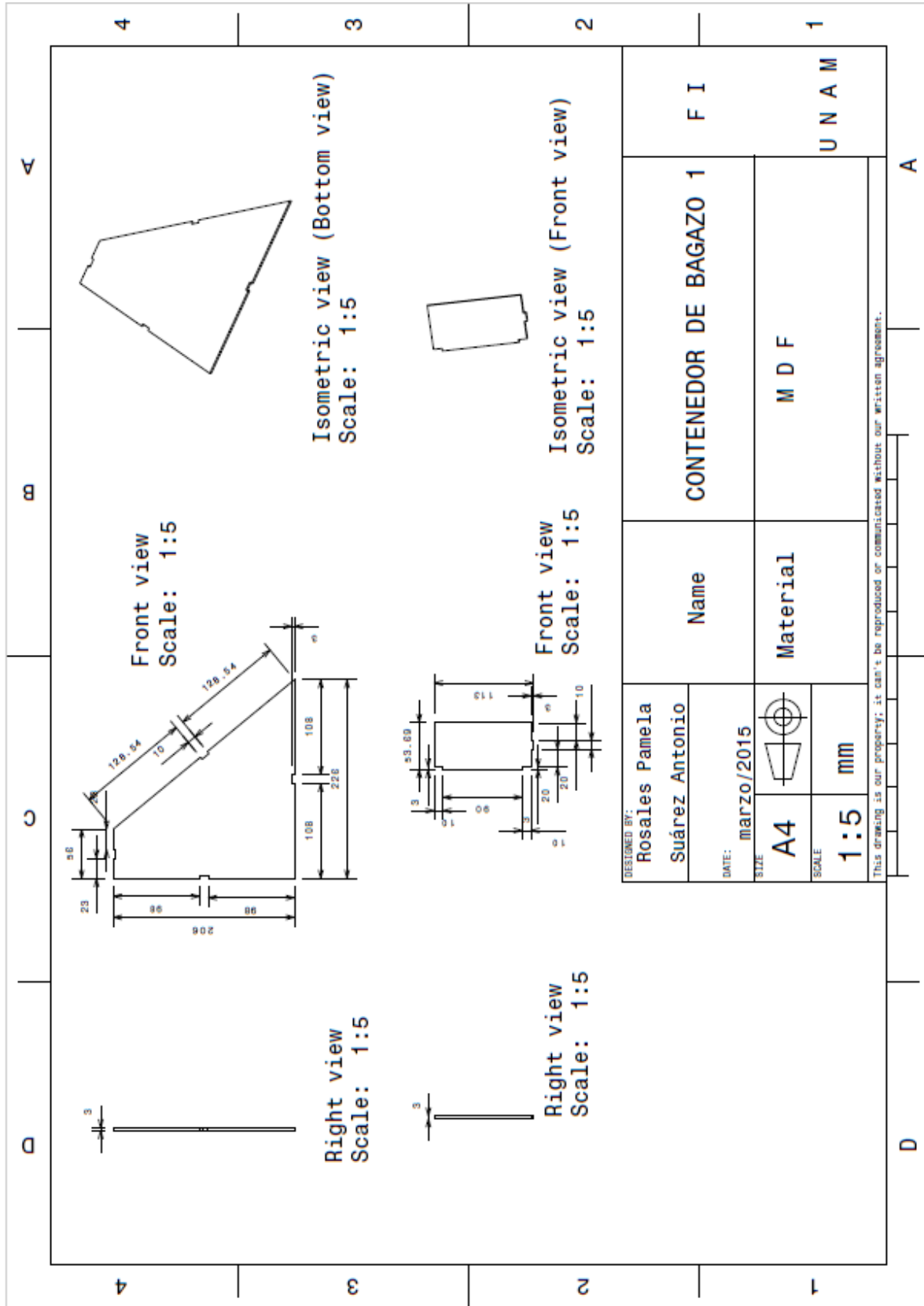


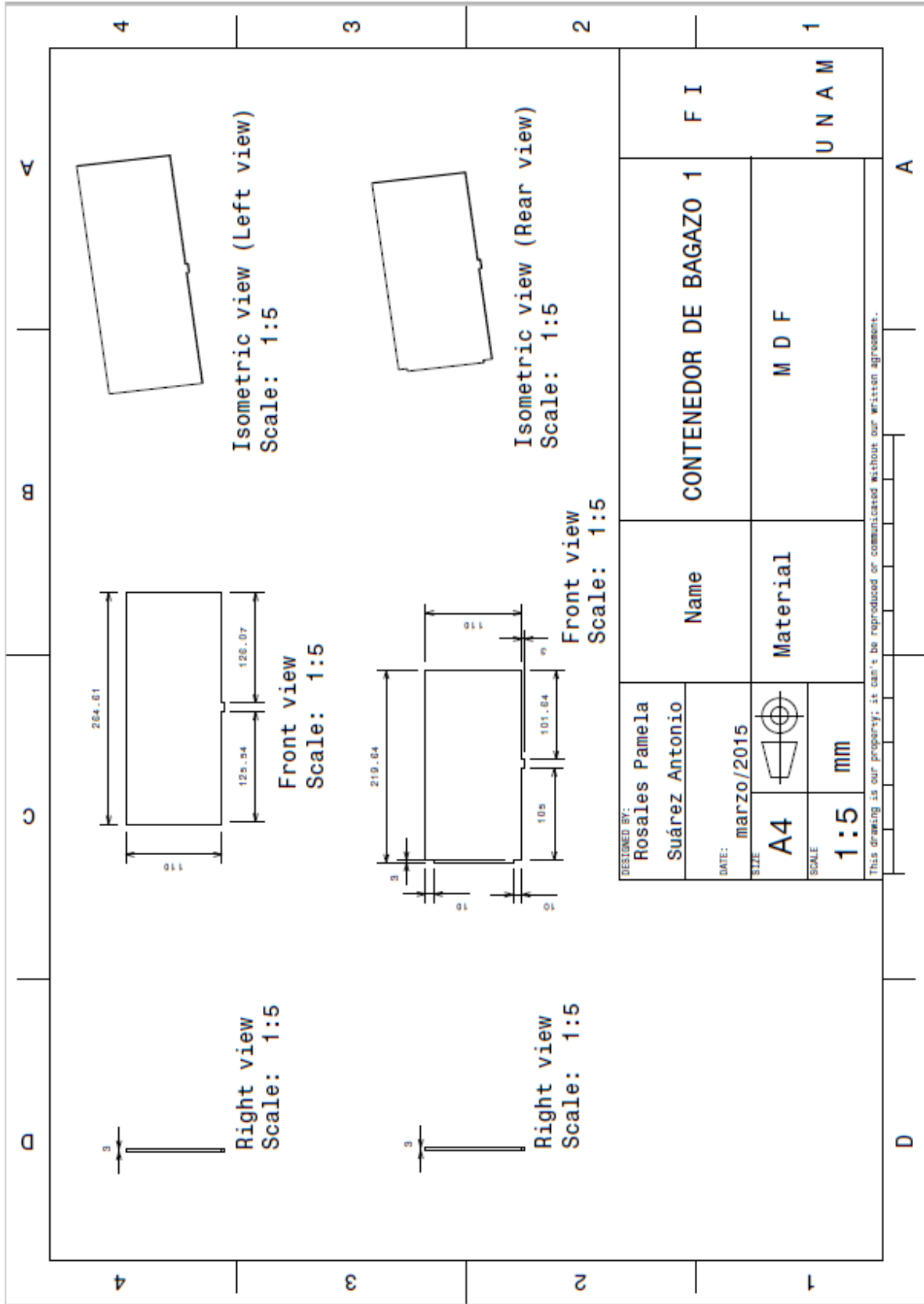


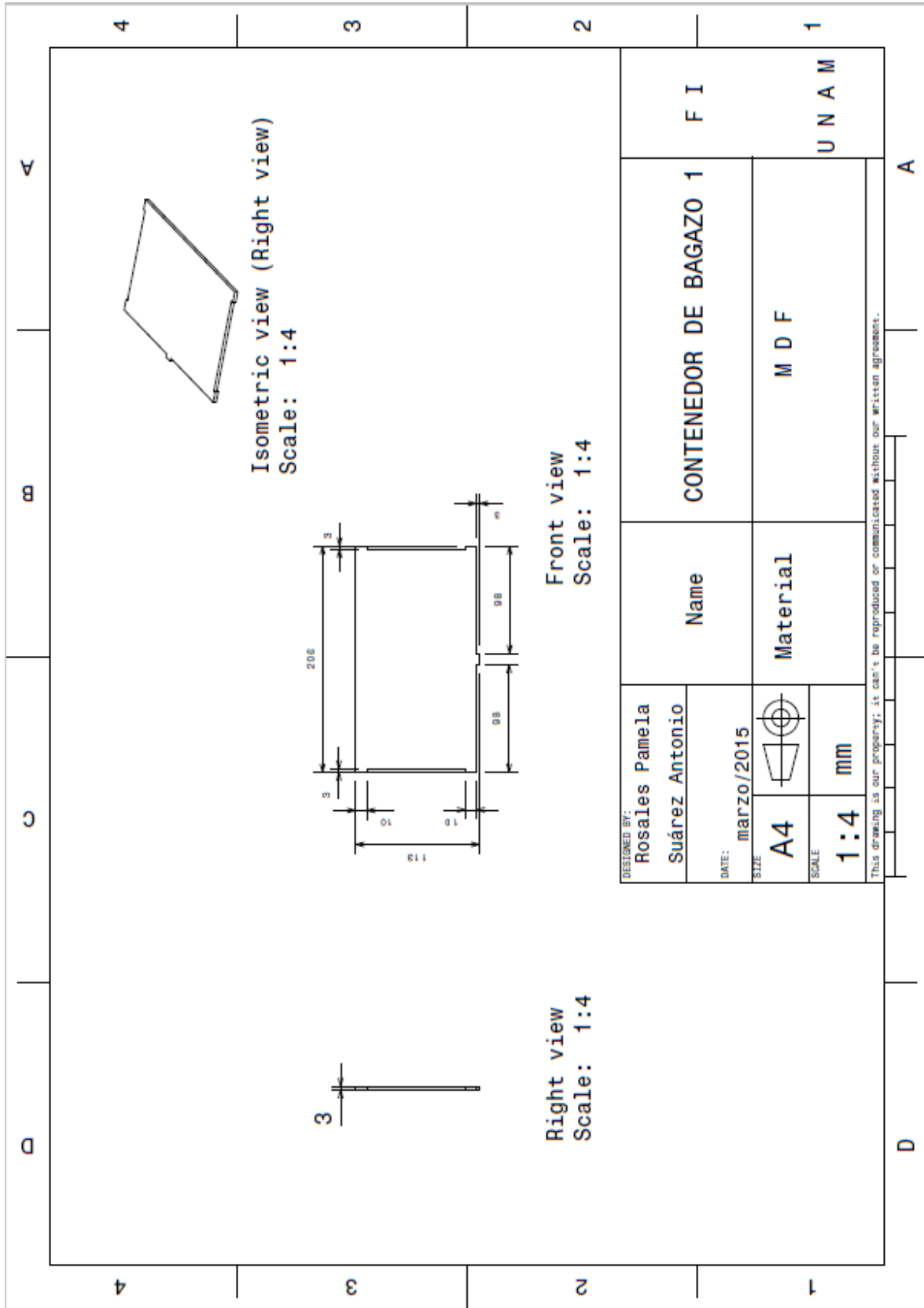


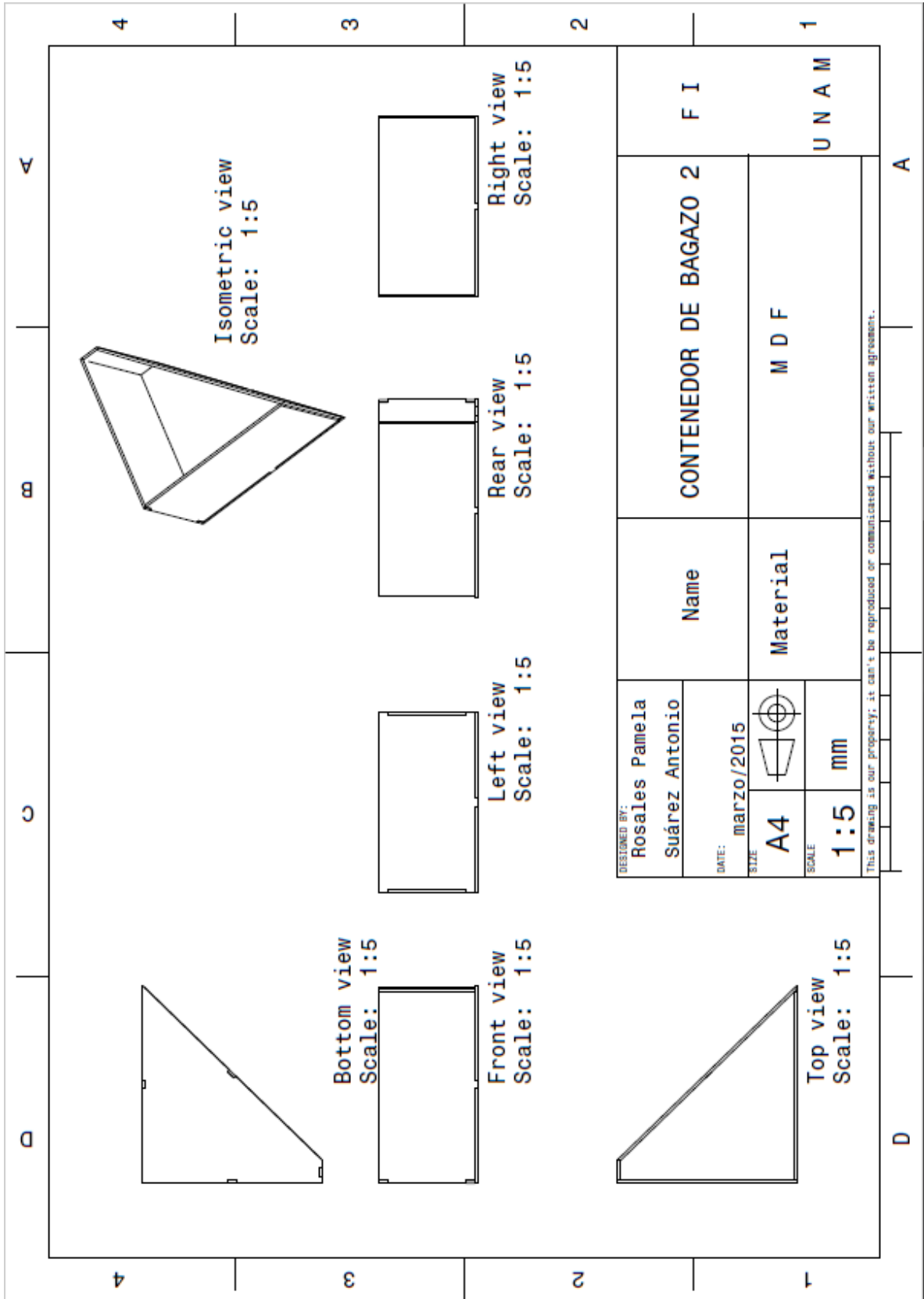


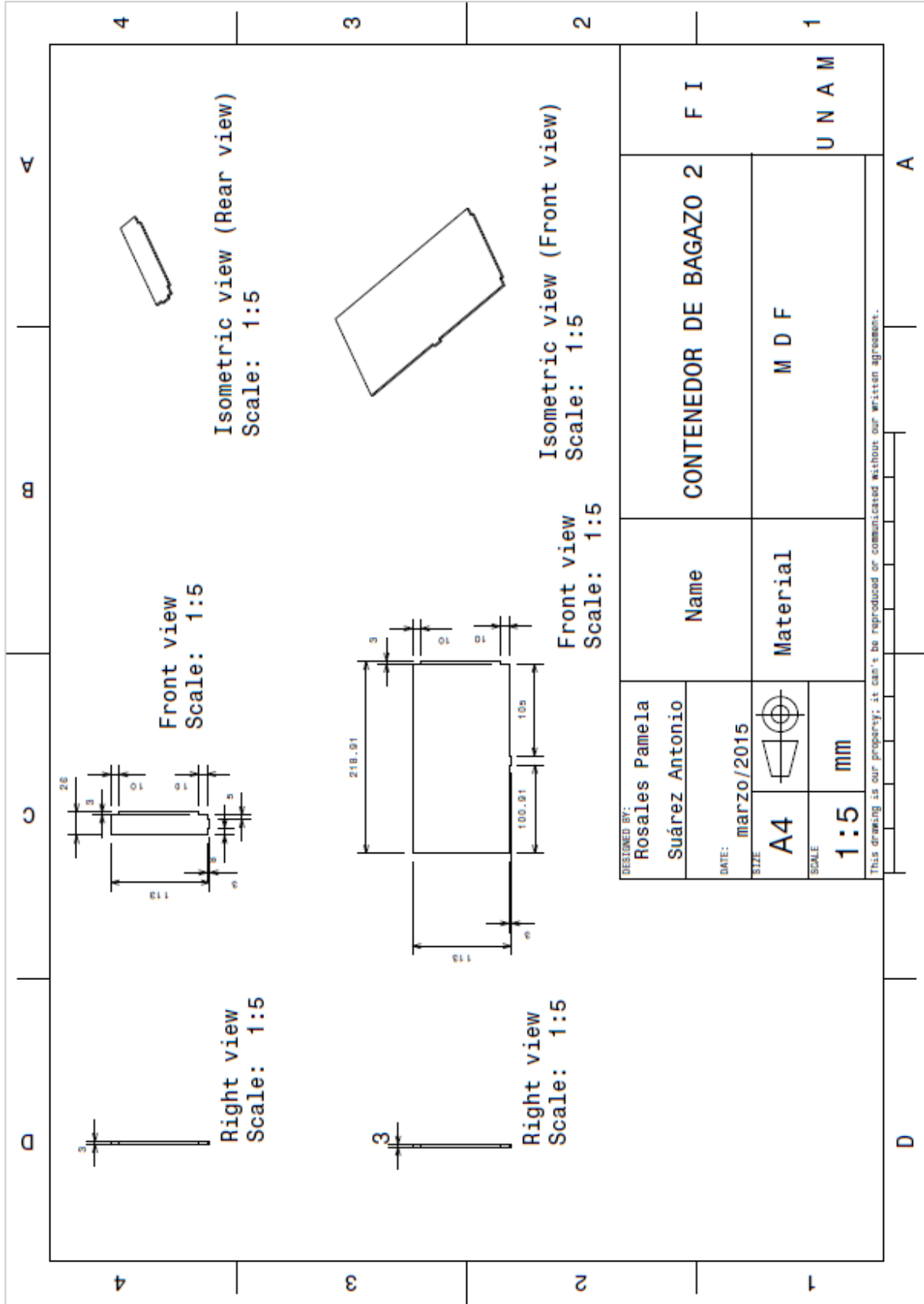


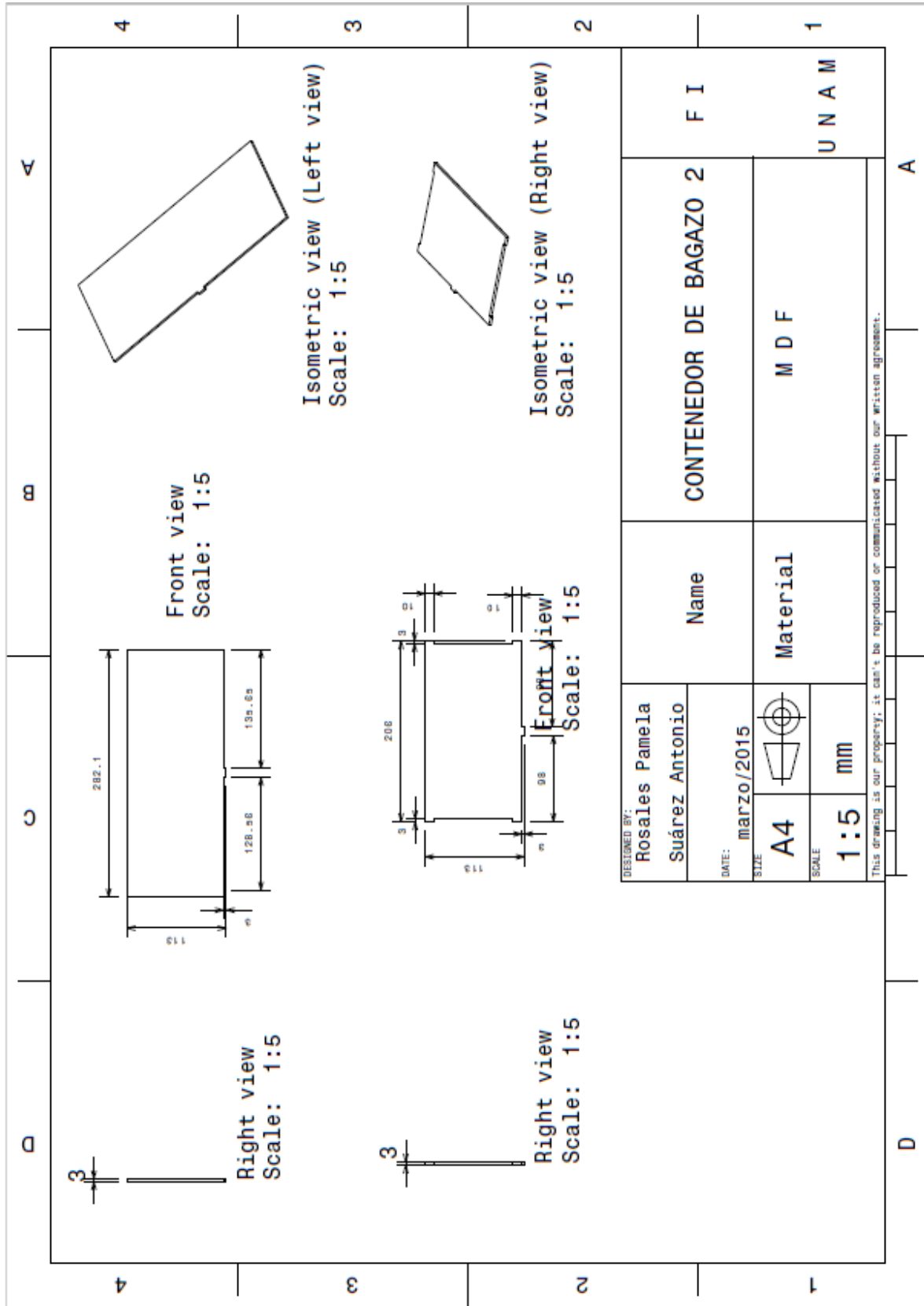




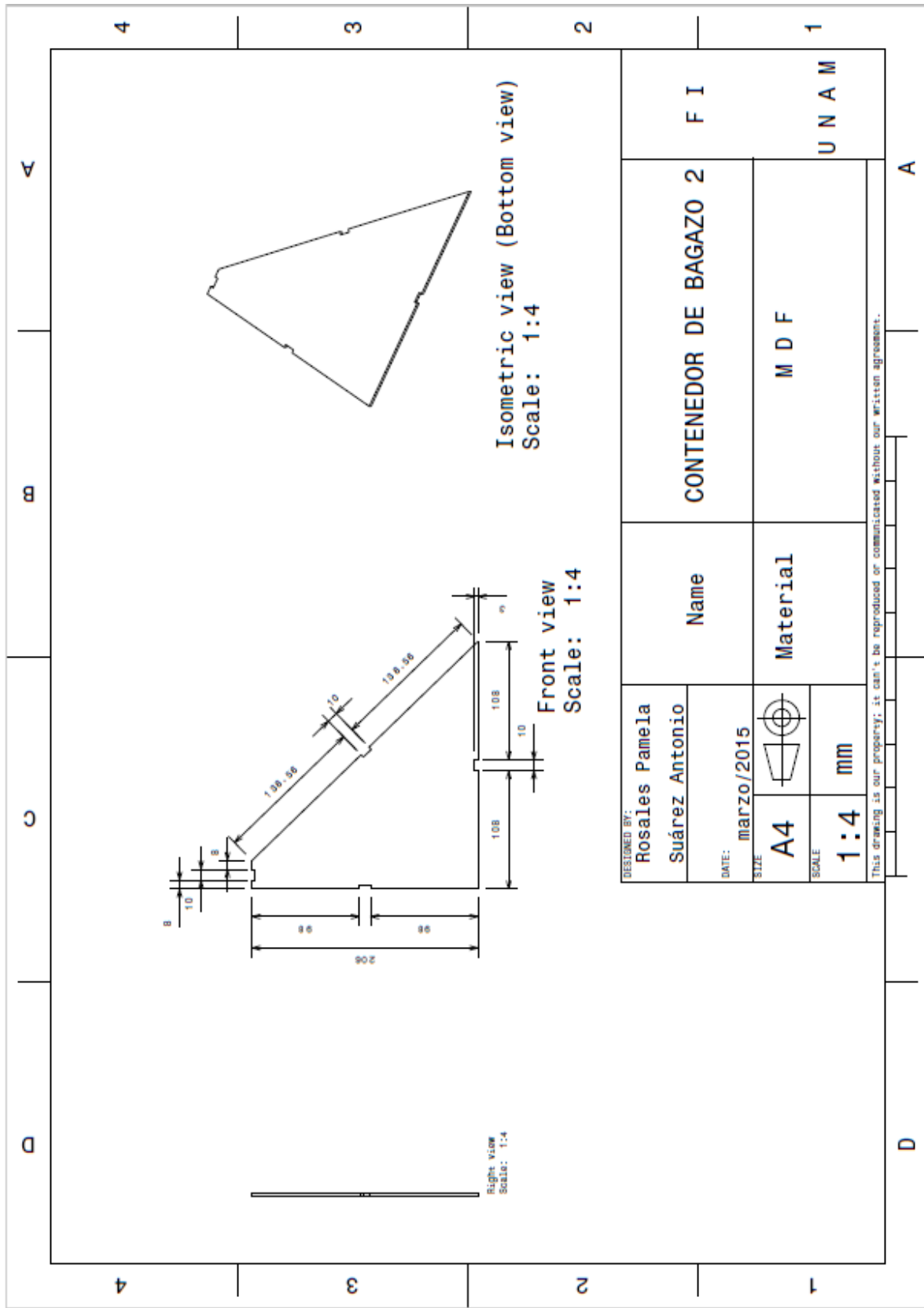


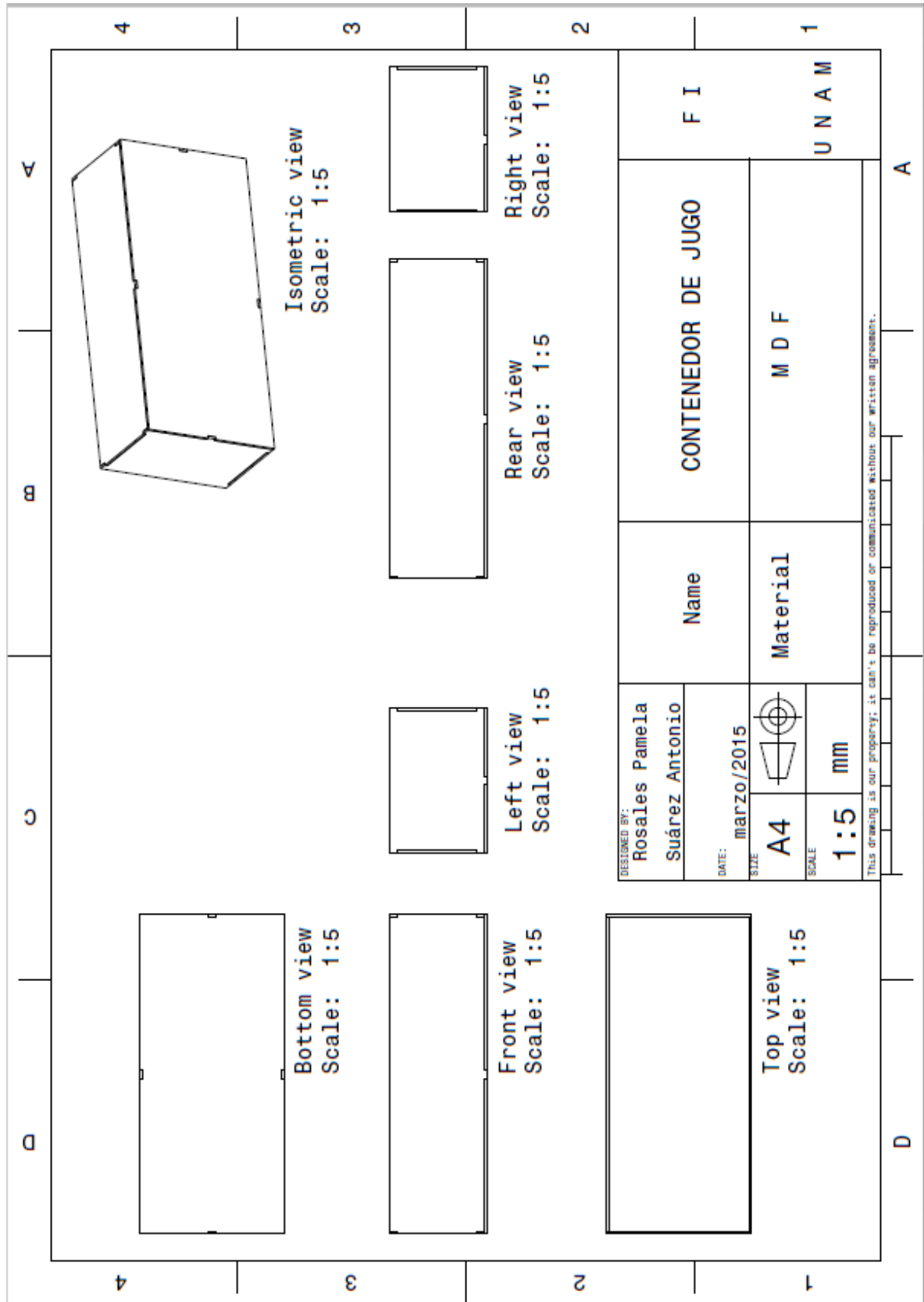


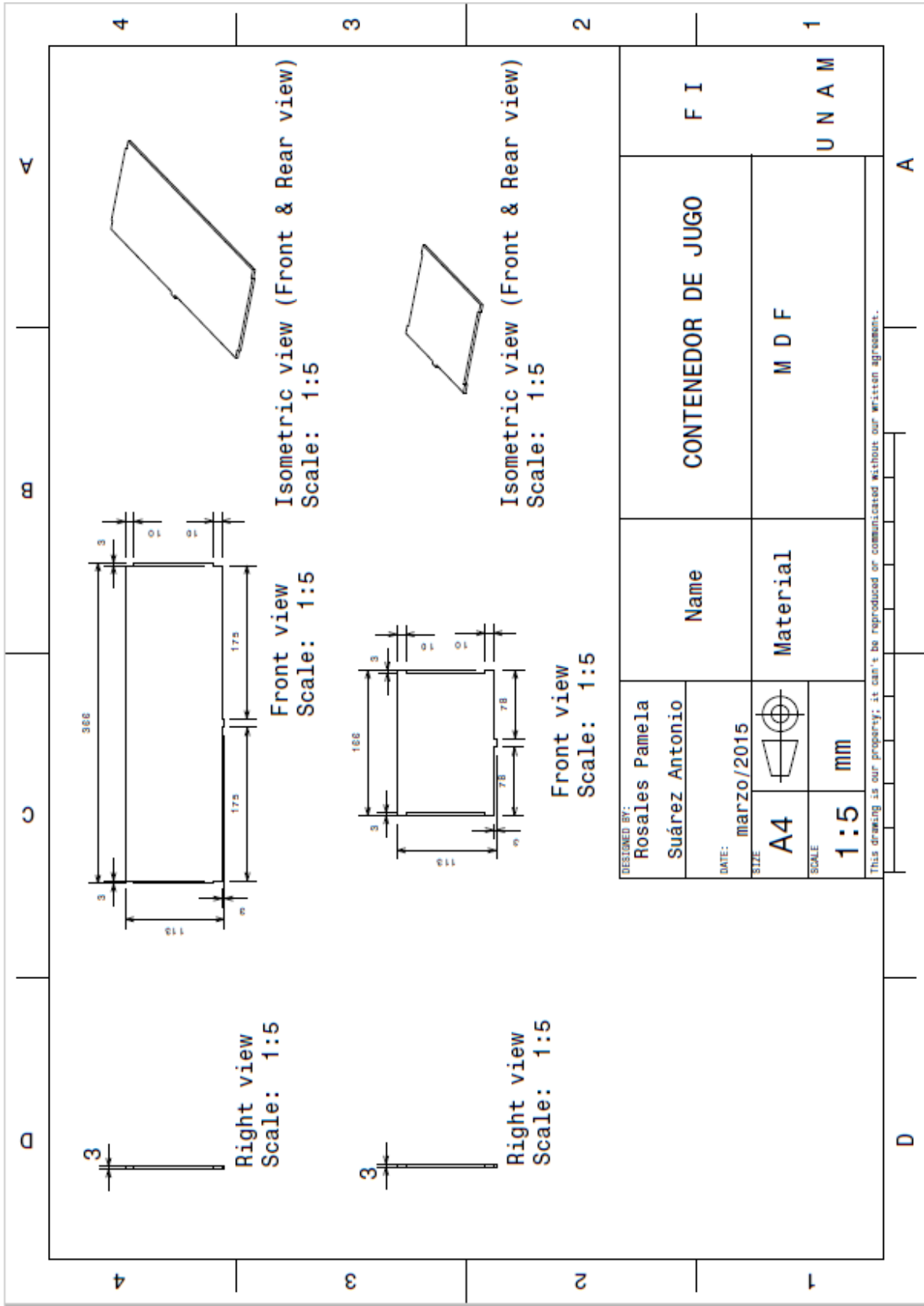


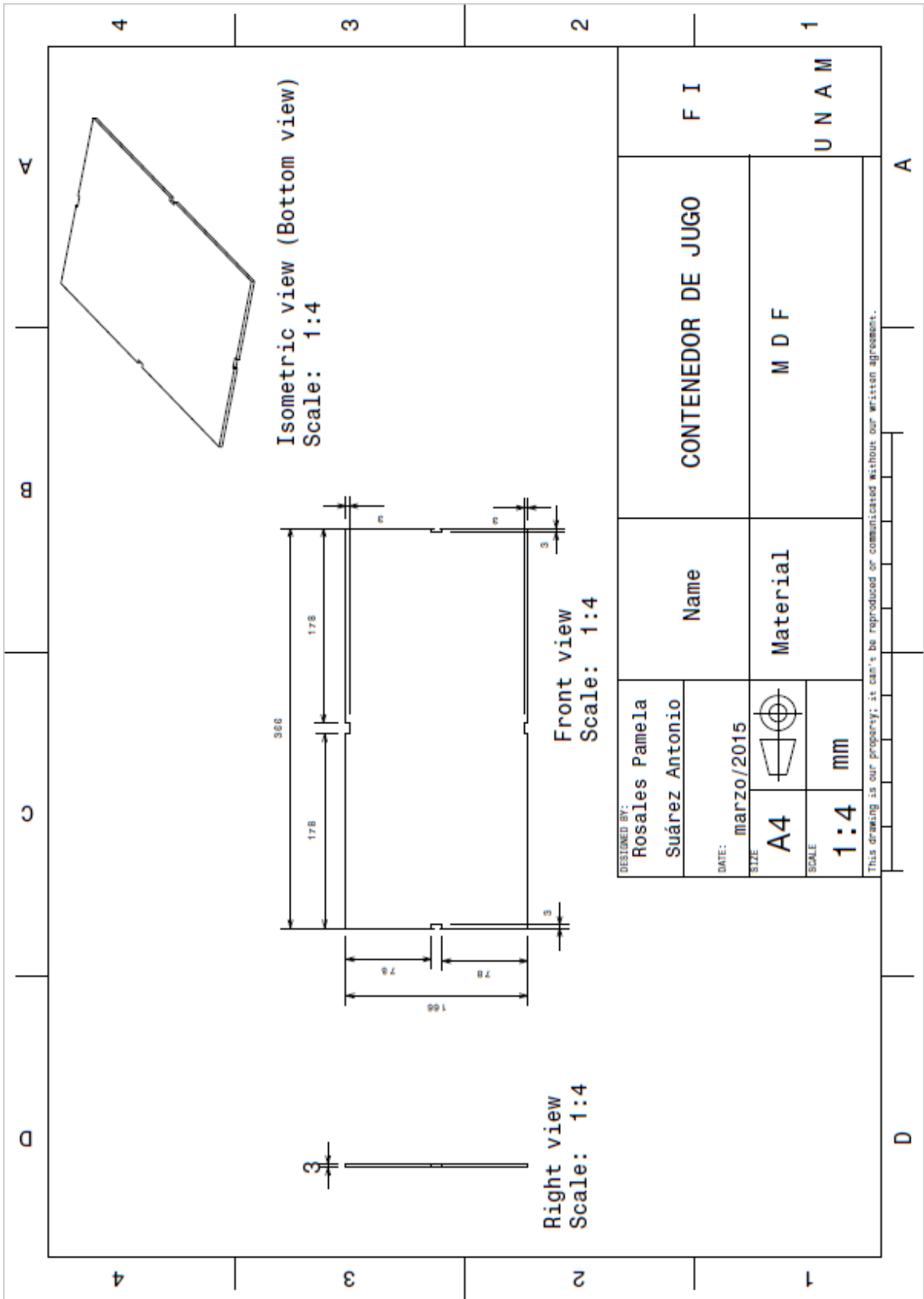






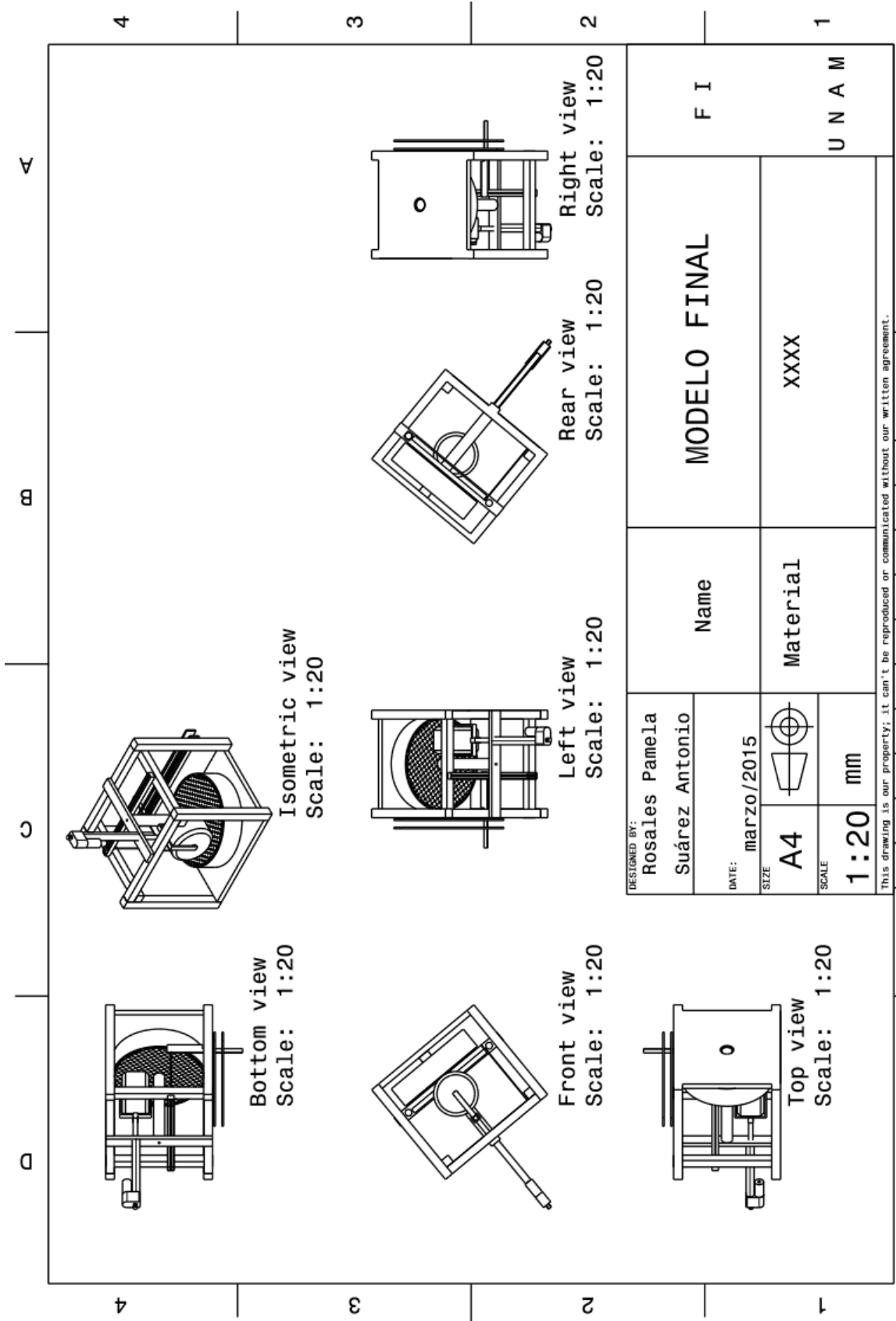






## **ANEXO II Modelo Final**

Plano del modelo final del proceso de trituración, es un modelo aproximado al real.



DESIGNED BY: Rosales Pamela Suárez Antonio		Name		MODELO FINAL		F I	
DATE: marzo/2015	Material		XXXX		U N A M		1
SIZE A4	1:20 mm						
SCALE 1:20							

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

## ANEXO III Programación

### Cabecera del programa

```
#include <16F887.h> //Carga librería de PIC
#FUSES NOWDT, HS //Palabras de configuración
#use delay(clock=20M)
#use rs232(baud=9150,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7)

long A; //ADC posición del piston
int pabajo, parriba; //Banderas ubicación piston
int cp=0; //Piñas
int cv=0; //Vueltas
int clt=0; //Limpieza Acaba
int cm=0; //Protección Arriba
int cs=0; //Piston Arriba
int clc=0; //Limpieza inicia
int ct=0; //Comienzo trituración
int c=0; //Comienzo del proceso
```

### Instrucciones de interrupción

```
#int_RB //Interrupciones
void sensores()
{
    if(input(PIN_B0)) //Piñas
    {
        cp++;
        output_high(PIN_A1);
        delay_ms(500);
        output_low(PIN_A1);
    }

    if(input(PIN_B1)) //Vueltas
    {
        cv++;
    }

    if(input(PIN_B2)) //Limpieza Pasada Regreso Completada
    {
        if(cm==1 & cs==1)
        {
            output_low(PIN_A3);
            delay_ms(500);
            output_high(PIN_A1);
            delay_ms(1000);
            output_low(PIN_A1);
            delay_ms(500);
            output_high(PIN_A2);
            cv=0;
        }
    }

    if(input(PIN_B3)) //Limpieza Pasada Ida Completada
    {
        output_low(PIN_A2);
        output_high(PIN_A3);
        clt++;
    }
}
```

### Instrucciones de configuración e inicialización de variables y salidas digitales

```
void main() //Programa principal
{
    enable_interrupts(INT_RB); //Habilita interrupciones
    enable_interrupts(GLOBAL);
    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_32); //Define que vamos a utilizar un oscilador interno
    pabajo = 0; //Inicia valores en 0
    parriba = 0;
    output_low(PIN_A1); //Inicializa todas las salidas
    output_low(PIN_A2);
    output_low(PIN_A3);
    output_low(PIN_A4);
    output_low(PIN_A5);
    output_low(PIN_C0);
    output_low(PIN_C1);
    output_low(PIN_C2);
    output_low(PIN_C3);
    output_low(PIN_C4);
    output_low(PIN_C5);
    output_low(PIN_C6);
    output_low(PIN_C7);
    output_low(PIN_D4);
    output_low(PIN_D5);
    output_low(PIN_D6);
    output_low(PIN_D7);
    output_low(PIN_E0);
    output_low(PIN_E1);
    output_low(PIN_E2);
}
```

## Programa principal

```

while(true) //Inicio de ciclo
{
  setup_adc_ports(san0); //Elegimos el canal 0
  set_adc_channel(0);
  delay_ms(500);
  A=read_adc();

  if(115<A & A<128) //Condiciones posición de piston
  {
    pabajo=1;
  }
  else if(205<A & A<215)
  {
    parriba=1;
  }
  else
  {
    pabajo=0;
    parriba=0;
  }

  //Inicio del proceso
  if(cp>=4) //Piston abajo
  {
    output_high(PIN_A4);
    output_low(PIN_A5);
    c=1;
    cs=0;
  }

  //Piston abajo
  if(pabajo==1 & c==1)
  {
    cp=0;
    ct++;
    output_low(PIN_A4); //Paro Piston
    delay_ms(200);
    if(ct==1);
    {
      output_high(PIN_A1); //Comienzo de Trituración
    }
  }

  //Fin de trituración
  if(cv>=20 & cs==0)
  {
    output_low(PIN_A1); //Paro del motor principal
    output_high(PIN_A5); //Piston arriba
  }
  if(cv>=20 & cm==0)
  {
    output_high(PIN_D0); //Motores protección
    output_low(PIN_D1);
    output_high(PIN_D2);
    output_low(PIN_D3);
  }

  //Piston arriba
  if(parriba==1)
  {
    output_low(PIN_A5);
    cs=1;
  }

  //Proteccion arriba
  if(input(PIN_B4)&input(PIN_B5)&clt<=2)
  {
    output_low(PIN_D0);
    output_low(PIN_D1);
    output_low(PIN_D2);
    output_low(PIN_D3);
    cm=1;
  }

  //Inicio Limpieza
  if(cm==1 & cs==1)
  {
    clc++;
    cv=0;
    if(clc==1)
    {
      output_low(PIN_A3);
      output_high(PIN_A2);
    }
  }

  //Termino de limpieza
  if(clt>=2)
  {
    cm=0; //Protección Arriba
    cs=0; //Piston Arriba
    output_low(PIN_A2);
    output_high(PIN_A3);
    if(input(PIN_B2))
    {
      output_low(PIN_A3);
      delay_ms(1000);
      output_low(PIN_D0);
      output_high(PIN_D1);
      output_low(PIN_D2);
      output_high(PIN_D3);
      delay_ms(3000);
      output_low(PIN_D1);
      output_low(PIN_D3);
      cp=0; //Reinicio de contadores y banderas
      clt=0;
      clc=0;
      ct=0;
      c=0;
    }
  }
}

```