

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO MECATRÓNICO INDUSTRIAL PARA EL
DESPULPADO DE CACAO**

DANILSON MONTERO JURADO



**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
POPAYÁN
2021**

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO MECATRÓNICO INDUSTRIAL PARA EL
DESPULPADO DE CACAO**



DANILSON MONTERO JURADO

**Trabajo de grado en la modalidad de Investigación para optar al título de
Ingeniero Mecatrónico**

**Director
MSc. JHON ALEXANDER GUERRERO NARVAEZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA COMFACAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
POPAYÁN
2021**

TABLA CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
2 JUSTIFICACIÓN	15
3 OBJETIVOS.....	17
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4 CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE.....	18
4.1 Producción de Cacao Mundial	18
4.2 Producción de Cacao en Latinoamérica	19
4.3 Producción de Cacao en Colombia.	20
4.4 Producción de Cacao en el departamento del Putumayo	22
4.5 Tipo de Maquinaria para el despulpado del Cacao	22
4.6 Despulpadora por rotación	23
4.6.1 Máquina cortadora y despulpadora de Cacao	23
4.6.2 Cortadora y separadora máquina de Cacao.....	25
4.7 Despulpadora por vibración.....	26
4.7.1 Quebradora de Cacao PINHALENSE	26
5 CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	27
5.1 Historia del Cacao	27
5.2 El Cacao	27
5.3 Tipos de Cacao	30
5.3.1 El Cacao criollo o nativo	28
5.3.2 Cacao forastero o amazónico.....	28
5.3.3 Cacao trinitario.....	29

5.4	Proceso de cultivo del Cacao	30
5.4.1	Postcosecha	30
5.4.2	Despulpado	31
5.4.3	Fermentación	32
5.4.4	Secado	33
5.5	Metodología Modelo V - Cuadrante	33
5.5.1	Motor eléctrico	36
5.5.2	Contactador	37
5.5.3	Etapa de Control y Potencia en el Contactador	36
5.5.4	Guarda Motor	37
5.5.5	Pulsadores	38
5.5.6	Pilotos Indicadores	38
5.5.7	Máquina Universal de Ensayos	39
5.5.8	Proceso de Soldadura	40
6	CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA	40
6.1	Determinación del Diseño Propuesto	43
6.1.1	Diseño del Sistema Funcional del Proceso del Despulpado	44
6.1.2	Diseño Conceptual	45
6.1.3	Diseño Funcional	45
6.2	Opciones de Diseño del Sistema de Despulpado	46
6.3	Matriz morfológica	47
6.3.1	Análisis de Opciones	47
6.4	Evaluación de las Funciones	49
6.4.1	Matriz de Ponderación por Aspectos Cualitativos	49
6.5	DISEÑO DEL PROTOTIPO MECATRÓNICO INDUSTRIAL PARA EL DESPULPADO DE CACAO	50
6.5.1	Cajón o Canasta.....	51
6.5.2	Alimentación de Mazorcas de Forma Manual	52
6.5.3	Caracterización del Cacao	52
6.5.4	Prueba de Dureza y Fragmentación	53
6.5.5	Sistema de Corte	58
6.5.6	Discos de Corte.	59
6.5.7	Sistema de Empuje.....	60
6.5.8	Requerimientos del Motor Reductor.	61
6.5.9	Despulpado	62
6.5.10	Marco o Chasis	63
6.5.11	Sistema de Transmisión.....	64
6.6	Ensamblaje de la Despulpadora de Cacao	66
6.6.1	Estudio Mecánico Estático de Esfuerzos y Deformaciones en SOLIDWORKS	66
7	CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	69

7.1	Construcción y Montaje de la Maquina Despulpadora de Cacao	70
7.1.1	Marco	70
7.1.2	Tambor	73
7.1.3	Transmisión de Potencia	74
7.1.4	Mecanismo de Corte	74
7.1.5	Tolva de Alimentación.....	77
7.1.6	Bandeja de Recolección	78
7.1.7	Tablero de Control	78
8	CAPÍTULO 5. VALIDACIÓN DE PROTOTIPO	80
8.1	prueba de Funcionamiento	80
8.1.1	Primer Sistema de Corte	81
8.1.2	Segundo Mecanismo de Corte	82
8.2	Prueba de Despulpado.....	85
8.2.1	Capacidad de Procesamiento.....	87
8.3	ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO MECATRÓNICO INDUSTRIAL PARA EL DESPULPADO DE CACAO	88
8.3.1	Planos Eléctricos.....	89
9	RECOMENDACIONES.....	91
10	CONCLUSIONES.....	92
11	REFERENCIAS	93
12	ANEXOS.....	97
12.1	ANEXOS A.....	97
12.2	ANEXOS B.....	116
12.3	ANEXOS DE PLANOS C	125

Lista de tablas

TABLA 1.	PRODUCCIÓN EN COLOMBIA POR DEPARTAMENTOS [6].	22
TABLA 2.	PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL PUTUMAYO EN EL AÑO 2016 [13]	23
TABLA 3.	CONTROL DE CALIDAD DEL PROCESO DE CORTE Y DESPULPADO [15].	24
TABLA 4.	TIEMPO DE PROCESADO DE 350 MAZORCAS DE CACAO [15].	24
TABLA 5.	CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADA DE CACAO [15].	25
TABLA 6.	DIMENSIONES Y CAPACIDAD DE LA QUEBRADORA DE CACAO [12]	27
TABLA 7.	MATRIZ MORFOLÓGICA [ELABORACIÓN PROPIA].	49
TABLA 8.	MATRIZ DE PONDERACIÓN [ELABORACIÓN PROPIA].	51
TABLA 9.	CARACTERIZACIÓN DE LAS MAZORCAS DEL CACAO [ELABORACIÓN PROPIA].	58
TABLA 10.	DIMENSIONES DE CADENA [62].	64
TABLA 11.	DIMENSIONES DE PIÑÓN [62].	64
TABLA 12.	PARTES REQUERIDAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO [ELABORACIÓN PROPIA]	69
TABLA 13.	ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO [ELABORACIÓN PROPIA].	86

Lista de figuras

FIGURA 1.	EXPORTADORES DE DERIVADOS DE CACAO	18
FIGURA 2.	PAÍSES EXPORTADORES DE CACAO	19
FIGURA 3.	PRODUCCIÓN DE CACAO EN LATINOAMÉRICA	20
FIGURA 4.	MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO	24
FIGURA 5.	CORTADORA Y SEPARADORA MÁQUINA DE CACAO	25
FIGURA 6.	SISTEMA DE CORTE POR DISCOS	25
FIGURA 7.	MÁQUINA QUEBRADORA DE CACAO PINHALENSE	26
FIGURA 8.	CACAO CRIOLLO	28
FIGURA 9.	CACAO FORASTERO	29
FIGURA 10.	TIPOS DE CACAO	30
FIGURA 11.	COSECHA CON TIJERA	31
FIGURA 12.	DESPULPADO CON MACHETE	32
FIGURA 13.	FERMENTACIÓN EN CAJÓN	32
FIGURA 14.	SISTEMA DE SECADO	33
FIGURA 15.	METODOLOGÍA MODELO V - CUADRANTE	34
FIGURA 16.	MOTOR ELÉCTRICO	35
FIGURA 17.	EL CONTACTOR	36
FIGURA 18.	ESQUEMAS DE CONTROL Y POTENCIA.....	37

FIGURA 19.	GUARDA MOTOR	40
FIGURA 20.	PULSADOR	38
FIGURA 21.	PILOTO INDICADOR	39
FIGURA 22.	MÁQUINA DE ENSAYOS	40
FIGURA 23.	PROCESO DE SOLDADURA	41
FIGURA 24.	PROCESO DE DESPULPADO	44
FIGURA 25.	FUNCIONES DE LA MÁQUINA	45
FIGURA 26.	DIAGRAMA DE TAREAS	46
FIGURA 27.	TOLVA DE ALIMENTACIÓN	51
FIGURA 28.	CANASTA DE ALMACENAMIENTO	51
FIGURA 29.	POSICIONAMIENTO DE MAZORCA	52
FIGURA 30.	CORTE DE CACAO.....	53
FIGURA 31.	MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS	54
FIGURA 32.	CORTE DE CACAO.....	54
FIGURA 33.	RESULTADOS DEL CORTE 1 DEL CACAO	55
FIGURA 34.	RESULTADOS DEL CORTE 2 DEL CACAO.....	55
FIGURA 35.	RESULTADOS DEL CORTE 3 DEL CACAO	56
FIGURA 36.	LONGITUD DEL FRUTO DEL CACAO	56
FIGURA 37.	DIÁMETRO DEL FRUTO DEL CACAO	57

FIGURA 38.	PESO DEL FRUTO DE CACAO.....	57
FIGURA 39.	AMORTIGUADOR DE CORTE.....	59
FIGURA 40.	DISCOS DE CORTE	59
FIGURA 41.	ENSAMBLE DE DISCOS DE CORTE	60
FIGURA 42.	MECANISMO DE CORTE	60
FIGURA 43.	SISTEMA DE EMPUJE.....	61
FIGURA 44.	TAMBOR DE DESPULPADO.....	63
FIGURA 45.	MARCO DE LA DESPULPADORA.....	63
FIGURA 46.	SISTEMA DE TRASMISIÓN DE POTENCIA MECÁNICA.	65
FIGURA 47.	DISEÑO DE LA DESPULPADORA DE CACAO.....	66
FIGURA 48.	ESTUDIO DE TENSIÓN.....	67
FIGURA 49.	ESTUDIO DE DESPLAZAMIENTO.....	68
FIGURA 50.	ESTUDIO DE DEFORMACIÓN	69
FIGURA 51.	VISTA ISOMÉTRICA DEL MARCO.....	71
FIGURA 52.	UNIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	72
FIGURA 53.	VERIFICACIÓN DE MEDIDAS	72
FIGURA 54.	TAMBOR DESPULPADOR	73
FIGURA 55.	TRASMISIÓN.....	74
FIGURA 56.	VISTA ISOMÉTRICA DEL DISCO DE CORTE.....	75

FIGURA 57.	SISTEMA DE CORTE	76
FIGURA 58.	VISTA ISOMÉTRICA DE TOLVA DE ALIMENTACIÓN.....	77
FIGURA 59.	TOLVA DE ALIMENTACIÓN	78
FIGURA 60.	BANDEJA RECOLECTORA	79
FIGURA 61.	TABLERO DE CONTROL.....	80
FIGURA 62.	SISTEMA DE CORTE	81
FIGURA 63.	PRUEBA DE CORTE	82
FIGURA 64.	CORTE CRITICO.....	83
FIGURA 65.	SEGUNDA MUESTRA DE CORTE.....	84
FIGURA 66.	TERCERA PRUEBA DE CORTE	84
FIGURA 67.	RESULTADOS DE CORTE DE MAZORCAS	85
FIGURA 68.	TAMBOR DESPULPADOR	84
FIGURA 69.	EFICIENCIA DE DESPULPADO	87
FIGURA 70.	CAPACIDAD DE PROCESAMIENTO	88
FIGURA 71.	PLANOS ELÉCTRICOS	90

Lista de ecuaciones

Ecuación 1.	Potencia.....	61
Ecuación 2.	Velocidad.....	62
Ecuación 3.	Potencia.....	62
Ecuación 4.	Calculo de eslabones.....	65
Ecuación 5.	Perímetro de la circunferencia.....	72
Ecuación 6.	Potencia.....	86

Lista de figuras en anexos

FIGURA A.	ENCUESTA.....	94
FIGURA B.	ENCUESTA.....	95
FIGURA C.	ENCUESTA.....	100
FIGURA D.	ENCUESTA.....	101
FIGURA E.	ENCUESTA.....	102
FIGURA F.	ENCUESTA.....	103
FIGURA G.	ENCUESTA.....	104
FIGURA H.	ENCUESTA.....	105
FIGURA I.	ENCUESTA.....	106
FIGURA J.	ENCUESTA.....	107
FIGURA K.	ENCUESTA.....	108

FIGURA L.	ENCUESTA	109
FIGURA M.	ENCUESTA	110
FIGURA N.	ENCUESTA	111
FIGURA O.	ENCUESTA	112
FIGURA P.	ENCUESTA	113
FIGURA Q.	ENCUESTA	114
FIGURA R.	ENCUESTA	115
FIGURA S.	REUNIÓN DE CONTEXTUALIZACIÓN	116
FIGURA T.	PRESENTACIÓN DE MAQUINARIA EXISTENTE	117
FIGURA U.	EVALUACIÓN DE FUNCIONES	118
FIGURA V.	EVALUACIÓN DE FUNCIONES	119
FIGURA W.	EVALUACIÓN DE FUNCIONES.	120
FIGURA X.	EVALUACIÓN DE FUNCIONES	121
FIGURA Y.	EVALUACIÓN DE FUNCIONES.	122
FIGURA Z.	EVALUACIÓN DE FUNCIONES	123
FIGURA AA.	REUNIÓN DE SOCIALIZACIÓN DE DISEÑO.	124
FIGURA 1.	BANDEJA.....	125
FIGURA 2.	CARCASA DEL MOTORA.....	126
FIGURA 3.	CUCHILLAS DE CORTE.	127

FIGURA 4. MARCO	128
FIGURA 5. PASADOR BALINERA.....	129
FIGURA 6. PASADOR PARA EL EJE DEL MOTOR.....	130
FIGURA 7. EJE PARA BALINERA	131
FIGURA 8. EJE PARA CUCHILLA.....	132
FIGURA 9. SOPORTE DE BALINERAS.....	133
FIGURA 10. TOLVA DE ALIMENTACIÓN.....	134
FIGURA 11. TENSOR DE CADENA.....	135
FIGURA 12. SOPORTE PARA EL PISTÓN.....	136
FIGURA 13. SOPORTE PARA PISTÓN	137

INTRODUCCIÓN

La tecnología en el sector agrícola ha incursionado en beneficio de los agricultores mejorando la producción, optimizando el trabajo y generando un impacto positivo en la calidad de vida de los trabajadores de la agroindustria, lo cual ha permitido que la agricultura evolucione a la tecnificación y automatización de los cultivos, pasando de una producción agrícola tradicional a una producción agrícola moderna o industrial;[1] y es en esta última, en donde la producción agrícola tecnificada y/o automatizada, se posiciona como una solución para competir en mercados internacionales, permitiendo incrementar la producción y eficiencia en los procesos de abastecimiento y transformación de materia prima.

Los cultivos se han ido posicionando en el mercado dependiendo de su utilidad; en el caso del Cacao, se ha incrementado por su alta implementación y su variedad de uso. La industria Cacaotera en Colombia, tiene como objetivo la producción de Cacao de alta calidad tipo exportación; para lograrlo, es necesario considerar el componente agroindustrial en sus factores de postcosecha, fermentación, secado y extracción de la pulpa, siendo este último el procedimiento base para la obtención del Cacao de alta calidad.

El presente proyecto está enmarcado en una investigación aplicada en el factor de extracción de pulpa del Cacao, mediante el desarrollo de un prototipo mecatrónico funcional, adaptado a las necesidades del sector Cacaotero del departamento del Putumayo, buscando implementar una solución ingenieril basada la metodología de diseño Modelo V – Cuadrante de diseño mecatrónico desde los componentes de diseño CAD, la instrumentación industrial y el control industrial para el despulpado del Cacao. Finalmente, para la validación del prototipo, se considera como caso de estudio la asociación ASOPROCAF&VG conformada por la comunidad de productores del Valle del Guamuez, dedicados a la producción de Cacao de forma tradicional, manual y venta directa a la empresa Casa Luker®, con proyección de exportación.

1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los productores de ASOPROCAF&VG, realizan diferentes procedimientos que requiere el cacao para el procesamiento del fruto de forma tradicional y manual, la producción se ve afectada en el desempeño, calidad y costos de producción, debido a la carencia de herramientas tecnológicas o maquinaria que ayuden a obtener la almendra principal para la industria cacaotera, además, el procedimiento manual expone la vida e integridad física del cultivador y puede llevar a la pérdida de las extremidades superiores.

Los cacaoteros de la asociación ASOPROCAF&VG con el fin de cumplir con la gran demanda de cacao, han optado por iniciar una búsqueda de maquinaria adaptada a la región que tecnifique los procesos de despulpado y producción del chocolate, encontrando en la actualidad maquinaria internacional diseñada para grandes productores con altos costos de adquisición, dejando a un lado las necesidades de los pequeños productores de cacao, por la descontextualización del entorno de producción, geografía de la región y altos costos de compra, propiciando el escenario para el desarrollo de un prototipo mecatrónico industrial para el despulpado del cacao, adaptado a las necesidades del agricultor del municipio del Valle del Guamuez del departamento del Putumayo.

De acuerdo con el contexto anteriormente descrito, surge el interrogante de investigación aplicada ¿Cómo desarrollar un prototipo industrial para tecnificar el proceso de la extracción tradicional de la almendra del cacao para pequeños productores de cacao del municipio Valle del Guamuez?

2 JUSTIFICACIÓN

En la agricultura, el riesgo laboral se presenta con frecuencia debido a los ambientes de trabajo que se enfrentan, por ejemplo: trabajo al aire libre sujeto a variaciones climáticas, ejecución manual de algunas tareas con intensa carga física y en posturas incómodas, Irregularidad de las jornadas y uso de productos químicos (fitosanitarios y fertilizantes) entre otros [2].

Los riesgos laborales en el 2019 se presentaron 63.508 accidentes de trabajo y 1.271 enfermedades laborales y murieron 34 trabajadores por causas asociadas al trabajo y en el 2020 en el primer semestre del año presentan 27.000 accidentes con una tasa del 6.75% y un total de 14 trabajadores fallecidos [3].

La producción de cacao, no es ajena a esta situación y tiene diferentes procedimientos peligrosos; uno de ellos es el despulpado, el cual, se realiza de forma manual. Existen diferentes formas de realizar esta actividad, la más común y de mayor rendimiento es usar un machete, hacer el corte a lo largo de la mazorca y extraer los granos. Para realizar este trabajo se requiere de mucho cuidado y práctica a fin de no excederse y cortar las almendras que se encuentran muy cerca a la cáscara y si se lastiman ocasionan pérdidas debido que al exponerse aparece moho que afecta la producción. Esta tarea requiere de mucho tiempo y mano de obra para obtener una cantidad considerable en el día y continuar con la fermentación, procedimiento que no puede ser interrumpido una vez se inicie.

Actualmente, en el departamento de Putumayo, no hay suficiente mano de obra, debido a que todo el personal no es apto para realizar este procedimiento de alto riesgo y mucho más en los entornos que se realiza donde las personas están expuestas a las perturbaciones de la naturaleza como insectos, animales peligrosos, posiciones inapropiadas y accidentes donde se puede ver comprometida algunas de sus extremidades.

De acuerdo a lo anterior, el sector cacaotero busca implementar tecnología para mejorar la vida del agricultor protegiendo su integridad e incrementar los niveles de producción y sus ganancias, por consiguiente, se plantea el desarrollo de un prototipo despulpador de cacao capaz de realizar la extracción de la pulpa de forma eficiente, aumentando la productividad diaria y disminuir los daños en la almendra por una mala práctica en el despulpado que conlleva a la pérdida de calidad del producto.

El prototipo despulpador de cacao pretende mejorar la práctica del despulpado manual ayudando a los cacaoteros de la asociación ASOPROCAF&GV a que produzcan un cacao de mayor calidad a un menor costo con una proyección a la exportación de cacao de calidad.

En el diseño de la despulpadora de cacao, se tiene en cuenta las máquinas existentes en la mega industria y que no cumplen con las necesidades del pequeño

productor. Para diseñar el prototipo se toma en cuenta inicialmente la opinión y conocimiento de los pequeños productores para desarrollar una máquina que sea de fácil manipulación, fácil transporte y acceso a diferentes zonas y a un costo asequible.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo industrial para el proceso de despulpado del Cacao dirigido a pequeños productores, tomando como caso de estudio la asociación ASOPROCAF&VG del Valle del Guamuez.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar los componentes hardware y software del prototipo industrial para el despulpado del Cacao.
- Implementar los módulos hardware y software diseñados para el prototipo industrial para el despulpado del Cacao.
- Validar el prototipo industrial para el despulpado del Cacao en una empresa Cacaotera de la asociación ASOPROCAF&VG del Valle del Guamuez.

4 CAPÍTULO 1. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se despliega una revisión sistemática de temas y conceptos como la producción mundial del Cacao y de sus derivados a nivel mundial, Latinoamérica y regional [4], acorde a los últimos informes de producción y exportación de Cacao; principalmente, se describe el historial de producción del departamento del Putumayo en los últimos 7 años y se contempla la vigilancia tecnológica de maquinaria para la producción del Cacao, específicamente en el proceso del despulpado.

4.1 PRODUCCIÓN DE CACAO MUNDIAL

El Cacao se ha posicionado en el mercado por su gran variedad de usos y su demanda mundial ha impulsado a los agricultores a realizar plantaciones; para el periodo 2017, se exportaron USD 16.391 millones por derivados de Cacao, como se muestra en la figura 1; [5].



Figura 1. Exportadores de derivados de Cacao [5].

En el comercio, el Cacao ha tenido una gran acogida tanto en países productores como consumidores, debido a la variedad de derivados que se obtienen a partir del grano; por esta razón, la producción mundial de grano de Cacao en el periodo 2018-2019 fue de 4.834.000 toneladas, liderado por África con un 77%, América con un 17%, Asia y Oceanía con un 6% [5]; los principales países exportadores de Cacao durante el año 2016-2017 se ilustran en la figura 2.

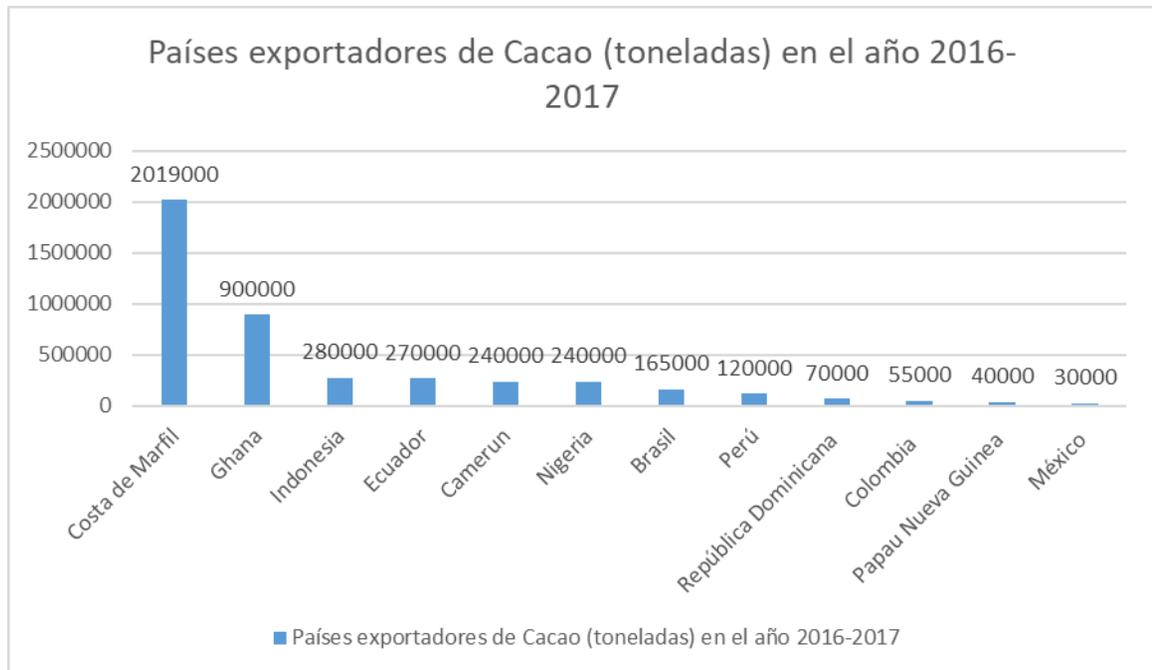


Figura 2. Países exportadores de Cacao [4].

4.2 PRODUCCIÓN DE CACAO EN LATINOAMÉRICA

En los países de Latinoamérica la producción de Cacao tiene un amplio mercado de exportación debido a su gran variedad genética. Ecuador lidera la producción con 289.102 toneladas métricas, además de ser uno de los países con mejor Cacao fino de aroma durante el año 2017, como se observa en la figura 3; [6].

4.3 PRODUCCIÓN DE CACAO EN COLOMBIA

A raíz de la gran demanda por el grano del Cacao tipo exportación, se ha incrementado la producción de cultivos de esta materia prima, según el último reporte de la Federación Nacional de Cacaoteros, Colombia pasó de producir 37.719 toneladas de Cacao en el año 2008 a producir 55.929 toneladas en año 2015-2016. El incremento a la producción se debe a el apoyo en nueva siembras y renovación de nuevos cultivos [6].

En la producción de Cacao en Colombia participan aproximadamente 65.341 familias, en 422 municipios productores de 27 departamentos, con un área de 188.000 hectáreas (preliminares) en el año 2020 [7].

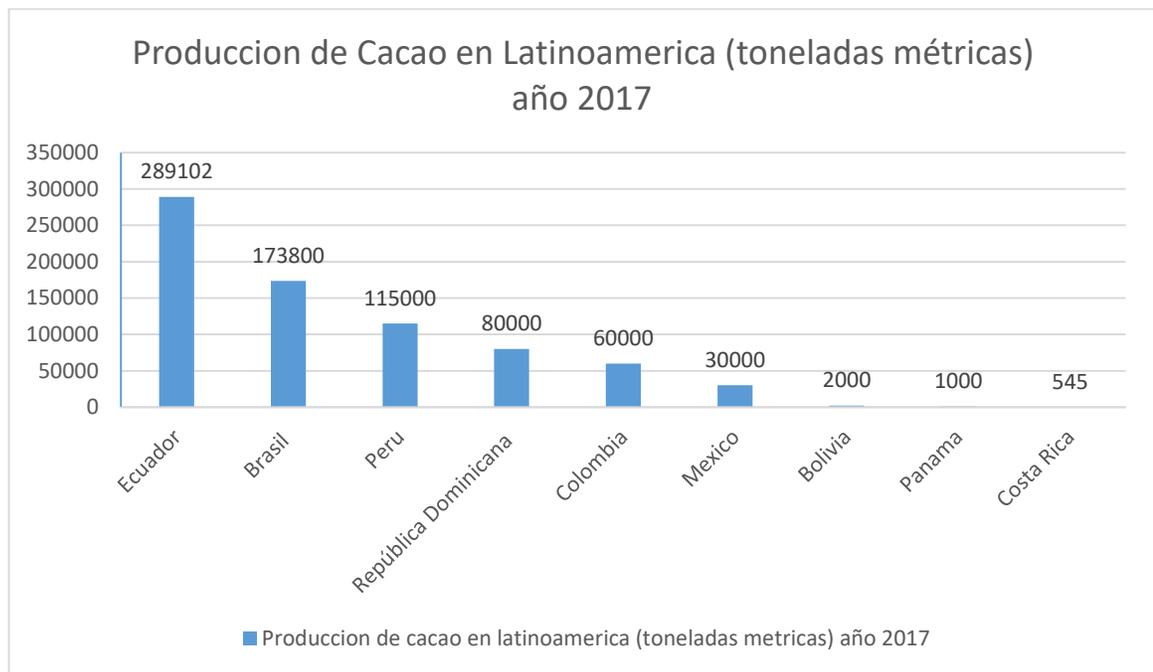


Figura 3. Producción de Cacao en Latinoamérica [8]

En la historia de producción del Cacao en Colombia, los últimos 10 años muestran el impactante incremento de cultivos en algunos departamentos, como lo muestra la tabla 1; [6].

Tabla 1. Producción en Colombia por departamentos [6].

Histórico de producción por departamentos (toneladas)											
Dpt	Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Santander		16165	16225	19517	19085	22424	22117	23042	23574	25518	26135
Antioquia		2537	3377	3478	3553	4391	5285	5407	4905	5259	5974
Arauca		6495	4501	4532	5448	5629	6398	5037	4478	4546	5082
Tolima		1569	1986	3054	2515	3547	3527	4590	4108	3928	4312
Huila		2172	3708	3166	3301	3787	4159	4822	4466	4051	4197
Nariño		2289	2882	2711	2763	2876	2059	2871	3376	3285	2980
Cundinamarca		630	944	1477	1573	1604	2141	2115	1504	2211	2127
Meta		199	1023	1155	1486	1592	1843	2071	1610	2134	1949
N. Santander		1002	2153	1779	1428	1814	1656	1786	1101	1512	1606
Cesar		729	914	1178	1243	1046	1169	1734	1902	1531	1543
Caldas		166	287	561	421	452	820	1016	967	1065	1343
Boyacá		563	446	810	683	1030	1021	974	867	1191	1280
Putumayo		437	330	503	590	868	1004	1188	998	869	1133
Córdoba		221	249	358	437	485	659	457	401	710	791
Bolívar		197	307	420	349	448	373	409	724	463	505
Cauca		287	373	310	414	450	583	595	732	454	485
Caquetá		145	149	149	207	113	106	177	114	350	447
Quindío		0	0	4	9	46	60	74	167	230	339
V. Cauca		913	725	527	953	558	690	505	427	277	339
Magdalena		181	230	186	162	200	366	420	138	170	233
Choco		24	212	322	385	332	454	605	162	134	133
Guaviare		14	58	0	83	146	155	287	64	83	103
Casanare		12	82	151	247	253	56	264	44	53	89
Risaralda		256	508	308	394	701	64	78	28	53	79
Vichada		0	0	0	0	2	3	6	6	14	14
Atlántico		0	0	0	0	1	1	0	0	0.5	10
Sucre		0	0	1	1	0	6	3	3	2	4
Guajira		0	1	5	2	2	7	1	0	4	3
Amazonas		0	0	0	0	0	2	0	0	0.4	1
Guainía		0	0	77	0	1	0	0	1	0.2	0
Total		37202	41670	46739	47732	54798	56785	60535	56867	59740	63416

4.4 PRODUCCIÓN DE CACAO EN EL DEPARTAMENTO DEL PUTUMAYO

El departamento de Putumayo, aunque no es líder en producción del Cacao, pasó de tener una baja producción de 10 toneladas en el año 2009 a 998 toneladas en el 2018 [9]; se espera que este ritmo de producción continúe incrementando, debido a las medidas adoptadas por el gobierno en la mitigación y erradicación de cultivos ilícitos, brindando apoyo para la sustitución de cultivos ilegales [10], posicionando en la región a los productores de Cacao de pequeños y grandes cultivos, en asociaciones orientadas a la mejora del cultivo y del proceso de producción encaminado a la exportación de esta materia prima. Complementariamente, las directrices del municipio Valle del Guamuez prestan servicios de asistencia técnica para el sostenimiento de las plantaciones de Cacao, además de generar inversión para realizar nuevas siembras; estas acciones conllevaron a establecer 312 nuevas hectáreas de Cacao certificado en el periodo 2012-2015 con una inversión de \$ 1.945.000.000 pesos [11], propiciando la formalización de nuevas instituciones y asociaciones en el municipio como ASOPROCAF&VG - Asociación de Productores de Cacao de la Florida [12]. Entre los municipios productores de Cacao del Putumayo, el Valle del Guamuez se encuentra entre los primeros, como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2. Producción de Cacao en el putumayo en el año 2016 [13]

Municipio	Área sembrada (ha)	Área cosechada (ha)	Producción (ton)
San Miguel	2130	2080	832
Valle del Guamuez	1126	994	497
Orito	318	300	150
Puerto Leguizamo	262	242	48
Puerto asís	259	219	110
Mocoa	200	150	75
Puerto Guzmán	100	50	20
Villa Garzón	67	47	24
Puerto Caicedo	18	13	5
Total	4480	4095	1760

4.5 TIPO DE MAQUINARIA PARA EL DESPULPADO DEL CACAO

La automatización y desarrollo de maquinaria agrícola, ha logrado que la producción nacional e internacional se incremente, de tal manera que las empresas industriales se inclinan a producir máquinas con fines agrícolas; específicamente, se encuentra oferta de maquinaria para el despulpado de Cacao de alto nivel de producción, destacándose la empresa brasileña PINHALENSE, que ensambla una máquina

quebradora de Cacao con capacidad de abrir frutos de diferentes tamaños, no daña la almendra y funciona en flujo continuo, procesando hasta 1200 kg/h de almendra húmeda. Para su funcionamiento se requiere que la máquina se encuentre previamente instalada, lo cual es una desventaja [14]. La “despulpadora de Cacao” de origen peruano, es construida por la empresa Agro visión, cuya capacidad de trabajo equivale a realizar en 30 minutos, la producción de un hombre en el día y de forma más segura [15]. La empresa brasileña EVERMARK construyó la máquina “Cortadora y separadora máquina de Cacao” evaluada en \$ 73.891.377,85 pesos [16].

4.6 DESPULPADORA POR ROTACIÓN

4.6.1 Máquina cortadora y despulpadora de Cacao

Esta máquina fue diseñada y construida en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería Mecánica, como trabajo de Titulación de Ingeniero Mecánico orientado a la mejora de la productividad del agricultor en pequeñas y medianas plantaciones de Cacao, con una capacidad mínima de 2400 mazorcas/hora [17]. Los resultados de este trabajo se muestran en las tablas 3 y 4.

Tabla 3. Control de calidad del proceso de corte y despulpado [15].

Semillas Cacao	Peso (kg)	Porcentaje (%)
En buen estado	59.41	98.51
Sufrieron daño	0.9	1.49
Total	60.31	100

Tabla 4. Tiempo de procesado de 350 mazorcas de Cacao [15]

Prueba	Número de mazorcas	Tiempo de procesamiento (min)
1	70	1.225
2	170	3
3	110	1.5
Total	350	5.25

El principio de funcionamiento de la máquina se basa en un sistema de cuchillas que cortan la cáscara de la mazorca del Cacao y la depositan en el tambor giratorio, cuya baja velocidad de giro hace que las cáscaras, al no contar con la suficiente energía para realizar el giro, caen, produciendo un golpe que separa la cáscara de la pulpa; el tambor giratorio está fabricado con malla perforada, de tal forma que solo pasan las almendras y se quedan las cáscaras, que siguen avanzando y salen por la parte final [15]. El diseño de esta máquina se muestra en la figura 4 y sus principales características se detallan en la tabla 5.



Figura 4. Máquina cortadora y despulpadora de Cacao [15]

Tabla 5. Características de la máquina cortadora y despulpadora de Cacao [15].

MÁQUINA CORTADORA Y DESPULPADORA DE CACAO				
Características generales	Alto		1.525m	
	Ancho		1.3m	
	Largo		1.98m	
	Peso		354.4kg	
	material	Sistema de corte, despulpado, alimentación y recolección	Acero inoxidable	
		Estructura	Acero galvanizado	
Características técnicas		Capacidad producción	3648 mazorcas/hora	
		Motor	3hp	
		Voltaje	220v	

4.6.2 Cortadora y separadora máquina de Cacao

El principio de funcionamiento de la máquina fabricada por la empresa brasileña EVERMARK, se basa en un sistema de discos que se ajustan por resortes para realizar el corte en la cáscara. En una banda se coloca la mazorca para que avance al punto de corte, en donde se parte y se deposita al tambor giratorio [14]. El diseño de esta máquina se muestra en las figuras 5 y 6.



Figura 5. Cortadora y separadora máquina de Cacao [14].



Figura 6. Sistema de corte por discos [18].

La máquina cortadora y separadora de Cacao, cuenta con un sistema eficiente de corte, basado en dos discos con eje y ajustados con resortes. Esta maquinaria

contribuye mucho al rendimiento en el despulpado de cacao, resaltando gracias a su efectividad y su alta capacidad de procesamiento de cacao.

4.7 DESPULPADORA POR VIBRACIÓN

4.7.1 Quebradora de Cacao PINHALENSE

Esta máquina producida por la empresa brasileña PINHALENSE, aporta un alto rendimiento continuo; su principio de funcionamiento se fundamenta en molinos que se encargan de fracturar la cáscara que se deposita en una zaranda vibratoria, con el fin de que solo pasen las almendras y las cáscaras avancen hasta llegar al final [12]. El diseño de esta máquina se muestra en la figura 7 y sus principales características se detallan en la tabla 6.

Tabla 6. Dimensiones y capacidad de la quebradora de Cacao [12]

Modelo	Dimensiones		
	M		
Quebradora de Cacao	Largo	Alto	Ancho
	5.35	2.45	1.55
Capacidad	Cacao	Motor eléctrico	
	1.200 Kg/h	1.5/ 2.0/ 3.0 HP	



Figura 7. Máquina quebradora de Cacao Pinhalense [12]

Teniendo en cuenta la maquinaria anteriormente descrita, el diseño propuesto de prototipo industrial para el despulpado del Cacao, estará inspirado en las principales ventajas de estas máquinas y basados en el principio del funcionamiento del tambor giratorio y corte por medio de cuchillas por ajuste de resorte, estas características

cumplen con los requerimientos y necesidades que requieren los productores de Cacao del Valle del Guamuez.

5 CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se exponen conceptos que permiten entender el proceso del Cacao, como la evolución y sus orígenes, tipos de Cacao, procesos para la obtención de la pulpa, métodos usados para el despulpado y sus riesgos. Además, aborda las temáticas relacionadas al componente ingenieril en sus aspectos de diseño, eléctricos y de control industrial.

5.1 HISTORIA DEL CACAO

El Cacao es un árbol perenne que se cultiva en los trópicos; su nombre científico es *Theobroma Cacao* (*theobroma* en griego, alimento de los Dioses) [19]. El género *Theobroma* pertenece a la familia *malvaceae* que incluye 22 especies, de las cuales 19 se encuentran al norte de América del Sur, 13 de ellas en la cuenca del Orinoco-amazonas y diez de estas son únicas de esta zona[20].

El Cacao es un árbol nativo de América del Norte, Sur y América Central, aunque aún existen inquietudes del origen, se asume que su origen más probable es en las cuencas del Orinoco y el Amazonas, en el centro de origen de la frontera Colombo-Ecuatoriana [21].

5.2 EL CACAO

El Cacao produce una mazorca que puede medir entre 15 – 30 cm de largo y albergar dentro de ella entre 30 y 40 semillas de 2 a 3 cm; este árbol puede llegar a medir de 4 a 7 metros de altura (cultivado) y en estado silvestre alcanza los 20 metros o más [22]. La hoja de Cacao alcanza a medir unos 20 centímetros y es de color verde oscuro; la flor brota en los tejidos donde no haya brotado hojas y vuelve a brotar en el mismo lugar, razón de la importancia de no lastimar los brotes de flores [23]. La cosecha empieza a partir del segundo año de siembra y su principal periodo de cosecha son dos; los periodos dependen del lugar donde se encuentre el cultivo. Por lo regular, el fruto se tarda entre 4 y 6 meses para madurar, después de la floración [24].

5.3 TIPOS DE CACAO

El Cacao es una especie que se reproduce por polinización cruzada. Se reconocen dos tipos: el criollo o nativo y el forastero o amazónico, además de los híbridos como el trinitario, que es el resultado del intercambio genético entre el criollo y el forastero.

5.3.1 El Cacao criollo o nativo

Es un árbol de estructura frágil, de hojas grandes y oscuras, su fruto es de forma rústica y rugosa, con una cáscara delgada. Se caracteriza por ser fino, de agradable sabor y aroma, muy usado en la industria chocolatera. Es muy susceptible a enfermedades y plagas y cultivarlo es complicado; además, tiene una baja producción por árbol y aunque su rendimiento es bajo, se opta cultivarlo por su calidad [25]. En la actualidad es difícil encontrar Cacao criollo puro, debido a los constantes cruces genéticos, en donde lo más común encontrar es el denominado acriollado [26]. En Colombia se han promovido campañas para proteger plantaciones con el fin que no desaparezcan y así poder desarrollar chocolate de origen Colombiano, dirigido a la industria de la confitería que actualmente presenta altos costos debido a la escases de Cacao nativo [27]. El fruto del Cacao criollo se ilustra en la figura 8.



Figura 8. Cacao criollo [28].

5.3.2 Cacao forastero o amazónico

Es una especie endémica de las orillas del río Amazonas; aunque tiene una menor calidad en aroma y sabor, presenta un alto contenido en grasa y el chocolate obtenido es amargo. El árbol es grande y robusto, produce gran cantidad de Cacaos de tamaños pequeños, de cáscara gruesa y lisa (figura 9); cuenta con una alta adaptabilidad al entorno y resistencia a plagas, la cual lo hace interesante.

Estos dos tipos de Cacao fueron la base para realizar mejoras genéticas que permiten una mejor productividad, calidad y resistencia frente a las enfermedades y plagas [29].



Figura 9. Cacao forastero [30].

5.3.3 Cacao trinitario

El resultado de cruzar Cacaos criollos y forasteros, dio origen a un árbol cuyos frutos poseen características intermedias entre criollo y forastero; el Cacao trinitario se caracteriza por tener el aroma del criollo y la robustez del forastero. El fruto tiene diferentes formas, tamaños y aspectos [29]; en la figura 10 se ilustra los tres tipos de Cacao, divididos en dos categorías importantes: el Cacao fino de aroma y el corriente.

El Cacao fino de aroma proviene de árboles con ascendencia criollo o trinitario, mientras que el Cacao corriente proviene en su mayoría de árboles forasteros [31].



Figura 10. Tipos de Cacao [32].

5.4 PROCESO DE CULTIVO DEL CACAO

A continuación, se describen las etapas del proceso de la cosecha del Cacao.

5.4.1 Postcosecha

Los árboles de Cacao tienen generalmente dos periodos de cosecha en el año: el principal, denominado la cosecha mayor, es donde se recolecta la mayor producción. Estos periodos dependen de cada país; por ejemplo, en Colombia la cosecha mayor se da en el periodo comprendido entre los meses de octubre y diciembre y la menor entre abril y junio. El crecimiento y maduración de los frutos demora entre 4 y 6 meses, según la altura a nivel del mar.

Los frutos o mazorcas deben recolectarse con frecuencia una vez a la semana o cada 15 días, dependiendo en el periodo que se encuentre; no deben estar muy maduras, puesto que son más propensas a infectarse de enfermedades o su semilla puede germinar [33]. La madurez de la mazorca se aprecia por el cambio de color, pero esto varía con respecto al tipo de Cacao; un método más eficiente es golpear la mazorca con los dedos: si produce un sonido hueco, el fruto está maduro; los frutos de las ramas más altas se identifican por el color. No se deben recolectar frutos verdes o muy maduros, ya que esto influye en la fermentación [34]. La cosecha del Cacao se debe realizar con herramientas adecuadas para no afectar las floraciones futuras; la recomendación es usar tijeras podadoras u orquídeas (media lunas). No se recomienda el uso de machetes o desgarrar la mazorca [35].



Figura 11. Cosecha con tijera [36].

5.4.2 Despulpado

Consiste en abrir la mazorca y extraer la pulpa; existen diferentes métodos para realizar este procedimiento, los cuales requieren de mucho tiempo y cuidado. Al igual que la cosecha, es una fase que se debe realizar bien para no afectar a la siguiente y obtener un Cacao de calidad.

Para realizar la extracción se requieren de herramientas de apoyo; generalmente el despulpado se realiza de forma manual pero con diferentes técnicas: una es apoyarse con algún objeto corto punzante como el machete, muy usado por productores, debido que ayuda al rendimiento y permiten abrir las mazorcas con facilidad y extraer la pulpa; este método tiene un alto riesgo para operarios y para el grano; si se cortan se ve afectada la calidad del fruto, debido al ingreso de mohos, hongos e insectos. Una recomendación es que la persona que se encuentra realizando los cortes o el partido, solo realice esta tarea, puesto que si tiene contacto con la pulpa, la mano no se adhiere y puede ocasionar un accidente.

Otra técnica más lenta, pero más segura tanto para el trabajador como para los granos, es usar un mazo de madera o piedra para realizar el partido de la mazorca y la extracción manual; se separa la pulpa de la cáscara y del corazón, quedando lista para transportar a la fermentación [37]; en la figura 12 se muestra el proceso. El uso del machete para el despulpado requiere de personal con experiencia y agilidad, pues usando esta técnica un trabajador puede partir entre 1500 y 2000 mazorcas por jornada [38].



Figura 12. Despulpado con machete [39]

5.4.3 Fermentación

La fermentación es un proceso donde se obtiene el color y el sabor; se realiza en cajones de madera [39] en los que se agrega la pulpa; una vez realizada esta labor no se puede adicionar Cacao de un batch diferente, porque afecta la fermentación. Este proceso dura 5 a 7 días, depende del tipo de Cacao; se deben tapar los cajones con hojas de plátano o tapas de madera y realizar volteos a los granos, el primero a las 48 horas y posteriormente cada 12 horas, quedando listo para el secado [40]. La fermentación se realiza de diferentes formas; la más común es en arrumes, la cual consiste en formar montones de pulpa de Cacao y recubrirlos con hojas para evitar fugas de calor; también se puede almacenar la pulpa en sacos y se cuelgan para que pueda drenar los líquidos, en cajones de madera, que es el más común (figura 13), se deposita la pulpa y se espera el tiempo requerido de fermentación [40].



Figura 13. Fermentación en cajón [41]

5.4.4 Secado

Se puede realizar de diferentes formas; una de ellas es el artificial o aprovechando la radiación solar [42], que se practica mucho en las diferentes zonas Cacaoteras debido que el clima ayuda y esta fuente de calor es fácil de aprovechar. El tiempo de secado depende de la temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y el número de horas de insolación aprovechadas; se puede realizar al aire libre siempre y cuando no tenga forma de contaminarse por contacto con la tierra; es común en bandejas de madera, al aire libre o bajo techo. Se puede realizar en un secador túnel, el cual aumenta la temperatura y lo protege de la lluvias o cualquier amenaza que se presente [43] (figura 14); en el método artificial se debe tener en cuenta la velocidad de secado, debido que si se realiza a temperaturas altas, será rápido y se obtendrá un Cacao frágil y de sabor ácido [44].



Figura 14. Sistema de secado [45]

5.5 METODOLOGÍA MODELO V - CUADRANTE

La metodología de diseño Modelo V – Cuadrante está basada en las metodologías propuestas por (Kozák, 2016), (Yu et al., 2013) y (Wang et al., 2009) , tomando en cuenta la necesidad de integración de conocimientos y sistemas para los diferentes procesos de desarrollo y aplicación de prototipos mecatrónicos. El uso del modelo V permite que cada dominio verifique la compatibilidad de su diseño con otros

dominios para reducir las iteraciones (Dohr y Vielhaber, 2012). En este modelo existen tres secciones principales [46].

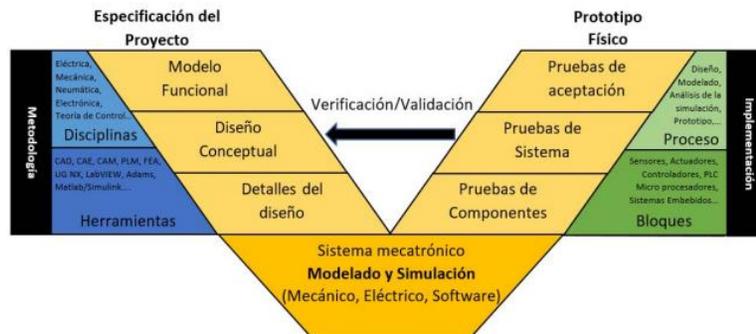


Figura 15. Metodología Modelo V - Cuadrante [46].

Especificación del Proyecto. En esta sección se definen las normas, exigencias y procedimientos que deben ser empleados para la construcción de los dispositivos y/o proyectos de carácter mecatrónico, además son los requerimientos que pretende cumplir, para esto se deben identificar las necesidades y posibilidades que debe y puede cumplir especificando los componentes importantes, revisión de los trabajos preliminares y el establecimiento de la metodología a seguir.

Modelado y simulación. En esta sección se centra únicamente en el uso y la usabilidad del modelado; la simulación, el modelado y análisis espera realizar una evaluación detallada y completa en la solución propuesta considerando el diseño más óptimo estas acciones deben realizarse en tres áreas: mecánicas, eléctricas y de software.

Prototipo Físico. La función total del sistema mecatrónico se desarrolla de manera modular creando las subfunciones, cada una de ellas cumple con las actividades solicitadas, y al momento de la integración de los componentes se obtendrá el prototipo físico.

5.5.1 Motor eléctrico

Son máquinas que transforman la energía eléctrica en energía mecánica, la fuente que impulsa el motor puede ser de dos tipos, corriente alterna y corriente continua. Existen diferentes tipos de motores, de diferentes estructuras y componentes que definen la fuerza o par de torsión del motor.

Los campos magnéticos que se genera en sus bobinas tienen la capacidad de impulsar máquinas de múltiples funciones como en el hogar o en la industrial [47] (figura 16).



Figura 16. Motor eléctrico [48].

5.5.2 Contactor

El contactor es un mecanismo electromecánico su principio de funcionamiento es el electroimán, posee la capacidad de cerrar o abrir un circuito con altas cargas eléctricas, se puede accionar a largas distancias y su principal uso está en maniobras de motores o circuitos de potencia.

Para su accionamiento requiere de una fuente de alimentación, existen diferentes tipos de contactores, Los eléctricos su accionamiento se realiza por una corriente alterna o continua[49]. El contactor maneja dos etapas, está la etapa de control y la de potencia, en la figura 17 se ilustra el contactor.



Figura 17. El contactor [50].

5.5.3 Etapa de Control y Potencia en el Contactor

La etapa de control en el contactor se realiza por medio pulsadores o contactos que permitan energizar o des energizar la bobina del contactor por un lazo de tiempo corto, maneja corriente baja las que alimenta la bobina que se comporta como un electroimán al energizarse realiza un enclavamiento y cierra sus contactos para la etapa de potencia.

En la etapa de potencia está a la espera de lo que ejecute el circuito de control si permitir el paso de corriente o suspender el paso, este esquema es mas de fuerza que permite manejar cargas muy altas (figura18).

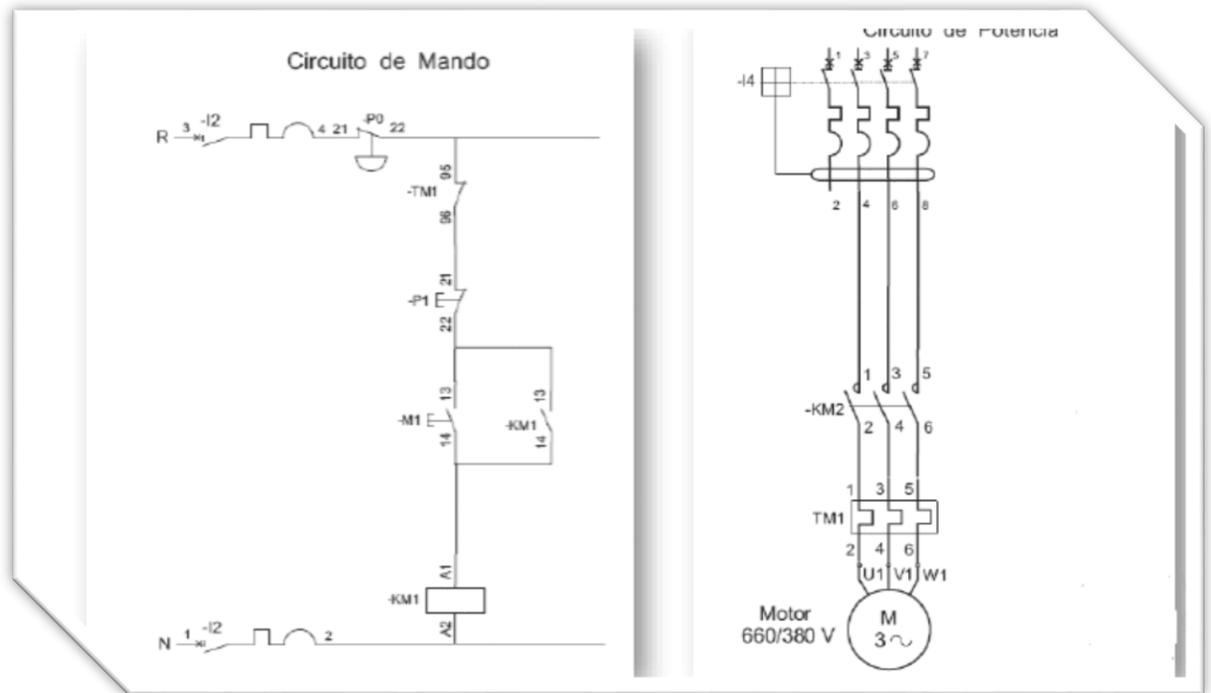


Figura 18. Esquemas de control y potencia[51].

5.5.4 Guarda Motor

Es un dispositivo electromecánico, diseñado para la protección de motores, se comporta como un interruptor manual o por cortocircuito y sobre cargas.

El guarda motor (figura 19) es una combinación entre un relé térmico más un contactor articulados para la protección del motor



Figura 19. Guarda motor [52].

5.5.5 Pulsadores

Es un mecanismo de accionamiento que cuenta con dos posiciones, La posición puede ser NA O NC, el normalmente cerrado se denomina NA y el normalmente abierto NC, en el accionamiento cambia de estado si esta NA pasa NC o inversamente permitiendo el paso de corriente o interrumpiendo si esa es su configuración [53]; en la figura 20 se muestra el pulsador con las dos funciones.



Figura 20. Pulsador [54].

5.5.6 Pilotos Indicadores

Los pilotos (figura 21) son elementos de visualización óptica que permiten al operario vigilar el estado en que se encuentra un proceso, mediante código de colores que representan un mensaje o situación, la norma que establece los códigos es la norma IEC 6024-1[55].



Figura 21. Piloto indicador [56].

5.5.7 Máquina Universal de Ensayos

Permite conocer el comportamiento de materiales expuestos a diferentes fuerzas, para realizar pruebas de compresión o de tracción y poder determinar la rigidez y deformación de un material se requiere una probeta o muestra del material que se desea conocer las propiedades.

La máquina de ensayos es un método para observar lo que le sucede al material a medida que va variando la fuerza aplicada (figura 22) [57].



Figura 22. Máquina de ensayos [58].

5.5.8 Proceso de Soldadura

La unión de dos o más piezas de un mismo material se obtiene con material de aporte llegando al punto de fusión, al enfriar forma el cordón de soldadura, permitiendo la fijación de las piezas.

Existen diferentes tipos de procesos de soldadura en la industria metal mecánica para garantizar confiabilidad en los productos terminados de calidad se debe seleccionar el tipo de soldadura dependiendo del material que se requiera trabajar (figura 23) [59].

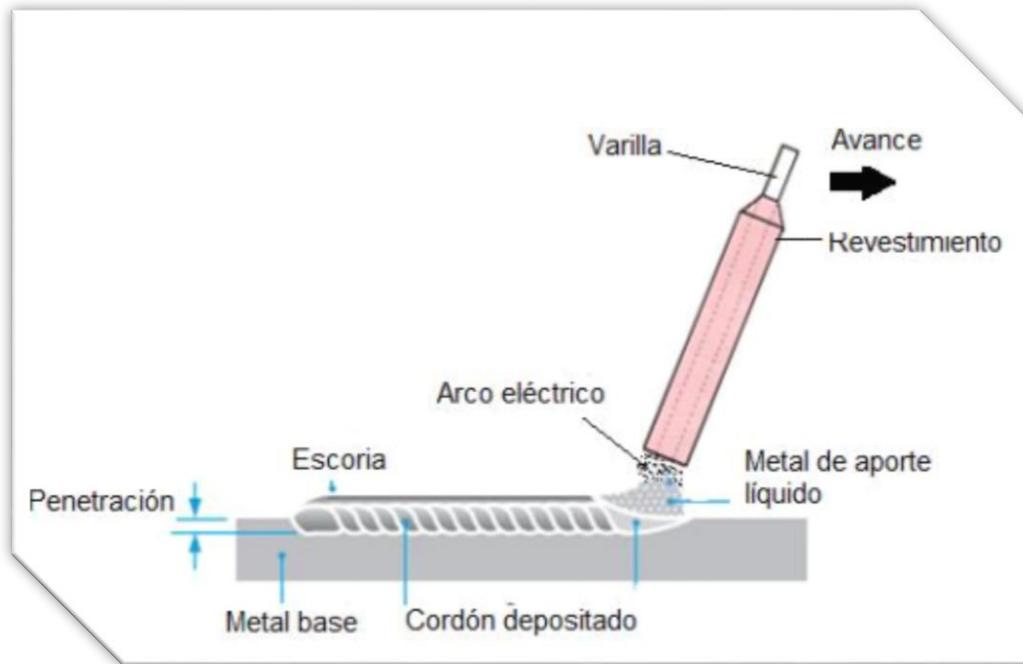


Figura 23. Proceso de soldadura [60].

6 CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

El desarrollo del prototipo y la implementación del sistema está basado en la metodología de diseño Modelo V – Cuadrante, se parte de un mapeo sistemático de conceptos con fuentes bibliográficas acerca del despulpado del cacao y sus diferentes técnicas, se continúa con la definición de las funciones y los componentes mecánicos y eléctricos, siguiendo con especificaciones físicas y estructurales del diseño y finalizando con el montaje y la realización de pruebas para su validación.

El proceso se divide en cuatro fases, la fase I y II se abordan en los capítulos I y II de este documento; y para el cumplimiento de estas, se realiza una serie de actividades generales como se describen a continuación:

FASE 1. INVESTIGACION PREVIAS

En esta etapa se realiza el mapeo sistemático de la literatura, teniendo en cuenta las siguientes actividades.

- Revisar sistemáticamente la información acerca de la producción de Cacao a través de consulta de libros, artículos científicos e investigaciones previas.
- Definir la técnica de extracción de la pulpa del cacao.

FASE 2. DETERMINACIÓN DEL PROCESO DE LA MÁQUINA

En esta etapa se Planifica las funciones y componentes teniendo en cuenta las siguientes actividades.

- Analizar las soluciones relevantes de maquinaria comercial y en desarrollo para definir sus funciones, ventajas y desventajas.
- Definir procesos mecánicos, eléctricos y sus respectivos componentes que requiere la máquina.

FASE 3. DETERMINACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO

En esta etapa se tiene en cuenta sugerencias para el diseño y corrección de las propuestas acorde a las necesidades de los agricultores de la asociación cacaotera caso de estudio.

- Tomar las sugerencias de los productores de cacao con respecto a las diferentes maquinarias existentes para realizar su respectiva especificación de sus características físicas y estructurales.
- Realizar una propuesta de diseño mecatrónico de un prototipo para el proceso de despulpado del Cacao mediante la herramienta software CAE - CAD Solidworks ® .

ETAPA 4. PRUEBA Y AJUSTES REQUERIDOS

En esta etapa se realiza el montaje del prototipo y la validación el sistema.

- Realizar la construcción y ensamble de piezas para el montaje de la maquina acorde al diseño planteado.
- Realizar pruebas para la validación con diferentes mazorcas de cacao y ver los tiempos de despulpado.
- Aplicar ajustes al prototipo si así lo requiere conforme a los resultados de las pruebas realizadas.
- Desarrollar el informe final y el material videográfico del prototipo de maquina despulpadora de Cacao.

FASE 3:

6.1 DETERMINACIÓN DEL DISEÑO PROPUESTO

Para determinar las principales funciones, características y necesidades de una maquina despulpadora de Cacao, se realiza inicialmente mediante un instrumento de recolección de la información tipo encuesta (Ver Anexo A), el cual indaga acerca de las necesidades y conocimientos de los agricultores cacaoteros del Valle del Guamuez. Posteriormente, se realizan entrevistas personales donde se evidencia la experiencia en el despulpado y la rutina seguida en esta labor, obteniendo la siguiente información en el proceso de despulpado del Cacao.

Una vez empieza la cosecha, se arruma el Cacao en el sitio del despulpado, se hace el corte o fragmentación de la cáscara de la mazorca y finalmente se extrae la pulpa y se separa de la cáscara; en la figura 24, se ilustra el proceso de despulpado brindado por los Cacaocultores de ASOPROCAF&VG.



Figura 24. Proceso de despulpado. Elaborado por ASOPROCAF&VG

Con la descripción a detalle del proceso de despulpado del Cacao, se definen las funciones específicas que realiza el agricultor de forma manual para el almacenamiento de Cacao, corte o fragmentación de la cáscara y separación de la

corteza y pulpa, mismas que serán asignadas a la funcionalidad y operatividad de la máquina. Basado en los resultados de la encuesta, se obtiene la perspectiva y opinión de los agricultores acerca de los diseños propuestos de la máquina, generando los siguientes criterios y requerimientos técnicos, operacionales y de diseño como se describen a continuación:

6.1.1 Diseño del Sistema Funcional del Proceso del Despulpado

Para plantear las funciones estructurales del diseño, se toman los datos brindados por productores y se proponen tres opciones.

6.1.2 Diseño Conceptual

En cumplimiento con los requerimientos, se describen las funciones de la máquina de acuerdo con las funciones a realizar. La máquina despulpadora debe cumplir con los siguientes requerimientos:

Robusta para soportar el trajín, carga de trabajo y adversidades del ambiente al que se encuentra expuesta.

Transportable para facilitar su traslado por la topografía de los cultivos de Cacao del Valle del Guamuez, las cuales se encuentran separadas y con difícil acceso.

Fácil de operar para que cualquier agricultor pueda operar de forma manual con sistema de On/Off para el accionar de la máquina y sus dispositivos de seguridad.

Adaptable para que su estructura se acople a cualquier camino o trocha de los cultivos de Cacao.

Mantenimiento simple para su fácil reparación y puesta a punto, el diseño debe ser sencillo, modular y desplegable para realizar el mantenimiento preventivo y correctivo de forma fácil.

6.1.3 Diseño Funcional

La despulpadora de Cacao debe realizar el trabajo de recibir las mazorcas y procesarlas, para obtener las almendras libres de cáscara, como se ilustra en la figura 25.

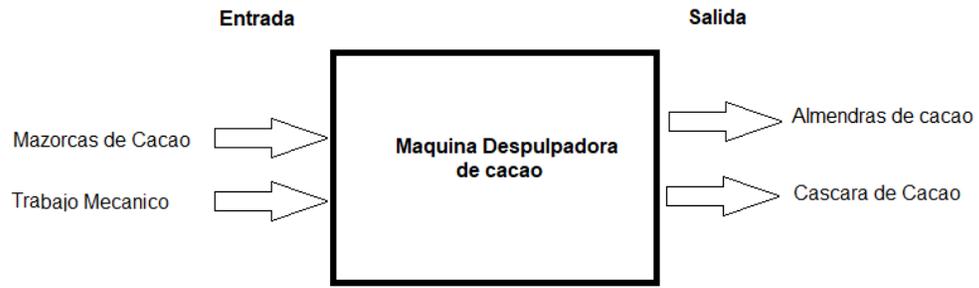


Figura 25. Funciones de la máquina [Elaboración Propia].

Con las funciones asignadas a la máquina, se busca entrar en detalle de la forma en que se van a realizar las tareas; para eso se plantea el diagrama de la figura 26.

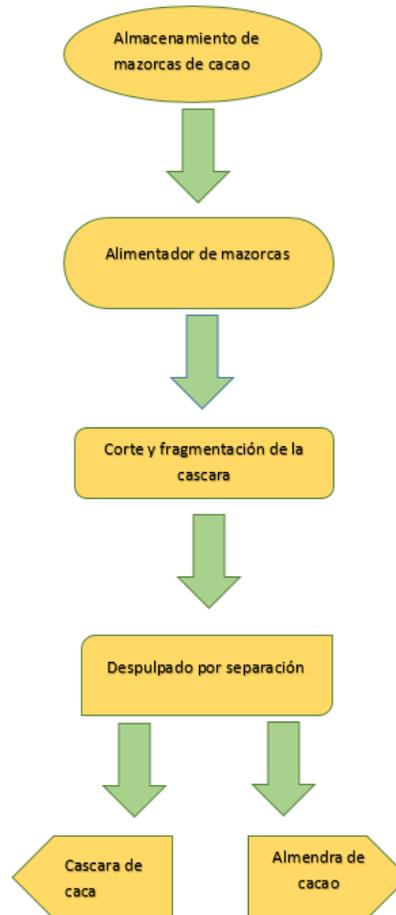


Figura 26. Diagrama de tareas [Elaboración Propia].

6.2 OPCIONES DE DISEÑO DEL SISTEMA DE DESPULPADO

Para plantear soluciones a los diferentes procesos, se toman como referencia diferentes mecanismos implementados en máquinas comerciales

Almacenamiento de las Mazorcas de Cacao: el almacenamiento consiste en tener Cacao para alimentar la máquina de forma más sencilla; este procedimiento se puede realizar mediante la ayuda de cajones de almacenamiento.

Alimentador de Mazorcas: la máquina requiere tener Cacao constante; para ello, se toman en cuenta algunos mecanismos como el tornillo sinfín, banda transportadora o alimentación manual, para realizar la dosificación del material a la trituradora o cortadora de Cacao.

Corte y Fragmentación de la Cáscara: para obtener la pulpa, se deben utilizar mecanismos que se encarguen de abrir la cáscara, ya sea por trituración o corte. Para ello, se han implementado en algunas máquinas estos componentes: rodillos que Trituran la cáscara, aspas que la quiebran y discos de corte.

Despulpado por Separación: la separación de la pulpa y la cáscara se realiza con el fin de obtener una pulpa limpia para mayor calidad; el procedimiento de separación se puede realizar por vibración o por golpe. Para el primero, se puede usar una mesa vibratoria con huecos, de tal forma que solo pase la almendra; y, para el golpe, se implementa un tambor giratorio con huecos que permiten solo el paso de la almendra a bajas revoluciones, de manera que la mazorca sube al punto más alto y cae, liberando la pulpa y permitiendo su almacenamiento; finalmente, la cáscara separada del fruto es desechada por la máquina.

6.3 MATRIZ MORFOLÓGICA

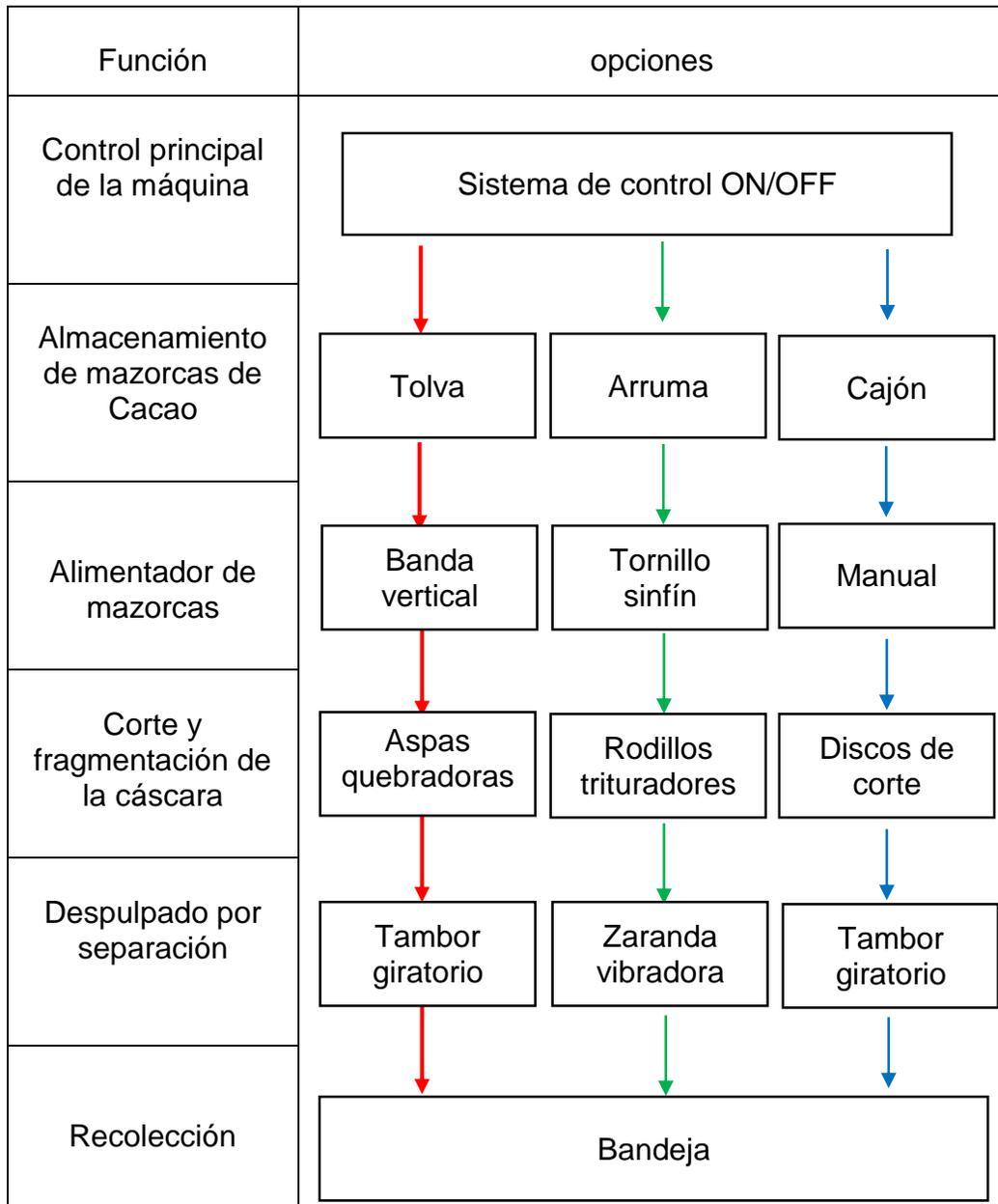
Se plantean tres opciones de configuración de la máquina, tomando en cuenta los principios y funciones que realizan las existentes; las opciones se identifican por colores (rojo, verde y azul); en la tabla 7 se expone la matriz morfológica para el diseño.

6.3.1 Análisis de Opciones

Opción 1 (rojo). Sistema de control ON/OFF- Tolva- banda vertical – Aspas quebradoras – tambor giratorio – bandeja.

Las mazorcas se almacenan en la tolva y la banda vertical las recoge, posicionándolas en el punto de corte en donde serán procesadas por las aspas quebradoras y depositadas sobre el tambor giratorio, encargado de separar las cáscaras de la pulpa y recoger la pulpa en bandeja y desechar la cáscara por la parte final del tambor.

Tabla 7. Matriz morfológica [Elaboración Propia].



Opción 2 (verde). Sistema de control ON/OFF- arrume – tornillo sinfín – rodillos trituradores – zaranda vibradora – bandeja.

Del arrume de Cacao almacenado, se depositan las mazorcas en el tornillo sinfín, encargado de transportar y ejercer presión sobre los rodillos trituradores; su función es fragmentar la cáscara y depositarla en la sección de separación. La zaranda vibradora realiza la separación de la corteza y de la pulpa por medio de la vibración: la primera se almacena en la bandeja y la cáscara se desecha por la parte final de la zaranda.

Opción 3 (azul). Sistema de control ON/OFF- cajón – manual – discos de corte – tambor giratorio – bandeja.

El Cacao se arruma en cajones o canastas para posteriormente ser depositados uno a uno de forma manual a los discos de corte giratorios para realizar el corte a la cáscara, facilitando la separación en el tambor giratorio, de donde se retira la pulpa en una bandeja y desecha la cáscara por el final del tambor.

6.4 EVALUACIÓN DE LAS FUNCIONES

La decisión de la selección de la opción del prototipo más favorable y eficiente acorde a la problemática se realiza mediante una evaluación del cumplimiento de las funciones en una matriz de ponderación por aspectos cualitativos.

6.4.1 Matriz de Ponderación por Aspectos Cualitativos

El método cualitativo por puntos requiere definir los factores determinantes como se describen a continuación:

Factor 1 = Almacenamiento de mazorcas

Factor 2 = Sistema de alimentación

Factor 3 = Tipo de corte

Factor 4 = Despulpado

A los factores descritos se les asigna un peso relativo, dependiendo de su importancia dentro del proceso del despulpado; posteriormente, en la comparación de las opciones, se les atribuye una calificación de 0 a 10, siendo 10 de mayor

importancia con respecto a las funciones. En la tabla 8 se muestra el total de la calificación obtenida.

Tabla 8. Matriz de ponderación [Elaboración Propia].

Factor	Porcentaje	Opción 1		Opción 2		Opción 3	
		Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación	Calificación	Ponderación
1	15	5	7.5	7	10.5	6	9
2	25	7	17.5	8	20	2	5
3	30	3	9	4	12	7	21
4	30	9	27	6	18	9	27
Total	100 %		61%		60.5%		62%

La opción con la ponderación más alta con un total de 62% de aceptación, según la evaluación cualitativa por punto realizada por los miembros de la asociación ASOPROCAF&VG (ver anexo B), es la opción 3; se calificaron los factores acordes con las funciones a cumplir; con base en los resultados de la evaluación para el despulpado de Cacao, se presenta el siguiente diseño de prototipo de máquina despulpadora.

6.5 DISEÑO DEL PROTOTIPO MECATRÓNICO INDUSTRIAL PARA EL DESPULPADO DE CACAO

El diseño de la máquina empieza con el sistema de alimentación; en este caso es una tolva unitaria para el posicionamiento del Cacao de 14 cm de diámetro y altura de 15 cm con forma ovalada; su trabajo es mantener el Cacao en la posición vertical como se evidencia en la figura 27.

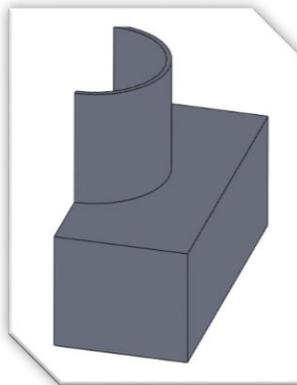


Figura 27. Tolva de alimentación [Elaboración propia].

6.5.1 Cajón o Canasta

La función del cajón o canasta es almacenar las mazorcas, permitiendo al operario suministrarlas mazorcas a la máquina; le aporta al operario algo de ventaja en el surtido de mazorcas y alista el Cacao para optimizar el rendimiento de la máquina; se pueden usar varios cajones o canastas, de manera que los recolectores pueden aprontar suficiente Cacao, como se muestra en la figura 28 de la canasta para la recolección.



Figura 28. Canasta de almacenamiento [61].

6.5.2 Alimentación de Mazorcas de Forma Manual

El operario tiene la función de tomar las mazorcas del lugar de acopio en este caso de las canastas y posicionar la mazorca de tal forma que el coto o la parte donde se prende la mazorca, ingrese en los discos de corte, de esta manera se asegura que el corte sea limpio y no afecte las almendras, en la figura 29 se muestra el posicionamiento.



Figura 29. Posicionamiento de mazorca [Elaboración Propia].

6.5.3 Caracterización del Cacao

En el sistema de corte se requiere conocer características mecánicas de la cáscara, tales como la resistencia que tiene la corteza del Cacao y sus aspectos fisicoquímicos. La figura 30 ilustra detalles de las propiedades y requerimientos para realizar el corte de separación.



Figura 30. Corte de Cacao [Elaboración Propia].

Al abrir una mazorca se observa que las semillas se encuentran unidas a un corazón y este mismo a la corteza del Cacao por la parte superior, lugar donde la semilla se encuentra prendida del árbol; además, entre las almendras y la cáscara se encuentra un espacio considerable entre 5 mm – 15 mm aproximadamente. El espesor en la cáscara oscila entre los 10 mm – 25 mm; la forma varía, algunos tienen canales superficiales, otros más lisos, sus tamaños son variables. Con los detalles encontrados, se requiere conocer la resistencia de fractura de la cáscara; al no haber información estandarizada, se plantea realizar un ensayo de dureza de la corteza antes de ser fragmentada.

6.5.4 Prueba de Dureza y Fragmentación

Para determinar la resistencia de fractura de la cáscara de la mazorca, se realizaron pruebas con una muestra de 15 Cacaos en el laboratorio de mecánica de la Corporación Universitaria Comfacauca, en la máquina universal de ensayos. Para efectuar las pruebas, se diseñó y construyó una cuchilla similar a la que se plantea en el prototipo, de tal forma que se pueda sujetar en las mordazas de la máquina y se procede a ubicar el Cacao de prueba, como se puede observar en la figura 31.



Figura 31. Máquina universal de ensayos [Elaboración propia].

Se posiciona la máquina de tal forma que la cuchilla apenas roce la mazorca y se pone en marcha, hasta el punto en que la instrumentación de la maquina evidencie la ruptura de la cáscara, como se muestra en la figura 32.

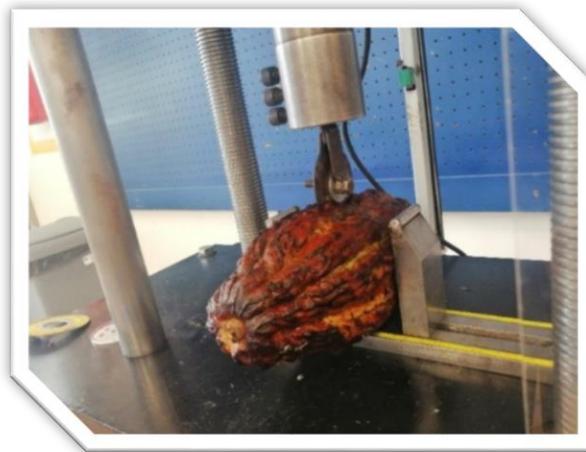


Figura 32. Corte de Cacao [Elaboración propia].

A partir de los datos suministrados por el sistema de control y supervisión de la máquina universal de ensayos, se toma registro del valor de la fuerza más alta y se procede a realizar el mismo procedimiento con el resto de frutos antes de fragmentarse, el valor obtenido fue de 113,54 Newton (fuerza), como lo muestra la siguiente figura 33.

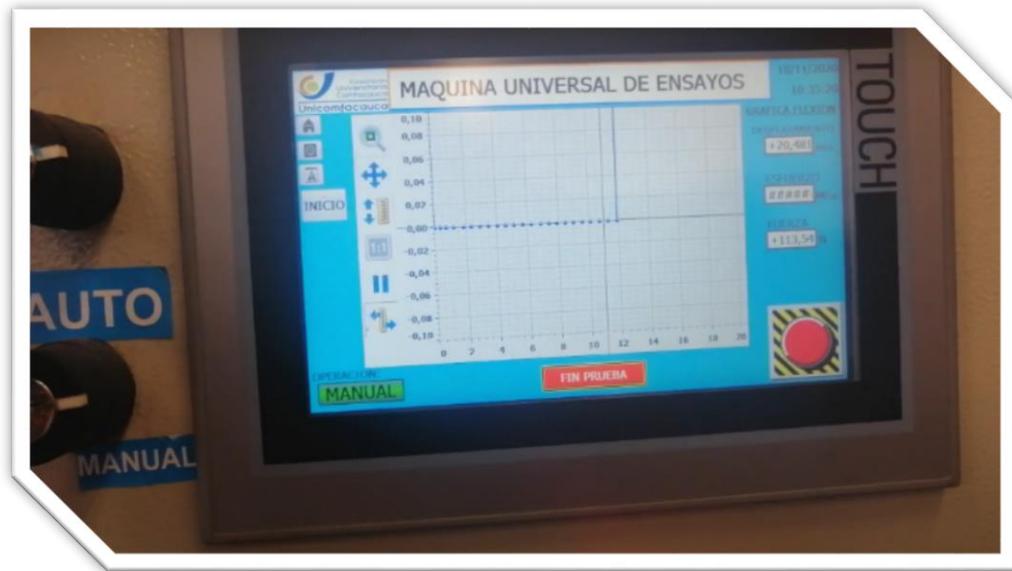


Figura 33. Resultados del corte 1 del Cacao [Elaboración propia].

Es importante resaltar la diferencia de valores obtenidos de la fuerza de fractura en la punta del fruto, zona en la que este se une al árbol (Ver figura 34).



Figura 34. Resultados del corte 2 del Cacao [Elaboración propia].

Esta prueba arrojó valores superiores a la anterior, pues la corteza presentó una resistencia de 121.70 Newton, como se evidencia en la figura 35.

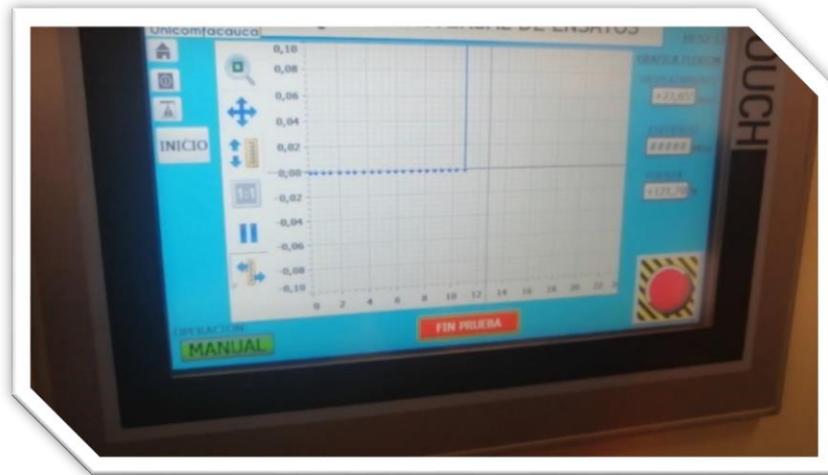


Figura 35. Resultados del corte 3 del Cacao [Elaboración propia].

Se realizaron pruebas similares con 13 frutos más; los datos obtenidos de los 15 frutos se registraron en la tabla 9. Complementariamente se mide la longitud de cada fruto con la ayuda de un flexómetro; para esto, se coloca un extremo de la mazorca sobre la superficie plana y en el otro extremo una regla, que permite observar la unidad de medida en el metro, como se ilustra en la figura 36.



Figura 36. Longitud del fruto del Cacao [Elaboración propia].

Para tomar su diámetro se asegura de que el Cacao este sobre una superficie plana y con la ayuda de la regla se coloca sobre la parte más alta del Cacao y se registra su medida; en la figura 37 se registra la medición del diámetro.



Figura 37. Diámetro del fruto del Cacao [Elaboración propia].

Se toma el peso de cada mazorca de forma individual, por medio de una balanza gramera (ver figura 38) y se realiza el registro de cada una de las 15 muestras en la tabla 9.



Figura 38. Peso del fruto de Cacao [Elaboración propia].

Tabla 9. Caracterización de las mazorcas del Cacao [Elaboración propia].

Mazorcas de Cacao				
Mazorcas	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Peso (kg)	Fuerza de corte (N)
1	18.9	8.4	0.449	114.45
2	23.7	9.7	0.912	110.78
3	28.8	11.1	1.450	103.49
4	25.3	10.1	1.110	107.32
5	16.6	7.1	0.402	120.99
6	21.4	9.2	0.858	112.50
7	26.3	10.7	1.287	113.54
8	20.7	8.8	0.786	111.84
9	19.5	8.5	0.704	118.99
10	24.2	9.9	1.050	112.75
11	27.8	10.5	1.306	114.21
12	18.7	8.2	0.432	121.70
13	17.2	7.9	0.425	125.98
14	22.4	9.6	0.897	121.79
15	23.9	9.9	0.993	122.40
Promedio	22.36	9.31	0.871	115.52
Desviación	3.78	1.3	0.402	2.35
Total	26.14	10.61	1.273	117.87

6.5.5 Sistema de Corte

El sistema de corte seleccionado es el de discos giratorios; al analizar el fruto se encuentra que su forma es ovoide, lo cual no permite que el disco pueda realizar el corte ni en las puntas que son las partes más bajas, ni en el centro que es la parte más alta. Para solucionar este inconveniente, se integran un amortiguador y un resorte con el objetivo de poder realizar el corte en los dos puntos críticos sin dificultad y sin afectar el grano; conociendo el promedio de resistencia de la cáscara, se puede plantear el valor del resorte, el cual va a realizar el trabajo a medida que el Cacao ingresa en la tolva permitiendo que los discos suban acoplándose a la cáscara y ejecutando el corte sin afectar las almendras; por su parte, las cuchillas iniciarán su función relacionada con la altura de la mazorca, y con éstas el resorte empezará a variar su fuerza elástica.

Con el dato de la fuerza máxima requerida para realizar la fragmentación de la cáscara del Cacao, con un espesor de 25 mm, se estima la fuerza requerida equivalente a 117.87 N, permitiendo al sistema de corte realizar su función en la

zona superior e inferior del fruto; también se estima el recorrido del resorte cuando el grosor de la cáscara se incrementa a 50 mm, obteniendo que para cumplir con la fuerza requerida, se selecciona un amortiguador de 60 N como se evidencia en la figura 39.



Figura 39. Amortiguador de corte [Elaboración propia].

6.5.6 Discos de Corte

Los discos de corte giratorios actúan sobre la cáscara de la mazorca en dos posiciones, de manera que las almendras no sean afectadas; se ubican uno en el lado derecho y el otro en el izquierdo (ver figura 32); el Cacao pasa a través de las cuchillas y para poder atravesarlo, la fuerza inicial la proporciona el operario; su diseño se muestra en la figura 40.

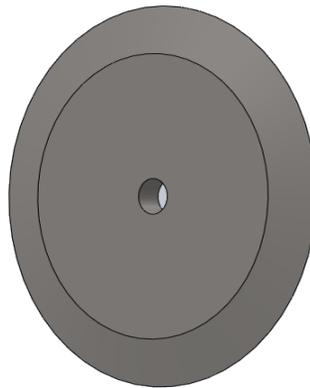


Figura 40. Discos de corte [Elaboración propia].

El ensamble de los discos y los resortes en sus respectivos ejes y soportes se muestran la figura 41.

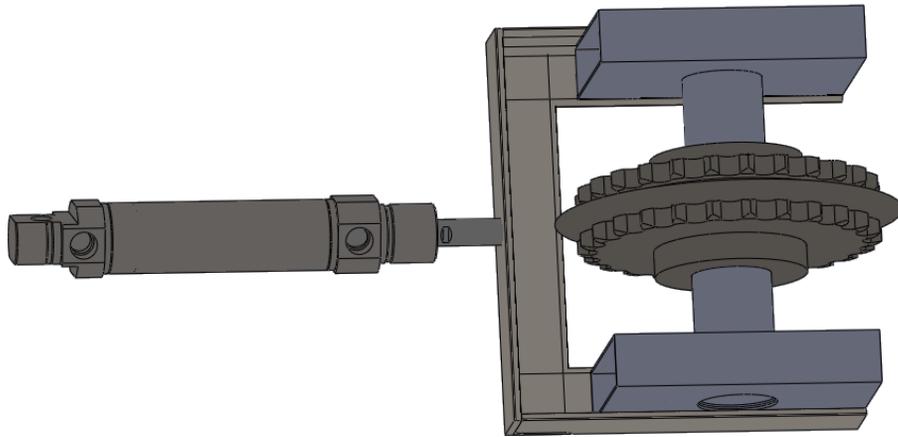


Figura 41. Ensamble de discos de corte [Elaboración propia].

6.5.7 Sistema de Empuje

Se encarga de tomar el Cacao desde el punto en que lo entrega el operario, así se le ejerce fuerza en dirección de los discos de corte para pasar al sistema de separado. El sistema de empuje lo realiza un motor reductor, al que se le calcula más adelante la potencia necesaria; el movimiento del motor es circular y en una sola dirección. Los discos requieren un movimiento en sentidos contrarios, de manera concordante con el giro de las cuchillas (figura 42).

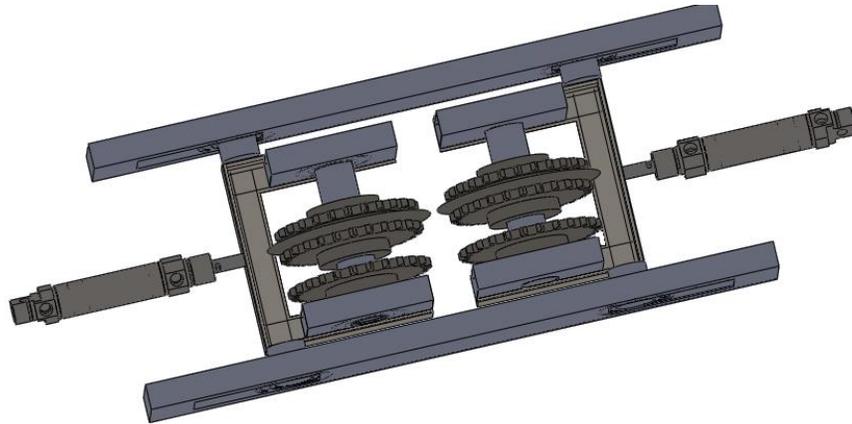


Figura 42. Mecanismo de corte [Elaboración propia].

Para la transmisión de la potencia del motor, se utilizan cinco piñones y una cadena; y para el empuje de la mazorca se implementan cuatro piñones, como se indica en la figura 32. Inicialmente el operario introduce el fruto al sistema, después, con los

discos giratorios que cuentan con una velocidad de 70 rpm, las cuchillas giran en sentido contrario una de la otra, con dientes o piñones que ayudan a enganchar la mazorca y desplazarla al interior del sistema de corte, al mismo tiempo, sirven de tope, como se ilustra en la figura 43.

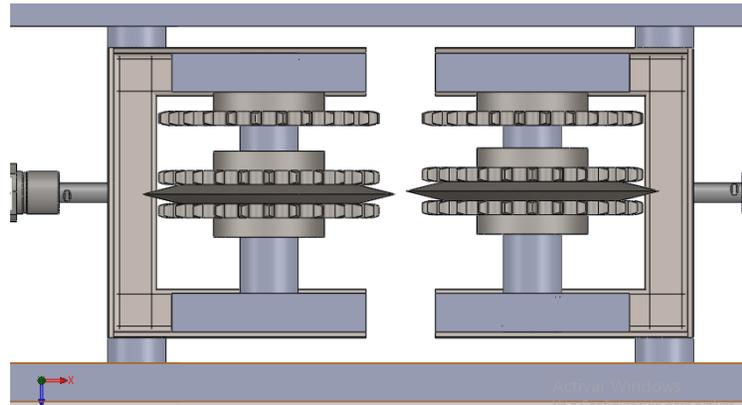


Figura 43. Sistema de empuje [Elaboración propia].

6.5.8 Requerimientos del Motor Reductor

La cantidad de mazorcas por proceso está estipulada en seis unidades por minuto; debido al sistema de alimentación y corte, se debe considerar que la velocidad de procesamiento le brinda la oportunidad al operario de tomar la mazorca y posicionarla en la entrada de la máquina en 10 segundos. Sin embargo, este tiempo puede variar, dependiendo de la técnica de trabajo utilizada.

Para calcular la potencia mecánica requerida, se utiliza la siguiente ecuación:

$$W = M(Nm) \times w\left(\frac{rad}{s}\right)$$

Ecuación 1. *Potencia*

Donde,
 W = potencia mecánica
 M = potencia de corte
 w = velocidad

Para el cálculo de la velocidad, w, se tiene:

$$w = \frac{r}{m} \times \frac{m}{s} \times \frac{2\pi rad}{r}$$

Ecuación 2. Velocidad

$$w = \frac{10}{1} \times \frac{1}{60} \times \frac{2\pi rad}{1}$$

$$w = 1.04rad/s$$

Donde, w = velocidad
 r = revoluciones
 m = minutos
 s = segundos
 rad = radianes

Y así reemplazando los resultados de la ecuación 2 en la ecuación 1 se obtiene la potencia:

$$W = 117.87 \frac{N}{m} + 20\% \times 1.046rad/s$$

Ecuación 3. Potencia

$$W = 147.10 \text{ Watts}$$

6.5.9 Despulpado

En la etapa del despulpado se requiere que una vez la mazorca se encuentre dividida en dos, se golpee, para que libere las almendras de la cáscara y se pueda separar. El diseño seleccionado para realizar este proceso es el Tambor Giratorio a 35 rpm, y cuyo propósito es permitir a la mazorca elevarse al punto más alto y considerando la baja velocidad suministrada por el motor, el fruto no alcance a centrifugarse; por otro lado, el peso y la gravedad hacen caer a la mazorca repetitivamente hasta que se logre liberar todas las almendras y estas caigan en la superficie del tambor con malla agujerada, permitiendo su paso y no el de la cáscara, esta última avanza en el sistema cilíndrico dependiendo del ángulo de inclinación del tambor giratorio. Las medidas del tambor son de 50 cm de diámetro y 100 cm de longitud; en la figura 44 se ilustra el diseño propuesto.

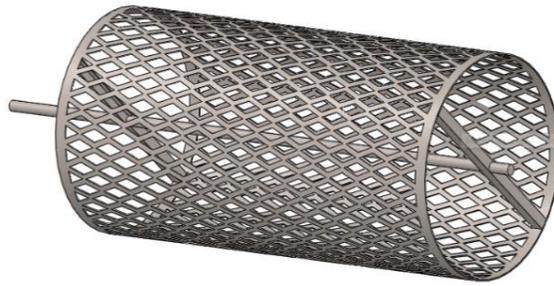


Figura 44. Tambor de despulpado [Elaboración propia].

6.5.10 Marco o Chasis

La estructura que soporta los módulos, partes y piezas que realizan la función del proceso de despulpado de Cacao, cuenta con las siguientes medidas: largo: 135 cm, ancho: 85 cm, alto: 70cm; en la figura 35 se ilustra el diseño.

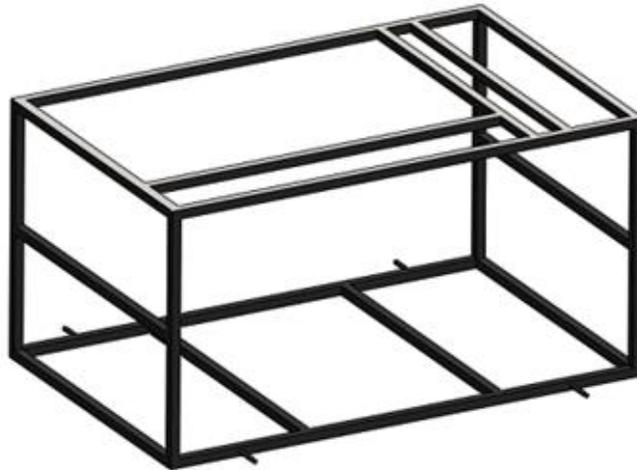


Figura 45. Marco de la despulpadora [Elaboración propia].

6.5.11 Sistema de Transmisión

El sistema de transmisión se realiza por medio de cadena y piñones; este se selecciona por su robustez y fácil adquisición en el mercado. Para calcular la longitud de la cadena, se debe conocer la distancia de recorrido desde el centro del eje del motor al de transmisión, este parámetro es establecido con una medida de 85 cm entre ellos; dado que se requiere saber con qué tipo de cadena se va a trabajar, se selecciona una cadena comercial de media pulgada ($\frac{1}{2}$) de paso, sus especificaciones se pueden encontrar en el catálogo del proveedor Intermec (ver tabla 10).

Tabla 10. Dimensiones de cadena [62].

Cadena numero	Paso "p"	Largo rodillo "w"	Diámetro rodillo "d"	Diámetro pasador "c"	Grueso chapeta "f"	Ancho chapeta "h"	m	Límite rotura Lbs	Peso Lbs Por pie 30.5cm
25	1/4" 6.35mm	0.125	0.130	0.095	0.030	0.234	0.188	0.875	0.09
35	3/8" 9.52mm	0.187	0.200	0.141	0.050	0.350	0.267	2.100	0.21
40	1/2" 12.7mm	0.312	0.312	0.156	0.060	0.466	0.380	3.700	0.42
50	5/8" 15.8mm	0.375	0.400	0.200	0.080	0.584	0.460	6.100	0.69
60	3/4" 19.0mm	0.500	0.468	0.234	0.094	0.700	0.586	8.500	1.00
80	1" 25.4mm	0.625	0.625	0.312	0.125	0.934	0.741	14.500	1.71
100	1 1/4" 31.7mm	0.750	0.750	0.375	0.156	1.166	0.923	24.000	2.58

El piñón debe coincidir con el paso de la cadena de $\frac{1}{2}$ pulgada, con 14 dientes por su fácil adquisición; sus especificaciones se pueden observar en la tabla 11.

Tabla 11. Dimensiones de piñón [62].

SENCILLOS				
REF	D	DM	L	D
40B9 R	42,4	27	22	12,70
40B10 R	46,7	32	22	12,70
40B11 R	50,8	35	22	12,70
40B12 R	55,1	40	22	12,70
40B13	59,2	40	22	12,70
40B14	63,2	43	22	12,70
40B15	67,3	46	22	12,70
40B16	71.4	51	22	15,88

40B17	75,7	54	25	15,88
40B18	79,8	59	25	15,88
40B19	83,8	63	25	15,88
40B20	87,9	66	25	15,88

Una vez definidos los tipos de cadena, piñones a utilizar y la distancia desde el centro del eje del motor al de transmisión, se determina el número de eslabones que va a tener la cadena; para ello, se utiliza la siguiente ecuación.

$$Ne = \frac{2 \times Dc}{P} + \frac{N1 + N2}{2} + \frac{(N2 - N1)^2}{4\pi^2 \left(\frac{Dc}{P}\right)}$$

Ecuación 4. *Calculo de eslabones*

Dónde: Ne: número de eslabones
Dc: diámetro al centro de los ejes
P: paso de la cadena
N1: número de dientes del piñon 1
N2: número de dientes del piñon 2

$$Ne = \frac{2 \times 14}{1.27} + \frac{14 + 14}{2} + \frac{(14 - 14)^2}{4\pi^2 \left(\frac{14}{1.27}\right)}$$

$$Ne = 36.04$$

El resultado obtenido, establece un requerimiento equivalente a 36 eslabones para obtener una distancia entre ejes de 14 cm, en la figura 46 se ilustra el sistema de trasmisión.



Figura 46. Sistema de trasmisión de potencia mecánica [elaboración propia].

6.6 ENSAMBLAJE DE LA DESPULPADORA DE CACAO

El ensamble de las piezas que conforman la despulpadora se puede observar en la figura 47.

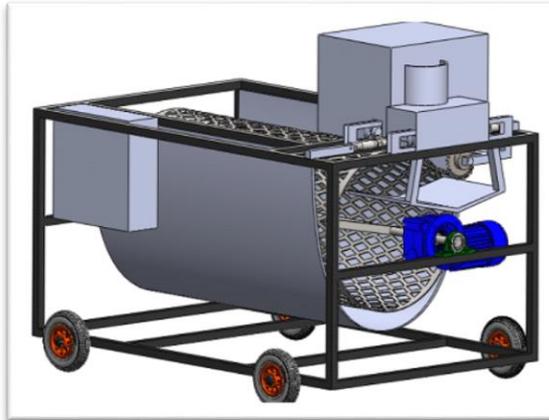


Figura 47. Diseño de la despulpadora de Cacao [Elaboración propia].

6.6.1 Estudio Mecánico Estático de Esfuerzos y Deformaciones en SOLIDWORKS

El estudio se realiza al chasis aplicando dos fuerzas, una fuerza de 500N en la parte superior y una fuerza de 300N en la parte intermedia.

En los resultados obtenidos en la figura 48 se evidencia que en la zona donde se realiza la tensión son los ejes, pero no exceden el límite elástico que se encuentra en 551 485 000 (N/m²) y la tensión que se genera es de 51 058 608 (N/m²), Con el análisis de la estructura se puede estipular que ninguna de las partes y/o ensambles de la maquina sufrirá daños estructurales.

Nombre del modelo:marco despulpadora pequeña
 Nombre de estudio:Análisis estático de marco(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
 Escala de deformación: 277.08

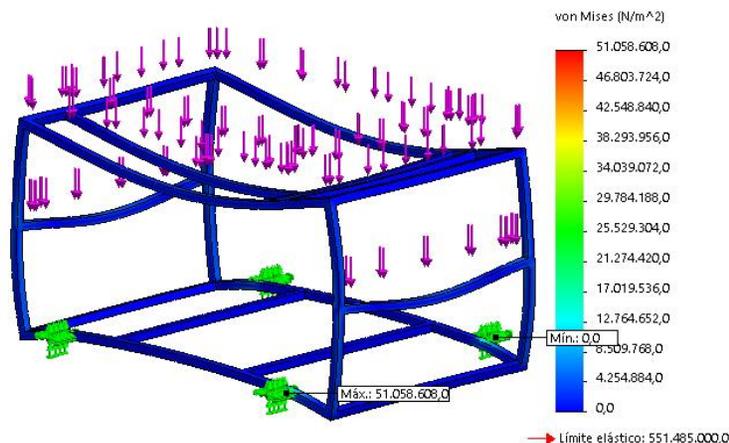


Figura 48. Estudio de tensión [Elaboración propia].

En el desplazamiento que genera la fuerza aplicada no genera daños irreversibles, el valor de desplazamiento es de 0.487 mm y se encuentra en un rango que no afecta ningún componente en el chasis como del ensamblaje. En la figura 49 se ilustra el estudio de desplazamiento.

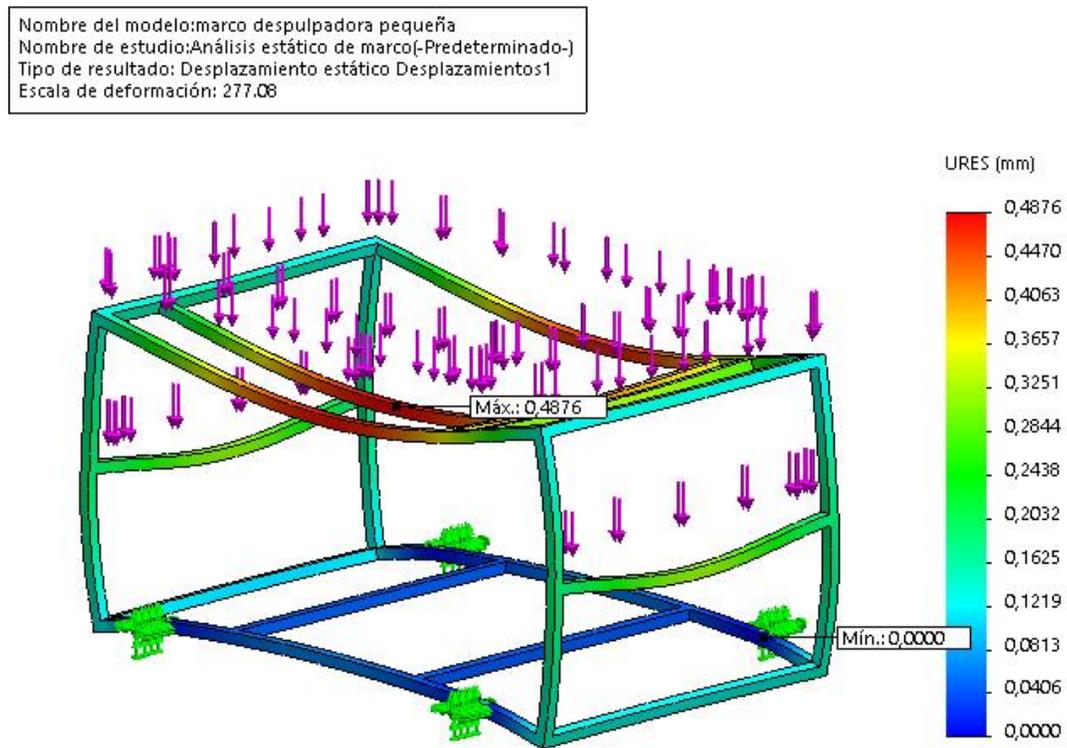


Figura 49. Estudio de desplazamiento [Elaboración propia].

En la deformación del marco no presenta daños que causen irregularidades en el sistema, el valor máximo de deformación es de 0.0002818 el valor se encuentra en un rango favorable. En la figura 50 se ilustra el estudio.

Nombre del modelo:marco despulpadora pequeña
Nombre de estudio:Análisis estático de marco-(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 277.08

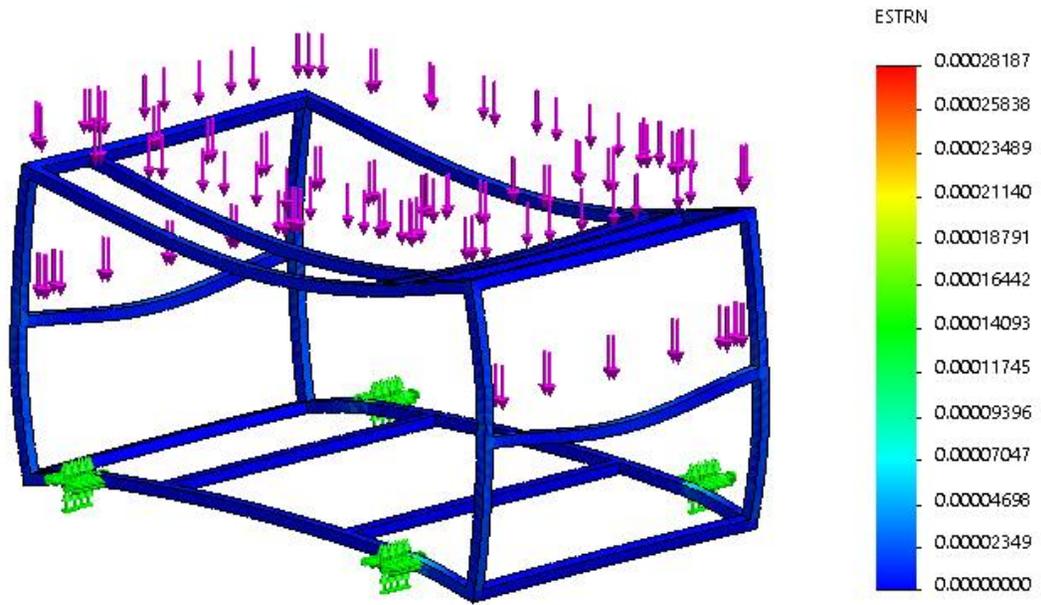


Figura 50. Estudio de deformación [Elaboración propia].

7 CAPÍTULO 4. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

En esta sección se desarrolla el proceso de construcción, fabricación y ensamble de las partes, piezas y módulos del prototipo mecatrónico industrial para el despulpado del Cacao, se presenta los procesos de manufactura implementados en la estructura de la máquina y se muestra la integración del sistema de control a nivel eléctrico y de automatismo industrial.

Para iniciar el proceso se requiere tener una base sobre la que se van acoplando los diferentes mecanismos, por lo que se requiere construir una estructura base o chasis.

7.1 CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA MAQUINA DESPULPADORA DE CACAO

Para el desarrollo del prototipo se trabaja por piezas estratégicas dando forma al montaje funcional. Con base en los planos de diseño, se divide y ordena las actividades de construcción, como se detalla en la tabla 12.

Tabla 12. Partes requeridas para la construcción del prototipo [Elaboración propia]

Orden	Cantidad	Pieza a construir
1	1	Marco o chasis
2	1	Tambor despulpador
3	2	Sistema de transmisión
4	2	Cuchillas de corte
5	1	Mecanismo y montaje cuchillas de corte
6	1	Tolva de alimentación
7	1	Bandeja de recolección
8	1	Tablero de control

Acorde al reglamento técnico colombiano descrito en la resolución 683 de 2012 que contempla los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano. La construcción de máquinas debe utilizar materiales que cumplan la norma sanitaria en cuanto a higiene y seguridad alimentaria; uno de estos materiales es el acero inoxidable AISI 304. El prototipo se construye en un material adecuado para estructura y pruebas de funcionamiento, siendo el más accesible en el mercado el hierro COLD ROLLED; las zonas donde el Cacao entra

en contacto con el prototipo, se construyen en lámina galvanizada, aunque es resistente a la corrosión, no es la adecuada, pero se selecciona para la prueba del prototipo.

7.1.1 Marco

La estructura del marco se realiza en hierro COLD ROLLED acorde a medidas planteadas en el diseño previo, el material que conforma la estructura debe de ser liviano y resistente, se selecciona tubería cuadrada de una pulgada en calibre 16, con la finalidad de ejecutar un marco idóneo. Con el material seleccionado se referencia las medidas del plano (ver anexo de planos C) de la figura 51.

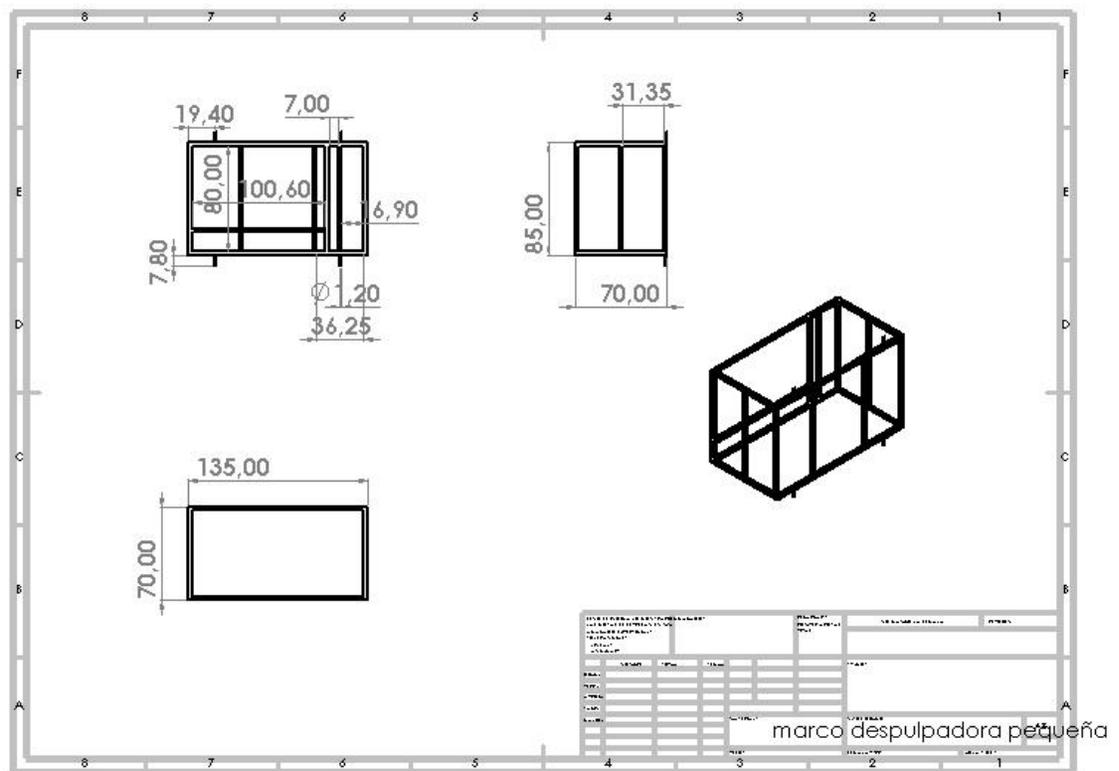


Figura 51. Vista isométrica del marco [Elaboración propia].

Para los cortes requeridos, se utiliza una pulidora con disco de corte para metal de 4½ pulgadas, con un recorte a 45 grados en triángulo para la unión de la esquina, la cual está conformada por tres tubos; de esta manera se puede realizar el armado de la estructura base, como se observa en las figuras 52 y 53.



Figura 52. Unión de la estructura [Elaboración propia].

Una vez se une la estructura con puntos de soldadura, se procede a verificar tanto con escuadra y nivel de mano si la posición es la correcta, y se lleva a cabo la soldadura eléctrica con electrodo West Arco 6013, como se ilustra en la figura 40.



Figura 53. Verificación de medidas [Elaboración propia].

7.1.2 Tambor

Para el tambor despulpador se aplica la fórmula de la circunferencia y así conocer la medida que se requiere recortar para formar un diámetro de 50cm.

$$P = 2 \times \pi \times r$$

Ecuación 5. Perímetro de la circunferencia

Donde, P = perímetro
 $\pi = 3.141$
r = radio

$$P = 2 \times \pi \times 25cm$$
$$P = 157.05cm$$

Conociendo la medida se recortan varillas de 157.05 cm y se enrolla la varilla de ¼ de pulgada, formando un diámetro de 50cm; se utilizan cuatro circunferencias para soportar la malla y la zaranda galvanizada, formando un cilindro de 50 cm de diámetro y 100 cm de largo; además se elabora un eje central de 5/8 de pulgada para transmitirle la potencia como se observa en la figura 54.



Figura 54. Tambor despulpador [Elaboración propia].

7.1.3 Transmisión de Potencia

La transmisión de potencia se realiza por medio de un piñón de 14 dientes y cadena, seleccionados previamente; en la salida del motor se encuentra un piñón, el cual transmite la potencia al otro piñón que está unido al tambor por medio de cadena; los piñones conductor y conducido tienen la misma cantidad de dientes para mantener la velocidad de salida del motor, como se observa en la figura 55.

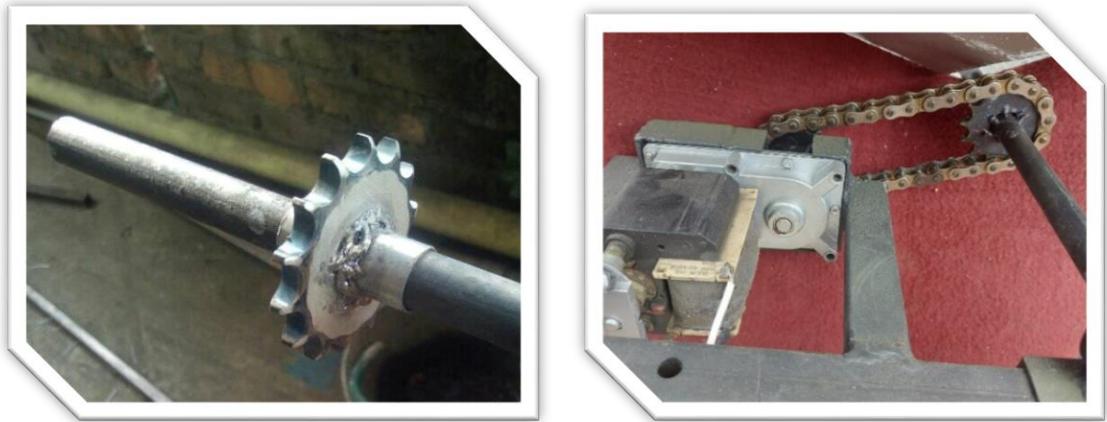


Figura 55. Trasmisión [Elaboración propia].

7.1.4 Mecanismo de Corte

El mecanismo de corte consta de dos discos que cumplen la función de corte en la mazorca; con el plano (ver anexo de planos C) y la vista de la figura 56, se ejecuta su mecanizado en la máquina herramienta de Torno. La medida de cada cuchilla es de 13 cm de diámetro y su eje es de 3 cm.

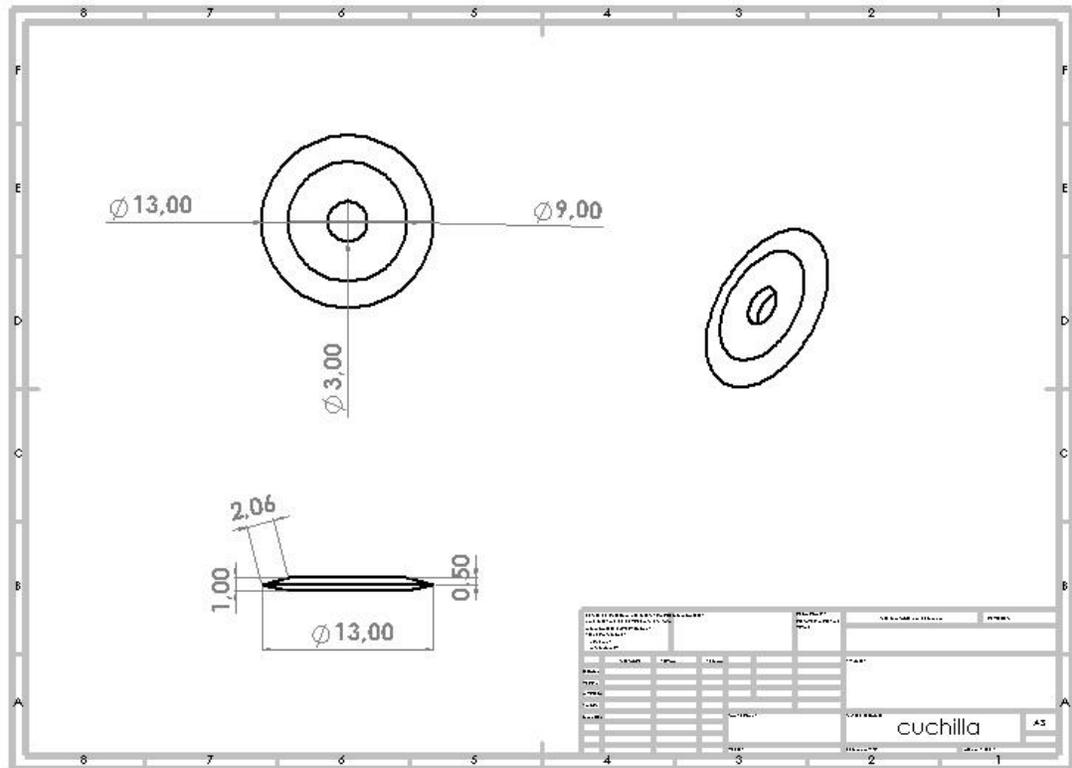


Figura 56. Vista isométrica del disco de corte [Elaboración propia].

El mecanismo de corte cuenta con un desplazamiento de 13 cm entre ejes; para realizar este desplazamiento, los ejes de las cuchillas se soportan sobre balineras; su transmisión es por 1 cadena y 5 piñones: el 1 es el piñón motriz o conductor; el 2 y 3 son los conducidos, estos se encuentran en los ejes de la cuchillas; el 4 es un piñón tensor usado para poder invertir el giro al piñón 3 con respecto al 2; y, el 5 es un piñón tensor, que tiene como función mantener la tensión, mientras la cuchilla realiza un desplazamiento. En la figura 57 se ilustra la numeración y el sentido de giro marcado por flechas.

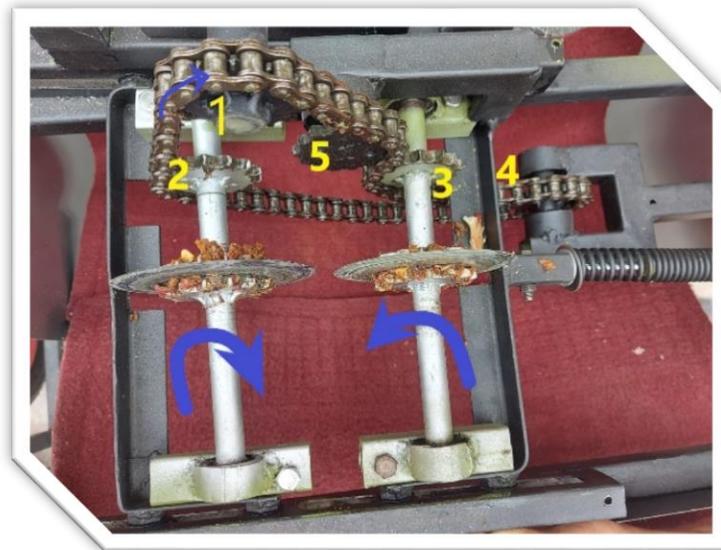


Figura 57. Sistema de corte [Elaboración propia].

Las cuchillas cuentan con dientes de empuje de sus dos lados, estos dientes ayudan a empujar la mazorca de Cacao hacia el interior del sistema de corte, evitando que el operario realice un mayor esfuerzo y corra riesgos; adicional a esa función, limita la entrada de la cuchilla en la cáscara del Cacao. El sistema es desplegable, se encuentra sujeto por tornillos de medida de 3/8 de pulgada permitiendo realizar limpiezas y mantenimientos con facilidad.

7.1.5 Tolva de Alimentación

Tiene una medida de 14 cm de diámetro y 12cm de alto, el material es lámina galvanizada calibre 22; la tolva cuenta con protección al mecanismo de corte y sus rodamientos; en la figura 58 se observa la vista isométrica (ver anexo de planos C).

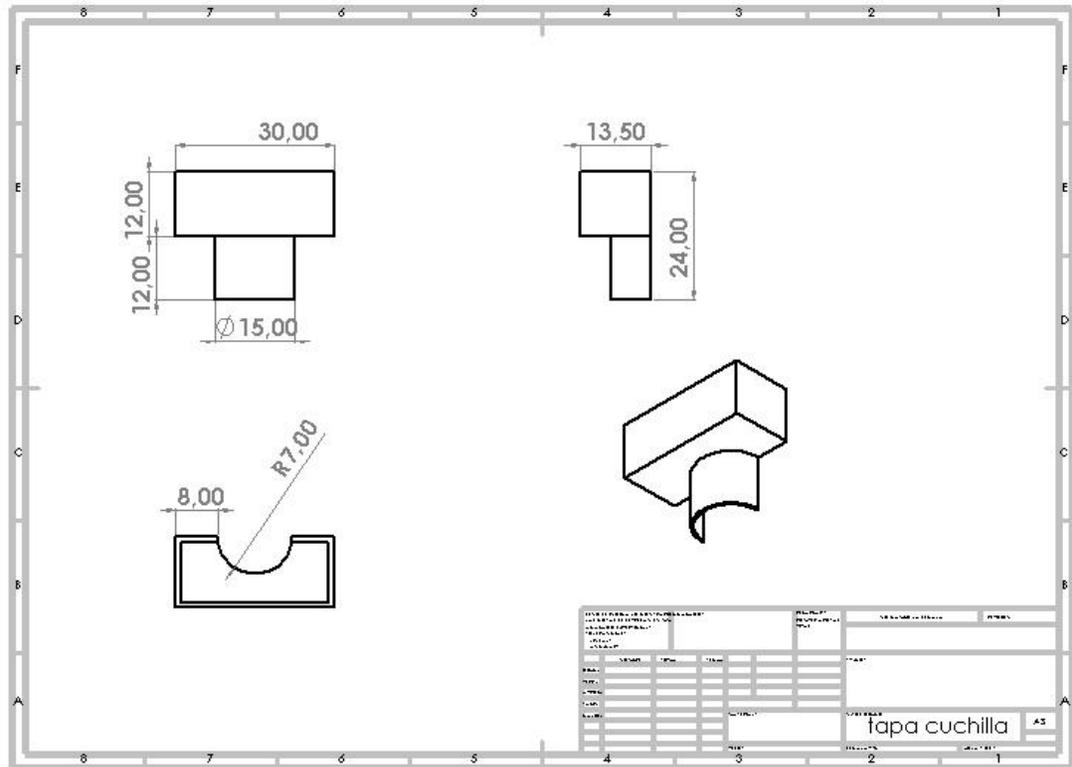


Figura 58. Vista isométrica de tolva de alimentación [Elaboración propia].

La tolva se fija en su posición con tres tornillos, se puede desarmar con facilidad para realizar su limpieza después de cada trabajo; su función es posicionar la mazorca de Cacao en las cuchillas de corte y al mismo tiempo, sirve de seguridad para el operario; en la figura 59 se ilustra su construcción.

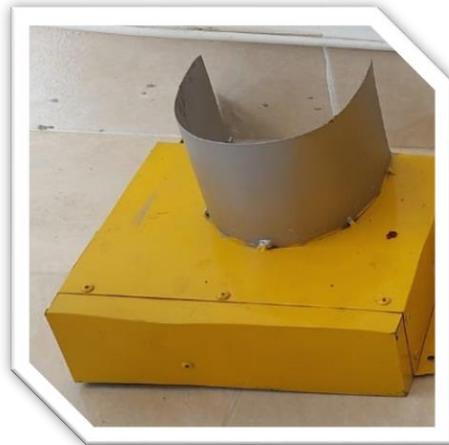


Figura 59. Tolva de alimentación [Elaboración propia].

7.1.6 Bandeja de Recolección

Su función es recolectar la almendra de Cacao y depositarla en un recipiente adecuado para transportarlo al área de fermentado; la bandeja mide 230 cm de largo por 120 cm de ancho, se construye en lámina galvanizada calibre 22 que rodea al tambor despulpador; cuenta con una pequeña inclinación para que la pulpa se deslice con facilidad; se encuentra fijada por tornillos por si se requiere retirarla; en la figura 60 se muestra la bandeja.



Figura 60. Bandeja recolectora [Elaboración propia].

7.1.7 Tablero de Control

Cuenta con un sistema de switch para encendido y apagado, con un piloto indicador de color azul; el sistema start tiene como indicador el piloto verde y el stop es el piloto color rojo; además, cuenta con paro de emergencia; en la figura 61 se puede observar el tablero.



Figura 61. Tablero de control [Elaboración propia].

8 CAPÍTULO 5. VALIDACIÓN DE PROTOTIPO

En esta sección se presentan las diferentes actividades y pruebas realizadas al prototipo mecatrónico de maquina despulpadora de Cacao, se inicia con pruebas de funcionamiento a la instrumentación industrial, posteriormente al control mediante pruebas seccionadas por módulos y finalmente se realiza un condicionamiento y puesta en marcha del prototipo.

8.1 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

Se verifica que todos sus componentes estén en su lugar y que su instalación esté perfecta; se realiza la alimentación de voltaje con 110 voltios de corriente alterna y se procede a realizar las medidas tanto de control como de potencia. El encendido en vacío verifica que su funcionamiento sea correcto; una vez verificado se espera un pequeño lapso para verificar que no se presenten fallas mecánicas o eléctricas.

8.1.1 Primer Sistema de Corte

La prueba del corte se realiza con 10 mazorcas inicialmente para la verificación del funcionamiento correcto de los mecanismos; esto permitió corregir errores y calibrar los mecanismos de corte y despulpado, debido a que esta prueba no cumplió con las expectativas esperadas; en la figura 62 se puede evidenciar el mecanismo de corte.



Figura 62. Sistema de corte [Elaboración propia].

El principal problema identificado fue en los sistemas de empuje de la mazorca y de corte, debido a que los movimientos mecánicos del sistema de corte no fueron los diseñados y esperados, pues solo un disco giró como correspondía y el otro sólo operó por la fricción de la mazorca; esto provocó que el corte fuera más profundo en un lado. Para que la mazorca pase entre los discos de corte, se requería hacer presión a la mazorca; la figura 63 ilustra lo descrito.



Figura 63. Prueba de corte [Elaboración propia].

Con esta prueba se puede identificar que se requiere que los dos discos suministren un movimiento rotacional suave para mejorar el corte y reducir la fuerza de empuje. Para ello, se opta por diseñar un sistema de dientes que ayude con la función de empuje, además de implementar un tope para no profundizar, ni exceder el margen de error del corte y no afectar la almendra; los dientes cumplieron con la función de tope diseñada. Por su parte, el sistema de amortiguamiento fue eficiente para mazorcas grandes, mientras que para las pequeñas se excedía en fuerza; por ello, se implementa un sistema de doble amortiguación: una para mazorcas pequeñas y otra para mazorcas grandes.

8.1.2 Segundo Mecanismo de Corte

El mecanismo de corte se diseña acorde con la necesidad observada en el primer sistema implementado. La prueba de funcionamiento se efectúa con una muestra de cinco (5) mazorcas, observando que la función cumple con el trabajo esperado; finalmente, se necesita hacer algunos ajustes en el sistema de trasmisión, debido a que, en el momento de amortiguación en el disco, este presenta un salto, generando una pérdida de movimiento, para ello, se agrega un piñón tensor para que, en el momento de amortiguar, brinde una tensión para asegurar que los dos discos giren a la misma velocidad. Una vez corregido este detalle, se vuelve a probar con una muestra de veinte (20) mazorcas; en la figura 64 se ilustran los resultados.



Figura 64. Corte critico [Elaboración propia].

Con los resultados obtenidos en la prueba, se evidencia que el sistema de amortiguación requiere un área mayor en el campo de acción en el piñón pequeño a grande; en las mazorcas grandes y medianas el corte es favorable, pero en las mazorcas pequeñas se evidencia un daño en la almendra del cacao, motivo por el cual, se establece una zona de acción mayor al sistema de amortiguación como se describe a continuación: el amortiguador que se encarga de recibir la primera presión es de 60 Newton y su desplazamiento de 4.5 cm antes de que el segundo amortiguador entre a operar; los dos amortiguadores inician su función a partir de 4.6 cm. Con estas medidas aún el corte no era el esperado; para la siguiente prueba, se parametriza a 5.3 cm. Se procede a realizar nuevas pruebas como se evidencian en la figura 65.



Figura 65. Segunda muestra de corte [Elaboración propia].

Con el rediseño ingenieril en el sistema de amortiguación, se obtienen unos resultados aceptables, pero aún se evidencia pequeños daños en la almendra del cacao, impidiendo que esta materia prima sea de tipo exportación, por lo tanto, se analiza, identifica y define ampliar la zona de acción del sistema de amortiguamiento a 5.5 cm en los discos de corte; los resultados se muestran en la figura 66.



Figura 66. Tercera prueba de corte [Elaboración propia].

Los resultados fueron satisfactorios; se realizaron diferentes pruebas con una muestra de cincuenta (50) mazorcas procesadas; los resultados expuestos en la

figura 65 evidencian la mayor afectación a la mazorca, en la figura 66 se observa un corte limpio en las almendras y en la figura 67 se muestra el porcentaje de efectividad. Por lo tanto, este mecanismo es factible y cumple con los requerimientos de diseño.

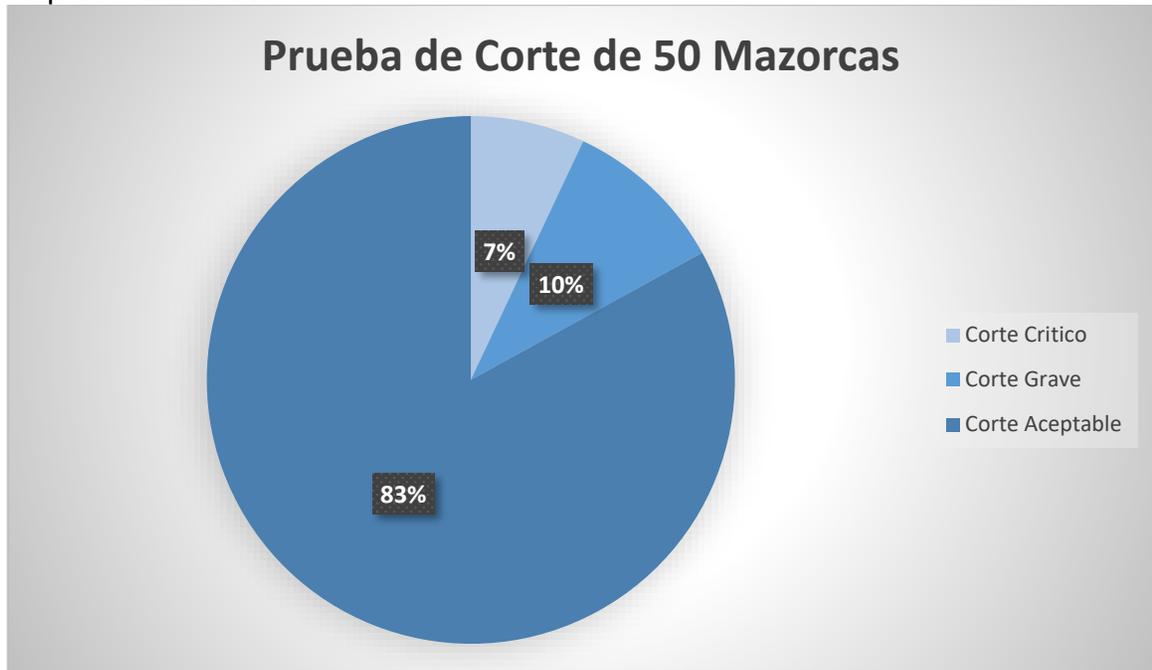


Figura 67. Resultados de corte de mazorcas [Elaboración propia].

8.2 PRUEBA DE DESPULPADO

El tambor despulpador se prueba previamente en la etapa de funcionamiento; su función fue correcta, de manera que se procede a realizar el despulpado de 10 mazorcas; esta prueba no arrojó un despulpado adecuado, debido a que el tambor no se encuentra en un nivel óptimo y la mazorca no avanza en el movimiento de desplazamiento horizontal, ocasionando un retroceso en lugar de salir por la parte final del tambor.

Por ello, se establece una inclinación al tambor de 10 cm desde la parte superior del chasis. Con esta inclinación, las mazorcas avanzan demasiado rápido y no se realiza el despulpado completo quedando con almendras; dado lo anterior, se procede a reducir la inclinación a 7 cm y se prueba nuevamente, obteniendo los resultados satisfactorios que se pueden observar en la figura 68 y 69.



Figura 68. Tambor despulpador [Elaboración propia].

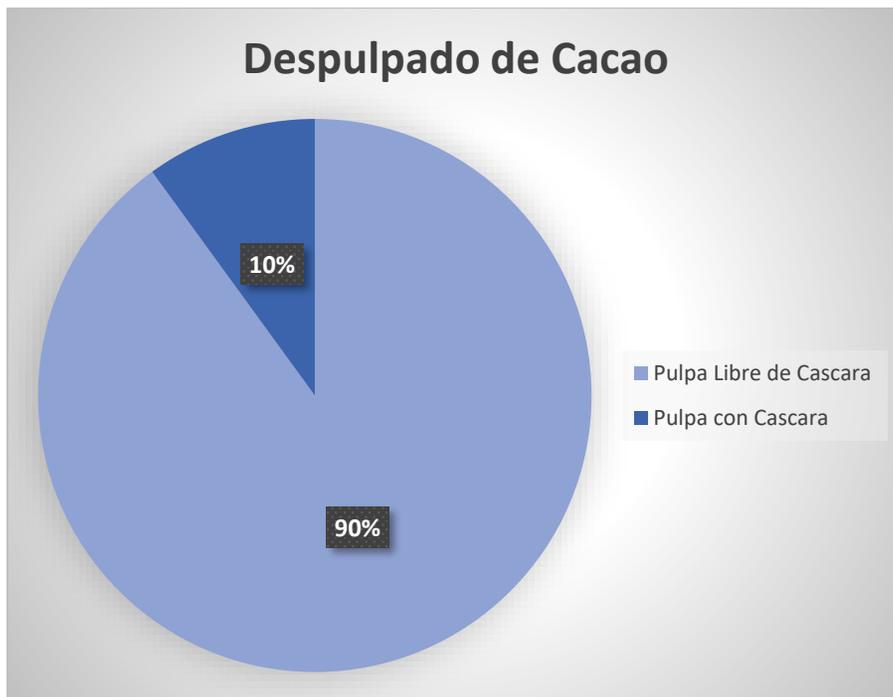


Figura 69. Eficiencia de despulpado [Elaboración propia].

8.2.1 Capacidad de Procesamiento

El prototipo mecatrónico industrial tiene capacidad de procesamiento de seis (6) mazorcas por minuto y puede alcanzar un máximo de quince (15) mazorcas por minuto, para alcanzar el máximo rendimiento se requiere de personal con experiencia práctica y contar con un flujo de mazorcas constantes; es decir, para procesar un kilo de Cacao seco en la región en la que se estipula que lo conforman un promedio de 20 mazorcas, se requiere de 3 minutos con 20 segundos; realizando el cálculo con una jornada laboral de 8 horas, la maquina es capaz de procesar entre 2500 a 2880 mazorcas dependiendo del ritmo del operario en el sistema de alimentación. En unidades de peso, la maquina es capaz de procesar un promedio de 125 kg a 144 kg de Cacao seco por jornada laboral. En la figura 70 se muestra el despulpado de mazorcas por minuto.

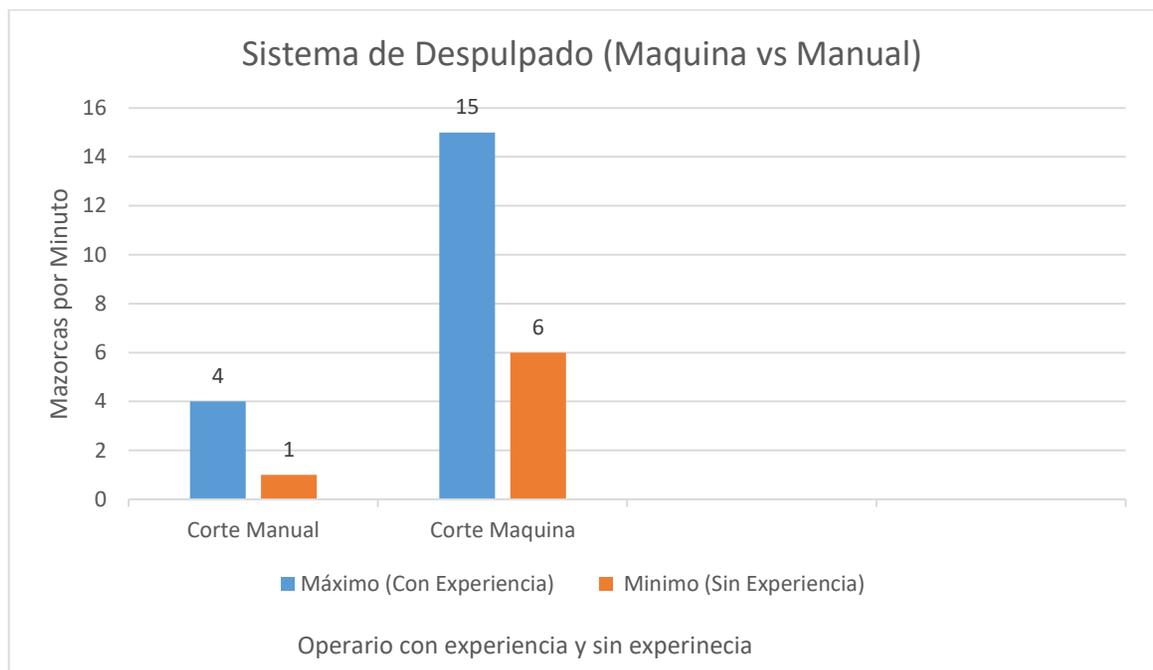


Figura 70. Capacidad de procesamiento [Elaboración propia].

8.3 ESPECIFICACIONES DEL PROTOTIPO MECATRÓNICO INDUSTRIAL PARA EL DESPULPADO DE CACAO

En la tabla 13 se detallan las especificaciones técnicas del prototipo mecatrónico industrial para el despulpado del Cacao.

Tabla 13. Especificaciones del prototipo [elaboración propia].

PROTOTIPO MECATRÓNICO INDUSTRIAL PARA EL DESPULPADO DEL CACAO			
Medidas	Largo	Ancho	Alto
Área de ocupación	150 cm	150 cm	150cm
Chasis	135 cm	85 cm	70 cm
Consumo eléctrico	voltaje	Amperaje	Frecuencia
Consumo con carga	110v	7 ^a	60HZ
capacidad de procesamiento	Tiempo	Mazorcas	Peso
	1min	6	300g
	1h	360	18kg

El consumo eléctrico del prototipo en horas se realiza con la siguiente ecuación

Ecuación 6. *Potencia*

$$P = V \times I$$

Donde

P= potencia

V= voltios

I= amperios

$$P = 0.77Kwh$$

8.3.1 Planos Eléctricos

El sistema de alimentación de la máquina es energía alterna a 110 voltios; el control de encendido funciona mediante switch de llave y el indicador de encendido es un piloto azul. Para poner en marcha los motores, cuenta con un pulsador verde de marcha y su indicador es un piloto verde, para el paro cuenta con pulsador rojo y un paro de emergencia y su indicador es un piloto rojo; en la figura 71 se muestran los planos eléctricos

9 RECOMENDACIONES

- ✓ Recomendaciones de construcción. El material en el cual se construya la maquinaria debe de ser no contaminante al Cacao, se recomienda el acero inoxidable o aluminio.
- ✓ Para la construcción de las cuchillas usar material no contaminante en el cacao y que permita ofrecer un afilado de corte.
- ✓ Hermetizar los componentes eléctricos para evitar deterioros por el medio ambiente.
- ✓ Sugerencias de manipulación: el operario debe ser capacitado previamente para realizar la labor de operación del prototipo mecatrónico para el despulpado del cacao; la adecuación de la máquina en el lugar de trabajo se debe realizar en el momento antes de empezar la tarea, para lo que se tiene que nivelar la máquina; el operario siempre debe usar los elementos de protección de seguridad y salud en el trabajo.

10 CONCLUSIONES

El prototipo mecatrónico industrial para el despulpado del Cacao, cumple con las necesidades y requerimientos de la asociación Cacaotera ASOPROCAF&VG conformada por la comunidad de productores del Valle del Guamuez, gracias a sus prestaciones técnicas y operativas encaminadas a generar materia prima de almendra de Cacao tipo exportación. En términos de rendimiento en la producción, en comparación con las diferentes máquinas que existen y cumplen con esta labor en el mercado (Máquina cortadora y despulpadora de Cacao [14]; con 60 mazorcas por minuto), un operario de ASOPROCAF&VG de forma manual procesa 4 mazorcas por minuto el prototipo propuesto es eficiente permitiendo procesar entre 6 a 15 mazorcas por minuto.

El desarrollo del prototipo industrial para el despulpado del Cacao ofrece un diseño capaz de generar un corte limpio en la almendra del cacao por medio de un sistema de cuchillas de corte y un sistema de amortiguación eficiente, económico y con elementos de fácil acceso en el mercado colombiano. Es por esto que este prototipo, se presenta como una alternativa a bajo costo entre (\$8.000.000 costo de fabricación), adaptable a la topografía del Valle del Guamuez y asequible para los agricultores Cacaoteros de la región.

El sistema de tambor giratorio implementado en el prototipo industrial además de cumplir con el proceso de despulpado del Cacao, permite separar y clasificar Cacaos con enfermedades como la monilla, acción que favorece el proceso de verificación de los estándares de calidad para Cacao tipo exportación.

El estudio mecánico realizado al prototipo industrial para el despulpado del Cacao, evidencia que su estructura física es capaz de soportar (300N) antes de presentar una falla, es de resaltar que el diseño propuesto ofrece componentes modulares conducentes a un fácil mantenimiento preventivo o correctivo.

11 REFERENCIAS

- [1] “La Mecanización Agrícola: Gestión, Selección Y Administración De La Maquinaria Para Las Operaciones De Campo,” *CES Med. Vet. y Zootec.*, vol. 4, no. 2, pp. 151–160, 2009, doi: 10.21615/1040.
- [2] “Principales riesgos en el sector.” [Online]. Available: http://agrario.ibv.org/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=155. [Accessed: 14-Oct-2020].
- [3] “27.000 accidentes laborales en el sector agricultor durante primer semestre 2020.” [Online]. Available: <https://conexioncapital.co/27-000-accidentes-laborales-en-el-sector-agricultor-durante-primer-semestre-2020/>. [Accessed: 14-Oct-2020].
- [4] FEDECACAO, “Informe De Gestión Año 2017,” pp. 1–44, 2018.
- [5] “Internacionales.” [Online]. Available: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/internacionales>. [Accessed: 03-Oct-2020].
- [6] Herdiana, “IA PRODUCCIÓN Y LAS EXPORTACIONES DE CACAO COLOMBIANO ENTRE 2007 Y EL 2016: DESAFÍOS PARA LOGRAR MAYOR COMPETITIVIDAD EN EL MERCADO INTERNACIONAL,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [7] MADR, “Cadena de valor de Cacao,” *Dir. cadenas agrícolas y For.*, 2020.
- [8] Banco de desarrollo de América Latina, “Observatorio del Cacao Fino y de Aroma para América Latina: Valiosas experiencias nacionales e internacionales en el foro “ Factores asociados a la bioacumulación de cadmio en cacao y sus estrategias de mitigación”,” *Iniciat. Latinoam. del Cacao Boletín No. 5*, vol. 5, no. v, pp. 1–17, 2019.
- [9] “Nacionales.” [Online]. Available: <http://www.fedecacao.com.co/portal/index.php/es/2015-02-12-17-20-59/nacionales>. [Accessed: 03-Oct-2020].
- [10] P. C. Abbott *et al.*, “An Analysis of the Supply Chain of Cacao in Colombia,” *Análisis la cadena productiva del cacao en Colomb.*, p. 221, 2019, doi: 10.13140/RG.2.2.10934.14400.
- [11] P. D. E. A. N, M. D. E. Leguizamo, L. Teje, and P. D. E. Gobierno, “Republica de colombia departamento del putumayo municipio de leguizamo alcaldia municipal,” 2019.
- [12] “Asoprocaf – Asociación de productores de cacao la florida.” [Online]. Available: <https://www.asoprocaf.com/>. [Accessed: 03-Oct-2020].
- [13] A. S. Manual and O. Cultivos, “Putumayo Putumayo,” 2016.
- [14] Q. D. E. Cacau, “QUEBRADOR DE CACAU Características.”
- [15] “maquina despulpadora – AgroVisión Group.” [Online]. Available: <http://agrovision.pe/tag/maquina-despulpadora/>. [Accessed: 03-Oct-2020].
- [16] “Evermark do Brasil Importação Exportação - Cortador y separador máquina

- de cacao | B2Brazil.” [Online]. Available: <https://es.b2brazil.com/hotsite/evermarkdobrasil/cortador-y-separador-maquina-de-cacao>. [Accessed: 03-Oct-2020].
- [17] Y. D. D. E. Cacao, C. O. N. Una, T. Guasgua, and C. Dario, *Trabajo de titulación*. 2019.
- [18] “(19) Cortadora de mazorcas de Cacao y desgranadora de semillas de Cacao - YouTube.” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=DbZhiFLCyu8&t=94s>. [Accessed: 15-Oct-2020].
- [19] L. Batista, “Guía Técnica El Cultivo de Cacao,” *St. Domingo, Repub. Dominic. para el Desarro. Agropecu. y For. CEDAF*, vol. 2, no. 1, p. 250, 2009, doi: 10.1016/S0365-6691(10)70034-4.
- [20] E. Pérez *et al.*, “Cacao, culture and heritage: A habitat of fine aroma in Venezuela,” *Rev. Iberoam. Vitic. Agroind. y Rural.*, vol. 8, no. 22, pp. 146–162, 2021, doi: 10.35588/rivar.v8i22.4781.
- [21] J. C. Motamayor, A. M. Risterucci, P. A. Lopez, C. F. Ortiz, A. Moreno, and C. Lanaud, “Cacao domestication I: The origin of the cacao cultivated by the Mayas,” *Heredity (Edinb.)*, vol. 89, no. 5, pp. 380–386, 2002, doi: 10.1038/sj.hdy.6800156.
- [22] A. H. Halevy, “CRC Handbook of flowering,” *CRC Handb. Flower.*, vol. 5, no. 1753, pp. 1–414, 2018, doi: 10.1201/9781351072571.
- [23] C. Arturo, M. Córdoba, M. C. Riascos, and L. Carolina, *Agroindustria del cacao*. .
- [24] P. A. de Souza, L. F. Moreira, D. H. A. Sarmiento, and F. B. da Costa, “Cacao—Theobroma cacao,” *Exot. Fruits*, no. 2001, pp. 69–76, 2018, doi: 10.1016/b978-0-12-803138-4.00010-1.
- [25] M. RF, *El cacao*, vol. n°72. 2007.
- [26] M. Productivo, P. El, and C. D. E. Cacao, *Material vegetal y propagación 1*. .
- [27] J. Carlos, “CACAO CRIOLLO : SU IMPORTANCIA PARA LA GASTRONOMÍA , EL TURISMO , CAMBIO CLIMÁTICO Y ALGUNAS PREPARACIONES A BASE DE SUS RESIDUOS,” pp. 1–39.
- [28] “El 72% de la producción peruana de cacao es criollo o fino.” [Online]. Available: <https://agraria.pe/noticias/el-72-de-la-produccion-peruana-de-cacao-es-criollo-o-13461>. [Accessed: 05-Nov-2021].
- [29] E. Durán and A. Dubón, “Tipos genéticos de cacao y distribución geográfica en Honduras,” pp. 4–6, 2016.
- [30] “Cacao amazónico y leche - Ingrediente del chocolate.” [Online]. Available: <https://www.lineaysalud.com/nutricion/alimentos/cacao-amazonico-cocoa>. [Accessed: 05-Nov-2021].
- [31] *No Title*. .
- [32] “El cacao venezolano tiene su día y es este 01 de octubre.” [Online]. Available: <https://www.globovision.com/article/dia-del-cacao-criollo-tesoro-de-venezuela>. [Accessed: 05-Nov-2021].
- [33] M. A. Arvelo Sánchez, D. González León, S. Maroto Arce, T. Delgado López, and P. Montoya López, *Manual técnico del cultivo de cacao Buenas prácticas*

- para América Latina*. 2017.
- [34] L. M. C. Velásquez, E. Rodríguez-Sandoval, and E. M. C. Chamorro, "Diagnosis of cocoa post-harvest practices in the department of Arauca," *Rev. Lasallista Investig.*, vol. 13, no. 1, pp. 94–104, 2016, doi: 10.22507/rli.v13n1a8.
- [35] Compañía Nacional de Chocolates, *Cosecha, beneficio y calidad del grano de cacao (Theobroma cacao L.)*. 2019.
- [36] "LA CLAVE DE LA CALIDAD DEL CACAO, SU BENEFICIO. ~ Poscosecha Cacao." [Online]. Available: <https://poscosechacacao.blogspot.com/2021/01/la-clave-de-la-calidad-del-cacao-su.html>. [Accessed: 05-Nov-2021].
- [37] M. Paredes, "Manual de cultivo del cacao," *Manual*, p. 100 p, 2003.
- [38] Fedecacao, *Caracterización físicoquímica y beneficio del grano de cacao (Theobroma cacao L.) en Colombia*. 2005.
- [39] "Explicación Paso a Paso: La Cosecha y El Procesamiento del Cacao - Perfect Daily Grind Español." [Online]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/03/06/explicacion-paso-paso-la-cosecha-y-el-procesamiento-del-cacao/>. [Accessed: 05-Nov-2021].
- [40] D. Pava, "Eficacia De Los Métodos De Fermentación Y Secado Para Optimizar La Calidad De Las Almendras De Cacao (Theobroma Cacao L)," *Univ. Técnica Machala*, p. 23, 2016.
- [41] "Chocolate Y Cacao Crudos: ¿Alimentos Saludables O Peligrosos? - Perfect Daily Grind Español." [Online]. Available: <https://perfectdailygrind.com/es/2018/11/02/chocolate-y-cacao-crudos-alimentos-saludables-o-peligrosos/>. [Accessed: 05-Nov-2021].
- [42] G. M. I. Predan, D. A. Lazăr, and I. I. Lungu, "Cocoa industry-from plant cultivation to cocoa drinks production," *Caffeinated Cocoa Based Beverages Vol. 8. Sci. Beverages*, pp. 489–507, 2019, doi: 10.1016/B978-0-12-815864-7.00015-5.
- [43] I. López Cerino and E. Chávez García, "Eficacia de secador solar tipo túnel con cacao (Theobroma Cacao L.) en Tabasco," *Rev. Mex. Ciencias Agrícolas*, no. 21, pp. 4395–4405, 2018, doi: 10.29312/remexca.v0i21.1528.
- [44] CAOBISCO/AEC/FCC, *Cacao en Grano: Requisitos de Calidad de la Industria del Chocolate y del Cacao*, vol. 69, no. 12. 2015.
- [45] A. Avila, M. Campos, F. Guharay, and A. Camacho, "Cosecha, Fermentación Y Secado Del Cacao 8," *Lutheran World Reli. es*, p. 40, 2013.
- [46] D. Oralía, R. Morelos, C. M. Corral, I. S. Marrufo, V. Torres-arguelles, and L. Habana, "Metodologías para diseño de prácticas didácticas en sistemas de control Methodologies for design didactic activities in control systems," vol. 12, no. 11, pp. 90–106, 2019.
- [47] A. E. Fitzgerald, C. Kingsley, and S. D. Umans, *Electric Machinery Fundamentals - 6th ed*. 2003.
- [48] Siemens, "Simotics, El portafolio de motores eléctricos más amplio del mundo," *Siemens ingennity life*, p. 56, 2020.
- [49] E. Vilches, "El contactor .-," pp. 1–14.
- [50] E. Vilches, "El contactor Ventajas," pp. 1–22, 2013.

- [51] O. Isa, "Circuitos básicos."
- [52] S. AG, "Guardamotors SIRIUS 3RV."
- [53] "Aparatos de mando, regulación y control. Relés 5."
- [54] Z. M. Ømm, "PULSADORES Ø22mm •," *Pulsadores*, p. 52, 2007.
- [55] R. Aburto, "Tablero Electrico," *Diciembre*, p. 4, 2012.
- [56] C. Medioambiental and T. N. Gama, "Tecnología en Mando y Señalización Industrial 2018-2019," 2019.
- [57] M. Natalia Agredo, J. Quintana, and J. Fernando Florez, "Diseño y pruebas de un sistema de monitoreo y supervisión para una máquina universal de ensayos," *Prospectiva*, vol. 13, no. 2, p. 25, 2015, doi: 10.15665/rp.v13i2.484.
- [58] E. Ue, "Máquinas de ensayo servohidráulicas Serie IBMT4," 2000.
- [59] E. E. Niebles, "Procedimientos de Soldadura y Calificación de Soldadores: una Propuesta de Enseñanza y Guía de Aplicación para la Industria Welding Procedures and Welder Qualifications: A Proposal for Teaching and Application Guide for the Industry," vol. 20, pp. 19–30, 2009, doi: 10.1612/inf.tecnol.4064it.08.
- [60] "No Titleالبيترول."
- [61] "Canastas Plásticas Ref 4260 BFT | Grupo GUER-S S.A.S." [Online]. Available: <https://www.grupoguers.com.co/canastas-plasticas-ref-4260-bft/>. [Accessed: 06-Oct-2021].
- [62] Intermec S.A., "Catalogo Transmisión De Potencia Piñones Y Cadenas," vol. sexta edic, p. 130, 2015.

12 ANEXOS

12.1 ANEXOS A

+++DESPULPADORA DE CACAO+++
Encuesta dirigida a los productores y/o trabajadores del cultivo del Cacao

*Obligatorio

1. Correo *

2. Nombre y Apellidos *

Dario Urreste _____

3. ¿Eres productor y/o Empleado en los cultivos de Cacao?

Marca solo un óvalo.

SI
 NO

4. ¿Cuál es la técnica que aplicas y/o utilizas para el despulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

Manual - Corte con machete
 Manual - Quiebra de la cascara por medio de golpe
 Automatizada - Maquinaria
 Otro: _____

docs.google.com/forms/d/1TgW39bRTTqaSuESz1fVnCsZNeHT_yjo-JVqI3qWw-s/edit

Figura A. Encuestas [elaboración propia].

+++DESPULPADORA DE CACAO+++

5. ¿Conoces algún tipo de maquinaria que realice el despulpado del cacao?

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Otro:

6. ¿Usarías y/o implementarías maquinaria para el despulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Posiblemente

7. ¿Cómo te gustaría que fuera la maquinaria que realice el despulpado del Cacao? *

me gustaría que sea
Económica x
Manual

8. ¿Cuáles son tus expectativas frente a las funciones de una máquina despulpadora de Cacao? *

mis expectativas
que la máquinas
que trabaje sola

Figura B. Encuesta [elaboración propia].

9. ¿Que recomendaciones le harías al fabricante de una maquina despulpadora de Cacao referente a las prestaciones y servicios ? *

que sea facil de usar

y de buen material

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Figura C. Encuesta [elaboración propia].

+++DESPULPADORA DE CACAO+++

Encuesta dirigida a los productores y/o trabajadores del cultivo del Cacao

*Obligatorio

1. Correo *

2. Nombre y Apellidos *

Zulemy Ruales

3. ¿Eres productor y/o Empleado en los cultivos de Cacao?

Marca solo un óvalo.

SI

NO

4. ¿Cuál es la técnica que aplicas y/o utilizas para el despulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

Manual - Corte con machete

Manual - Quebra de la cascara por medio de golpe

Automatizada - Maquinaria

Otro:

Figura D. Encuesta [elaboración propia].

+++DESPULPADORA DE CACAO+++

5. ¿Conoces algún tipo de maquinaria que realice el despulpado del cacao?

Marca solo un óvalo.

- Si
 No
 Otro:

6. ¿Usarías y/o implementarías maquinaria para el despulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No
 Posiblemente

7. ¿Cómo te gustaría que fuera la maquinaria que realice el despulpado del Cacao? *

me gustaría que la máquina que realice el
despulpado del cacao, fuera fácil de utilizar

8. ¿Cuáles son tus expectativas frente a las funciones de una máquina despulpadora de Cacao? *

mis expectativas son que me ahorre esfuerzo y
trabajo

Figura E. Encuesta [elaboración propia].

9. ¿ Que recomendaciones le harías al fabricante de una maquina despulpadora de Cacao referente a las prestaciones y servicios ? *

las recomendaciones que le haria es que sea
Facil de lavar.

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Figura F. Encuesta [elaboración propia].

+++DESPULPADORA DE CACAO+++

Encuesta dirigida a los productores y/o trabajadores del cultivo del Cacao

*Obligatorio

1. Correo *

2. Nombre y Apellidos *

Edier Jimenez

3. ¿Eres productor y/o Empleado en los cultivos de Cacao?

Marca solo un óvalo.

- SI
- NO

4. ¿Cuál es la técnica que aplicas y/o utilizas para el despulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

- Manual - Corte con machete
- Manual - Quiebra de la cascara por medio de golpe
- Automatizada - Maquinaria
- Otro:

Figura G. Encuesta [elaboración propia].

5. ¿Conoces algún tipo de maquinaria que realice el despulpado del cacao? *

Marca solo un óvalo.

Si

No

Otro: _____

6. ¿Usarías y/o implementarías maquinaria para el despulpado del Cacao? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Posiblemente

7. ¿Cómo te gustaría que fuera la maquinaria que realice el despulpado del Cacao? *

Me gustaría que la maquina que realice
dicho proceso fuera recargable,

8. ¿Cuáles son tus expectativas frente a las funciones de una maquina despulpadora de Cacao? *

Las expectativas que tendría es que
tenga un alto rendimiento de trabajo.

Figura H. Encuesta [elaboración propia].

9. ¿Que recomendaciones le harías al fabricante de una maquina despulpadora de Cacao referente a las prestaciones y servicios ? *

Entre las recomendaciones tendria que se pueda lavar, que sea liviana.

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Figura 1. Encuesta [elaboración propia].

+++DESPULPADORA DE CACAO+++

Encuesta dirigida a los productores y/o trabajadores del cultivo del Cacao

*Obligatorio

1. Correo *

2. Nombre y Apellidos *

NEVIO RENGIFO

3. ¿Eres productor y/o Empleado en los cultivos de Cacao?

Marca solo un óvalo.

SI

NO

4. ¿Cuál es la técnica que aplicas y/o utilizas para el despulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

Manual - Corte con machete

Manual - Quebra de la cascara por medio de golpe

Automatizada - Maquinaria

Otro:

Figura J.

5. ¿Conoces algún tipo de maquinaria que realice el despulpado del cacao?

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No
 Otro:

6. ¿Usarías y/o implementarías maquinaria para el despulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No
 Posiblemente

7. ¿Cómo te gustaría que fuera la maquinaria que realice el despulpado del Cacao? *

la maquina que realice el despulpado
debe ser facil de manejar

8. ¿Cuáles son tus expectativas frente a las funciones de una maquina despulpadora de Cacao? *

Una funcion que me gustaria que tenga es
que se pueda transportar con facilidad

Figura K. Encuesta [elaboración propia].

18:40

+++DESPULPADORA DE CACAO+++

9. ¿ Que recomendaciones le harías al fabricante de una maquina despulpadora de Cacao referente a las prestaciones y servicios ? *

que los respuestos de la maquina se consigan

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

https://docs.google.com/forms/d/1TgW39bRTTqaSuESz1fVnCsZNeHT_yjo-JVq13qWw-s/edit

3/

Figura L. Encuesta [elaboración propia].

+++DESPULPADORA DE CACAO+++

Encuesta dirigida a los productores y/o trabajadores del cultivo del Cacao

*Obligatorio

1. Correo *

2. Nombre y Apellidos *

Nancy Portilla

3. ¿Eres productor y/o Empleado en los cultivos de Cacao?

Marca solo un óvalo.

SI
 NO

4. ¿Cuál es la técnica que aplicas y/o utilizas para el desulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

Manual - Corte con machete
 Manual - Quiebra de la cascara por medio de golpe
 Automatizada - Maquinaria
 Otro:

Figura M. Encuesta [elaboración propia].

5. ¿Conoces algún tipo de maquinaria que realice el despulpado del cacao?

Marca solo un óvalo.

- Si
 No
 Otro:

6. ¿Usarías y/o implementarías maquinaria para el despulpado del Cacao? *

Marca solo un óvalo.

- Sí
 No
 Posiblemente

7. ¿Cómo te gustaría que fuera la maquinaria que realice el despulpado del Cacao? *

me gustaría que la máquina trabaje con el sol

8. ¿Cuáles son tus expectativas frente a las funciones de una máquina despulpadora de Cacao? *

que no requiera de muchos trabajadores para realizar el trabajo

Figura N. Encuesta [elaboración propia].

9. ¿ Que recomendaciones le harías al fabricante de una maquina despulpadora de Cacao referente a las prestaciones y servicios ? *

que tengan llantas para poderla movilizar

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google.

Google Formularios

Figura O. Encuesta [elaboración propia].

+++DESPULPADORA DE CACAO+++

Encuesta dirigida a los productores y/o trabajadores del cultivo del Cacao

*Obligatorio

1. Correo *

2. Nombre y Apellidos *

JHONFREDDY JURADO cordoba

3. ¿Eres productor y/o Empleado en los cultivos de Cacao?

Marca solo un óvalo.

SI
 NO

4. ¿Cuál es la técnica que aplicas y/o utilizas para el despulpado del Cacao?

Marca solo un óvalo.

Manual - Corte con machete
 Manual - Quiebra de la cascara por medio de golpe
 Automatizada - Maquinaria
 Otro:

https://docs.google.com/forms/d/1TgW39bRTTqaSuESz1fVnCsZNeHT_yjo-JVq13qWw-s/edit

2/3

Figura P. Encuesta [elaboración propia].

5. ¿Conoces algún tipo de maquinaria que realice el despulpado del cacao? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Otro: _____

6. ¿Usarías y/o implementarías maquinaria para el despulpado del Cacao? *

Marca solo un óvalo.

Sí

No

Posiblemente

7. ¿Cómo te gustaría que fuera la maquinaria que realice el despulpado del Cacao? *

que sea pequeña liviana ligera

8. ¿Cuáles son tus expectativas frente a las funciones de una maquina despulpadora de Cacao? *

que la maquina sea sola el despulpado

Figura Q. Encuesta [elaboración propia].

9. ¿ Que recomendaciones le harías al fabricante de una maquina despulpadora de Cacao referente a las prestaciones y servicios ? *

recomendaria que la maquina trabaje
con el sol

Este contenido no ha sido creado ni aprobado por Google

Google Formularios

Figura R. Encuesta [elaboración propia].

12.2 ANEXOS B



Figura S. Reunión de contextualización [elaboración propia].



Figura T. Presentación de maquinaria existente [elaboración propia].



Figura U. Evaluación de funciones [elaboración propia].



Figura V. Evaluación de funciones [elaboración propia].

ANÁLISIS DE OPCIONES.

se da conocer a representantes de ASOPROCAF&VG los tres tipos de combinaciones planteados tomando en cuenta los principios de funcionamiento de maquinaria existente para realizar el proceso del despulpado

Opción 1 (rojo). Sistema de control ON/OFF- Tolva- banda vertical – Aspas quebradoras – tambor giratorio – bandeja.

Las mazorcas se almacenan en la tolva y la banda vertical las recoge, posicionándolas en el punto de corte en donde serán procesadas por las aspas quebradoras y depositadas sobre el tambor giratorio, encargado de separar las cáscaras de la pulpa y recoger la pulpa en bandeja y desechar la cáscara por la parte final del tambor.

Opción 2 (verde). Sistema de control ON/OFF- arrume – tornillo sinfín – rodillos trituradores – zaranda vibradora – bandeja.

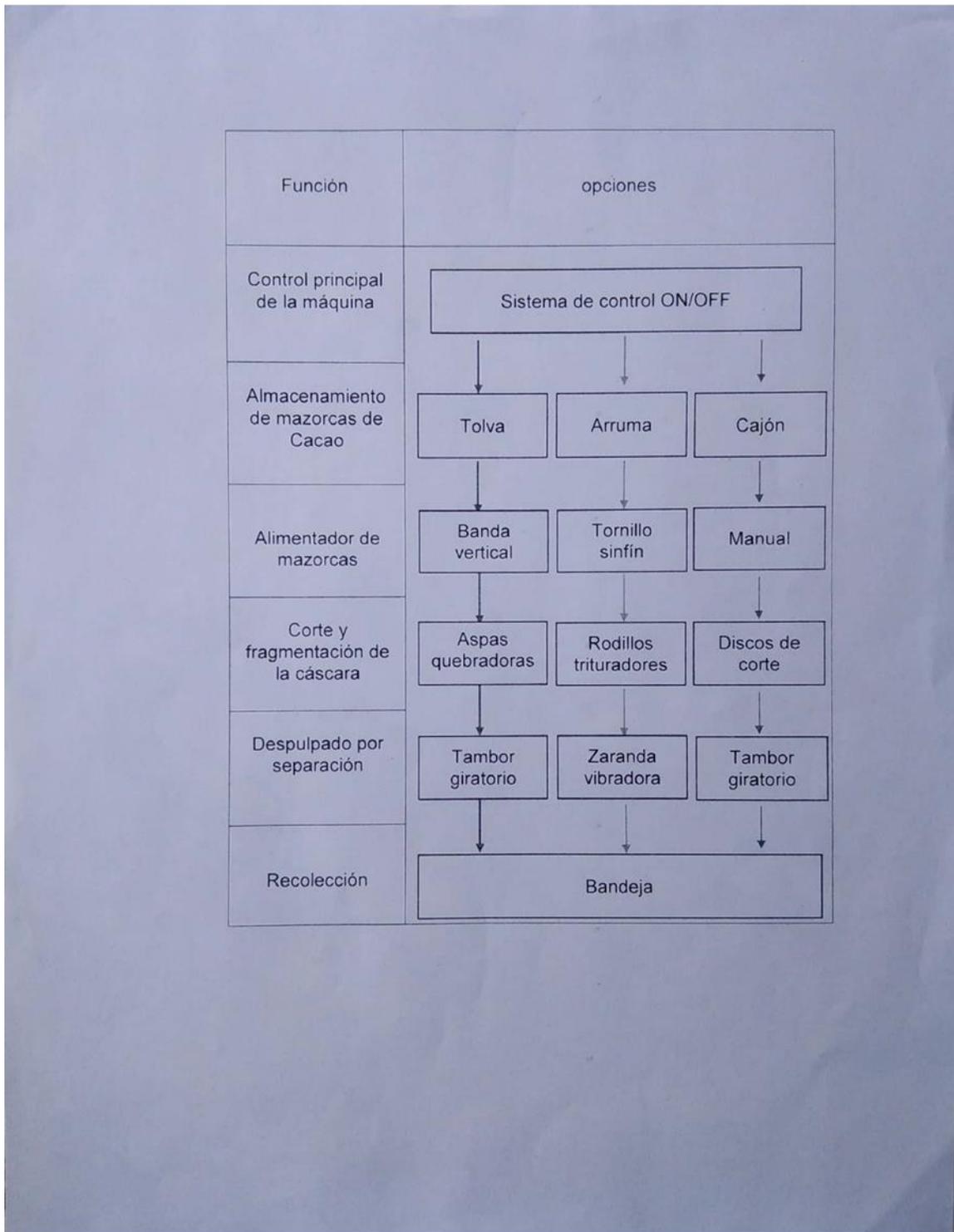
Del arrume de Cacao almacenado, se depositan las mazorcas en el tornillo sinfín, encargado de transportar y ejercer presión sobre los rodillos trituradores; su función es fragmentar la cáscara y depositarla en la sección de separación. La zaranda vibradora realiza la separación de la corteza y de la pulpa por medio de la vibración: la primera se almacena en la bandeja y la cáscara se desecha por la parte final de la zaranda.

Opción 3 (azul). Sistema de control ON/OFF- cajón – manual – discos de corte – tambor giratorio – bandeja.

El Cacao se arruma en cajones o canastas para posteriormente ser depositados uno a uno de forma manual a los discos de corte giratorios para realizar el corte a la cáscara, facilitando la separación en el tambor giratorio, de donde se retira la pulpa en una bandeja y desecha la cáscara por el final del tambor.

Scanned by CamScanner

Figura W. Evaluación de funciones [elaboración propia].



Scanned by CamScanner

Figura X. Evaluación de funciones [elaboración propia].

Evaluación de las funciones. La decisión de la selección de la opción del prototipo más favorable y eficiente acorde a la problemática se realiza mediante una evaluación a representantes de ASOPROCAF&VG. La evolución se realizara por el método cualitativo por puntos, requiere definir los factores determinantes como se describen a continuación:

- Factor 1 = Almacenamiento de mazorcas
- Factor 2 = Sistema de alimentación
- Factor 3 = Tipo de corte
- Factor 4 = Despulpado

A los factores descritos se les asigna un peso relativo, dependiendo de su importancia dentro del proceso del despulpado; posteriormente, en la comparación de las opciones, se les atribuye una calificación de 0 a 10, siendo 10 de mayor importancia con respecto a las funciones. En la tabla 1 se muestra el total de la calificación obtenida.

Factor	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Total
	Calificación	Calificación	Calificación	
1	3	3	2	
2	2	4	0	
3	7	1	4	
4	4	2	4	

Scanned by CamScanner

Figura Y. Evaluación de funciones [elaboración propia].

Factor	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Total
	Calificación	Calificación	Calificación	
1	1	2	3	
2	3	1	1	
3	1	2	1	
4	3	1	3	

Factor	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Total
	Calificación	Calificación	Calificación	
1	3	3	2	
2	2	4	0	
3	1	1	4	
4	4	2	4	

Scanned by CamScanner

Figura Z. Evaluación de funciones [elaboración propia].



Figura AA. reunión de socialización de diseño [elaboración propia].

12.3 ANEXOS DE PLANOS C

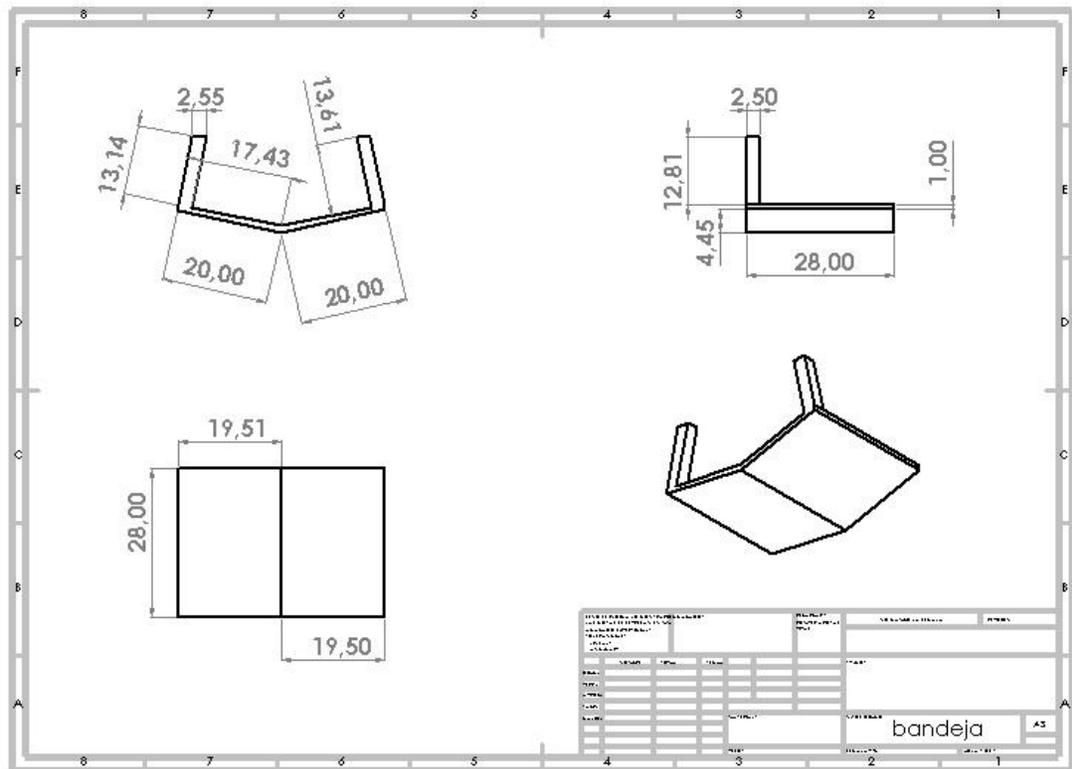


Figura 1. Bandeja [elaboración propia].

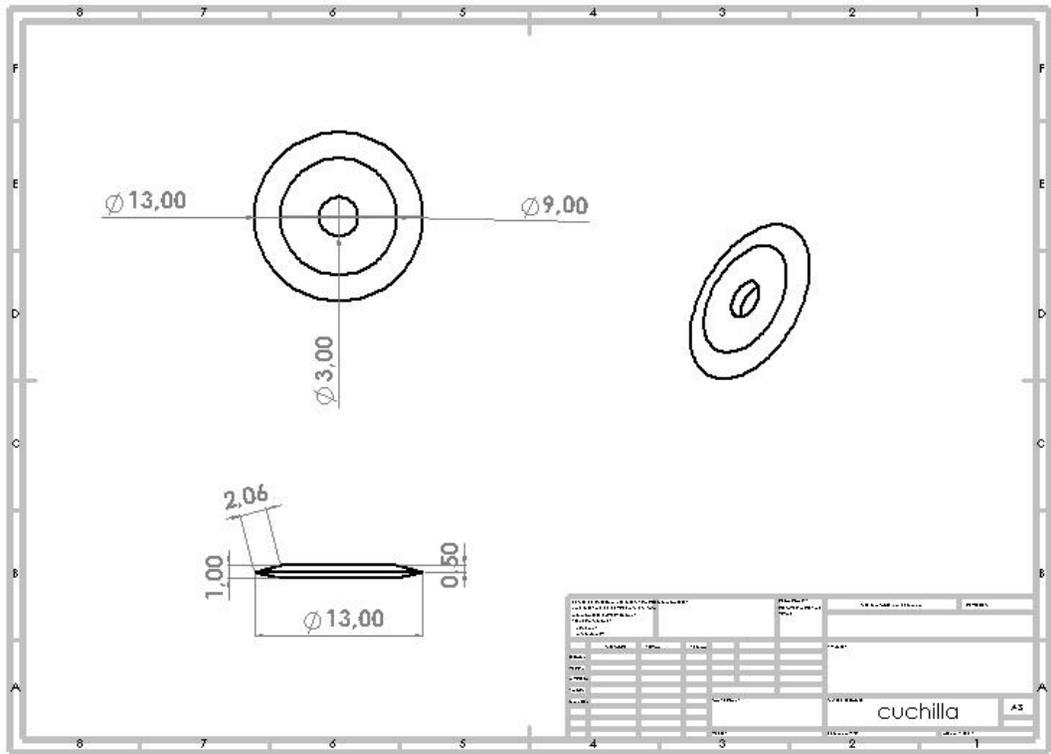


Figura 3. Cuchillas de corte [elaboración propia].

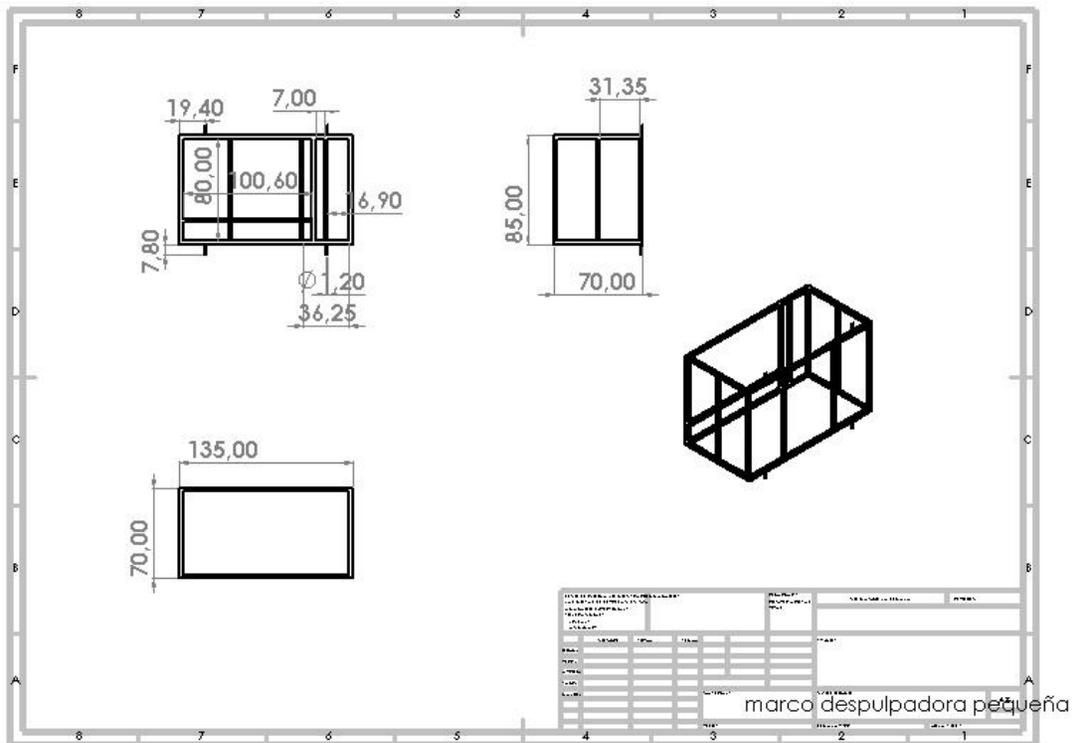


Figura 4. Marco [elaboración propia].

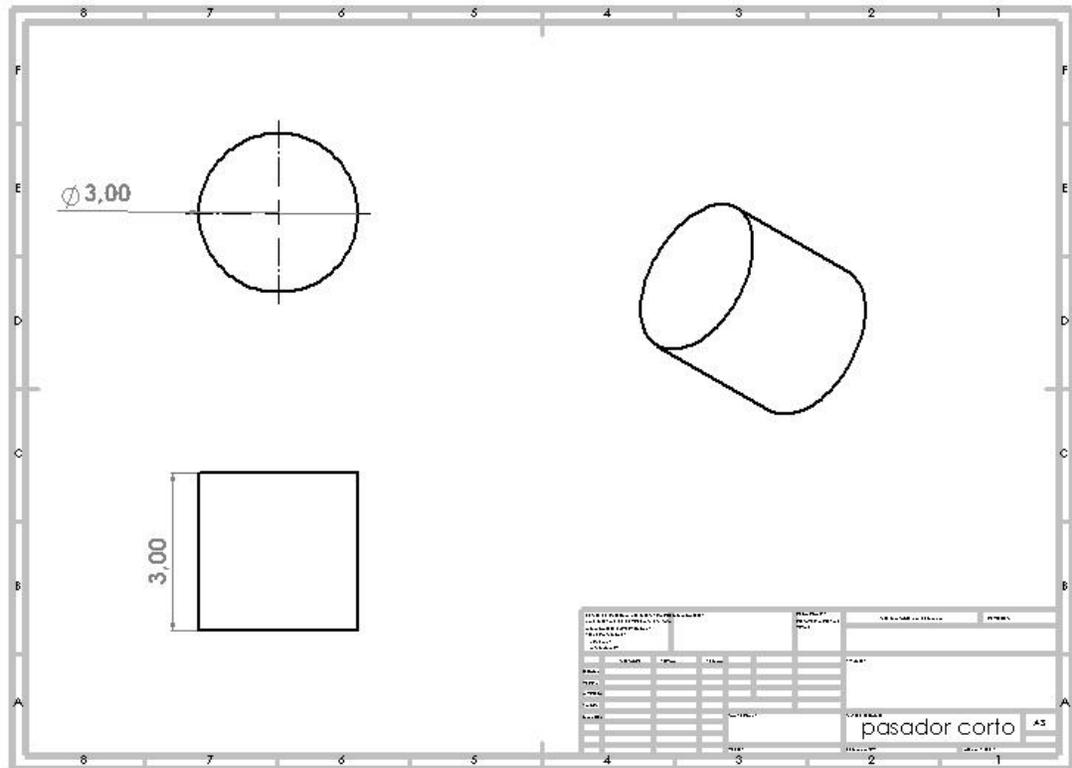


Figura 5. Pasador balinera [elaboración propia].

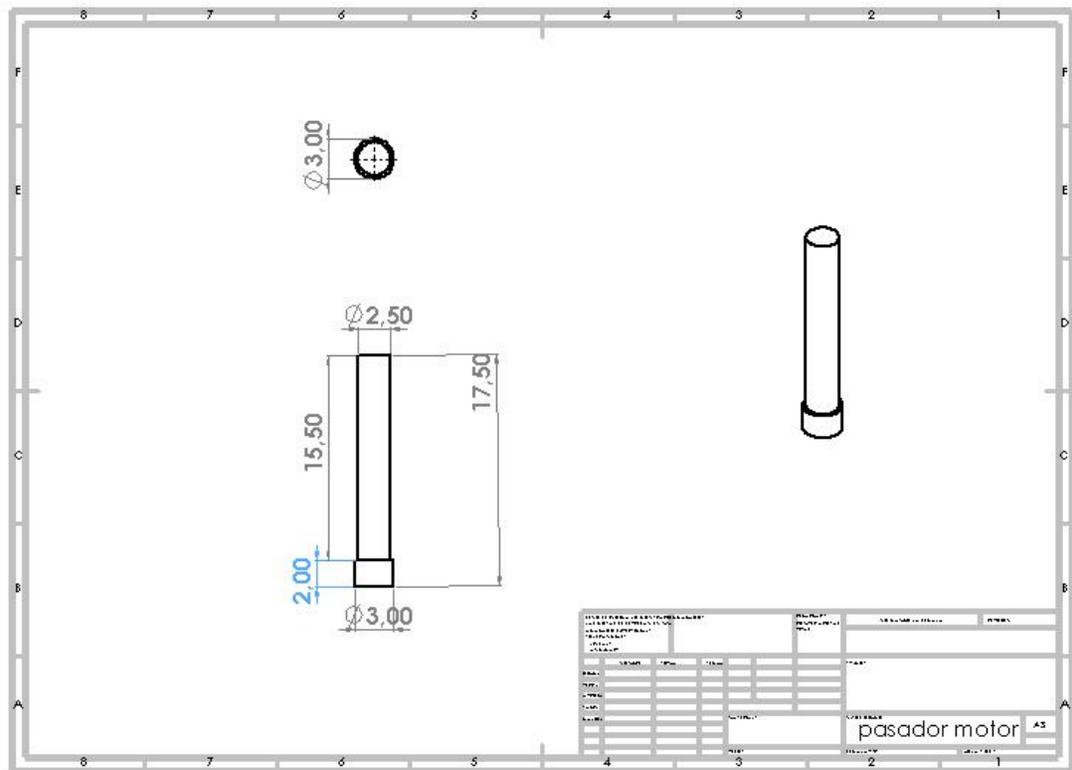


Figura 6. Pasador para el eje del motor [elaboración propia].

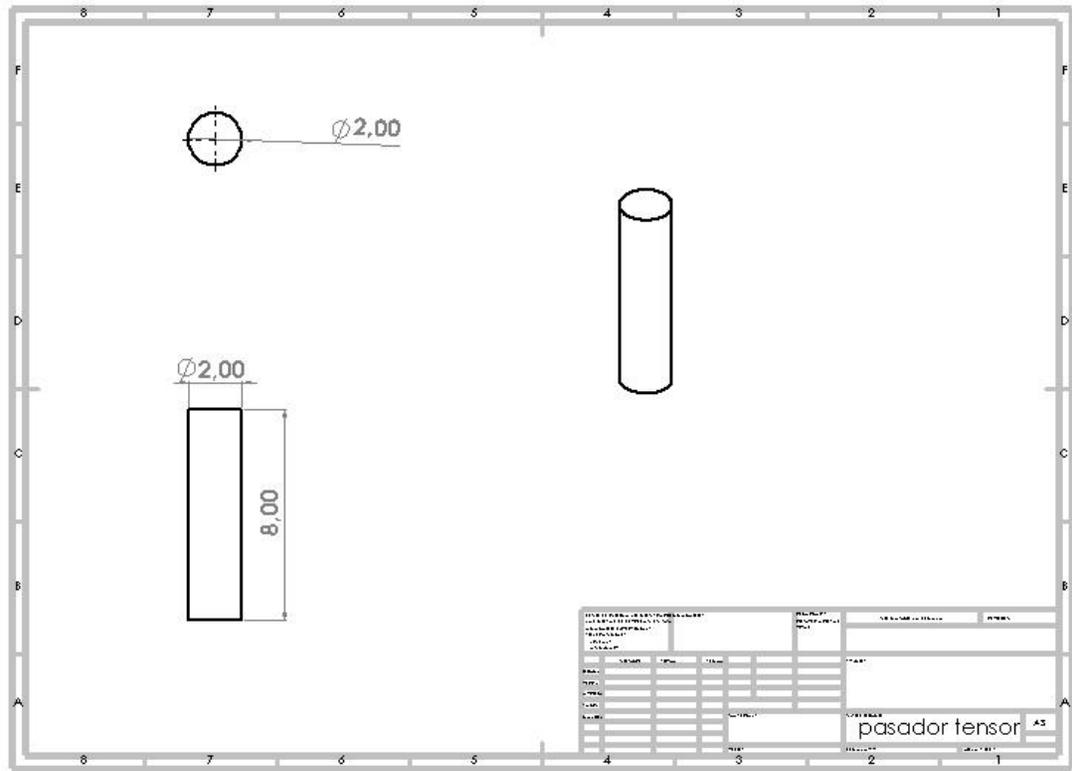


Figura 7. Eje para balinera [elaboración propia].

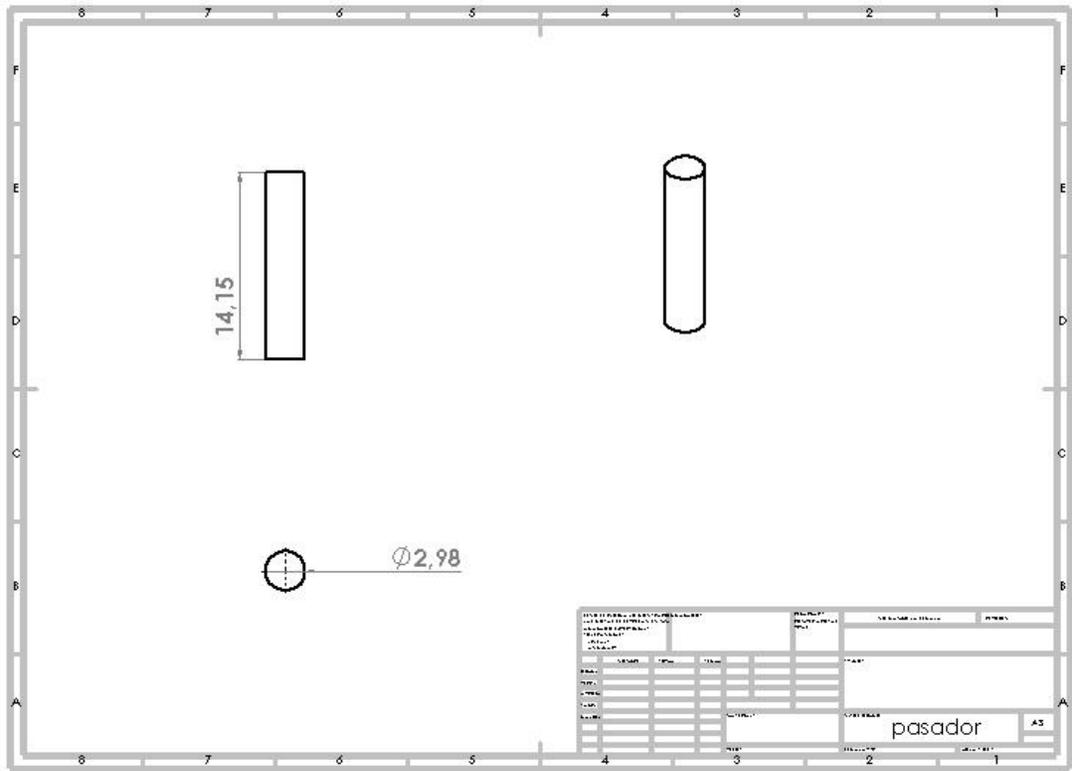


Figura 8. Eje para cuchilla [elaboración propia].

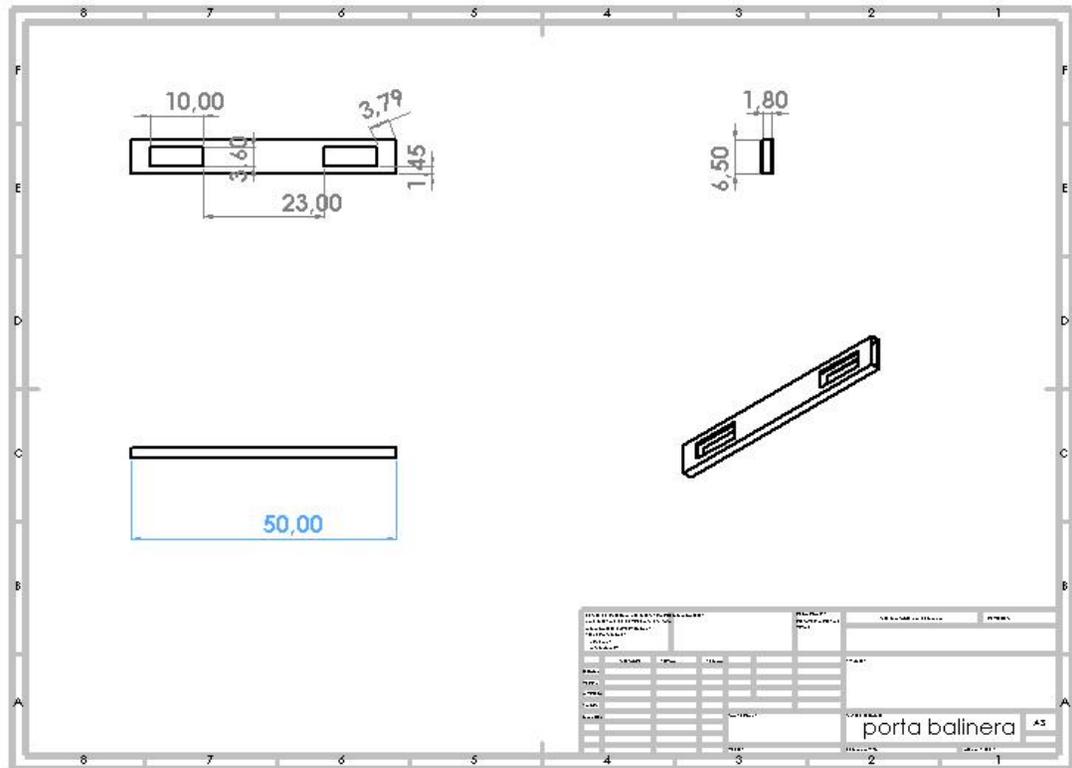


Figura 9. Soporte de balineras [elaboración propia].

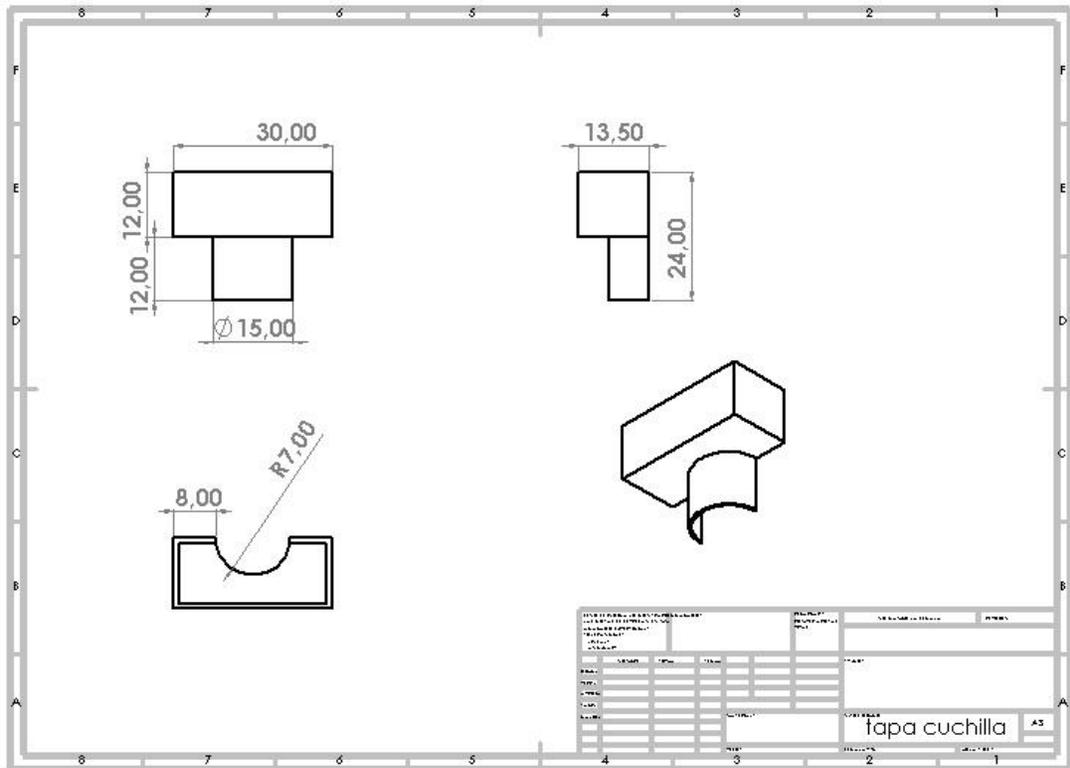


Figura 10. Tolva de alimentación [elaboración propia].

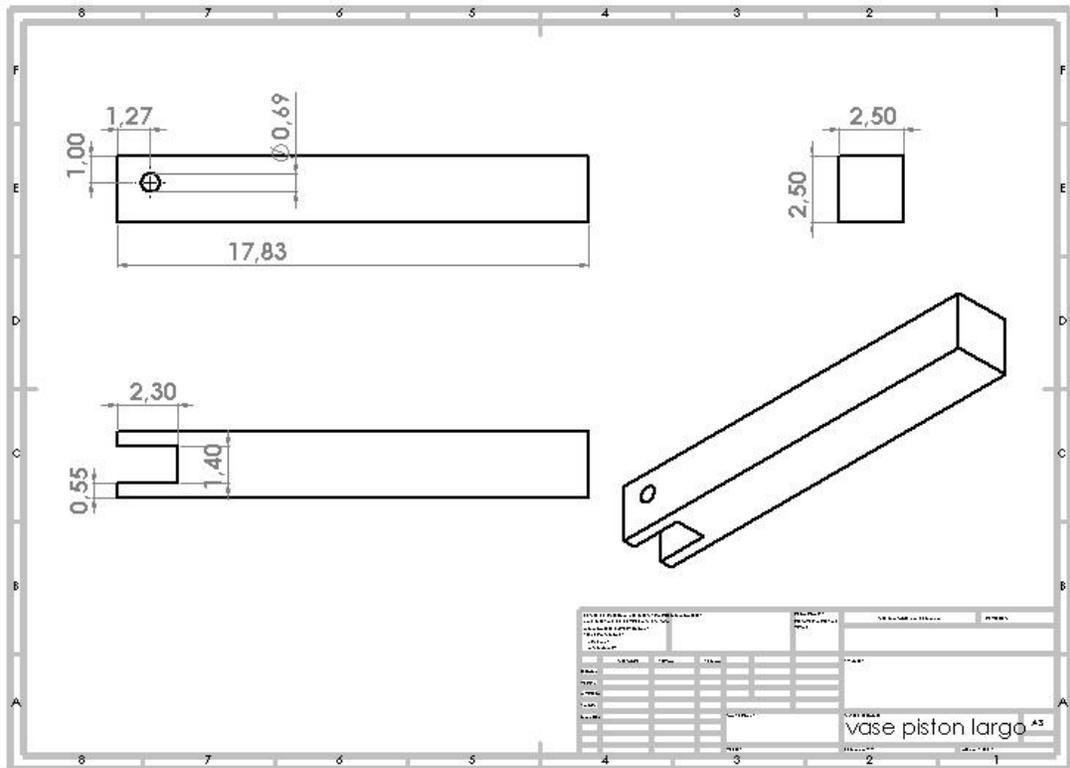


Figura 12. Soporte para el pistón [elaboración propia].

