

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

NINY JOHANA PINEDA MEJIA

FABIAN DARIO PINEDA MEJIA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÓNICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERIA MECANICA

BUCARAMANGA

2024

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

NINY JOHANA PINEDA MEJIA

FABIAN DARIO PINEDA MEJIA

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico

Director

ISNARDO GONZALEZ JAIMES

Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

INGENIERIA MECANICA

BUCARAMANGA

2024

DEDICATORIA

A Dios por darme la sabiduría, paciencia y fortaleza en cada adversidad, durante todos
mis años de estudio.

A mis padres Angela María Mejía y Jaime Pineda, por su apoyo incondicional, amor y
paciencia durante estos años.

A mi hermano, mi socio y ahora colega Fabian Pineda que ha sido un apoyo constante
durante el pregrado y durante toda mi vida.

Niny Johana Pineda Mejía

DEDICATORIA

Gracias a mis padres y abuelos unos humildes campesinos quienes dedicaron su vida a trabajar con el fin de construir un futuro para brindarme oportunidades y me motivaron en los momentos difíciles para culminar mi formación académica a pesar de las dificultades.

a mi hermana, mi fiel compañera de vida y colega con quien hemos vivido y compartido todos los procesos y retos que la vida ha traído consigo, como personas, estudiantes y empresarios.

Fabian Pineda Mejía

AGRADECIMIENTO

Al profesor ISNARDO GONZALEZ JAIMES, director del proyecto, por su excelente disposición y apoyo todo el tiempo, para culminar este proyecto.

A la empresa MAQUINAS Y MONTAJES quien fue la encargada de la construcción del equipo.

A todos los profesores que nos brindaron su conocimiento durante el pregrado.

A todos nuestros amigos y compañeros que siempre nos brindaron su apoyo y conocimiento.

Niny Johana Pineda Mejía y Fabian Pineda Mejía

CONTENIDO

1	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	6
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	6
2	JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	9
3	OBJETIVOS	11
3.1	OBJETIVO GENERAL.....	11
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4	DESPLIEGE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)	12
4.1	REQUERIMIENTOS DEL FUTURO USUARIO	12
4.2	ORGANIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS.....	12
4.3	MATRIZ DE CALIDAD.....	14
4.4	PONDERACIÓN DE RESULTADOS	19
4.5	DISEÑO CONCEPTUAL.....	20
4.5.1	Molienda	20
4.5.1.1	Alternativa 1. Molino de tambor	20
4.5.1.2	Alternativa 2. Molino de martillos	21
4.5.1.3	Alternativa 3. Molino de rodillos	22
4.5.1.4	Alternativa 4. Molino de discos	23
4.5.2	Alimentación.....	25
4.5.2.1	Alternativa 1. Alimentador de placas	25
4.5.2.2	Alternativa 2. Alimentador vibratorio.....	25
4.5.2.3	Alternativa 3. Alimentador de tornillo sin fin	27
4.5.2.4	Propuesta de solución de la planta.....	28
5	CÁLCULO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS QUE COMPONEN LA PLANTA PARA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO	30
5.1	DISEÑO DEL MOLINO.....	30
5.1.1	Parámetros de diseño, capacidad de molienda.	30
5.1.2	Cálculo del número de terrones que golpea cada cuchilla por revolución.....	31
5.1.3	Número de cuchillas.....	32
5.1.4	Conservación de la energía.....	33
5.1.4.1	Energía potencial.	33
5.1.4.2	Cálculo de velocidades tangenciales de la cuchilla.....	34
5.1.4.3	Coeficiente de fluctuación.....	34
5.1.4.4	Radio de giro.....	34

5.1.4.5	Movimiento angular desacelerado.....	36
5.1.5	Diseño de la cuchilla.....	36
5.1.5.1	Esfuerzos en la cuchilla.....	38
5.1.5.2	Análisis del CAE para la cuchilla	38
5.1.6	Diseño de la porta cuchillas.....	41
5.1.7	Diseño del disco.....	42
5.1.7.1	Análisis del CAE para el disco.....	44
5.1.8	Diseño del eje.....	48
5.1.8.1	Análisis CAE en el eje.	48
5.1.9	Cálculo de la potencia	53
5.2	SELECCIÓN EL RODAMIENTO	54
5.1.9.1	Transmisión de potencia para eje principal. Para transmitir la potencia de 5[HP].....	55
5.3	DISEÑO DE LA CUÑA PARA LOS DISCOS	56
5.4	TRANSPORTADOR HELICOIDAL	57
5.4.1	Tipo de helicoidal	58
5.4.2	Selección de la artesa	68
5.4.3	Diseño del aspa	69
6	PROCESO DE CONSTRUCCION Y FABRICACIÓN DE LA MAQUINA	71
6.1	ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DE PIEZAS.....	71
6.1.1	Especificación de diseño del tornillo sin fin.....	71
6.1.2	Especificación de diseño del molino.....	77
7	EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO.....	81
7.1	FLUJO ECONÓMICO Y VIABILIDAD DEL PROYECTO	81
7.1.1	Costo del proyecto	81
7.1.1.1	Materia prima	81
7.1.1.2	Servicios tercerizados	82
7.1.1.3	Equipos eléctricos	82
7.1.1.4	Diseño y ensamble.....	83
7.1.1.5	Costo total de construcción	83
7.2	VPN (VALOR PRESENTE NETO).....	83
7.3	TIR (TASA INTERNA DE RETORNO).....	86
8	PRUEBAS Y RESULTADOS.....	87
8.1	PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO SIN CARGA.....	87
8.1.1	Revisión de accesorios y equipos.....	87

8.1.2 Encendido de la planta sin carga.....	89
8.1.3 Encendido de planta con carga	90
8.2 ANÁLISIS DE VALOR DE LOS SUBPRODUCTOS	93
8.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO.....	94
8.4 OTRA APLICACIÓN ENCONTRADA EN LAS PRUEBAS DEL EQUIPO	95
9 CONCLUSIONES	97

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de 1kg de café cereza.....	7
Tabla 2. Promedios de la concentración de nutrientes en base seca e intervalos de confianza IC en las diferentes partes del fruto de café variedad Colombia.	8
Tabla 3. Composición química de la gallinaza.	8
Tabla 4. Precios de los fertilizantes químicos.....	10
Tabla 5. Matriz de calidad planta	15
Tabla 6. Subsistemas más influyentes en la planta.....	16
Tabla 7 Matriz de calidad para molienda.....	17
Tabla 8. Matriz de calidad para alimentación	18
Tabla 9. Ponderación de resultados para molienda	19
Tabla 10. Ponderación de resultados para alimentación.....	19
Tabla 11. Ponderación de alternativas para mecanismo de molienda.....	24
Tabla 12. Ponderación de alternativas mecanismo de mezclado.....	28
Tabla 13. Cálculos número de cuchillas.....	33
Tabla 14. Conservación de la energía, velocidades tangenciales y movimiento angular.....	36
Tabla 15. dimensiones y cálculos geométricos cuchilla.	37
Tabla 16. Esfuerzos en la cuchilla.....	38
Tabla 17. Propiedades de la cuchilla.	39
Tabla 18. Análisis de tensión.	39
Tabla 19. Análisis de desplazamiento de la cuchilla.....	39
Tabla 20. Análisis del factor de seguridad.....	40
Tabla 21. Dimensiones y cálculos geométricos porta cuchillas	42
Tabla 22. Propiedades del disco.....	44
Tabla 23. Análisis de tensión del disco.	45
Tabla 24. Análisis de desplazamiento del disco.....	46
Tabla 25. Análisis de factor de seguridad del disco.	47
Tabla 26. Propiedades para el análisis del eje.....	49
Tabla 27. Análisis de tensiones del eje.	49
Tabla 28. Análisis de desplazamiento.....	50
Tabla 29. Análisis de factor de seguridad eje.....	51
Tabla 30. Cálculos para diseño de eje.....	52
Tabla 31. Cálculo potencia del motor en vacío.....	53
Tabla 32. Cálculos potencia de molienda.....	53
Tabla 33. Datos de la transmisión.....	55
Tabla 34. Cálculo transmisión por correas.....	56
Tabla 35. Tabla de datos para selección.....	59
Tabla 36. Selección de material.....	60
Tabla 37. Cálculos del aspa.....	70
Tabla 41. Costo de accesorios.....	81
Tabla 42. Servicios tercerizados	82
Tabla 43. Equipos eléctricos.....	82
Tabla 44. Diseño y ensamble.....	83

Tabla 45. Costo total de construcción.	83
Tabla 46. Gastos y ganancias primer año.....	84
Tabla 47. Proyección a 5 años.....	84
Tabla 48. Cálculo de flujos y VP.	85
Tabla 49. Planta de procesamiento de abono orgánico.	87
Tabla 50. Supervisión de accesorios.	88
Tabla 51. Supervisión de equipos.	88
Tabla 52. Pruebas de encendido sin carga. (Prueba 1)	89
Tabla 53. Pruebas de encendido sin carga. (Prueba 2)	89
Tabla 54. Prueba de encendido con carga.....	90
Tabla 55. Comparativo de análisis de laboratorio.	94

LISTADO DE FIGURA

Figura 1. Pulpa de café fresca y pulpa de café seca.....	7
Figura 2. Diagrama de la planta.....	9
Figura 3. Organización de requerimientos	13
Figura 4. Molino de tambor	21
Figura 5. Molino de martillos.....	22
Figura 6. Molino de rodillos.....	23
Figura 7. Molino de discos	24
Figura 8. Alimentador de placas	25
Figura 9. Alimentador vibratorio	27
Figura 10. Alimentador de tornillo sin fin	28
Figura 11. Propuesta de solución planta.....	29
Figura 12. Molino	30
Figura 13. Terrones de pulpa de café.	31
Figura 14. Corte de pulpa seca.....	32
Figura 15. Cuchilla de impacto.....	33
Figura 16. Dirección de giro de las cuchillas	35
Figura 17. Cuchilla.....	37
Figura 18. Porta cuchillas	41
Figura 19. Disco.....	43
Figura 20. Dimensiones y cálculos geométricos para el disco.	44
Figura 21. Eje	48
Figura 22. Selección de rodamiento.....	54
Figura 23. Dimensiones del rodamiento.....	54
Figura 24. Información adicional del rodamiento.....	54
Figura 25. Transportador helicoidal.....	57
Figura 26 Helicoidal con corte, paso estándar.	58
Figura 27. Velocidad del transportador.	61
Figura 28. Cálculos de potencias para transportadores helicoidales horizontales.....	64
Figura 37. Grafica de flujos.....	85
Figura 38. Evidencia de prueba con carga.....	91
Figura 39. Pulpa sin procesar.	92
Figura 40. Producto final del abono orgánico.....	93
Figura 41. Costo total de recolección.....	93
Figura 42. Alimentación de pulpa, mucilago, aserrín en húmedo.....	95
Figura 43. Material compactado.....	96

ANEXOS

ANEXO A: Análisis de laboratorio UIS

ANEXO B: Análisis de laboratorio UDES

ANEXO C: Cálculos manuales

ANEXO D: Planos sin fin

ANEXO E: Planos planta

ANEXO F: Planos Molino

ANEXO G: Video de funcionamiento de la planta

ANEXO H: Video de segunda aplicación

RESUMEN

TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

AUTORES: NINY JOHANA PINEDA MEJIA
FABIAN DARIO PINEDA MEJIA

Palabras claves: Pergamino, mucilago, pulpa, despulpado, molino, transportador.

Descripción: La caficultura genera una gran cantidad de residuos, ya que solo se utiliza alrededor del 7 % del fruto del café para la preparación de la bebida. El resto se convierte en desechos que impactan negativamente el medio ambiente.

En este proyecto se diseñó y construyo una máquina que transforma estos residuos en abono orgánico, este abono contiene nutrientes esenciales, lo que lo hace adecuado para ser reutilizado en los cultivos de café. De este modo, se reduce la dependencia de fertilizantes químicos, se mejora la sostenibilidad del cultivo y se minimiza el impacto ambiental de la producción de café.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Director. Ing. Mecánico Isnardo González Jaimes.

ABSTRACT

TITLE: DESIGN AND CONSTRUCTION OF A PROTOTYPE FOR PRODUCTION OF ORGANIC FERTILIZER.

AUTHORS: NINY JOHANA PINEDA MEJIA
FABIAN DARIO PINEDA MEJIA

KEY WORDS: parchment coffee beans, mucilage, pulp, hulling coffee beans, mill, worm gear shaft.

DESCRIPTION: The coffee culture creates a great amount of waste, because we just use among of 7% of de fruit or pulp of coffee for beverage preparation. The other 93% belong a waste that create a negative impact on the environment.

This project was based on design and build of a machine that transform those waste, in the called organic fertilizers. The organic fertilizer has essentials nutrients that it will be able to reuse to coffee crop. In addition, it reduces the depends on chemical fertilizers, it will improve sustainability of coffee crop and reduce the negative impact of the environment production of coffee.

* Graduation project.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, director. Mechanical Engineer Isnardo González Jaimes.

INTRODUCCION

Actualmente el café es la segunda bebida más consumida en el mundo y el cultivo predominante en Colombia, cada carga de café pergamino seco genera alrededor de 250 kg de pulpa y 118 kg de mucilago fresco, desechos que generalmente son tirados cerca a fuentes hídricas o almacenados en partes aledañas a las fincas y generan contaminación.

Estos desechos generados en la caficultura se pueden reutilizar y transformar en abono orgánico que se puede aplicar al mismo cultivo y con esto disminuir la compra de abono químico, según la norma NTC 5167 el abono cuenta con algunos de los nutrientes que requiere el cultivo de café.

Para este proyecto se diseñó una planta de abono orgánico que cuenta con dos partes la primera es un transportador helicoidal que tiene como fin mezclar la pulpa con gallinaza y aserrín y alimentar el molino y la segunda es un molino de cuchillas el cual se encarga de triturar todos los componentes, al terminar este proceso se obtiene un abono con excelentes componentes y de fácil empaque, transporte y aplicación.

1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante el año 2021, “el sector cafetero se confirma como motor clave de la economía colombiana, pues su Producto Interno Bruto (PIB) creció 21,4% en el primer trimestre y jalónó el PIB agropecuario de 3,3%”¹. El café se ha posicionado como un pilar de la economía colombiana, es el producto agrícola con mayor área sembrada en el territorio nacional cuya exportación significativa se ha mantenido durante muchos años, es una bebida rutinaria, la segunda más consumida a nivel mundial, el café colombiano se reconoce por la calidad de sus propiedades organolépticas, sin embargo, muchos desconocen la contaminación que genera este producto.

En el consumo de café solamente se utiliza el 7,6% del peso del fruto fresco en la preparación de la bebida, el 92,4% queda en forma de residuos, en la mayoría de las fincas vierten a campo abierto los lixiviados que genera el beneficio del café y depositan los residuos sólidos(pulpa) cerca de las fuentes hídricas o en ellas, lo que genera contaminación del agua. Otra de las maneras para deshacerse de estos desechos es llevarlos a un lugar alejado de la vivienda para que se descompongan, pero esto genera malos olores, cría de moscas y plagas, solo una pequeña parte de estos residuos son usados actualmente como alimentación de la lombriz roja, alimentación porcina, abono orgánico, producción de mieles, alcohol etílico.

¹ Café crece 21,4 % en primer trimestre y jalona PIB agropecuario de 3,3% [en línea]. En: Prensa FCN. Bogotá, mayo 18 de 2021. [consultado: 20 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://federaciondefcafeteros.org/wp/listado-noticias/cafe-crece-214-en-primer-trimestre-y-jalona-pib-agropecuario-de-33/#:~:text=Bogot%C3%A1%2C%20mayo%2018%20de%202021,agropecuario%20de%203%2C3%25.>

Tabla 1. Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de 1kg de café cereza.

Proceso	Residuo obtenido	Pérdida (en gramos)
Despulpado	Pulpa fresca	436
Desmucilaginado	Mucílago	149
Secado	Agua	171
Trilla	Pergamino	42
	Película plateada	
Torrefacción	Volátiles	22
Preparación bebida	Borra	104
Pérdida acumulada		924

Fuente: FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS, [Residuos obtenidos en el proceso de beneficio e industrialización de [1kg de café cereza], [Consulta: 20 de noviembre de 2022]

“El 42% de los fertilizantes que importa Colombia provienen de Rusia Y Ucrania, el conflicto entre estas dos naciones ha elevado los precios internacionales de estos hasta en un 30%”², por lo que se han elevado a gran escala los costos de producción y se buscan otras alternativas de fertilizantes a fin de suplir las necesidades nutritivas de las plantas.

Figura 1. Pulpa de café fresca y pulpa de café seca



Una opción para producir abono orgánico es aprovechar los residuos del café como el mucílago y la pulpa mezclados con gallinaza, con lo cual se busca disminuir la

² ZAPATA QUINCHÍA, Alejandra. Con abonos orgánicos agricultores podrían reducir hasta un 35% sus costos de producción [en línea] [citado: 20 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.elcolombiano.com/negocios/abonos-organicos-la-formula-para-bajar-el-precio-de-la-comida-BD17059228>

contaminación en las fuentes hídricas debido al inadecuado tratamiento de estos residuos, la aplicación de abonos orgánicos contribuye a la cosecha de alimentos más sanos al ser rico en micronutrientes como: Boro (B), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn), también ayuda a mejorar las propiedades del suelo, la capacidad de absorción de humedad del agua y ayuda a mitigar los impactos ambientales de situaciones climáticas como veranos intensos, lluvias intensas y erosión.

Tabla 2. Promedios de la concentración de nutrientes en base seca e intervalos de confianza IC en las diferentes partes del fruto de café variedad Colombia.

Parte del fruto	Parámetro	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Zn	Cu	B
		(%)							(mg.kg ⁻¹)			
Café almendra	Promedio	1,886	0,156	1,389	0,181	0,166	0,111	37,15	42,25	8,29	13,78	11,29
	IC±	0,018	0,003	0,021	0,011	0,004	0,006	1,80	2,41	0,31	0,36	0,54
Pergamino	Promedio	0,425	0,011	0,265	0,190	0,049	0,040	33,47	17,81	5,74	8,06	5,87
	IC±	0,029	0,001	0,014	0,013	0,004	0,005	2,42	1,29	0,87	0,69	0,42
Pulpa	Promedio	1,706	0,103	3,300	0,261	0,084	0,020	42,98	24,30	6,58	24,10	51,87
	IC±	0,070	0,010	0,314	0,025	0,012	0,002	11,68	6,37	2,43	8,93	10,39
Mucilago	Promedio	1,357	0,116	1,282	0,370	0,088	0	301,87	26,91	37,26	21,63	27,59
	IC±	0,180	0,036	0,282	0,088	0,021	0	58,44	2,62	7,00	3,85	4,97

Fuente: CENICAFE, [<https://www.cenicafe.org/es/publications/arc057%2804%29251-261.pdf>], [Consulta: 20 de noviembre de 2022].

Tabla 3. Composición química de la gallinaza.

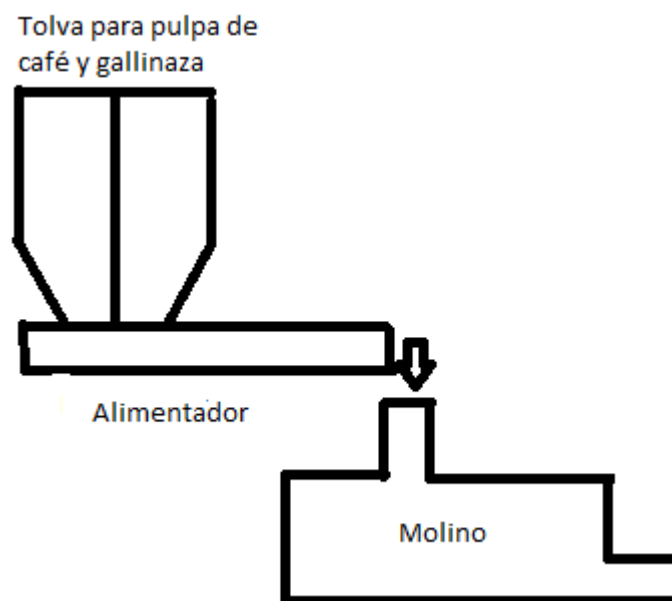
Característica	Detalle
Materia seca	83,10 %
pH	7,90
Materia orgánica	58,00 %
Nitrógeno	4,00 %
Fosforo	2,60 %
Potasio	2,30 %
Calcio	9,50 %
Magnesio	0,80 %
Sodio	0,30 %

Fuente: LIBRARY [<https://1library.co/document/lzgeod8y-influencia-abono-organico-gallinaza-produccion-remolacha-vulgaris-manta.html>], [Consulta: 20 de noviembre de 2022].

2 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Con el fin de mitigar el impacto ambiental aprovechando los residuos generados del beneficio del café como la pulpa y el mucilago, en el municipio Páramo-Santander, se busca realizar el diseño y construcción de un prototipo para realizar el mezclado y triturado de pulpa de café y gallinaza seca para obtener un abono orgánico pulverizado con una mezcla homogénea de manera que sea cómodo el empaque, transporte y distribución de este producto.

Figura 2. Diagrama de la planta.



“Combinar los fertilizantes químicos y orgánicos disminuiría la cantidad de fertilizantes que se necesitarían importar. Los resultados y el rendimiento en los cultivos son los mismos”³. Este proyecto busca aportar a la satisfacción de las necesidades de fertilizantes buscando reducir los costos de producción e incentivar la aplicación de abonos orgánicos como una alternativa y una necesidad para mantener la producción de los cultivos ante los elevados costos de los fertilizantes químicos, brindando una solución a los cafeteros con este proceso específico planteado.

³ Ibid.

Tabla 4. Precios de los fertilizantes químicos

PRODUCTO	PRECIO	PRODUCTO	PRECIO
10-20-20 YARA-MONOMEROS	\$175.000	10-30-10 YARA-MONOMEROS	\$186.500
15-15-15 YARA-MONOMEROS	\$172.000	ABOTEK 15-4-23-4 YARA-MONOMEROS	\$178.500
ACIDO BORICO 17.5 B	\$138.000	AGRIMINS	\$116.500
RAFOS 12-24-12	\$180.000	CAMPOFOS G	\$79.500
AGROCOSECHA.26-4-22	\$188.500	ALTA PRODUCCION 25-4-24	\$184.500
CAFETAL 25-3-19-2	\$190.000	CAFETERO 17-6-18-6	\$162.500
CAL DOLOMITA	\$16.500	CAL SILICORRECTOR	\$30.500
CAL PENTAX	\$28.500	CAL ENMIENDA FOSTRIPLE 30	\$27.000
CLORURO DE POTASIO KLC	\$200.000	ZINCOFERTIL X 20 KG	\$88.000
DAP 18-4-0	\$200.000	CUBOZINC X 20 KG	\$92.000
NITROMAG	\$170.000	HYDROCOMPLEX 12-11-18+M	\$-----
INTEGRADOR 15-9-20-1-3	\$192.500	K-MAG	\$158.500
KAFE CALDAS 25-3-19-3	\$190.000	KIESERITA	\$89.500
LEVANTE 27-20-6-1	\$188.000	MAP 11-52-0	\$176.500
AGROCACAO	\$158.000		
SULFATO DE POTASIO	\$236.500	NITRABOR X 25 KG	\$78.500
		NITRASAM 28-4-0-6S	\$188.000
REMITAL 17-6-18-2	\$172.500	NITRAX-S 28-4-0-6S	\$181.500
SULCAMAG	\$64.000	UREA	\$200.000
NUTRICARGA 19-4-18-3	\$173.500	NUTRIESENCIALES	\$85.500

Fuente: COOPERATIVA DE CAFICULTORES DE AGUADAS, [<https://www.caficultoresaguadas.com/es/fertilizantes-PG32>], [Consulta: 20 de noviembre de 2022].

Además, De cierta manera, con el excesivo uso fertilizantes químicos en el café, los suelos se van haciendo más pobres de minerales y propiedades, ya que con dicha aplicación se degrada la vida del suelo y eliminan microorganismos que habitan de manera natural en la tierra los cuales ponen nutrientes a disposición de las plantas provocando un suelo menos fértil, contaminación de agua, plantas y suelo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir una miniplanta para producir abono orgánico a base de pulpa de café y gallinaza aplicado los conocimientos base impartidos durante la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Industrial de Santander.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una planta para la producción de abono orgánico con capacidad 500 [Kg/h], aplicando conceptos de Ingeniería Mecánica y usando herramientas computacionales como software CAD y CAE.
- Diseñar las hojas de ruta para la fabricación de los componentes de la miniplanta como el molino, mezclador, bastidor, tolvas y sistemas de alimentación.
- Construir una planta para la producción de abono orgánico con capacidad 500 [Kg/h], aplicando los cálculos de los objetivos anteriores.
- Evaluar la factibilidad económica y financiera del desarrollo de la planta, mediante los indicadores VPN y TIR.
- Caracterizar las propiedades del abono orgánico producido en términos de nutrientes aportados a las plantas.

4 DESPLIEGE DE LA FUNCIÓN CALIDAD (QFD)

4.1 REQUERIMIENTOS DEL FUTURO USUARIO

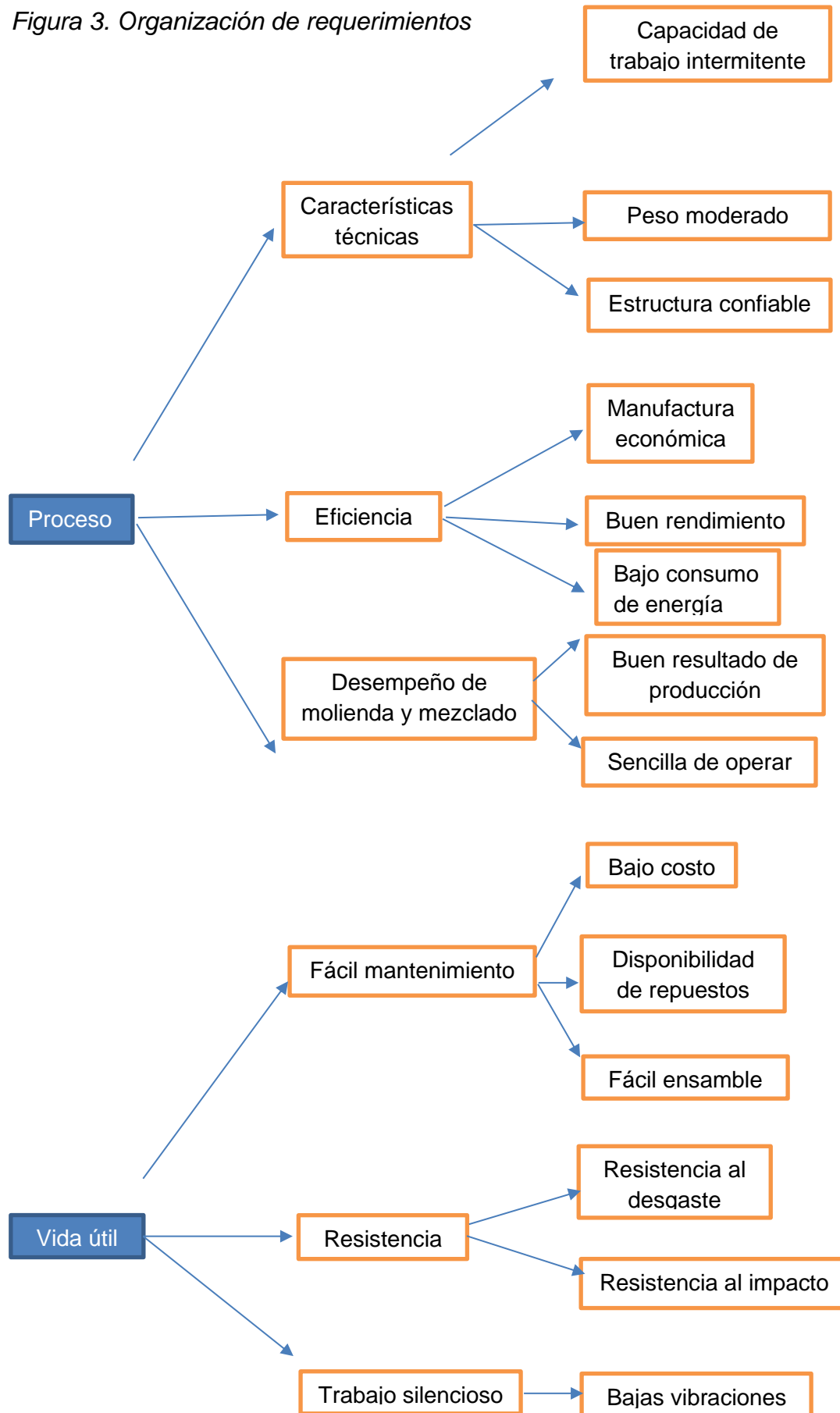
Se presenta una lista con los requerimientos de los futuros usuarios del equipo

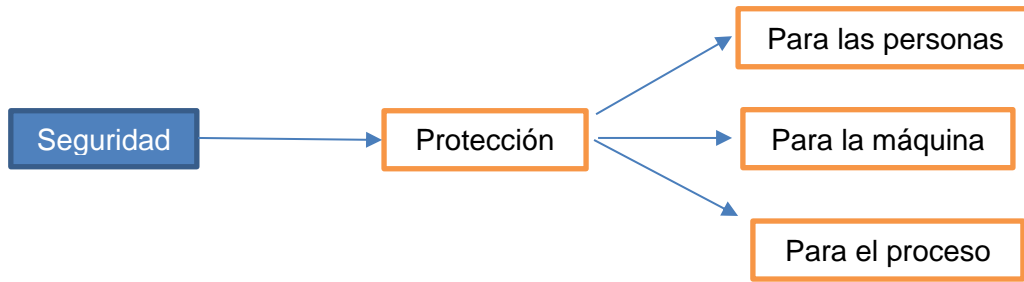
- Bajo consumo de energía
- Manufactura económica
- Bajos costos de producción
- Larga vida útil
- Bajo costo de mantenimiento
- Facilidad de mantenimiento
- Optima operación
- Peso moderado
- Buen desempeño en la molienda y mezclado
- Buen resultado del producto final obtenido
- Libre de riesgos durante su operación

4.2 ORGANIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS

Con el uso de un método asociativo, se organizan los requerimientos en subgrupos de criterios de evaluación cualitativos, ver figura 3. con esta organización se procede a estructurar la matriz de calidad, en la cual se califica la importancia de cada necesidad, las necesidades serán comparadas con las variables de ingeniería requeridas para el desarrollo del presente proyecto.

Figura 3. Organización de requerimientos





4.3 MATRIZ DE CALIDAD

A continuación, se presenta la matriz de calidad en función de los requerimientos del usuario y los subsistemas de la planta, de acuerdo con la ponderación de los subsistemas se elaborará una matriz de calidad para cada subsistema seleccionado en función de los requerimientos del usuario y los medios para conseguirlos.

Tabla 5. Matriz de calidad planta

Diseño y construcción de un prototipo para la producción de abono orgánico					
				Subsistema de molienda	Subsistema de alimentación
			Importancia	1	2
Proceso	Características técnicas	Trabajo intermitente	9	4	3
		Peso moderado	4	8	7
		Estructura confiable	6	9	8
	Eficiencia	Manufactura económica	7	9	8
		Buen rendimiento	9	10	10
		Bajo consumo de energía	9	8	6
	Desempeño de molienda y mezclado	Buen resultado de producción	9	10	10
		Sencilla de operar	9	3	3
	Vida útil	Fácil mantenimiento	Bajo costo	7	8
Disponibilidad de repuestos			7	5	5
Fácil desensamble			6	3	3
Resistencia		Resistencia al desgaste	7	8	8
		Resistencia el impacto	6	8	4
Trabajo silencioso		Bajas vibraciones	7	8	5
Seguridad	Protección	Para las personas	10	10	10
		Para la máquina	7	6	6
		Para el proceso	8	6	7
			Total	923	828

Tabla 6. Subsistemas más influyentes en la planta

Subsistemas	[%]
Molienda	52,71
Alimentación	47,29
Total	100,00

Tabla 7 Matriz de calidad para molienda

				Mecanismo de molienda	Materiales	Potencia requerida	Capacidad del equipo	Diseño modular	Calidad de mecanizado	Número de componentes	Elementos de seguridad	Disponibilidad de repuestos	Estructura resistente	Costo de materiales
			Importancia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Proceso	Características técnicas	Trabajo intermitente	9	2	3	0	10	0	1	2	0	0	2	0
		Peso moderado	4	3	10	0	4	2	0	3	5	0	9	0
		Estructura confiable	6	3	10	0	0	0	3	2	2	0	10	0
	Eficiencia	Manufactura económica	7	10	10	0	5	8	9	8	9	1	8	10
		Buen rendimiento	9	8	3	10	10	0	3	2	0	2	8	0
		Bajo consumo de energía	9	8	3	10	10	0	1	1	0	0	0	0
	Desempeño de molienda	Buen resultado de producción	9	10	3	10	3	0	3	1	0	0	0	0
		Sencilla de operar	9	7	0	0	0	9	0	4	0	0	0	0
	Vida útil	Fácil mantenimiento	Bajo costo	7	4	10	0	3	2	0	9	1	0	0
Disponibilidad de repuestos			7	4	10	0	1	4	0	1	0	10	0	0
Fácil desensamble			6	7	0	0	0	9	0	4	3	0	0	0
Resistencia		Resistencia al desgaste	7	8	10	0	0	0	5	0	0	0	10	0
		Resistencia al impacto	6	7	10	0	0	0	5	0	0	0	10	0
Trabajo silencioso		Bajas vibraciones	7	4	4	3	0	0	4	3	0	0	4	0
Seguridad	Protección	Para las personas	9	7	4	0	0	0	1	1	10	0	10	0
		Para la máquina	9	3	3	0	0	0	1	2	9	0	10	0
		Para el proceso	9	3	6	0	0	2	1	0	9	0	10	0
Total			756	693	291	376	259	273	312	372	95	670	133	

Tabla 8. Matriz de calidad para alimentación

		Importancia	Mecanismo de alimentación	Materiales	Potencia requerida	Capacidad del equipo	Diseño modular	Calidad de mecanizado	Número de componentes	Elementos de seguridad	Disponibilidad de repuestos	Estructura resistente	Costo de materiales	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Proceso	Características técnicas	Trabajo intermitente	9	2	3	0	10	0	1	2	0	0	2	0
		Peso moderado	4	3	10	0	4	2	0	3	5	0	9	0
		Estructura confiable	6	3	10	0	0	0	3	2	2	0	10	0
	Eficiencia	Manufactura económica	7	10	10	0	5	8	9	8	9	1	8	10
		Buen rendimiento	9	8	3	10	10	0	3	2	0	2	8	0
		Bajo consumo de energía	9	8	3	10	10	0	1	1	0	0	0	0
	Desempeño de alimentación	Buen resultado de producción	9	10	3	10	3	0	3	1	0	0	0	0
		Sencilla de operar	9	7	0	0	0	9	0	4	0	0	0	0
	Vida útil	Fácil mantenimiento	Bajo costo	7	4	10	0	3	2	0	9	1	0	0
Disponibilidad de repuestos			7	4	10	0	1	4	0	1	0	10	0	0
Fácil desensamble			6	7	0	0	0	9	0	4	3	0	0	0
Resistencia		Resistencia al desgaste	7	8	10	0	0	0	5	0	0	0	10	0
		Resistencia al impacto	6	5	7	0	0	0	5	0	0	0	10	0
Trabajo silencioso		Bajas vibraciones	7	4	4	3	0	0	4	3	0	0	4	0
Seguridad	Protección	Para las personas	9	3	4	0	0	0	1	1	10	0	10	0
		Para la máquina	9	2	3	0	0	0	1	2	9	0	10	0
		Para el proceso	9	3	6	0	0	2	1	0	9	0	10	0
		Total	699	675	291	376	259	273	312	372	95	670	133	

4.4 PONDERACIÓN DE RESULTADOS

Después de completar la matriz de calidad se procede a analizar los resultados obtenidos de acuerdo con la calificación planteada y se hará una jerarquización de los requerimientos. En las siguientes tablas se presentará la ponderación de los resultados para cada uno de los mecanismos.

Tabla 9. Ponderación de resultados para molienda

Criterios de evaluación	[%]
Mecanismo de molienda	17,87
Materiales	16,38
Estructura resistente	15,84
Capacidad del equipo	8,89
Elementos de seguridad	8,79
Número de componentes	7,38
Potencia requerida	6,88
Calidad de mecanizado	6,45
Diseño modular	6,12
Costo de materiales	3,14
Disponibilidad de repuestos	2,25

Tabla 10. Ponderación de resultados para alimentación

Criterios de evaluación	[%]
Mecanismo de alimentación	16,82
Materiales	16,25
Estructura resistente	16,13
Capacidad del equipo	9,05
Elementos de seguridad	8,95
Número de componentes	7,51
Potencia requerida	7,00
Calidad de mecanizado	6,57
Diseño modular	6,23
Costo de materiales	3,20
Disponibilidad de repuestos	2,29

4.5 DISEÑO CONCEPTUAL

A continuación, se plantea diferentes alternativas de solución, donde se seleccionarán las mejores opciones que cumplan con los parámetros establecidos en el QFD. Se van a evaluar los mecanismos para molienda y mezclado.

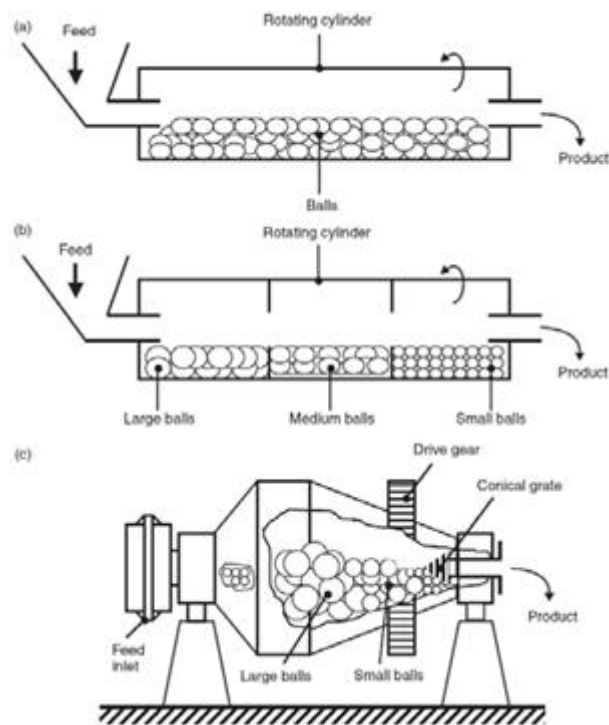
4.5.1 Molienda

4.5.1.1 Alternativa 1. Molino de tambor

Los molinos de bolas son usados en muchas industrias para lograr una molienda fina. Básicamente poseen un tambor cilíndrico horizontal que rota a baja velocidad, parcialmente lleno de bolas o de barras (Figura 4.a). La carcasa cilíndrica es usualmente de acero recubierta de una lámina de acero al carbono, porcelana o goma. Las bolas son de acero o de piedra. Tanto el material a moler como las bolas o barras del equipo son levantadas en las paredes del tambor debido a la rotación, las que caen nuevamente en el lecho. La rotación y el impacto del material al caer favorecen la molienda. Se pueden poner baffles en el tambor, dividiendo el equipo en compartimientos donde se cargan bolas de diferentes tamaños (Figura 4.b). Esta disposición permite entregar más energía en las zonas donde hay partículas de mayor tamaño. El tambor cónico (Figura 4.c) utiliza la segregación del material de una manera eficiente. Al girar el tambor las bolas más grandes se mueven hacia el punto de mayor diámetro (donde ingresan las partículas a moler de mayor tamaño), mientras que las más pequeñas se trasladan hacia la salida del equipo.

Figura 4. Molino de tambor

- a) Molino de flujo rebasante
- b) Molino compartimentado
- c) Molino cónico



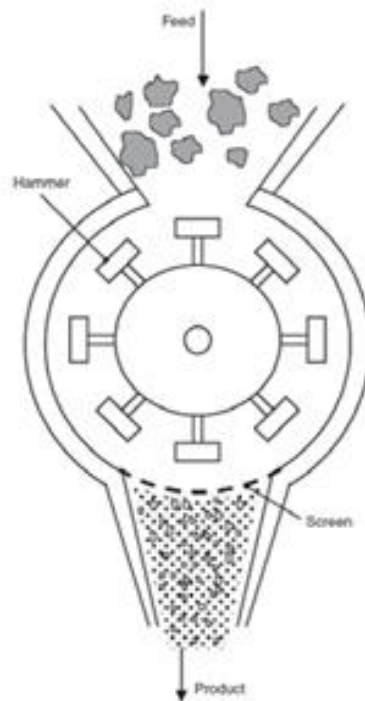
Fuente: Ortega-Rivas, 2005.

4.5.1.2 Alternativa 2. Molino de martillos

En la figura 5 presenta un molino de martillo, el cual contiene un rotor de alta velocidad que gira dentro de una carcasa cilíndrica. El rotor posee un collar con un dado número de martillos en la periferia. La ruptura se da principalmente por fuerzas de impacto, algo de atrición es factible. Si se reemplazan los martillos por cuchillas, se puede moler material fibroso, y aún pegajoso⁴.

⁴ Ibid.

Figura 5. Molino de martillos



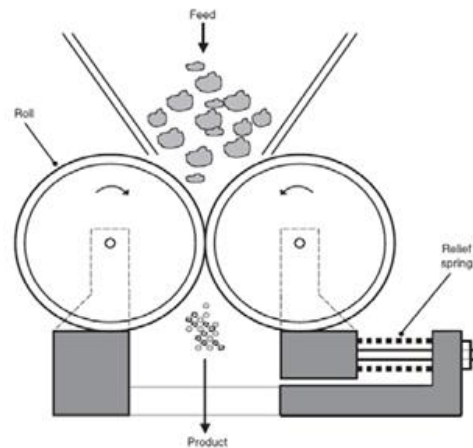
Fuente: Ortega-Rivas, 2005.

4.5.1.3 Alternativa 3. Molino de rodillos

En la Figura 6 se presenta un molino de rodillo de gruesos (crusher). En este tipo de molinos dos cilindros de acero rotan en sentido contrario de manera que las partículas son atrapadas y sometidas a fuerzas de compresión que causan la reducción de tamaño. Puede definirse la distancia entre ambos rodillos, manipulando el resorte de alivio del equipo. La superficie de los rodillos puede ser lisa, corrugada o puede tener dientes. Los molinos dentados no pueden moler sólidos muy duros⁵.

⁵ Ibid.

Figura 6. Molino de rodillos



Fuente: Ortega-Rivas, 2005.

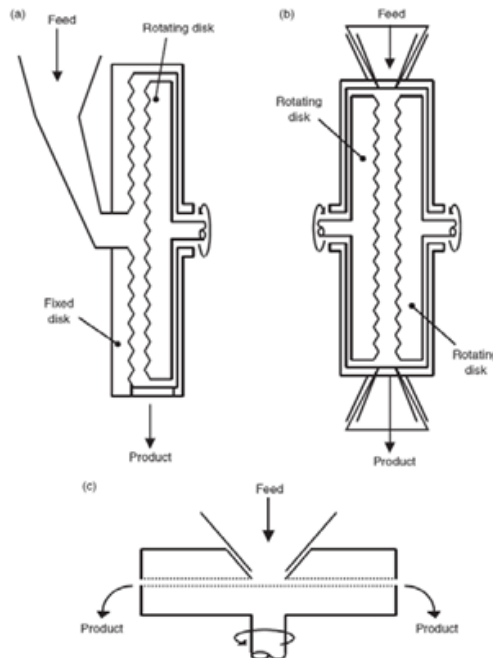
4.5.1.4 Alternativa 4. Molino de discos

Los molinos de disco de atrición se muestran en la Figura 7. Se utilizan fuerzas de corte para lograr la reducción de tamaño, se utilizan para dar principalmente partículas finas. Existen varios modelos, la Figura 7.a muestra a un disco con canaletas que rota a alta velocidad enfrentado a un disco fijo. El espaciado entre ambos discos puede regularse. En un molino de atrición de doble disco (Figura 7.b) existen dos discos que rotan en direcciones opuestas, lo que facilita un intenso desgaste. Por último, el molino tipo Buhr (Figura 7.c) es el molino de disco más antiguo, muy usado para la molienda de harina, consiste en dos discos montados en un eje vertical, el de arriba se encuentra fijo, mientras que el de abajo rota⁶.

⁶ Ibid.

Figura 7. Molino de discos

- a) Molino de un disco
- b) Molino de dos discos
- c) Molino tipo Buhr



Fuente: Ortega-Rivas, 2005.

Tabla 11. Ponderación de alternativas para mecanismo de molienda

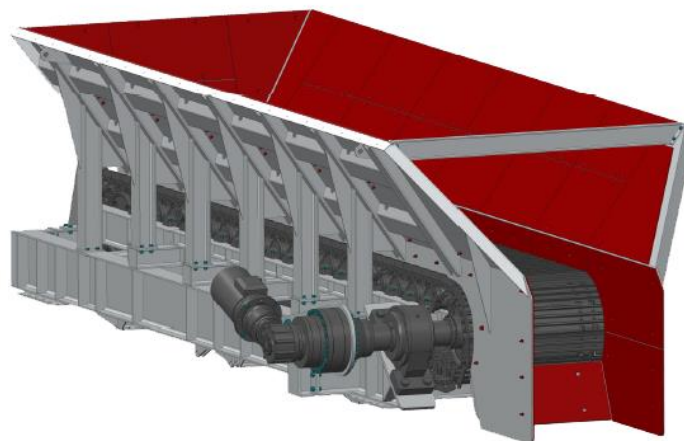
PARÁMETRO	PI	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		ALTERNATIVA 4	
Mecanismo de molienda	17,87	3,0	0,54	4,0	0,71	2,5	0,45	2,5	0,45
Materiales	16,38	3,5	0,57	3,5	0,57	3,5	0,57	3,5	0,57
Estructura resistente	15,84	4,0	0,63	4,0	0,63	4,0	0,63	4,0	0,63
Capacidad del equipo	8,89	3,0	0,27	4,0	0,36	3,5	0,31	3,0	0,27
Elementos de seguridad	8,79	3,0	0,26	3,0	0,26	3,0	0,26	3,0	0,26
Número de componentes	7,38	2,5	0,18	4,0	0,30	3,0	0,22	3,0	0,22
Potencia requerida	6,88	2,5	0,17	4,0	0,28	3,5	0,24	3,5	0,24
Calidad de mecanizado	6,45	4,0	0,26	4,0	0,26	3,5	0,23	3,5	0,23
Diseño modular	6,12	3,0	0,18	4,0	0,24	3,0	0,18	3,0	0,18
Costo de materiales	3,14	2,5	0,08	4,0	0,13	3,5	0,11	3,0	0,09
Disponibilidad de repuestos	2,25	4,0	0,09	4,0	0,09	4,0	0,09	4,0	0,09
Total	100		3,24		3,83		3,30		3,24

4.5.2 Alimentación

4.5.2.1 Alternativa 1. Alimentador de placas

Los alimentadores de placas cuentan con placas de manganeso fundido atornillados a una cadena de tipo que envuelve el eje del cabezal y la polea de cola. El conjunto de cadena y bandeja está montado sobre rodillos de transporte, y el movimiento de las placas proporciona un flujo medido de material. Se utilizan para capacidades pequeñas y grandes, pueden resistir una carga de impacto extremo, ofrecen velocidades de alimentación uniformes, se pueden utilizar para muchos tipos de materiales, ofrecen una larga vida útil y una baja necesidad de mantenimiento, están diseñados para cada aplicación e instalación. Admiten materiales muy duros, abrasivos y resistentes, además de terrones de mayores dimensiones y aquellos que están fuera del alcance de otros alimentadores⁷.

Figura 8. Alimentador de placas



Fuente: MININGLAND [<https://www.miningland.es/project/alimentadores-de-placas/>], [Consulta: 2 de diciembre de 2022].

4.5.2.2 Alternativa 2. Alimentador vibratorio

El alimentador vibratorio consiste en un canal o chute de alimentación (que puede ser una bandeja abierta o un tubo cerrado) que se mueve hacia adelante y hacia atrás por

⁷ Tipos de alimentadores [en línea]. [citado: 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.mclanahan.com/es/blog/tipos-de-alimentadores-y-sus-aplicaciones>

la inducción oscilante de un motor electromagnético. La velocidad de flujo de los sólidos se puede controlar ajustando la entrada de corriente en el motor electromagnético del alimentador. Esta entrada controla el tirón del electroimán y la longitud de su carrera. Los alimentadores vibratorios son muy adecuados para ser controlados remotamente por computadoras en sistemas integrados de manejo de materiales.

El chute de alimentación vibratorio se puede revestir para calentarse o enfriarse, y los chutes tubulares se pueden aislar del polvo mediante conexiones flexibles en ambos extremos. Los alimentadores vibratorios pueden resistir pulpas espesas (flujo similar al líquido) y están disponibles para capacidades que oscilan entre onzas y toneladas por hora⁸.

⁸ 911 Metallurgis [en línea]. [citado: 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.911metallurgist.com/metalurgia/alimentador-vibratorio/>

Figura 9. Alimentador vibratorio



Fuente:911

METALLURGUST, [<https://www.911metallurgist.com/metalurgia/alimentador-vibratorio/>], [consultados: 2 de diciembre de 2022].

4.5.2.3 Alternativa 3. Alimentador de tornillo sin fin

El Sinfín Transportador es un accesorio de metal plano moldeado en forma de hélice de tornillo sinfín, el cual rota alrededor del eje longitudinal y transporta el material a granel en una artesa o un tubo en reposo en dirección axial, que a su vez sirve como elemento portante⁹.

⁹ Sinfín Transportador [en línea]. [citado: 2 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://www.penagos.com/productos/sinfin-sinfin-transportador/>

Figura 10. Alimentador de tornillo sin fin



Fuente: PENAGOS, [<https://www.penagos.com/productos/sinfin-sinfin-transportador/>], [consultado: 2 de diciembre de 2022].

Tabla 12. Ponderación de alternativas mecanismo de mezclado

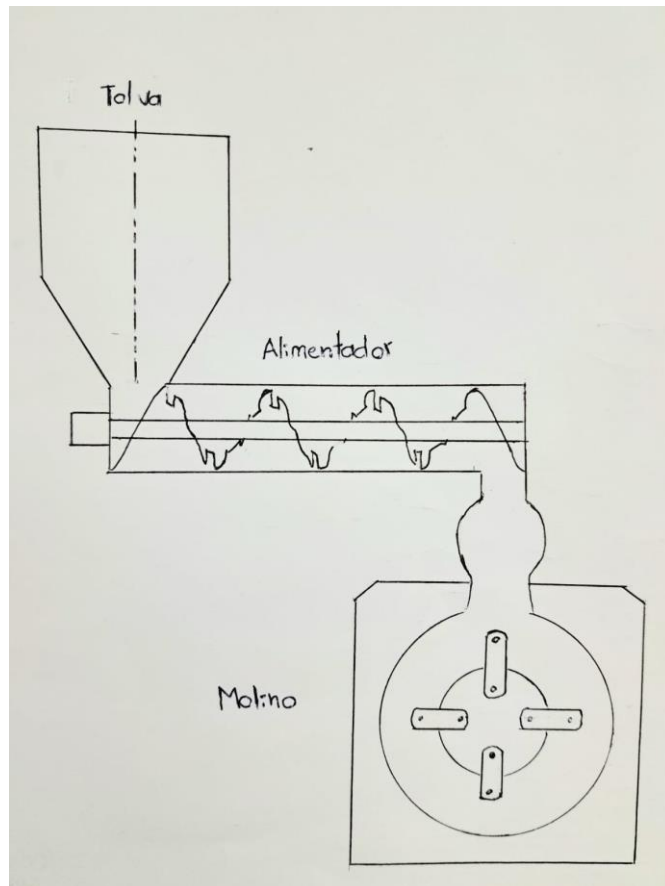
PARÁMETRO	PI	ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3	
Mecanismo de alimentación	16,82	4,0	0,67	4,0	0,67	4,5	0,76
Materiales	16,25	3,0	0,49	3,5	0,57	4,0	0,65
Estructura resistente	16,13	4,0	0,65	4,0	0,65	4,0	0,65
Capacidad del equipo	9,05	4,5	0,41	4,0	0,36	4,5	0,41
Elementos de seguridad	8,95	3,0	0,27	3,0	0,27	3,5	0,31
Número de componentes	7,51	3,0	0,23	3,5	0,26	4,5	0,34
Potencia requerida	7,00	3,0	0,21	3,5	0,25	4,0	0,28
Calidad de mecanizado	6,57	4,0	0,26	4,0	0,26	4,0	0,26
Diseño modular	6,23	3,5	0,22	3,5	0,22	3,5	0,22
Costo de materiales	3,20	4,5	0,14	4,0	0,13	4,0	0,13
Disponibilidad de repuestos	2,29	3,0	0,07	3,5	0,08	4,0	0,09
Total	100		3,61		3,71		4,09

4.5.2.4 Propuesta de solución de la planta

De acuerdo con la evaluación de las alternativas para el desarrollo de este proyecto, se escogió un alimentador de tornillo sin fin helicoidal con corte, teniendo en cuenta que este favorece el efecto de mezclado y agitación del material en tránsito. Es muy

útil para mover materiales que tienden a compactarse y un molino de martillos, teniendo en cuenta que, si se reemplazan los martillos por cuchillas, se puede moler material fibroso, y aún pegajoso.

Figura 11. Propuesta de solución planta



5 CÁLCULO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE LOS SISTEMAS QUE COMPONEN LA PLANTA PARA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

5.1 DISEÑO DEL MOLINO

Figura 12. Molino



El molino es la máquina encargada realizar el pulverizado de la pulpa, siendo un proceso importante para reducir el tamaño de las partículas de tal manera que se facilite el empaque, transporte y distribución del abono.

Para el diseño del molino se deben tener en cuenta factores tales como la capacidad requerida, tiempo de operación, condiciones de trabajo, vida útil, mantenibilidad, seguridad durante su operación, operación sencilla.

5.1.1 Parámetros de diseño, capacidad de molienda.

La capacidad propuesta para este diseño es de 500[K/g] con este dato se obtendrá un aproximado de los terrones que se deben impactar por minuto para cumplir con el requerimiento de la molienda, como los terrones son de diferentes tamaños se escogió una muestra de 10 terrones (figura 12) y se tomó la masa promedio para los cálculos.

Figura 13. Terrones de pulpa de café.



5.1.2 Cálculo del número de terrones que golpea cada cuchilla por revolución.

El valor recomendado para la velocidad angular de un molino de martillos para molienda de arcilla oscila entre 800 y 3200 rpm según catálogos de fabricantes brasileños¹⁰

Se escoge una velocidad de 1800[rpm] teniendo en cuenta esta recomendación y las pruebas realizadas con una guadañadora shindaiwa C35 a la cual se ensamblo una cuchilla de cortar pasto y se arrojó a la pulpa una vez estaba en movimiento a una velocidad aproximada entre 2000 y 3000 [rpm] (figura 13), con este dato se puede calcular el número de terrones que golpea cada cuchilla por revolución.

¹⁰ Diseño de un molino de martillos para la producción de pegamento cerámico [en línea]. Ocaña, Norte de Santander, Colombia. 2014 [citado: 30 de enero de 2023]. Disponible en: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2030/1982>

Figura 14. Corte de pulpa seca.



5.1.3 Número de cuchillas.

De acuerdo con los datos experimentales se repitió 4 veces el proceso mostrado en la figura 13 para obtener un buen pulverizado del material. Se asume un factor de seguridad (N) que garantice evitar futuros atascamientos y bajo rendimiento de la máquina, para este caso se le da un valor de $N=3$. En la tabla 13 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 13. Cálculos número de cuchillas.

PARÁMETRO	SIMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
Capacidad de molienda	C_m	No aplica	$500 \left[\frac{Kg}{h} \right]$
Masa de terrón	m_t	No aplica	0,0131[Kg]
Velocidad angular	n	No aplica	1800[rpm]
Factor de seguridad	N	No aplica	2,5
Número de golpes	N_g	No aplica	4
Número de cuchillas	N_c	$N_c = N_{ti} * N_g * N$	4
Producción molino	P_m	$C_m * \frac{1[terrón]}{m_t} * \frac{1[h]}{60[min]}$	$636 \left[\frac{terrónes}{minuto} \right]$
Terrones impactados por revolución	N_{ti}	$\frac{P_m}{n}$	$0,35 \left[\frac{terrónes}{rev} \right]$

5.1.4 Conservación de la energía

5.1.4.1 Energía potencial.

Para obtener los valores y desarrollar los cálculos

en el diseño de las cuchillas fue necesario hacerlo mediante un método experimental, con lo cual se determinó el valor de la energía necesaria para cortar la pulpa, se dejó caer una cuchilla unida a un bloque de madera con una masa de 2,35 [Kg] a una altura de 150 [Cm] sobre un terrón de pulpa (figura 14).

Figura 15. Cuchilla de impacto



5.1.4.2 Cálculo de velocidades tangenciales de la cuchilla.

La velocidad tangencial es igual a la velocidad sin carga (V_t), cuando la cuchilla golpea la pulpa disminuye su velocidad, la cual se le llama velocidad con carga (V_c), cuando se conoce el valor de la energía potencial se iguala con la ecuación de energía cinética y se obtendrá el valor de la velocidad sin carga, en la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos.

5.1.4.3 Coeficiente de fluctuación.

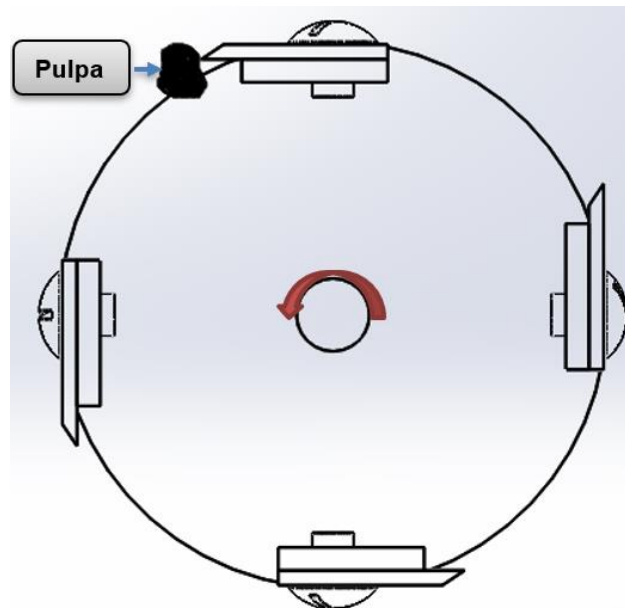
Factor que expresa la irregularidad de movimiento del mecanismo en función de la variación de la velocidad que experimenta el mecanismo, para maquinaria agrícola $C_s = 0,02^{11}$.

5.1.4.4 Radio de giro.

El radio de giro se emplea para poder obtener la velocidad angular de carga a la cual va a operar el molino. Después de calcular el radio de giro se procede a definir las medidas geométricas del disco porta cuchillas y la carcasa del molino, en la tabla 14 se presentan los resultados obtenidos.

¹¹ TAPIA, Álvaro. Diseño de una máquina picadora de forraje y trituradora de granos empleada para la elaboración de alimento de bovinos [en línea]. Escuela politécnica nacional. Tesis de grado. Quito, Ecuador. 2022. [Citado 30 de enero de 2023]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23238/1/CD%2012650.pdf>

Figura 16. Dirección de giro de las cuchillas



Energía Potencial = Energía cinética de la cuchilla

$$m * g * h = \frac{1}{2} * m_c * V_c^2$$

m_c = masa de cuchilla

V_x = velocidad de cuchilla

$$V_x = \sqrt{\frac{2 * m * g * h}{m_c}}$$

Se asume una masa de la cuchilla de: $m_c = 0,8$ [Kg]

$$V_x = 9,3 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Radio de giro r_g

$$V_x = \omega * r_g$$

$$\omega = 188,5 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$r_g = 0,049 [m]$$

Teniendo en cuenta estos datos, se escoge un radio de giro de 90[mm] para tener una mejor distribución de las cuchillas en los discos porta cuchillas, en la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos.

5.1.4.5 Movimiento angular desacelerado.

Una vez se obtienen los valores de velocidades de carga y de vacío se evidencia una ligera caída de velocidad en el molino.

Tabla 14. Conservación de la energía, velocidades tangenciales y movimiento angular

PARÁMETRO	SÍMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
Masa objeto	m_o	No aplica	2,35[Kg]
Masa cuchilla	m_c	No aplica	0,6[Kg]
Altura	h	No aplica	1,5[m]
Cofeiciente de fluctuación	C_s	No aplica	0,02
Gravedad	g	No aplica	$9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$
Ángulo de separación entre discos	θ	No aplica	$\frac{\pi}{2} [\text{rad}]$
Radio de giro	r_{gc}	No aplica	0,094[m]
Velocidad angular sin carga	ω_o	No aplica	$188,5 \left[\frac{rad}{s} \right]$
Energía potencial	E_p	$E_p = m_o * g * h$	34,58[J]
Velocidad tangencial	V_t	$V_t = \omega_o * r_{gd}$	$17,72 \left[\frac{m}{s} \right]$
Velocidad angular de carga	ω_c	$\omega_c = \omega_o - \omega_o * C_s$	$184,73 \left[\frac{rad}{s} \right]$
Velocidad con carga	V_c	$V_c = \omega_c * r_{gd}$	$17,36 \left[\frac{m}{s} \right]$
Aceleración angular	α	$\alpha = \frac{\omega_o^2 - \omega_c^2}{2 * \theta}$	$447,88 \left[\frac{rad}{s^2} \right]$

5.1.5 Diseño de la cuchilla.

Las cuchillas serán de una forma geométrica rectangular, con cuatro perforaciones centradas por las cuales pasarán los pernos de unión a la porta cuchilla y dos filos, de tal manera que se pueda cambiar la posición cuando se desgaste, por un lado.

Figura 17. Cuchilla

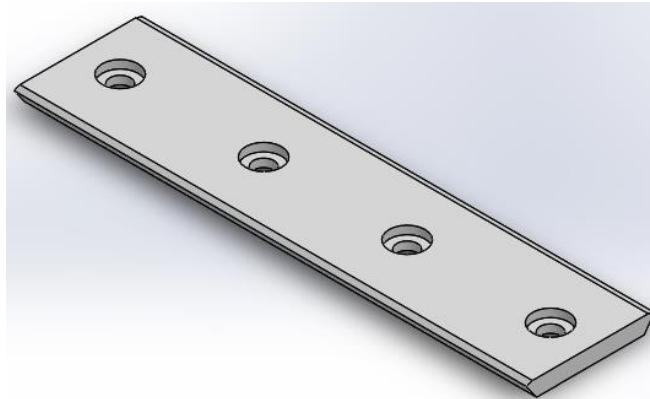


Tabla 15. dimensiones y cálculos geométricos cuchilla.

PARÁMETRO	SIMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
Espesor de cuchilla	hc	No aplica	0,008[m]
Ancho de cuchilla	bc	No aplica	0,065[m]
Longitud de cuchilla	Lc	No aplica	0,25[m]
Densidad del acero maxdur 400	ρ	No aplica	7870 [$\frac{Kg}{m^3}$]
Distancia desde el eje hasta el centro de masa de la lámina maciza	C _{lm}	No aplica	0,09483[m]
Distancia desde el eje hasta el centro de masa de la perforación 1	C _{p1}	No aplica	0,09681[m]
Distancia desde el eje hasta el centro de masa de la perforación 2	C _{p2}	No aplica	0,09285[m]
Distancia desde el eje hasta el centro de masa del filo superior derecho	C _{fsd}	No aplica	0,09962[m]
Distancia desde el eje hasta el centro de masa del filo superior izquierdo	C _{fsi}	No aplica	0,1069[m]
Distancia desde el eje hasta el centro de masa del filo inferior derecho	C _{fid}	No aplica	0,09426[m]
Distancia desde el eje hasta el centro de masa del filo inferior izquierdo	C _{fii}	No aplica	0,10173
Diámetro mayor	d ₁	No aplica	0,0175[m]
Diámetro menor	d ₂	No aplica	0,01[m]
Volumen lámina maciza	V _{lm}	$V_{lm}=Lc*bc*hc$	0,00013[m ³]
Volumen filo superior	V _{fs}	$V_{fs} = \frac{3e - 3 * 1e - 3}{2} * Lc$	3,75e - 7[m ³]
Volumen filo inferior	V _{fi}	$V_{fi} = \frac{5e - 7 * 7e - 3}{2} * Lc$	4,375e - 6[m ³]
Volumen perforación 1	V _{p1}	$V_{p1} = \frac{\pi}{4} * (d_2)^2 * 4e - 3$	9,621e - 7[m ³]
Volumen perforación 2	V _{p2}	$V_{p2} = \frac{\pi}{4} * (d_1)^2 * 4e - 3$	3,142e - 7[m ³]
Masa lámina maciza	M _{lm}	$M_{lm}=\rho * V_{lm}$	1,023[Kg]
Masa filo superior	M _{fs}	$M_{fs}=\rho * V_{fs}$	2,951e-3[Kg]
Masa filo inferior	M _{fi}	$M_{fi}=\rho * V_{fi}$	3,443e-2[Kg]
Masa perforación 1	M _{p1}	$M_{p1}=\rho * V_{p1}$	7,572e-3[Kg]
Masa perforación 2	M _{p2}	$M_{p2}=\rho * V_{p2}$	2,472e-3[Kg]
Inercia lámina maciza	I _{lm}	$I_{lm}=\frac{1}{12} * M_{lm} * (h^2 + b^2) + M_{lm}*C_{lm}^2$	9,566e - 3[Kg * m ²]
Inercia filo superior	I _{fs}	$I_{fs}=\frac{1}{18} * M_{fs} * (3e - 3^2 + 1e - 3^2) + M_{fs}*C_{fsi}^2 + \frac{1}{18} * M_{fs} * (3e - 3^2 + 1e - 3^2) + M_{fs}*C_{fd}^2$	6,299e - 5[Kg * m ²]
Inercia filo inferior	I _{fi}	$I_{fi}=\frac{1}{18} * M_{fi} * (5e - 3^2 + 7e - 3^2) + M_{fi}*C_{fii}^2 + \frac{1}{18} * M_{fi} * (5e - 3^2 + 7e - 3^2) + M_{fi}*C_{fid}^2$	6,625e - 4[Kg * m ²]

5.1.5.1 Esfuerzos en la cuchilla.

La zona crítica de la cuchilla se considera en área de contacto con el perno que la sujeta a la porta cuchillas, se calcula el factor de seguridad para esfuerzo normal y esfuerzo cortante, en la tabla 16 se presentan los resultados obtenidos

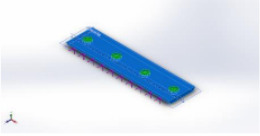
Tabla 16. Esfuerzos en la cuchilla

SÍMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
wc	No aplica	8,9 [N]
Act	$A_{ct} = 4 * \frac{\pi}{4} * (d_1^2 - d_2^2)$	6,48e-4[m]
Acc	$A_{cc} = (l - 4 * d_2) * 4e-3$	8,4e-4[m]
Fcf	$F_{cf} = m_c * \omega_0^2 * r_g$	3065[N]
Fc	No aplica	120[N]
Mfcf	$M_{fcf} = F_{cf} * 2,389e - 2$	73,22[N*m]
i	$i = \frac{\pi}{64} * (d_1^4 - d_2^4)$	4,113e - 9[m ⁴]
c	$C = \frac{d_1}{2}$	8,75e-3[m]
σ	$\sigma = \frac{M_{fcf} * C}{i} + \frac{F_{cf}}{A_{ct}}$	160,5[Mpa]
τ	$\tau = \frac{F_c}{A_{cc}}$	0,1429[Mpa]
Sy	No aplica	1100[Mpa]
Sys	$S_{ys} = \frac{S_y}{\sqrt{3}}$	635[Mpa]

5.1.5.2 Análisis del CAE para la cuchilla

Se realizó análisis del CAE, (Computer Aided Engineering) con el programa SolidWorks

Tabla 17. Propiedades de la cuchilla.

Propiedades de material		
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: ASTM A514	Sólido (CUCHILLA)
	Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal	
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.	
	Límite elástico: 6,9e+08 N/m ²	
	Límite de tracción: 8,28e+08 N/m ²	
	Módulo elástico: 2,05e+11 N/m ²	
	Coefficiente de Poisson: 0,29	
	Densidad: 7.850 kg/m ³	
	Módulo cortante: 8e+10 N/m ²	
	Coefficiente de dilatación térmica: 1,1e-05 /Kelvin	
Datos de curva:N/A		

Con la ayuda de las herramientas de solidworks se realiza el estudio para hallar la tensión, el desplazamiento y factor de seguridad.

Tabla 18. Análisis de tensión.

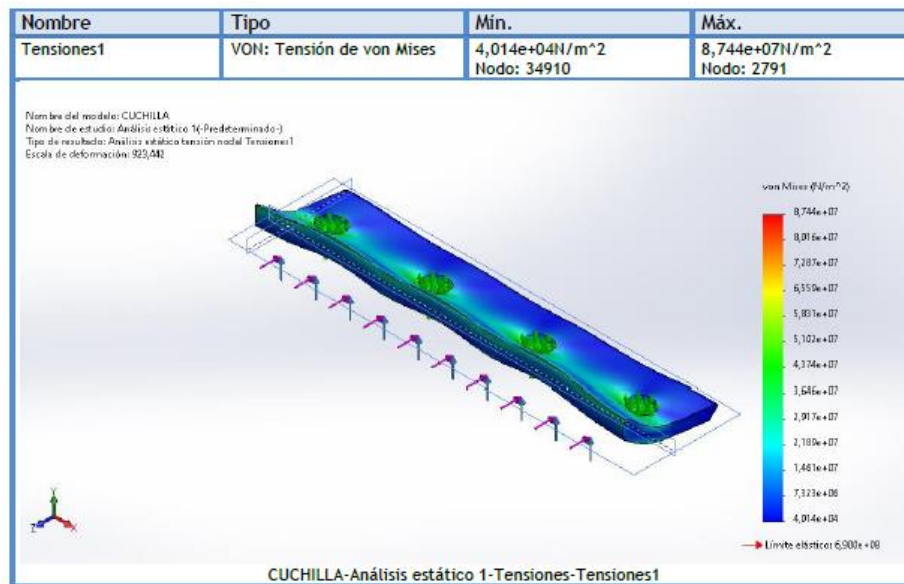


Tabla 19. Análisis de desplazamiento de la cuchilla.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 1	2,731e-02mm Nodo: 1822

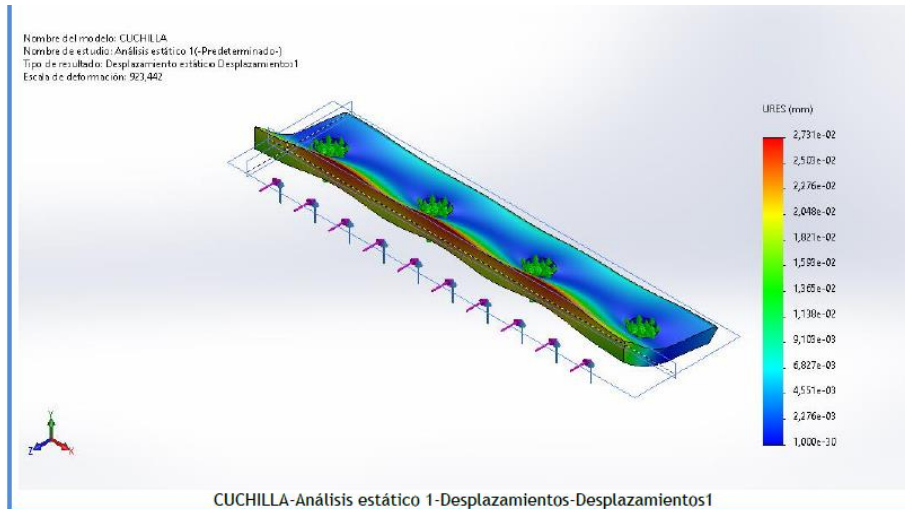
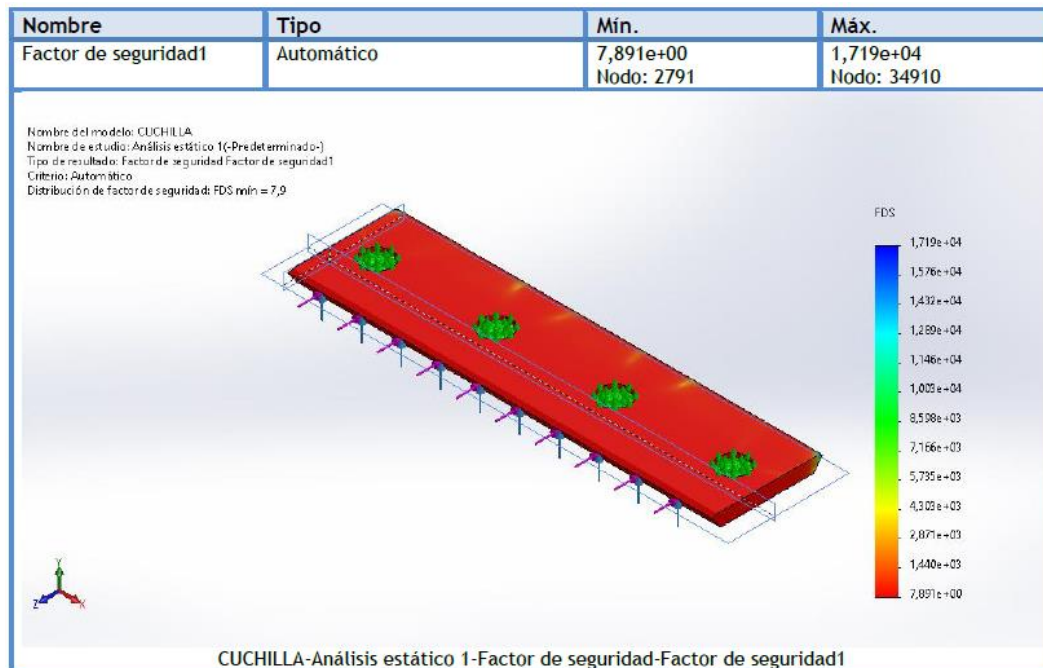


Tabla 20. Análisis del factor de seguridad.



Para las cuchillas se seleccionó este acero anti-desgaste debido a que en la pulpa de café llegan piedras, terrones compactos de tierra y otros materiales con alta dureza y este material es resistente a estos impactos.

5.1.6 Diseño de la porta cuchillas.

El diseño de la porta cuchillas es de gran importancia, es el elemento que soporta los mayores esfuerzos generados por la fuerza centrífuga esta unido a las cuchillas y al disco, tiene una geometría rectangular con cuatro perforaciones por las cuales pasaran los pernos de unión con la cuchilla.

Figura 18. Porta cuchillas

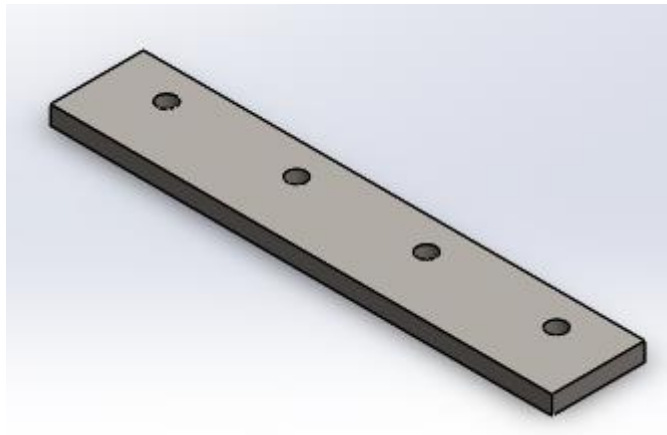


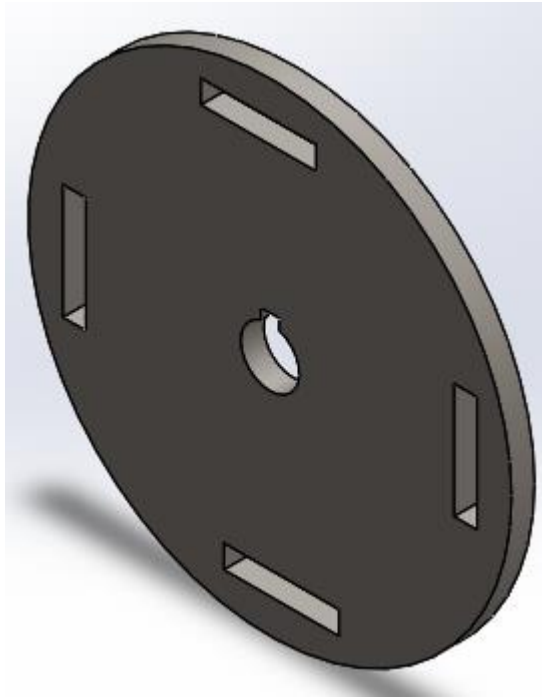
Tabla 21. Dimensiones y cálculos geométricos porta cuchillas

PARÁMETRO	SIMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
Espesor de portacuchillas	hp	No aplica	0,01[m]
Ancho de portacuchillas	bp	No aplica	0,005[m]
Longitud de portacuchillas	Lp	No aplica	0,27[m]
Densidad del acero 1045	ρ	No aplica	7870 $\left[\frac{Kg}{m^3}\right]$
Distancia del eje hasta el centro de masa de la lámina maciza	C _{Imp}	No aplica	0,08515
Distancia del eje hasta el centro de masa de la perforación	C _{pp}	No aplica	0,08591
Diámetro menor	d2	No aplica	0,001
Volumen lámina maciza	V _{Imp}	$V_{Imp}=L_p*b_p*h_p$	1,35e - 4[m ³]
Volumen perforaciones	V _{pp}	$V_{pp} = \frac{\pi}{4} * (d_2)^2 * h_p$	7,854e - 7[m ³]
Masa lámina maciza	M _{Imp}	$M_{Imp}=\rho * V_{Imp}$	1,06[Kg]
Masa perforaciones	M _{pp}	$M_{pp}=\rho * V_{pp}$	6,165e-3[Kg]
Inercia lámina maciza	I _{Imp}	$I_{Imp}=\frac{1}{12} * M_{Imp} * (h_p^2 + b_p^2) + M_{Imp} * C_{Imp}^2$	7,913e - 3[Kg * m ²]
Inercia perforaciones	I _{pp}	$I_{pp} = 4 * \left(\frac{1}{12} * M_{pp} * h_p^2 + M_{pp} * C_{pp}^2 \right)$	1,822e - 4[Kg * m ²]

5.1.7 Diseño del disco.

El disco tiene una forma geométrica circular, es el elemento al cual va unido el eje que transmite el movimiento y las láminas porta cuchillas, tiene 5 perforaciones una circular para el eje y 4 rectangulares para las láminas porta cuchillas, las cuales van insertadas y soldadas.

Figura 19. Disco



Fuente: SolidWorks

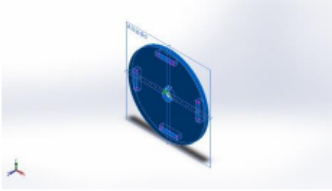
Figura 20. Dimensiones y cálculos geométricos para el disco.

PARÁMETRO	SIMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
Espesor del disco	t	No aplica	0,01[m]
Diámetro del disco	Dd	No aplica	0,21[m]
Distancia desde el eje hasta el centro de masa de la perforación rectangular	Cpr	No aplica	0,08515[m]
Base perforación disco	bpd	No aplica	0,05[m]
Altura perforación disco	hpd	No aplica	0,01[m]
Diámetro perforación disco	De	No aplica	0,025[m]
Volomen disco macizo	Vdm	$V_{dm} = \frac{\pi}{4} * (D_d)^2 * t$	3,464e - 4[m ³]
Volumen perforación rectangular	Vpr	$V_{pr} = b_{pd} * h_{pd} * t$	5e - 6[m ³]
Volumen perforación circular	Vpc	$V_{pc} = \frac{\pi}{4} * (D_e)^2 * t$	4,909e - 6[m ³]
Inercia disco macizo	Idm	$I_{dm} = \frac{1}{2} * M_{dm} * (\frac{D_d}{2})^2$	1,499e - 2[Kg * m ²]
Inercia perforación rectangular	Ipr	$I_{pr} = 4 * (\frac{1}{12} * M_{pr} * (b_{pd}^2 + h_{pd}^2) + M_{pr} * C_{pr}^2)$	1,172e - 3[Kg * m ²]
Inercia perforación circular	Ipc	$I_{pc} = \frac{1}{2} * M_{pc} * (\frac{D_e}{2})^2$	1,204e - 5[Kg * m ²]

5.1.7.1 Análisis del CAE para el disco

Se realizo análisis del CAE, (Computer Aided Engineering) con el programa SolidWorks.

Tabla 22. Propiedades del disco.

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: AISI 1045 Acero estirado en frío</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 5,3e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 6,25e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2,05e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,29</p> <p>Densidad: 7.850 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 8e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,2e-05 /Kelvin</p>	Sólido (disco rotor)
Datos de curva:N/A		

Con la ayuda de las herramientas de solidworks se realiza el estudio para hallar la tensión, el desplazamiento y factor de seguridad.

Tabla 23. Análisis de tensión del disco.

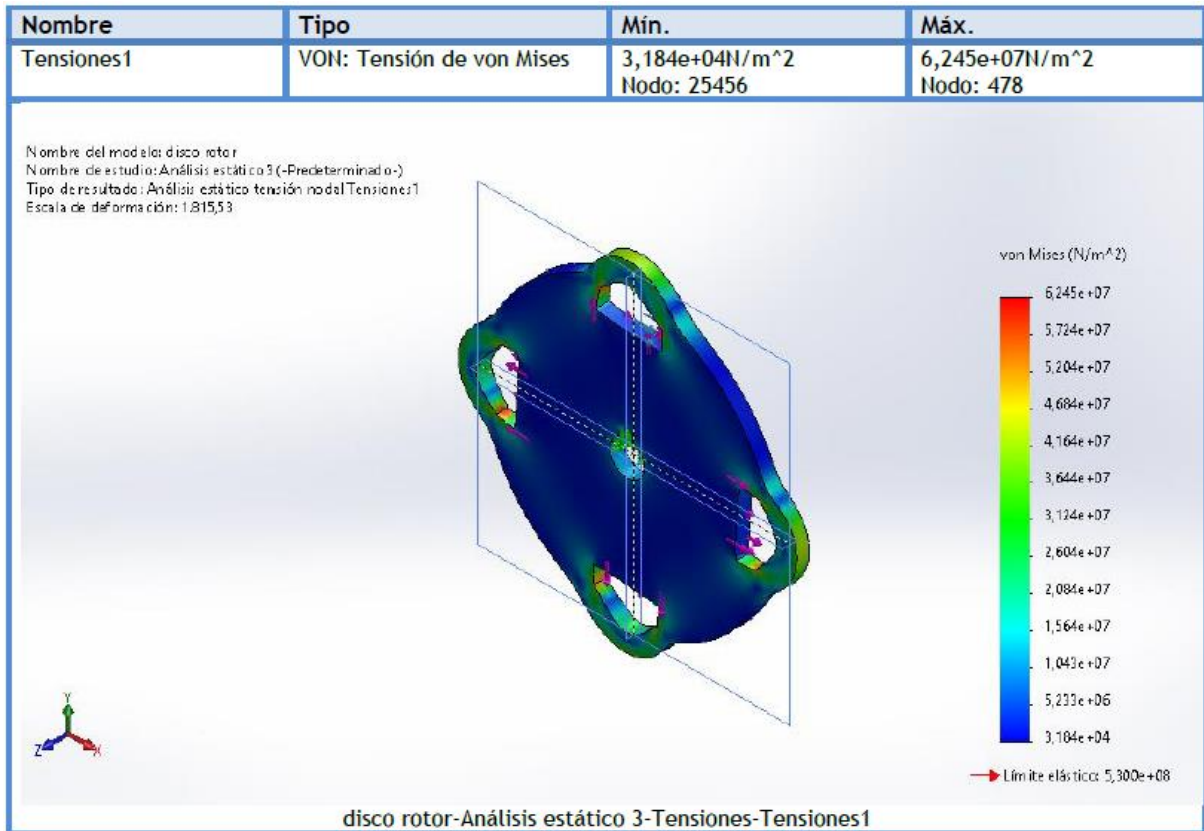


Tabla 24. Análisis de desplazamiento del disco.

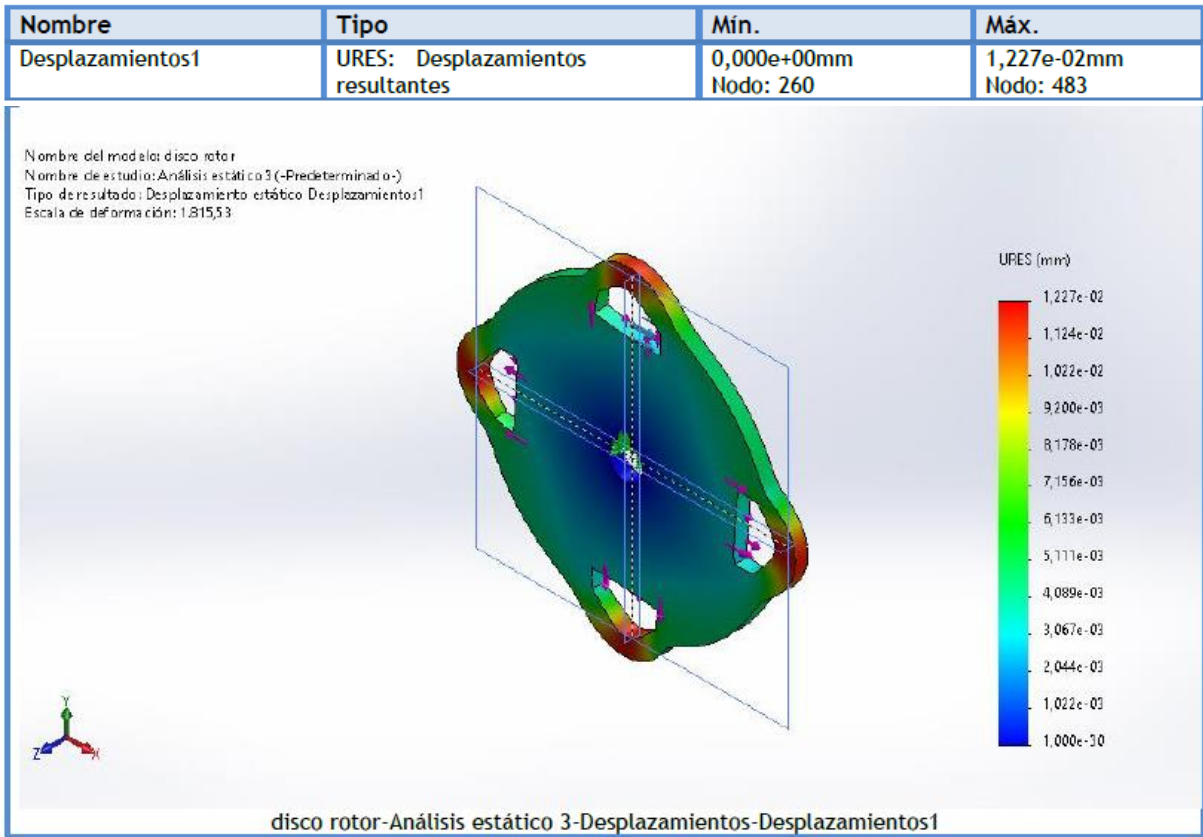
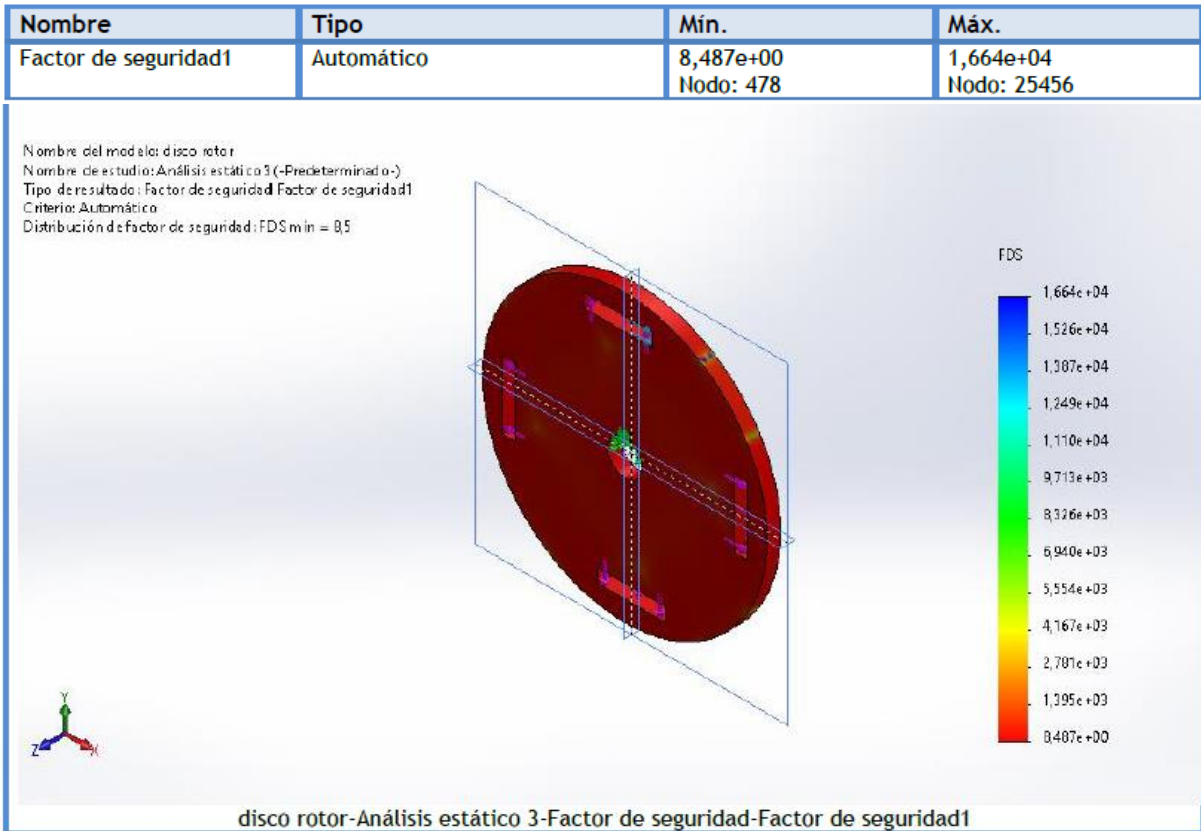


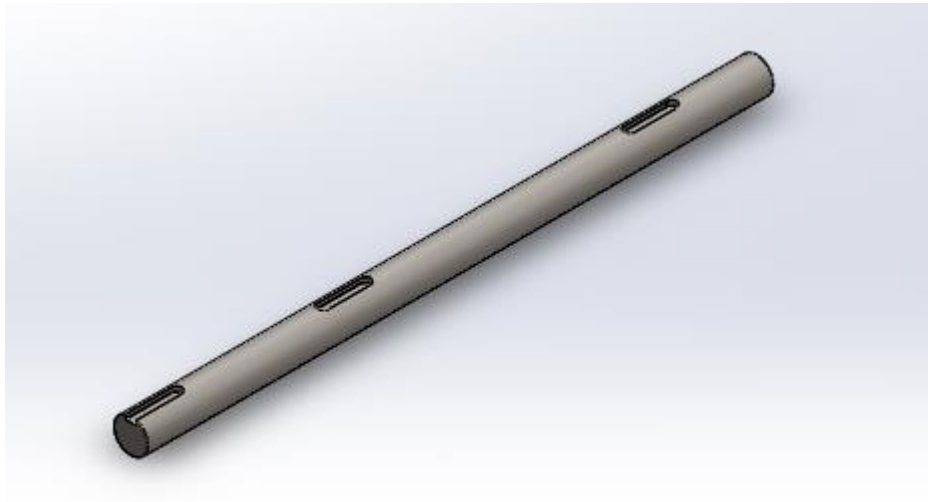
Tabla 25. Análisis de factor de seguridad del disco.



El material óptimo para el disco es el AISI 1045, ya que es un acero que tiene resistencia mecánica y tenacidad, este acero es perfecto para aplicaciones industriales de alto impacto.

5.1.8 Diseño del eje

Figura 21. Eje



Fuente: SolidWorks

El eje es el elemento que se encarga de transmitir la potencia, soportar los impactos y el peso del rotor que se compone de dos discos, 4 bases portacuchillas y 4 cuchillas, por lo cual se fabrica en acero AISI 4340, el cual contiene una aleación de cromo, molibdeno y níquel, posee gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga, es común utilizarlo en piezas que están sometidas a grandes exigencias de dureza, resistencia mecánica y tenacidad.

5.1.8.1 Análisis CAE en el eje.

Se hace el análisis CAE con la herramienta SolidWorks, sujetando el eje en los puntos donde van ubicados los rodamientos y se considera la carga del rotor como una carga puntual.

Tabla 26. Propiedades para el análisis del eje.


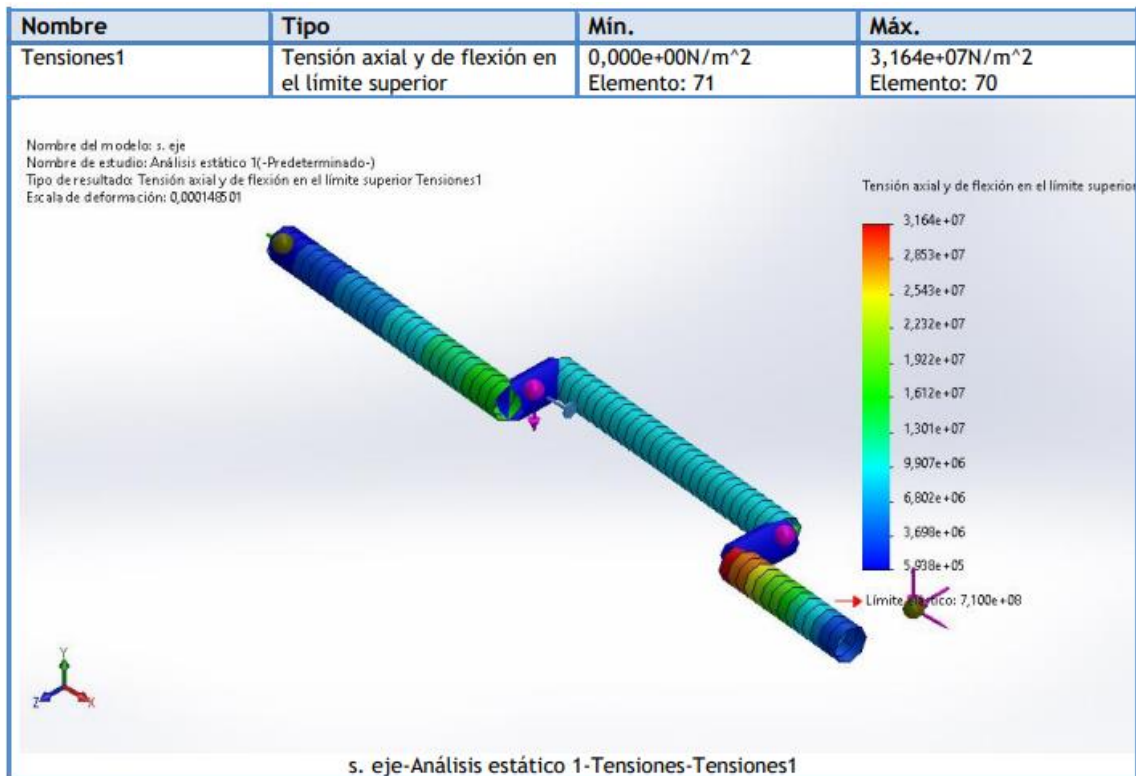
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: AISI 4340 Acero normalizado Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,1e+08 N/m ² Límite de tracción: 1,11e+09 N/m ² Módulo elástico: 2,05e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0,32 Densidad: 7.850 kg/m ³ Módulo cortante: 8e+10 N/m ² Coefficiente de dilatación térmica: 1,23e-05 /Kelvin	Sólido (eje)
	Datos de curva:N/A	

Tabla 27. Análisis de tensiones del eje.



Se obtiene un valor Máximo de 31.6 [Mpa] y un valor Mínimo de 0,5938 [Mpa], se observa que el límite elástico del material para este caso es 710 [Mpa], como criterio óptimo de diseño la pieza no debe superar el límite elástico.

Tabla 28. Análisis de desplazamiento.

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm Nodo: 29	2,875e+05mm Nodo: 59

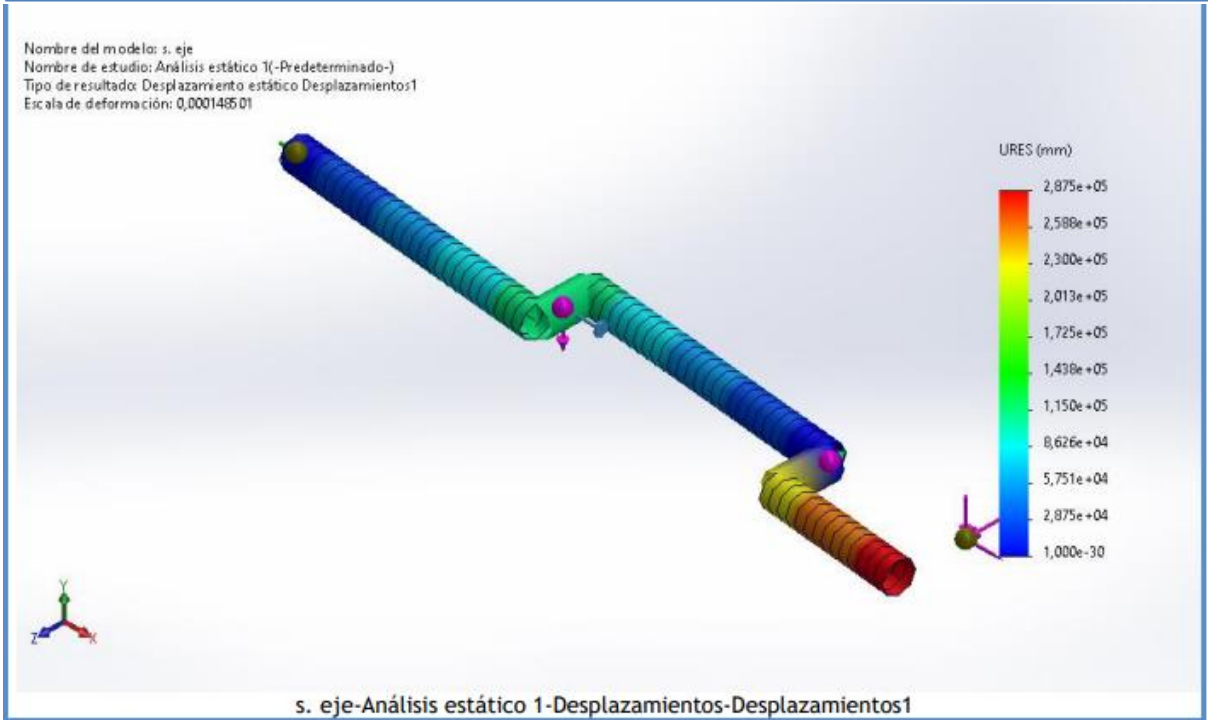
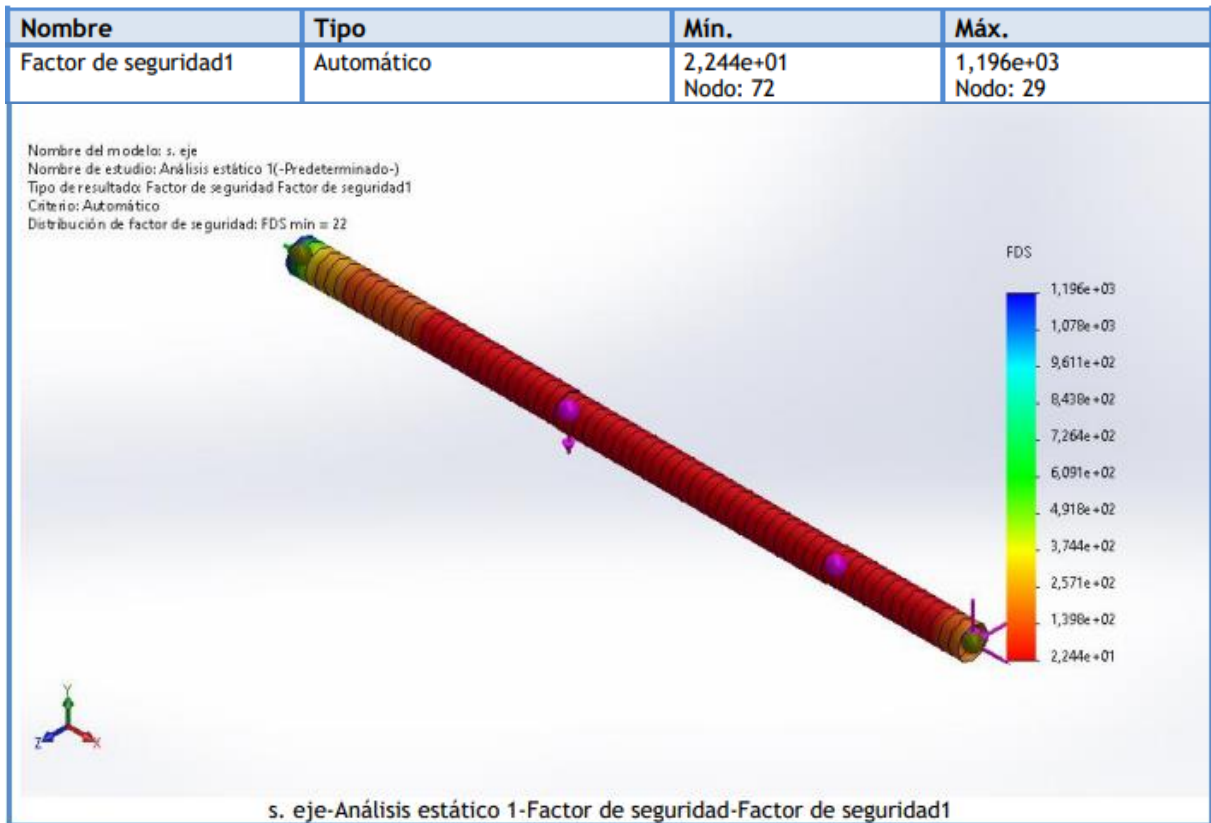


Tabla 29. Análisis de factor de seguridad eje.



El material seleccionado para el eje es óptimo de acuerdo con los resultados obtenidos es poco probable que falle por ruptura en el análisis.

Factor de seguridad análisis CAE: 22

Factor de seguridad análisis de fatiga: 5,68

Tabla 30. Cálculos para diseño de eje.

ACERO AISI 4340			
PARÁMETRO	SÍMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
Resistencia a la fluencia	S_y	No aplica	$7,1 \times 10^8 [Pa]$
Esfuerzo último	S_{ut}	No aplica	$1,11 \times 10^9 [Pa]$
Límite de resistencia a la fatiga en viga rotativa	S_e	$0,5 \times S_{ut}$	$5,55 \times 10^8 [Pa]$
Factores modificadores	K_a	No aplica	0,703
	K_b	No aplica	0,877
	K_c	No aplica	1
	K_c	No aplica	1
	K_e	No aplica	0,702
Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de máquina en la geometría y condición de uso.	S_e	$S_e = S_e \times K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e$	$2.402 \times 10^8 [Pa]$
Factores de concentración del esfuerzo para chaveteros con extremos fresados	K_f	No aplica	2
	K_{fs}	No aplica	1,6
Momento medio	M_m	No aplica	$24,44 [N \cdot m]$
Momento alternativo	M_a	No aplica	$24,44 [N \cdot m]$
Torque medio	T_m	No aplica	$9,89 [N \cdot m]$
Torque alternativo	T_a	No aplica	$9,89 [N \cdot m]$
Factor de seguridad (criterio de Soderberg)	n	$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_y} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$	5,68
Diámetro de eje (criterio de Soderberg)	d	$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \left[4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2 \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{S_y} \left[4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \right)^{\frac{1}{3}}$	25,4 [mm]

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos empleando el criterio de Soderberg se hizo una iteración con el factor de seguridad y diámetro del eje seleccionando finalmente un tamaño de eje comercial de 1 [In] con un factor de seguridad de 5,68, en el anexo c se muestran los cálculos manuales y gráficas de las cargas que actúan sobre el eje.

5.1.9 Cálculo de la potencia

Tabla 31. Cálculo potencia del motor en vacío.

PARÁMETRO	SIMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
RPM	n	No aplica	1800
Velocidad angular	ω	$\omega = \frac{2 * \pi * n}{60}$	188,5 [$\frac{rad}{s}$]
Aceleración angular	α	$\alpha = \frac{\omega}{t}$	94,25 [$\frac{rad}{s^2}$]
Tiempo de régimen	t	No aplica	2[s]
Inercia cuchillas	lc	No aplica	3,39e - 2[Kg * m ²]
Inercia porta cuchillas	lpc	No aplica	3,1e - 2[Kg * m ²]
Inercia discos	ld	No aplica	2,76e - 2[Kg * m ²]
Inercia eje	le	No aplica	1,497 e - 4[Kg * m ²]
Inercia pernos y tuercas	lpt	No aplica	3,9e - 3[Kg * m ²]
Inercia total	lt	lt=lc+lpc+ld+le+lpt	9,65e - 2[Kg * m ²]
Torque de arranque	Ta	$T_a = \alpha * I_t$	9,1[N * m]
Potencia de arranque	Pa	$P_a = \frac{T_a * \omega}{745,7}$	1,14[Hp]

Tabla 32. Cálculos potencia de molienda

PARÁMETRO	SIMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
Torque de corte	T_c	$T_c = F_c * r_{gc}$	11,28[N*m]
Potencia de corte	Pot_c	$Pot_c = \frac{T_c * \omega}{745,7}$	2,85[Hp]
Potencia transmisión correas	Pot_{tc}	$Pot_{tc} = 5\% * Pot_{req}$	0,16[Hp]
Potencia fricción	Pot_f	$Pot_f = 5\% * Pot_{req}$	0,16[Hp]
Potencia requerida	Pot_{req}	$Pot_{req} = Pot_c + Pot_{tc} + Pot_f$	3,17[Hp]

Se calcula lo potencia requerida para el arranque del molino y la potencia requerida para la moler, teniendo en cuenta las pérdidas que se pueden generar durante la operación. Se considera que en el giro del rotor hay partículas cortadas y recortadas generando una resistencia al giro, esta se considera como un 5% de la potencia total. Las pérdidas de eficiencia en la transmisión por correas son del 5% al 2%¹².

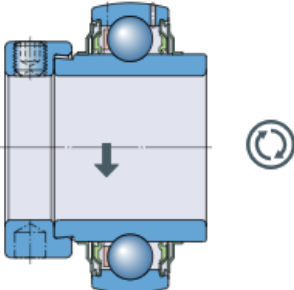
De acuerdo con los resultados obtenidos, la potencia de molienda en mayor que la potencia de arranque, se resuelve emplear un motor de 5[Hp] a 1800[RPM].

¹² PAREDES, Gustavo Adolfo y SANTANA, Alonso Arturo. Diseño de un molino para reciclar materiales plásticos [en línea]. Tesis de grado. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1989. [Citado 18 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/2543/T0000836.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

5.2 SELECCIÓN EL RODAMIENTO

Para la selección del rodamiento se usó la herramienta Product Select se seleccionó el rodamiento teniendo como datos de entrada dimensiones del eje, carga y máxima velocidad de operación, para este proyecto se empleó un rodamiento de inserción montado en un soporte de pie.

Figura 22. Selección de rodamiento.



Fuerzas		Velocidad	Temperatura ^①	
Radial	Axial		Interior del aro	Aro exterior
kN		revoluciones por minuto		
0.728	0	1800	70	65

[+ Agregar caso de carga](#)

[Calcular](#)

Figura 23. Dimensiones del rodamiento.

Designation	Bearing type	Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings	
		d (mm)	D (mm)	B (mm)	Dynamic	Static		Reference	Limiting
					C (kN)	C ₀ (kN)	P _u (kN)		
YEL 205-100-2F	Insert bearing (Y-bearing)	25.4	52.0	34.9	14.0	7.8	0.335		7000.0

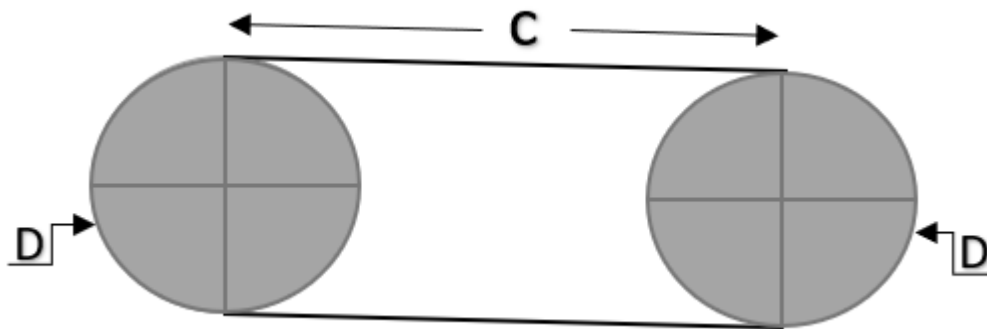
Figura 24. Información adicional del rodamiento.

Shaft orientation	Horizontal					
Rotating ring	Inner ring rotation					
	Forces		Speed	Temperature		Case weight
	Radial (F _r) (kN)	Axial (F _a) (kN)	(r/min)	Inner ring (°C)	Outer ring (°C)	
LC1	0.728	0.0	1800.0	70	65	1

5.1.9.1 Transmisión de potencia para eje principal. Para transmitir la potencia de 5[HP]

se cuenta transmisión por correas 1:1 con una polea motriz y una conducida de igual diámetro, se seleccionará una correa en V tipo A. Para lo cual se empleará el manual de correas de transmisiones industriales DUNLOP, siguiendo los pasos propuestos para la adecuada selección, para el cálculo de tensiones se toma como guía el libro de Shigley.

Figura 19. Transmisión de potencia



Fuente: MECAPEDIA, [https://www.mecapedia.uji.es/pages/transmision_por_correa.html], [Consultado: 10 de febrero de 2023].

Tabla 33. Datos de la transmisión

Máquina motriz	Motor electrico	5[HP]
	Velocidad	1800[RPM]
Maquina conducida	Horas de trabajo	8[Horas/día]
	Velocidad	1800[RPM]
Distancia entre centros	C	435,5[mm]

Tabla 34. Cálculo transmisión por correas

PARÁMETRO	SÍMBOLO	ECUACIÓN	VALOR
Potencia transmitida	Pot_{transm}	No aplica	5[HP]
Factor de servicio	N_s	No aplica	1,2
Potencia de proyecto	Pot_{proy}	$Pot_{proy} = Pot_{transm} * N_s$	6[HP]
Factor j	j	No aplica	3,3
Diámetro externo	D_{ext}	No aplica	127 [mm]
Diámetro primitivo	D_p	$D_p = D_{ext} - 2*j$	120,4 [mm]
Longitud de la correa	L	$L = 1,57 * (d_p + D_p) + 2 * C + \frac{(D_p - d_p)^2}{4 * C}$	1249 [mm]
Coefficiente de diámetro pequeño	K_d	No aplica	1
Constantes correa tipo A	a c e	No aplica	2,684 5,326 0,0136
Velocidad media	V_m	$V_m = \pi * N * \frac{D_p}{1000}$	537,2 [$\frac{m}{min}$]
Potencia nominal	$Pot_{nominal}$	$Pot_{nominal} = \left[2,98 * a * \left(\frac{10^3}{V_m} \right)^{0,09} - \frac{8,43 * c}{K_c * d_p} - 35,72 * e * \frac{V_m^2}{10^6} \right] * \frac{V_m}{10^3}$	2,945[HP]
Factor de corrección por arco de abrace	K_θ	No aplica	1
Factor de corrección por longitud de la correa	K_L	No aplica	0,93
Potencia nominal corregida	$Pot_{nominalc}$	$Pot_{nominalc} = K_L * K_\theta * Pot_{nominal}$	2,739
Número de correas	N_c	$N_c = \frac{Pot_{proy}}{Pot_{nominalc}}$	2,19

5.3 DISEÑO DE LA CUÑA PARA LOS DISCOS

A continuación, los cálculos para hallar la longitud de la cuña

$$P_{ot} = TxW$$

$$L = \frac{4xTxN}{W * D * S_y}$$

Para el material de la cuña se debe tomar un material de menor resistencia que el eje y los discos, por tal razón se usa el acero AISI 1020.

$$T = \frac{P_{ot}}{W}$$

La potencia que se va a transmitir en el sistema es de 5 HP

$$T = 5 \text{ HP} = 3728,5 \text{ W}$$

$$W = 185,5 \left[\frac{rad}{s} \right]$$

$$T = 20,1 [N.m]$$

$N = 3$ Se opto por un factor de seguridad de 3

$$W = \frac{1}{4} [in] = 0,00635 [m] \text{ Ancho de la cara}$$

$$S_y = 205 [Mpa] = 205 \times 10^6 [Pa]$$

$$D = 0,0254 [m]$$

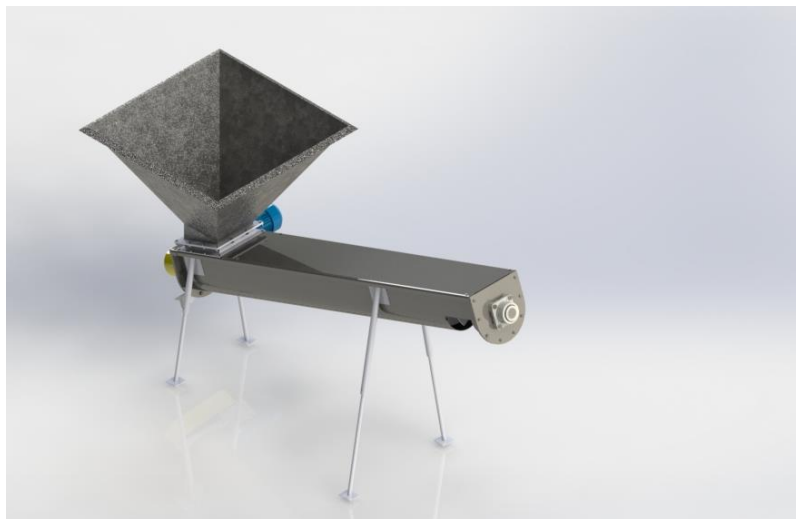
$$L = \frac{4 * 20.1[N.m] * 3}{0,00635[m] * 0,0254 [m] * 205 \times 10^6 [Pa]} = 7,29 \times 10^{-3} [m]$$

$$L = 7,29 [mm]$$

La longitud que debería tener la cuña es de 7,29 mm, pero debido al montaje se tuvo que colocar una de $L=5$ cm para cada disco.

5.4 TRANSPORTADOR HELICOIDAL

Figura 25. Transportador helicoidal



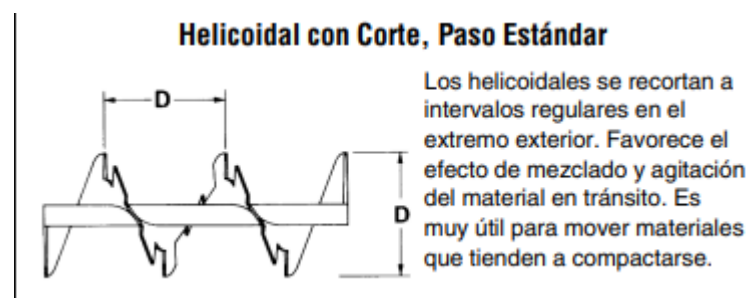
El transportador es el equipo encargado de desplazar el abono orgánico desde la salida de la tolva hasta el molino, durante este desplazamiento también se encarga de realizar la mezcla de la pulpa de café con la gallinaza.

En el diseño y selección es importante de este transportador es importante los siguientes parámetros

5.4.1 Tipo de helicoidal

El helicoidal es parte fundamental ya que este se encarga de entregar el producto directamente al molino, se seleccionó un helicoidal con corte debido a que es el óptimo para transportar, mezclar y disminuir el tamaño de la materia prima, normalmente la materia prima puede entrar en terrones hasta de 10 in.

Figura 26 Helicoidal con corte, paso estándar.



Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-77, Helicoidal con corte

La selección se realizó bajo los parámetros del catálogo de martin.

Para iniciar con la selección se toma como parámetros de entrada la capacidad requería, la densidad de la pulpa de café y el tipo de helicoidal, los demás datos de la tabla se completaron de acuerdo con la selección del catálogo.

Tabla 35. Tabla de datos para selección.

Parámetro	Símbolo	Ecuación	Valor	Unidad
Capacidad requerida	Q	No aplica	118	$\left[\frac{ft^3}{h}\right]$
Capacidad requerida en libras por hora	Qr	No aplica	2205	$\left[\frac{Lb}{h}\right]$
Densidad	Den	No aplica	19	$\left[\frac{Lb}{ft^3}\right]$
Factores de capacidad para transportar con paso especial	Cf1	T1-3	1	
Factores de capacidad para transportar con helicoidales especiales	Cf2	T1-4	1,57	
Capacidad para transportado con paletas mezcladoras	Cf3	T1-5	1	
Factor de ángulo de inclinación	Cf4	No aplica	1,82	
Capacidad equivalente	Qe	$Q_e = Q * C_{f1} * C_{f2} * C_{f3} * C_{f4}$	337,1732	$\left[\frac{ft^3}{h}\right]$
Capacidad a 1 [RPM]	C1	T1-6	5,45	[RPM]
Velocidad de rotación	Nr	$N = \frac{C_r}{C_1}$	61,87	[RPM]
Altura	H	No aplica	2,29659	[Ft]
Longitud del tornillo	L	No aplica	6,56168	[Ft]
Factor de diámetro del transportador	Fd	T1-12	31	
Factor de buje para el colgante	Fb	T1-13	1	
Factor del helicoidal	Ff	T1-14	1,15	
Factor de material	Fm	T1-2	1,5	
Factor de paletas	Fp	T1-15	1	
Factor de sobrecarga	Fo	T1-16	3	
Eficiencia de la transmisión	e	T1-17	0,87	
Potencia para mover el transportador en vacío	Hpf	$HP_f = \frac{L * N * F_d * F_b}{1,000,000}$	0,01258442	[HP]
Potencia para mover el material	Hpm	$HP_m = \frac{C * L * W * F_f * F_m * F_p}{1,000,000}$	0,07251215	[HP]
Potencia de inclinación	Hpi	$HP_i = \frac{Q_r * H}{550 * 3600}$	0,00255757	[HP]
Potencia Total	Hptotal	$HP_{total} = \frac{(HP_f + HP_m) * F_o}{e} + HP_i$	0,29599403	[HP]
Torque	T	$T = \frac{63,025 * HP}{RPM}$	0,30153606	[Lb*in]

Teniendo en cuenta las referencias más comunes que ofrece el mercado y de acuerdo con las condiciones de operación se decidió emplear un motorreductor sinfín corona de 1 [HP] para tener un sistema más resistente.

El proceso de selección inicio con la tabla del material, en el catálogo no está exactamente la pulpa de café, pero hay un material con características similares.

Tabla 36. Selección de material.

Material	Peso lb por pie cúbico	Código de Material	Selección de Rodamiento Intermedio	Serie de Componentes	Factor de Material F_m	Carga de Artesa
Arsénico Pulverizado	30	A100-25R	H	2	0.8	45
Arsenita de Plomo	72	A40-35R	L-S-B	1	1.4	30A
Asbesto desfibrado	20-40	E-46XY	H	2	1	30B
Aserrín, Seco	10-13	B6-45UX	L-S-B	1	1.4	15
Asfalto (de Utah)	37	C1/2-35	H	3	1.5	30A
Asfalto, Triturado - 1/2"	45	C1/2-45	H	2	2	30A
Avena	26	C1/2-25MN	L-S-B	1	0.4	45
Avena, cáscarilla	8-12	B6-35NY	L-S-B	1	0.5	30A
Avena, harina	35	A100-35	L-S-B	1	0.5	30A
Avena, procesada	19-24	C1/2-35NY	L-S-B	1	0.6	30A
Avena, rizada	19-26	C1/2-35	L-S-B	1	0.5	30A
Avena, triturada	22	B6-45NY	L-S-B	1	0.6	30A
Azafrán (ver Cártamo)	-	-	-	-	-	-
Azúcar de leche	32	A100-35PX	S	1	0.6	30A
Azúcar de Ramolacha, Pulpa Húmeda	25-45	C1/2-35X	L-S-B	1	1.2	30A
Azúcar de Remolacha, Pulpa Seca	12-15	C1/2-26	H	2	0.9	30B
Azúcar, cruda, mascabado	55-65	B6-35PX	S	1	1.5	30A
Azúcar, en polvo	50-60	A100-35PX	S	1	0.8	30A
Azúcar, refinada, granulada húmeda	55-65	C1/2-35X	S	1	1.4-2.0	30A
Azúcar, refinada, granulada seca	50-55	B6-35PU	S	1	1.0-1.2	30A
Azufre, en polvo	50-60	A40-35MN	L-S	1	0.6	30A
Azufre, en trozos - 3"	80-85	D3-35N	L-S	2	0.8	30A
Azufre, triturado - 1/2"	50-60	C1/2-35N	L-S	1	0.8	30A
Bagazo de caña	7-10	E-45RVXY	L-S-B	2	1.5	30A
Baquelita, polvo fino	30-45	B6-25	L-S-B	1	1.4	45
Barita (Sulfato de Bario) + 1/2" - 3"	120-180	D3-36	H	3	2.6	30B
Barita en polvo	120-180	A100-35X	H	2	2	30A
Basalto	80-105	B6-27	H	3	1.8	15
Bauxita seca, molida	68	B6-25	H	2	1.8	45
Bauxita, triturada - 3"	75-85	D3-36	H	3	2.5	30B

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-15, Características de los materiales.

El Material con características similares a la pulpa de café es el bagazo de caña, de esta tabla se toma el dato de la carga de la artesa, seguido de esto realiza el cálculo de la velocidad del transportador.

Figura 27. Velocidad del transportador.

Velocidad del Transportador

Para transportadores con helicoidales de paso estándar o completo, la velocidad puede ser calculada con la siguiente fórmula:

$$N = \frac{\text{Capacidad Requerida en pies cúbicos por hora}}{\text{Pies cúbicos por hora @ 1 RPM}}$$
$$N = \text{Revoluciones por minuto del helicoidal}$$

(esta velocidad no debe ser mayor a la velocidad máxima recomendada)

Para calcular la velocidad de un transportador helicoidal, que utilice helicoidales especiales como helicoidales de paso corto, helicoidal con corte y doblez, helicoidal con corte y helicoidal de listón, debe utilizarse una capacidad requerida equivalente calculada con los factores de las Tablas 1-3, 1-4 y 1-5.

El factor CF1 se relaciona al paso del helicoidal. El factor CF2 se refiere al tipo de helicoidal. El factor CF3 se relaciona al uso de paletas mezcladoras intercaladas en los helicoidales.


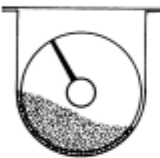


La capacidad equivalente, se calcula multiplicando la capacidad requerida por los diferentes factores de capacidad. Estos factores los encuentra en las Tablas 1-3, 1-4 y 1-5.

$$\left(\begin{array}{l} \text{Capacidad Equivalente} \\ \text{en Pies cúbicos por hora} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{Capacidad Requerida} \\ \text{en Pies cúbicos por hora} \end{array} \right) (CF_1) (CF_2) (CF_3)$$

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-16, Velocidad del transportador.

Con la velocidad y la carga de la artesa, podemos hallar el diámetro del helicoidal y con la velocidad y el tipo de helicoidal se hallan los factores.

Tabla 1-6

Carga de Arzoza		Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Capacidad Paso Cúbico por Hora (Paso Completo)		Máx. RPM
			A 1 RPM	A Máx. RPM	
45%		4	0.62	114	184
		6	2.23	388	165
		9	8.20	1270	155
		10	11.40	1710	150
		12	19.40	2820	145
		14	31.20	4370	140
		16	46.70	6060	130
		18	67.60	8120	120
		20	93.70	10300	110
		24	164.00	16400	100
30	323.00	29070	90		
30% A		4	0.41	53	130
		6	1.49	180	120
		9	5.45	545	100
		10	7.57	720	95
		12	12.90	1160	90
		14	20.80	1770	85
		16	31.20	2500	80
		18	45.00	3380	75
		20	62.80	4370	70
		24	109.00	7100	65
30	216.00	12960	60		
30% B		4	0.41	29	72
		6	1.49	90	60
		9	5.45	300	55
		10	7.60	418	55
		12	12.90	645	50
		14	20.80	1040	50
		16	31.20	1400	45
		18	45.00	2025	45
		20	62.80	2500	40
		24	109.00	4360	40
30	216.00	7560	35		
15%		4	0.21	15	72
		6	0.75	45	60
		9	2.72	150	55
		10	3.80	210	55
		12	6.40	325	50
		14	10.40	520	50
		16	15.60	700	45
		18	22.50	1010	45
		20	31.20	1250	40
		24	109.00	4360	40
30	216.00	7560	35		

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-18, Capacidad para los transportadores helicoidales.

Tabla 36: Factor con capacidad para transportar con paso especial, cf1

Tabla 1-3

Factores de Capacidad para Transportador con Paso Especial CF ₁		
Paso	Descripción	CF ₁
Estándar	Paso = Diámetro del Helicoidal	1.00
Corto	Paso = ¾ Diámetro del Helicoidal	1.50
Medio	Paso = ½ Diámetro del Helicoidal	2.00
Largo	Paso = ¼ Diámetro del Helicoidal	0.67

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-17, Factores de capacidad.

Tabla 25: Factor con capacidad para transportar con helicoidal especial, cf2

Tabla 1-4

Factores de Capacidad para Transportador con Helicoidal Especial CF ₂			
Tipo de Helicoidal	Carga del Transportador		
	15%	30%	45%
Helicoidal con Corte	1.95	1.57	1.43
Helicoidal con Corte y Doblez	N.R.*	3.75	2.54
Helicoidal de Listón	1.04	1.37	1.62

*No se recomienda.
Si no se utilizan ninguno de los tipos anteriores de helicoidal: CF₂ = 1.0.

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-17, Factores de capacidad.

Tabla 26: Factor con capacidad para transportador con paletas, cf2

Tabla 1-5

Capacidad para Transportador con Paletas Mezcladoras CF ₃					
Paletas Estándar de Paso Invertido a 45°	Paletas por Paso				
	Ninguna	1	2	3	4
Factor CF ₃	1.00	1.08	1.16	1.24	1.32

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-17, Factores de capacidad.

Tabla 27: Selección de numero de diámetro del eje y calibre

Tabla 1-9

Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Diámetro del Eje (Pulgadas)	Grupo de Componentes 2			
		Número de Helicoidal		Espesor, Calibre Americano Estándar (Pulgadas)	
		Helicoidales Continuos	Helicoidales Seccionales	Artesa	Cubierta
6	1½	6H308	6S309	Calibre 14	Calibre 16
9	1½	9H312	9S309	Calibre 10	Calibre 14
9	2	9H412	9S412	Calibre 10	Calibre 14
12	2	12H412	12S412	¾"	Calibre 14
12	2¼	12H512	12S512	¾"	Calibre 14
12	3	12H614	12S616	¾"	Calibre 14
14	2¾	—	14S512	¾"	Calibre 14
14	3	14H614	14S616	¾"	Calibre 14
16	3	16H614	16S616	¾"	Calibre 14
18	3	—	18S616	¾"	Calibre 12
20	3	—	20S616	¾"	Calibre 12
24	3¾	—	24S716	¾"	Calibre 12
30	3¾	—	30S716	¾"	Calibre 12

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-21, Selección de componentes.

El helicoidal lleva una inclinación de 20°, “esta inclinación genera una pérdida en la eficiencia del transporte es típicamente entre 10 y 40 por ciento en pendientes de hasta 20 grados”

Tabla 28. Selección de factor de inclinación de transporte.

Tabla 5. Factor de Inclinación de Transporte

INCLINACIÓN	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
Reduc. De cap. %	0	10	26	45	58	70	78
f_i	1	1,11	1,35	1,82	2,38	3,33	4,55

Fuente: Manual de transporte y elevadores helicoidales, Autor: Ing. Cesar prieto.

Con los datos obtenidos anteriormente y los valores que calculados en las potencias las potencias se halla el factor de sobrecarga.

Figura 28. Cálculos de potencias para transportadores helicoidales horizontales.

Transportadores Helicoidales Horizontales

(Para Transportadores Helicoidales Inclinados o para Alimentadores Helicoidales consulte a *Martin*)

La potencia requerida para operar un transportador helicoidal se basa en una instalación adecuada, en una alimentación regular y uniforme del material al transportador y en otros criterios de diseño indicados en este manual.

La potencia requerida es la suma de la potencia necesaria para vencer la fricción (HP_f) y la potencia necesaria para mover el material dentro del transportador a la capacidad especificada (HP_m) multiplicada por el factor de sobrecarga F_o y dividido entre la eficiencia total de la transmisión (e), o:

$$HP_f = \frac{LN F_d f_b}{1,000,000} = \text{(Potencia para mover el transportador vacío)}$$

$$HP_m = \frac{CLW F_f F_m F_p}{1,000,000} = \text{(Potencia para mover el material)}$$

$$HP \text{ Total} = \frac{(HP_f + HP_m) F_o}{e}$$

Los siguientes factores determinan la potencia requerida de un transportador helicoidal:

L = Longitud total del transportador, en pies.

N = Velocidad de Operación, RPM (revoluciones por minuto).

F_d = Factor del diámetro del transportador (Tabla 1-12).

F_b = Factor del buje para colgante (Tabla 1-13).

C = Capacidad en pies cúbico por hora.

W = Densidad del material en libras por pie cúbico.

F_f = Factor de helicoidal (Tabla 1-14).

F_m = Factor de material (Tabla 1-2).

F_p = Factor de las paletas (cuando se requieran) (Tabla 1-15).

F_o = Factor de sobrecarga (Tabla 1-16).

e = Eficiencia de la transmisión (Tabla 1-17).

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-23, Requerimientos para el cálculo de potencia HP.

Tabla 29. Selección de factor de diámetro del transportador.

Tabla 1-12

Factor del Diámetro del Transportador, F_d			
Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor F_d	Diámetro del Helicoidal (Pulgadas)	Factor F_d
4	12.0	14	78.0
6	18.0	16	106.0
9	31.0	18	135.0
10	37.0	20	165.0
12	55.0	24	235.0
		30	300.0

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-23, Requerimientos para el cálculo de potencia HP.

Tabla 30. Selección del factor por porcentaje de carga de transportador.

Tabla 1-14
Factor, F_f

Tipo de Helicoidal	F_f Factor por porcentaje de carga de transportador			
	15%	30%	45%	95%
Estándar	1.0	1.0	1.0	1.0
Helicoidal con Corte	1.10	1.15	1.20	1.3
Con Corte y Doblez	N.R.*	1.50	1.70	2.20
Helicoidal de Listón	1.05	1.14	1.20	—
*No recomendada				

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-24, Tabla de factor de potencia.

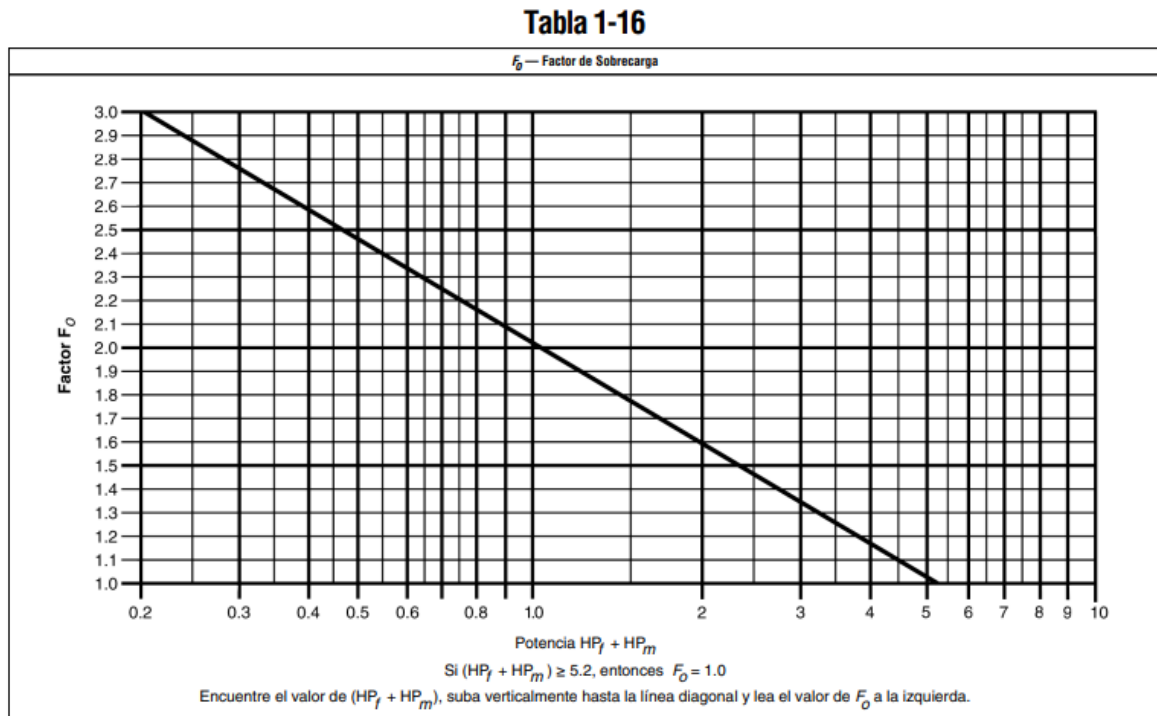
Tabla 31. Selección de factor de potencia.

Tabla 1-15

Número de Paletas por Paso	Factor de Paleta, F_p				
	Paletas Estándar por Paso. Paletas Ajustadas a 45° Paso Invertido				
	0	1	2	3	4
Factor de Paleta — F_p	1.0	1.29	1.58	1.87	2.16

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-24, Tabla de factor de potencia.

Tabla 32. Selección de factor de sobrecarga.



Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-24, Tabla de factor de potencia.

El valor de las potencias de para mover el material y mover la maquina sin carga es < 0.2”

Tabla 33. Selección de factor de eficiencia de las transmisiones.

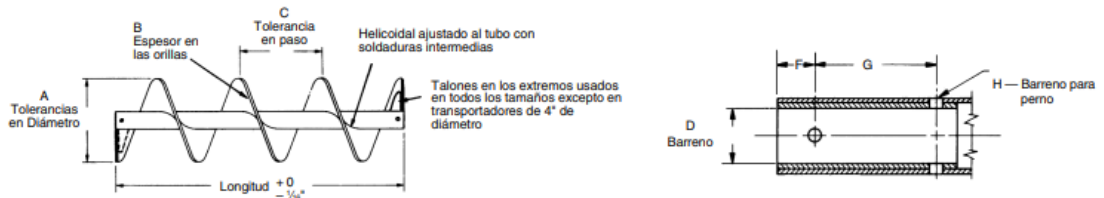
Tabla 1-17

Factor de Eficiencia (e) de las Transmisiones				
Transmisión para Transportador Helicoidal o Montado en Eje con Transmisión de Bandas en "V"	Reductor de Engranajes Helicoidales con Transmisión de Bandas en V y Cople	Motorreductor con Cople	Motorreductor con Transmisión de Cadena	Corona Sintin
.88	.87	.95	.87	Consulte a <i>Waste</i>

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-24, Tabla de factor de potencia.

Tabla 34. Selección de distancia de barrenos.

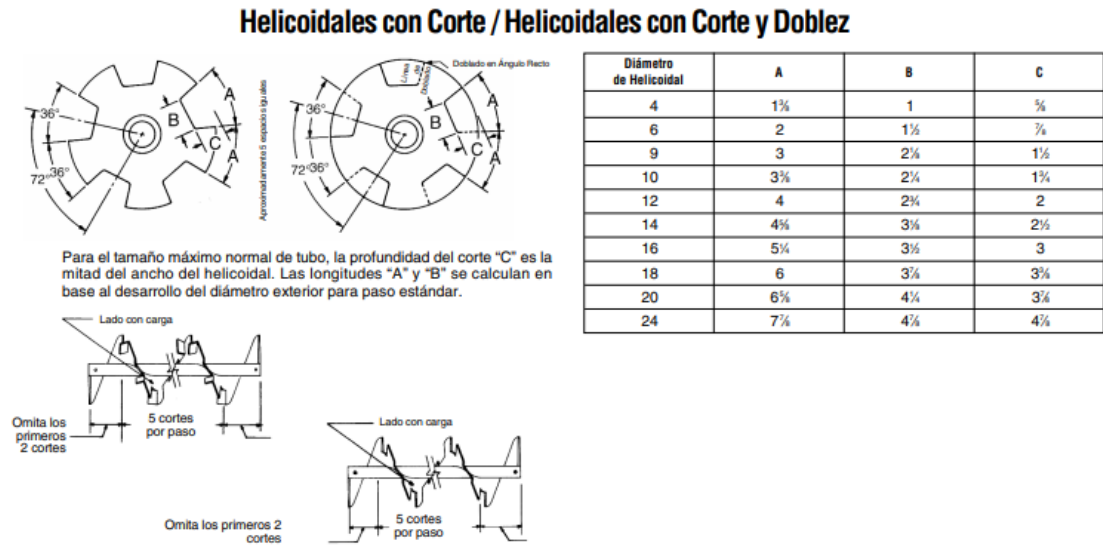
Helicoidales Continuos



Diámetro del Helicoidal y Paso	Diámetro del Ejes	Designación de Tamaño	Tamaño de tubo Cédula 40	Longitud, Pies y Pulgadas	A		B		C		D		F	G	H
					Tolerancia en Diámetro		Espesor		Tolerancia en Paso		Diámetro Interno del Buje				
					Más	Menos	Orilla Interior	Orilla Exterior	Más	Menos	Mínimo	Máximo			
4	1	4H206	1¼	9-10½	¼	¼	¾	¾	½	¼	1.005	1.016	½	2	¾
6	1½	6H304	2	9-10	¼	¼	¾	¾	½	¼	1.505	1.516	¾	3	¾
6	1½	6H308	2	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	1.505	1.516	¾	3	¾
6	1½	6H312	2	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	1.505	1.516	¾	3	¾
9	1½	9H306	2	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	1.505	1.516	¾	3	¾
9	1½	9H312	2	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	1.505	1.516	¾	3	¾
9	2	9H406	2½	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
9	2	9H412	2½	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
9	2	9H414	2½	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
10	1½	10H306	2	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	1.505	1.516	¾	3	¾
10	2	10H412	2½	9-10	¼	¼	¾	¾	¾	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
12	2	12H408	2½	11-10	¼	¼	¾	¾	1	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
12	2	12H412	2½	11-10	¼	¼	¾	¾	1	¼	2.005	2.016	¾	3	¾
12	2¾	12H508	3	11-9	¼	¼	¾	¾	1	¼	2.443	2.458	¾	3	¾
12	2¾	12H512	3	11-9	¼	¼	¾	¾	1	¼	2.443	2.458	¾	3	¾
12	3	12H614	3½	11-9	¼	¼	¾	¾	1	¼	3.005	3.025	1	3	¾
14	2¾	14H508	3	11-9	¼	¼	¾	¾	1	¼	2.443	2.458	¾	3	¾
14	3	14H614	3½	11-9	¼	¼	¾	¾	1	¼	3.005	3.025	1	3	¾
16	3	16H610	3½	11-9	¼	¼	¾	¾	1½	¼	3.005	3.025	1	3	¾
16	3	16H614	4	11-9	¼	¼	¾	¾	1½	¼	3.005	3.025	1	3	¾

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-47, Estándares CEMA.

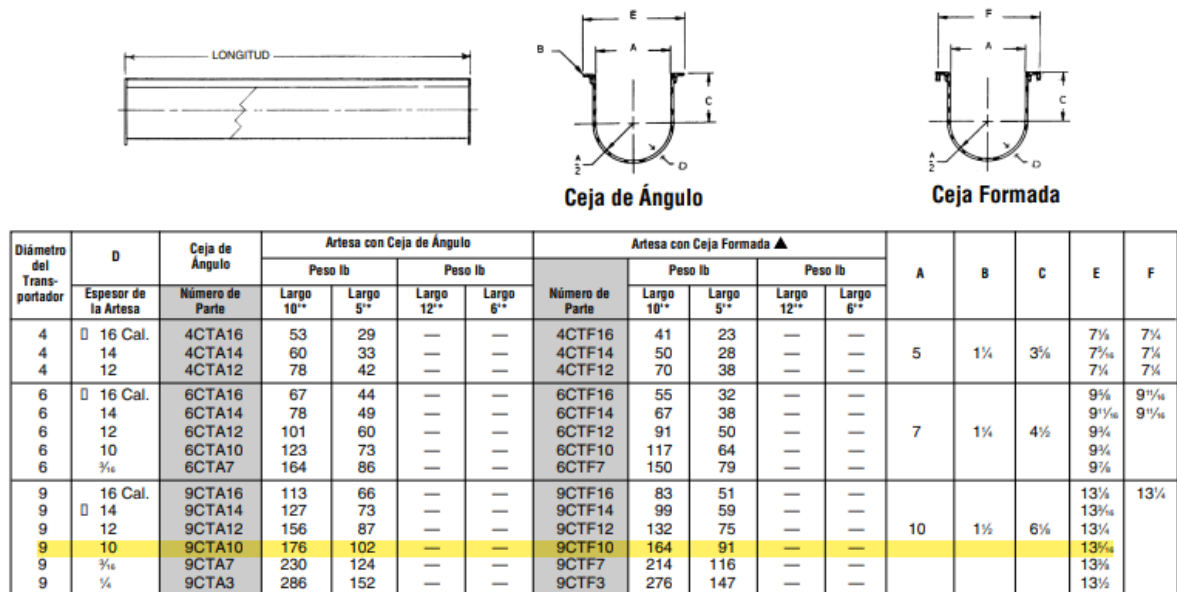
Tabla 35. Selección de dimensiones del corte.



Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-47, Estándares CEMA.

5.4.2 Selección de la artesa

Tabla 36. Selección de dimensiones de la ceja de la artesa.



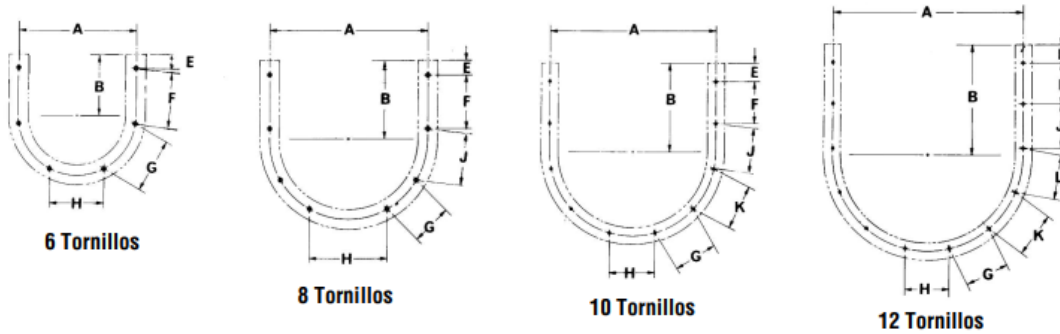
Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-53, Artesas estándar.

Tabla 37. Selección de dimensiones de la brida artesanal.



Patrón de Barrenos

Bridas para Artesa en "U"



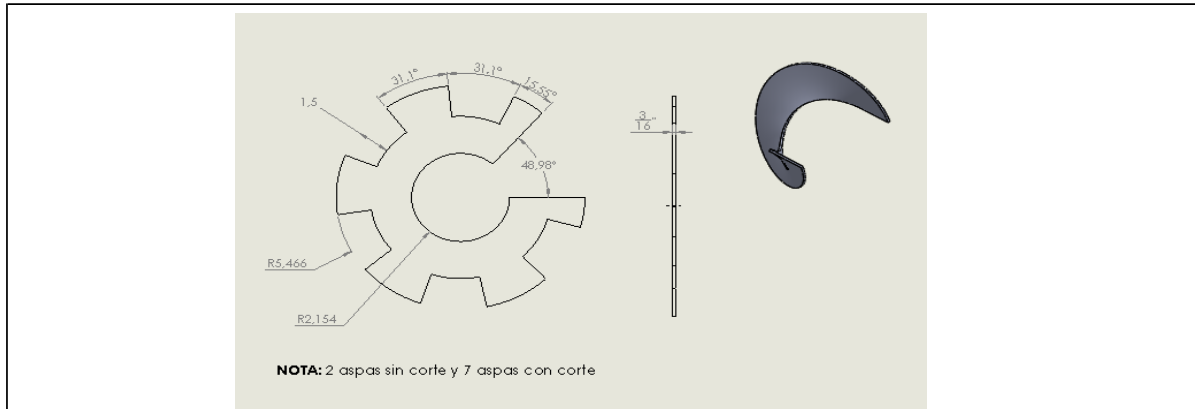
Diámetro del Helicoidal	Tornillos		A	B	E	F	G	H	J	K	L
	Número	Diámetro									
4	6	$\frac{3}{8}$	7	$3\frac{3}{8}$	$1\frac{1}{8}$	$3\frac{3}{8}$	$3\frac{3}{8}$	$3\frac{3}{8}$	—	—	—
6	6	$\frac{3}{8}$	$8\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$4\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{4}$	—	—	—
9	8	$\frac{3}{8}$	$12\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	3 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	4 $\frac{1}{2}$	—	—
10	8	$\frac{3}{8}$	13 $\frac{1}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{4}$	$3\frac{1}{2}$	$4\frac{3}{8}$	$5\frac{1}{4}$	4 $\frac{1}{2}$	—	—
12	8	$\frac{1}{2}$	$15\frac{1}{4}$	7 $\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{4}$	$4\frac{1}{4}$	7 $\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{4}$	—	—
14	8	$\frac{1}{2}$	$17\frac{1}{4}$	9 $\frac{1}{4}$	$2\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	$5\frac{1}{4}$	6	$5\frac{1}{4}$	—	—
16	8	$\frac{3}{4}$	20	10 $\frac{1}{2}$	2 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	7 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	—	—
18	10	$\frac{3}{4}$	22	12 $\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	$5\frac{1}{4}$	5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	5 $\frac{1}{2}$	—
20	10	$\frac{3}{4}$	$24\frac{1}{4}$	13 $\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	$6\frac{1}{4}$	$6\frac{1}{4}$	$6\frac{1}{4}$	$6\frac{1}{4}$	—
24	12	$\frac{3}{4}$	$28\frac{1}{2}$	16 $\frac{1}{2}$	$2\frac{3}{4}$	6 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$	6 $\frac{1}{2}$

Fuente: Catalogo Martin, 2018, p. H-41, Patrón de barrenos.

5.4.3 Diseño del aspa

Se realizaron los cálculos para obtener los datos geométricos del aspa de acuerdo con las dimensiones de montaje de tal manera que cuando se ensamble sobre el tubo se obtenga el diámetro y paso adecuado.

Tabla 37. Cálculos del aspa.



Parámetro	Símbolo	Ecuación	Valor	Unidad
Diametro exterior	\varnothing_e	No aplica	9	[In]
Diámetro interior	\varnothing_i	No aplica	2,375	[In]
Paso	p	No aplica	9	[In]
Ancho de cara	A	$A = \frac{\varnothing_e - \varnothing_i}{2}$	3,313	[In]
Longitud externa	L_e	$L_e = \sqrt{(\varnothing_e)^2 * \pi^2 + p^2}$	29,67	[In]
Longitud interna	L_i	$L_i = \sqrt{(\varnothing_i)^2 * \pi^2 + p^2}$	11,69	[In]
Radio interno	R_i	$R_i = \frac{A * L_i}{L_e - L_i}$	2,154	[In]
Radio externo	R_e	$R_e = R_i + A$	5,466	[In]
Incremento	δ	$\delta = 2 * \pi * R_e$	34,34	[In]
Angulo de corte	β	$\beta = \frac{L_e * 360^\circ}{\delta}$	311°	
Angulo de corte restante	x	$x = 360 - \beta$	48,98°	

Tabla 45. Diseño y construcción del eje superior.

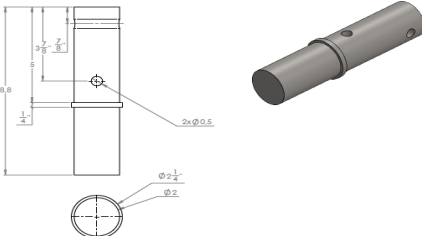

ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA					
Nombre	Eje superior			Material	AISI 304
ESPECIFICACION DE TIEMPOS DE CONSTRUCCION					
Fecha de fabricación	18	4	2023	Tiempo de construcción (h)	1 h
Hora de inicio	8:00 a. m.		Hora de finalización	9:00 a.m.	Numero de piezas
OPERACIONES					
ITEM	MAQUINA	OPERACIÓN	EMPRESA ENCARGADA		
1	Torno industrina	Cilindrado	Mecanica industrial castillo		
2	Taladro	Perforacion	Maquinas y montajes		
3					
DISEÑO CAD					
					
DISEÑO REAL					
					
Recibio a conformidad				Calificación	
Observaciones					

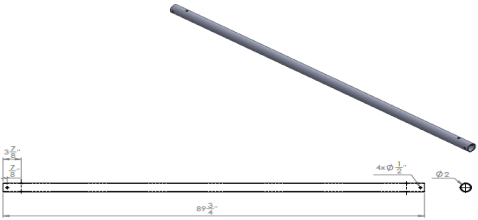

Tabla 46. Diseño y construcción aspa helicoidal.

ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA					
Nombre	Aspa helicoidal			Material	AISI 304
ESPECIFICACION DE TIEMPOS DE CONSTRUCCION					
Fecha de fabricación	5	5	2023	Tiempo de construcción (h)	4 h
Hora de inicio	8:00 a. m.		Hora de finalización	12:00 p.m.	Numero de piezas
OPERACIONES					
ITEM	MAQUINA	OPERACION		EMPRESA ENCARGADA	
1	Cortadora pasma	Cortado de aspas		Metalica sanches	
2	Diferencial	Doblado de lamina		Maquinas y montajes	
3					
DISEÑO CAD					
DISEÑO REAL					
Recibio a conformidad			Calificación		
Observaciones					

Tabla 47. Diseño y construcción tolva.

ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA					
Nombre	Tolva			Material	AISI 304
ESPECIFICACION DE TIEMPOS DE CONSTRUCCION					
Fecha de fabricación	5	5	2023	Tiempo de construcción (h)	2 h
Hora de inicio	8:00 a. m.		Hora de finalización	12:00 p.m.	Numero de piezas
					1
OPERACIONES					
ITEM	MAQUINA	OPERACIÓN		EMPRESA ENCARGADA	
1	Dobladora	Doblado de lamina		Metalicas Sanchez	
2	Equipo de soldadura	Soldadura		Maquinas y montajes	
3					
DISEÑO CAD					
DISEÑO REAL					
Recibio a conformidad			Calificación		
Observaciones					

Tabla 48. Diseño y construcción tubo.

ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA					
Nombre	Tubo			Material	AISI 304
ESPECIFICACION DE TIEMPOS DE CONSTRUCCION					
Fecha de fabricación	7	5	2023	Tiempo de construcción (h)	1/2 h
Hora de inicio	8:00 a. m.		Hora de finalización	8:30 p.m.	Numero de piezas
OPERACIONES					
ITEM	MAQUINA	OPERACION		EMPRESA ENCARGADA	
1	Cortadora	Cortado		Maquinas y montajes	
2	Taladro	Perforado		Maquinas y montajes	
3					
DISEÑO CAD					
					
DISEÑO REAL					
					
Recibio a conformidad				Calificación	
Observaciones					

6.1.2 Especificación de diseño del molino

Tabla 49. Diseño y construcción del eje.

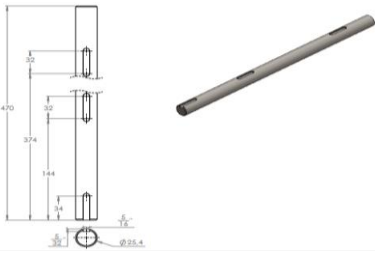
ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA					
Nombre	Eje			Material	AISI 304
ESPECIFICACION DE TIEMPOS DE CONSTRUCCION					
Fecha de fabricación	7	5	2023	Tiempo de construcción (h)	1 h
Hora de inicio	8:00 a. m.		Hora de finalización	9:00 p.m.	Numero de piezas
OPERACIONES					
ITEM	MAQUINA	OPERACION		EMPRESA ENCARGADA	
1	Cortadora	Corte del eje		Mecanica industrial castillo	
2	Fresadora	Chaveteros		Mecanica industrial castillo	
3	Torno	Chafianes		Mecanica industrial castillo	
DISEÑO CAD					
					
Nota: Chafianes R 0.2 [mm]					
DISEÑO REAL					
Recibio a conformidad				Calificación	
Observaciones					

Tabla 50. Diseño y construcción del disco.

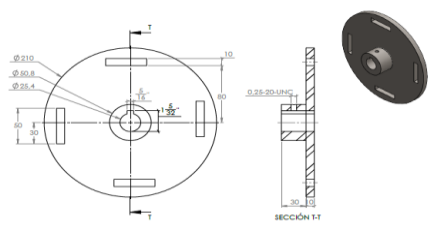

ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA					
Nombre	Disco			Material	Acero 1045
ESPECIFICACION DE TIEMPOS DE CONSTRUCCION					
Fecha de fabricación	27	3	2023	Tiempo de construcción (h)	1/2 h
Hora de inicio	8:00 a. m.		Hora de finalización	8:30 a.m.	Numero de piezas
OPERACIONES					
ITEM	MAQUINA	OPERACION		EMPRESA ENCARGADA	
1	Cortadora	Chaveteros, guia de cuchillas		Metal ejes	
2	Fresadora	Perforaciones		Metal ejes	
	Equipo de soldadura	Soldadura del cubo		Maquinas y montajes	
DISEÑO CAD					
					
DISEÑO REAL					
					
Recibio a conformidad				Calificación	
Observaciones					

Tabla 51. Diseño y construcción de la porta cuchillas.

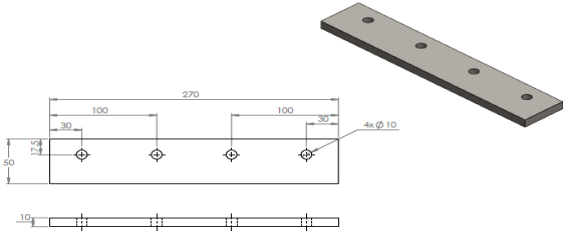


ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA					
Nombre	Porta cuchillas			Material	Acero 1045
ESPECIFICACION DE TIEMPOS DE CONSTRUCCION					
Fecha de fabricación	27	3	2023	Tiempo de construcción (h)	1 h
Hora de inicio	7:00 a. m.		Hora de finalización	8:00 a.m.	Numero de piezas
OPERACIONES					
ITEM	MAQUINA	OPERACIÓN		EMPRESA ENCARGADA	
1	Cortadora	Corte		Metal ejes	
2	Taladro	Perforaciones		Maquinas y montajes	
DISEÑO CAD					
					
DISEÑO REAL					
					
Recibio a conformidad				Calificación	
Observaciones					

Tabla 52. Diseño y construcción de la cuchilla

ESPECIFICACIONES DE LA PIEZA					
Nombre	Cuchillas			Material	Acero antidesgaste
ESPECIFICACION DE TIEMPOS DE CONSTRUCCION					
Fecha de fabricación	12	4	2023	Tiempo de construcción (h)	1 h
Hora de inicio	7:00 a. m.		Hora de finalización	8:00 a.m.	Numero de piezas
OPERACIONES					
ITEM	MAQUINA	OPERACIÓN		EMPRESA ENCARGADA	
1	Cortadora	Corte		Metal ejes	
2	Fresadora	Perforaciones		afilasol	
3	Afiladora	Afilado		Afilasol	
DISEÑO CAD					
DISEÑO REAL					
Recibio a conformidad			Calificación		
Observaciones					

7 EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

7.1 FLUJO ECONÓMICO Y VIABILIDAD DEL PROYECTO

Para determinar la viabilidad del proyecto se realizó detalladamente la tabla de costo, donde se incluye valor de diseño, materiales, mano de obra de ensamble y pago de servicios tercerizados.

7.1.1 Costo del proyecto

En el costo total del proyecto se dividió en 3 partes mano de obra para ensamble que se realizó con la empresa máquinas y montajes.

7.1.1.1 Materia prima

Listado de los accesorios que se usaron para el diseño y montaje de la planta

Tabla 38. Costo de accesorios.

MATERIA PRIMA			
Maquina: Planta de producción de abono orgánico			
Accesorio	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Chumacera, Ref. P2BL 100-WF, SKF	2	120.000	240.000
Rodamiento, Ref. F43 200-SRB-CRE, SKF	2	120.000	240.000
Polea doble garganta, tipo A	2	49.400	98.800
Piñón, Ref. 40B18	1	33.000	33.000
Piñón, Ref. 40B-26	1	40.000	40.000
Cadena, paso 40	1	30.000	30.000
Barra, 1", AISI 4140	1	46.000	46.000
Porta cuchillas	4	67.500	270.000
Cuchillas	4	23.000	92.000
Disco, portacuchillas	2	190.000	380.000
Angulo, 0,25x1,5x1,5	1	120.000	120.000
Tubo, 2" x 2.5 m, SCH 40, AISI 304	1	425.000	425.000
Tubo, 1" x 2 m, SCH40, AISI 1045	1	70.000	70.000
Tubo, 3/4" x 2.5 m, SCH40, AISI 1045	1	60.000	60.000
Barra, 2-1/4" x 0.5 m, AISI 304	1	275.000	275.000
Lamina, 4 x 8 m, Galvanizada	1	209.000	209.000
Total			2.628.800

7.1.1.2 Servicios tercerizados

Valor de servicios tercerizados que se realizaron con las empresas, metal ejes, Afilasol y mecánica industrial castillo.

Tabla 39. Servicios tercerizados

SERVICIOS TERCERIZADOS			
Maquina: Planta de producción de abono orgánico			
Servicios	Horas	Valor unitario	Valor total
Maquinado de laminas carcasa - molino (Corte y doblado), laminas incluidas en el servicio	4	270.000	1.080.000
Servicio de torno (ejes, piñones y poleas)	3	150.000	450.000
Artesa (Corte y doblado) Material incluido en el servicio	1	1.100.000	1.100.000
Servicio de corte (Tapas sin fin) Material incluido en el servicio	1	260.000	260.000
Servicio de corte (Disco helicoidal) Material incluido en el servicio	1	1.255.000	1.255.000
Servicio de corte y perforado (Bridas) Material incluido en el servicio	1	200.000	200.000
Servicio de corte y perforado (Tapas laterales transportador helicoidal) Material incluido en el servicio	1	260.000	260.000
Servicio de afilado (8 filos)	1	240.000	240.000
Total			4.845.000

7.1.1.3 Equipos eléctricos

Equipos eléctricos usados para puesta en marcha de la planta.

Tabla 40. Equipos eléctricos.

EQUIPOS ELECTRICOS			
Maquina: Planta de producción de abono orgánico			
Equipo	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Motor, 5 HP, 1800 RPM, Weg	1	2.500.000	2.500.000
Motoreductor, Sin fin - Corona, 1 HP, 120 RPM, Dixus	1	1.300.000	1.300.000
Interruptor de arranque magnetico, on/off	2	232.000	464.000
Total			4.264.000

7.1.1.4 Diseño y ensamble

Valor de horas de ingeniera para el diseño de la planta y valor del ensamble e imprevistos para la puesta en marcha de la planta.

Tabla 41. Diseño y ensamble.

Diseño y ensamble			
Maquina: Planta de producción de abono orgánico			
Equipo	Horas	Valor unitario	Valor total
Mano de obra de ensamble Tornilleria incluida	80	20000	1.600.000
Mano de obra de soldador para ensamble	18	40000	720.000
Corte y pulido para ensamble	40	35000	1.400.000
mano de obra pintor	3	40000	120.000
Diseño de ingenieria	100	18000	1.800.000
Total			5.640.000

7.1.1.5 Costo total de construcción

El costo total de construcción del equipo fue de 17.377.800 COP.

Tabla 42. Costo total de construcción.

Costo total de construcción	
Materia prima	2.628.800
Servicios tercerizados	4.845.000
Equipos electricos	4.264.000
Diseño y ensamble	5.640.000
Total	17.377.800

7.2 VPN (VALOR PRESENTE NETO)

Para calcular la viabilidad del proyecto se realizó el cálculo para hallar en valor del VPN.

Para calcular el VPN se inicia con el valor de la inversión que fue de 17.377.800 COP.

El valor de ingresos y egresos del primer año se realizó en base a los datos reales que son del primer año de funcionamiento del equipo.

Tabla 43. Gastos y ganancias primer año

	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Ganancia	Venta de abono	850.000	850.000	850.000	850.000	850.000	850.000	850.000	850.000	850.000	850.000	850.000
	Alquiler del equipo					300.000	300.000	300.000				
Gastos	Inversión inicial	17.377.800										
	Pago de operario	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
	Compra de aserrín	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
	energía eléctrica	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
	Mantenimiento									200.000		

Para la proyección de los 5 años se estima hacer un aumento en ventas del abono orgánico del 10% y un 20 % en alquiler del equipo cada año y seguir realizando el alquiler del equipo.

En el aumento de gastos para la proyección solo se realizó aumento del salario de la persona con base al aumento del salario mínimo del 2024, en las otras materias primas no se realiza incremento debido a son productos que su precio no varía en porcentajes altos y de energía el consumo es muy bajo.

Tabla 44. Proyección a 5 años.

	Tiempo (años)	0	1	2	3	4	5
Ingresos	Venta de abono		10.200.000	11.000.000	12.000.000	13.000.000	14.000.000
	Alquiler del equipo		1.200.000	1.440.000	1.730.000	2.073.000	2.490.000
Egresos	Inversión inicial	17.377.800					
	Pago de operario		1.200.000	1.340.000	1.505.000	1.685.000	1.880.000
	Compra de Aserrín		360.000	360.000	360.000	360.000	360.000
	energía eléctrica		120.000	120.000	120.000	120.000	120.000
	Mantenimiento		200.000	200.000	200.000	200.000	200.000

El interés para hallar el VPN se tomó del banco Bancolombia, para el día 19 de junio de 2024, la tasa de interés 31,88 % efectivo anual.

Con los datos de la proyección a 5 años se halló el valor de los flujos efectivos

$$\text{Flujos efectivos} = \Sigma \text{ingresos} - \Sigma \text{egresos}$$

Teniendo el valor de los flujos efectivos se realizó el valor presente (VP) para cada año, este valor presente se realiza con la siguiente formula.

$$VP = \frac{VF_n}{(i_a + 1)^n}$$

VP = Valor presente

VF = Valor futuro o valor flujos efectivos

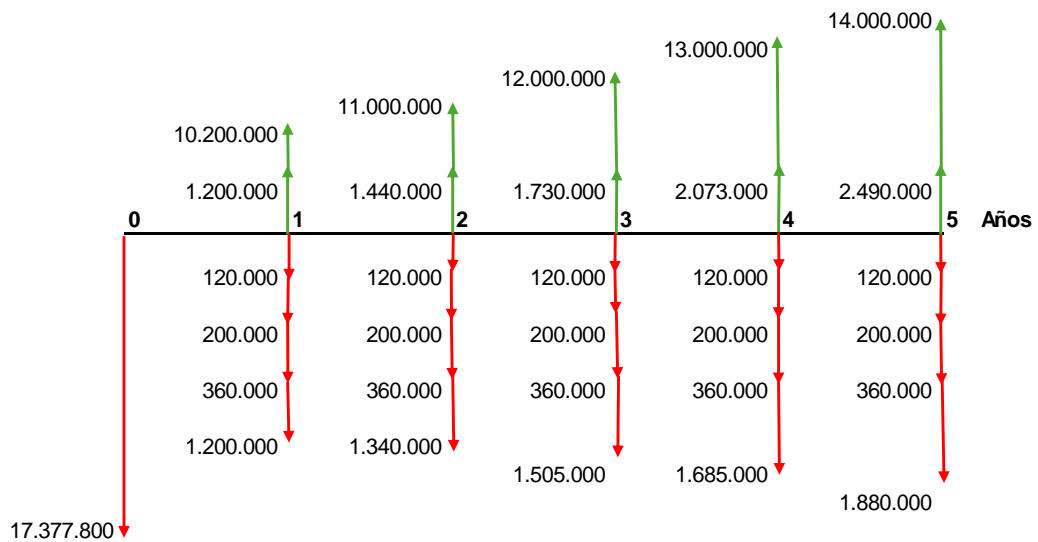
i_a = Interés, para este proyecto el interés anual tomado como referencia del banco Bancolombia

n = Cantidad de periodos para este proyecto son 5 años

Tabla 45. Cálculo de flujos y VP.

		0	1	2	3	4	5
i_a	31,88%						
Flujos		- 17.377.800	9.520.000	10.320.000	11.320.000	12.320.000	13.320.000
VP		- 17.377.800	7.218.684	5.933.649	4.935.255	4.072.818	3.338.947

Figura 29. Grafica de flujos.



Para calcular el VPN se realiza la sumatoria de los valores presentes en cada periodo

$$VPN = \sum_0^n VP$$

Al momento de tener el dato es importante tener en cuenta que la viabilidad del proyecto depende:

Si el VPN es positivo: El proyecto es rentable.

Si el VPN es negativo: El proyecto no es rentable.

Si el VPN es cero: El proyecto es indiferente.

Al realizar la sumatoria de los VP da un valor de: **8'552.520**.

Se tiene un VPN positivo lo que indica que es un proyecto rentable.

7.3 TIR (TASA INTERNA DE RETORNO)

La tasa interna de retorno es la tasa que de retorno de la inversión en el tiempo.

Para hallar la TIR se usa la siguiente fórmula.

$$\sum_0^n \frac{VF_n}{(1 + TIR)^n} - I = 0$$

VF = Valor futuro o valor flujos efectivos

I = Inversión

n = Cantidad de periodos para este proyecto son 5 años

TIR = Tasa interna de retorno

Al momento de calcular la TIR es importante tener en cuenta la siguiente información.

Si la $TIR > ia$: El proyecto es rentable y se acepta.

Si la $TIR < ia$: El proyecto no es rentable y no se acepta.

Si la $TIR = ia$: El proyecto es indiferente.

El valor de la TIR del proyecto es 55 %

55 % > 31.3 % lo que indica que el proyecto es rentable.

8 PRUEBAS Y RESULTADOS

Tabla 46. Planta de procesamiento de abono orgánico.

PLANTA PARA PROCESAMIENTO DE ABONO ORGÁNICO		
		
Máquina 1	Alimentador-mezclador	
Características	Mecanismo	Helicoidal con corte
	Longitud de transporte	2[m]
	Inclinación	20°
	Potencia de motorreductor eléctrico	1[HP] - 220[V]
	Velocidad de operación	80 [RPM]
Capacidad	2.500-3.000 [Kg/h]	
Máquina 2	Molino	
Características	Mecanismo	Molino de cuchillas horizontales
	Número de cuchillas	4
	Potencia de motor eléctrico	5[HP] - 220[V]
	Velocidad de operación	1800[RPM]
	Capacidad	2.500 - 3.000 [Kg/h]

Para la planta se realizaron dos pruebas de funcionamiento, la primera con el equipo vacío y la segunda con carga, con estas pruebas se busca verificar que el equipo este en óptimas condiciones y que cada accesorio esté funcionando en perfecto estado.

8.1 PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO SIN CARGA

8.1.1 Revisión de accesorios y equipos

Antes de realizar el encendido del equipo se hizo revisión de cada accesorio por separado y revisión de los equipos eléctricos.

Tabla 47. Supervisión de accesorios.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
MÁQUINA: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ABONO ORGANICO	
Estado de fabricación:	90%
Lugar: Maquinas y montajes - Bucaramanga	Fecha: 26/04/2023
ACCESORIOS SUPERVISADOS	ESTADO
Bastidor	✓
Cuchillas	✓
Portacuchillas	✓
Cadenas	✓
Correas	✓
Nivelación del equipo	✓
Bridas	✓
Cadena	✓

Tabla 48. Supervisión de equipos.

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO SIN CARGA	
MÁQUINA: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ABONO ORGANICO	
Estado de fabricación:	100%
Lugar: Maquinas y montajes - Bucaramanga	Fecha: 05/05/2023
EQUIPOS ELECTRICOS	ESTADO
Motor	✓
Motoreductor	✓
Interruptor magnetico	✓

En la revisión de accesorios y equipos eléctricos todo estuvo bien y se procedió encender la planta.

8.1.2 Encendido de la planta sin carga

Tabla 49. Pruebas de encendido sin carga. (Prueba 1)

PRUEBAS DE ENCENDIDO SIN CARGA	
MÁQUINA: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ABONO ORGANICO	
Estado de fabricación:	100%
Lugar: Maquinas y montajes - Bucaramanga	Fecha:05/05/2023
PARTES SUPERVISADAS	ESTADO
Encendido de moto reductor	✓
Encendido de motor	✓
Funcionamiento de transportador helicoidal	✓
Funcionamiento de molino de cuchillas	✓
Rozamiento entre carcasa y eje	X

En la primera prueba que se escuchó un ruido generado por la fricción entre la carcasa y el eje, para solucionar este se desmonto la carcasa y se realizó un desbaste a la carcasa en el punto de interferencia.

Tabla 50. Pruebas de encendido sin carga. (Prueba 2)

PRUEBAS DE ENCENDIDO SIN CARGA	
MÁQUINA: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ABONO ORGANICO	
Estado de fabricación:	100%
Lugar: Maquinas y montajes - Bucaramanga	Fecha: 05/05/2023
PARTES SUPERVISADAS	ESTADO
Encendido de moto reductor	✓
Encendido de motor	✓
Funcionamiento de transportador helicoidal	✓
Funcionamiento de molino de cuchillas	✓
Rozamiento entre carcasa y eje	✓

En la segunda prueba se observó que el equipo funciono de manera correcta, luego se procedió a hacer prueba de funcionamiento con carga.

8.1.3 Encendido de planta con carga

Tabla 51. Prueba de encendido con carga

PRUEBAS DE ENCENDIDO CON CARGA	
MÁQUINA: PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ABONO ORGANICO	
Estado de fabricación:	100%
Lugar: Finca mata de guadua Páramo - Santander	Fecha: 29/05/2023
PARTES SUPERVISADAS	ESTADO
Encendido de moto reductor	✓
Encendido de motor	✓
Funcionamiento de transportador helicoidal	✓
Funcionamiento de molino de cuchillas	✓
Revisión del abono procesado	✓

Para las pruebas con carga el equipo funciono de la forma esperada desde la primera prueba, se obtuvo el resultado esperado en cuanto al funcionamiento del equipo y al procesamiento del abono orgánico, ver figura 37 para observar el resultado final del abono orgánico.

Figura 30. Evidencia de prueba con carga.



Figura 31. Pulpa sin procesar.

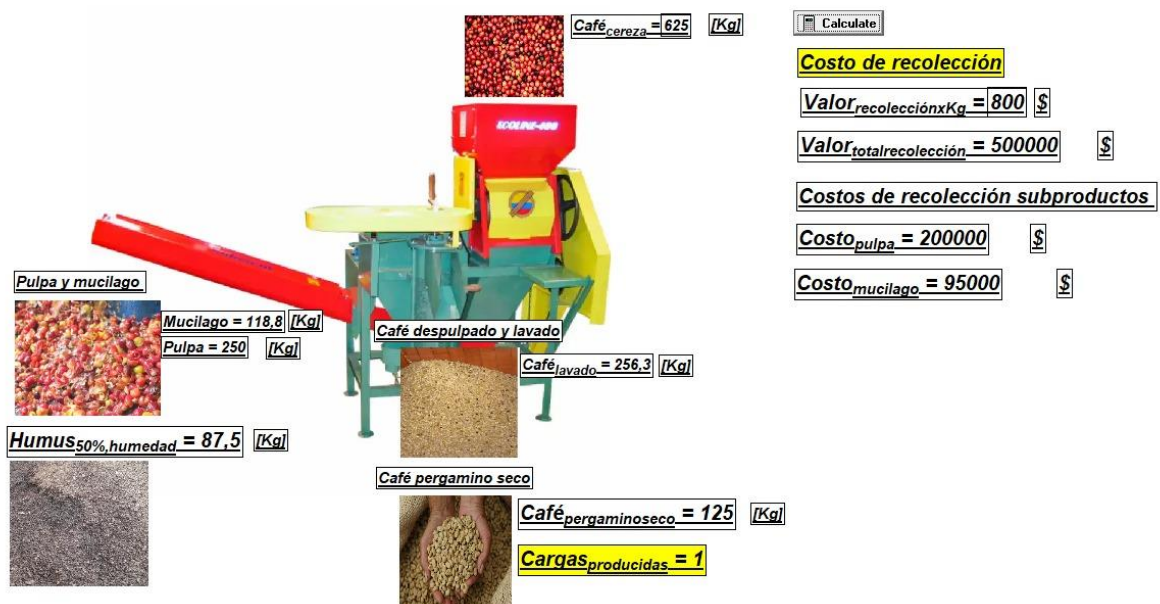


Figura 32. Producto final del abono orgánico.



8.2 ANÁLISIS DE VALOR DE LOS SUBPRODUCTOS

Figura 33. Costo total de recolección.



El costo de recolección de los subproductos que no se usan y generan contaminación son 295000 COP por carga de café procesado, la pulpa y el mucilago es el producto que se busca aprovechar en este proyecto, además de darle un uso y evitar la

contaminación se está generando un ahorro en compra de abono ya que este producto se aplica nuevamente al cultivo de café.

8.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO

El abono orgánico obtenido de la mezcla es un abono orgánico óptimo según la norma NTC 5167 para abonos orgánicos, a continuación, una tabla de los resultados obtenidos vs los valores aceptados por la norma.

Tabla 52. Comparativo de análisis de laboratorio.

ELEMENTOS	RESULTADOS	NTC 5167
PH (unidades de PH)	8,87	Mínimo 4 Máximo 9
Conductividad (mS/cm)	9,8	Reportar
Nitrógeno total (% N)	1,726	Mínimo 1 %
Humedad (%)	26,29	Máximo 30 %
Potasio total (% K ₂ O)	2,182	Mínimo 2 %
Potasio soluble (% K ₂ O)	1,947	Mínimo 2 %
Fosforo total (% P ₂ O ₅)	2,145	Mínimo 1 %
Sodio total (% Na)	0,172	Reportar
Calcio total (% CaO)	3,623	Mínimo 1 %
Magnesio total (% MgO)	0,553	Mínimo 1 %
Cenizas %	17,55	Máximo 60 %
Manganeso total (% Mn)	0,025	Mínimo 1 %
Cobre total (% Cu)	0,01	-
Cinc total (% Zn)	0,011	-
Hierro total (% Fe)	0,099	-
Azufre Total (% S)	1,154	-
Densidad (g/cm ³)	0,3858	Máximo 0,6 g/ml
Carbono Orgánico total oxidable (% C)	20,17	Mínimo 15 %
Silicio total (% SiO ₂)	7,23	Máximo 50 % del contenido
Perdidas por volatilización	56,16	Reportar valor obtenido

El anterior análisis se realizó en el laboratorio de la universidad industrial de Santander, para ver los resultados completos ver anexo a.

8.4 OTRA APLICACIÓN ENCONTRADA EN LAS PRUEBAS DEL EQUIPO

Se puede dar uso por separado al transportador y al molino, una aplicación muy importante que se encontró es que sirve para mezclar la pulpa, mucilago y aserrín en húmedo al momento de hacer el despulpado, esto se realiza con el fin de que el aserrín absorba la humedad del mucilago y de la pulpa, esto hace que se concentren los nutrientes, retener lixiviados al momento que se compactan los 3 materiales y que mejore la calidad del abono orgánico ver pruebas en el anexo B.

Figura 34. Alimentación de pulpa, mucilago, aserrín en húmedo.



Figura 35. Material compactado.



9 CONCLUSIONES

- El diseño y la construcción de los dos equipos que componen la planta tuvieron un buen funcionamiento, en las pruebas se comprobó que los cálculos y procedimientos en la ruta de elaboración estuvieron acordes con lo que se esperaba de la planta, adicional a esto se encontró una aplicación solo para el transportador con la cual se puede hacer una mejora al producto final (ver anexo G). Este proyecto es un aporte industrial a la caficultura, además contribuye a la reutilización de los desechos del café y a minimizar el impacto ambiental que actualmente tiene la caficultura.
- La aplicación de teorías asociadas al diseño mecánico, el análisis y simulación en ingeniería CAE apoyaron el diseño y construcción del molino de cuchillas y el transportador helicoidal, también fue necesario recurrir a catálogos de información de ingeniería como el de Martín para la selección de elementos complementarios, La planta de procesamiento de abono orgánico tiene una capacidad de 2 a 3 $\left[\frac{\text{Toneladas}}{\text{Hora}}\right]$ dependiendo de la humedad del material.
- La construcción y ensamble de la planta se realizó por máquinas y montajes en donde se hicieron aportes al diseño, también se permitió a los autores dirigir y supervisar en detalle el proceso de construcción, con esto se confirma de las sólidas bases de la universidad industrial de Santander para formar profesionales con capacidad para innovar, diseñar y dirigir.
- Un importante aporte que surgió de las pruebas de la máquina, En la finca para la cual se construyó la planta también se necesita mezclar pulpa, mucílago y aserrín con el fin de absorber y retener los lixiviados, un proceso que se hacía de manera manual y en la cosecha del año 2023 se empleó el transportador helicoidal con corte para compactar estos 3 materiales.
- El VPN del proyecto es positivo y la $TIR > ia$

Con estos datos se garantiza que económicamente el proyecto es rentable y adicionalmente se anexa tabla del primer año de funcionamiento del equipo, con lo cual se confirma que efectivamente es rentable.

- El abono desarrollado cumple con la norma Icontec NTC 5167 la cual establece los requisitos y % de componentes que deben tener los abonos orgánicos, con lo cual concluimos que aparte de que la planta es viable, también es un abono aceptable y adecuado para el suelo.
- Al culminar este proyecto evidenciamos que cumplimos con las capacidades ABET, para la correcta realización de este proyecto se evidencio un problema, se buscó la solución, para el diseño y construcción se pusieron a prueba conocimientos y capacidades ingenieriles, se tuvo comunicación asertiva con todo el equipo de trabajo con el fin de darle solución a un problema ambiental y aprovechar los subproductos que en ocasiones se desechan.

BIBLIOGRAFIA

BESLEY SCOTT, Fundamentos de administración financiera/ traducido por Jaime Gómez Mont, 12 edición. México Mc Graw -Hill, 2005.

CENICAFE, [<https://www.cenicafe.org/es/publications/arc057%2804%29251-261.pdf>]

Diseño de un molino de martillos para la producción de pegamento cerámico [en línea]. Ocaña, Norte de Santander, Colombia. 2014 [citado: 30 de enero de 2023]. Disponible en:

<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2030/1982>

DUNLOP. Correas de transmisión industrial [online]. Citado el 10 mayo, 2012.

Extraído de internet: http://www.martinezgambino.com.ar/catalogo_correas.pdf

NORMA ICONTEC – 5175, tomada de la biblioteca virtual de la universidad industrial de Santander.

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL CAFÉ. 2005. Posibles usos alternativos de los residuos y subproductos del café. Departamento de Biología de la Universidad Trieste (Italia).

PAREDES, Gustavo Adolfo y SANTANA, Alonso Arturo. Diseño de un molino para reciclar materiales plásticos [en línea]. Tesis de grado. Corporación Universitaria Autónoma de Occidente, 1989. [Citado 18 de marzo de 2023]. Disponible en:

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/2543/T0000836.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PUERA, G. I., & AMP; Ríos, S. A. (2011). COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ, COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ, SEGUN EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y REFRIGERACIÓN. Cenicafé.

Reducción de Sólidos [en línea]. [citado: 2 de diciembre de 2022]. Disponible en:

<https://www.studocu.com/es-ar/institution/universidad-tecnologica-nacional/922>

Richard G. Budynas & J. Keith Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Novena edición

SALAZAR A., J.N.; MESTRE M., A. Utilización de la gallinaza como abono en almácigos de café. Chinchiná, Cenicafé, 1990.

Disponible <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/919/1/avt0148.pdf>

TAPIA, Álvaro. Diseño de una máquina picadora de forraje y trituradora de granos empleada para la elaboración de alimento de bovinos [en línea]. Escuela politécnica

nacional. Tesis de grado. Quito, Ecuador. 2022. Disponible en:
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/23238/1/CD%2012650.pdf>

Tipos de alimentadores [en línea]. [citado: 2 de diciembre de 2022]. Disponible en:
<https://www.mclanahan.com/es/blog/tipos-de-alimentadores-y-sus-aplicaciones>

VALENCIA A., G. Fisiología, nutrición y fertilización del cafeto. Chinchiná, Cenicafé: Agroinsumos del café, 1999.