

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
FACULTAD DE INGENIERÍA



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**

**DISEÑO DE MÁQUINA DESPULPadora DE CAFÉ
SUMINISTRADA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA
CONECTADA A RED PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE
DESPULPADO EN PROVINCIA SAN IGNACIO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

Autor: Bach. Elton Jhoel Pintado Cruz

Asesor: Mg. Mario Félix Olivera Aldana

Línea de investigación: Energías Alternativas

JAÉN - PERÚ

2026

Elton Jhoel Pintado Cruz

DISEÑO DE MÁQUINA DESPULPADORA DE CAFÉ SUMINISTRADA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CONE...

-  Quick Submit
-  Quick Submit
-  Universidad Nacional de Jaen

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:old::1:3645376820

215 páginas

Fecha de entrega
10 sep 2026, 11:18 a.m. GMT-5

32.751 palabras

Fecha de descarga
10 sep 2026, 11:21 a.m. GMT-5

172.850 caracteres

Nombre del archivo
TESIS_Elton_J_-_elton_jhoel_pintado_cruz.pdf

Tamaño del archivo
4.5 MB

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

13% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

- 12% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 4% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Caracteres reemplazados**
78 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Dra. María Marleni Torres Cruz
Responsable de la Unidad de Investigación
de la Facultad de Ingeniería

FORMATO 03: ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día miércoles 09 de setiembre del 2026, siendo las 16:00 horas, se reunieron de manera presencial los integrantes del Jurado:

Presidente: Mg. Jannier Alberto Montenegro Juárez

Secretario: Dr. Walte Linder Cabrera Torres

Vocal: Mg. Rolando René Rodríguez Medina

Para evaluar la Sustentación del **Informe Final** de:

- ☐ Trabajo de Investigación
☒ Tesis
☐ Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: "DISEÑO DE MÁQUINA DESPULPadora DE CAFÉ SUMINISTRADA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA CONECTADA A RED PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE DESPULPADO EN PROVINCIA SAN IGNACIO", presentado por el bachiller *Elton Jhoel Pintado Cruz*, de la Carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional de Jaén.

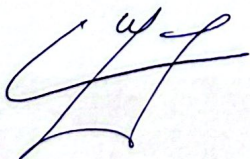
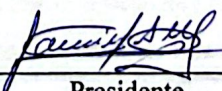
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

☒ Aprobar ☐ Desaprobar ☒ Unanimidad ☐ Mayoría Con la

siguiente mención:

- | | |
|----------------|----------------|
| a) Excelente | 18,19,20() |
| b) Muy bueno | 16, 17 (16) |
| c) Bueno | 14, 15 () |
| d) Regular | 13 () |
| e) Desaprobado | 12 ó menos () |

Siendo las 16:40 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

 _____ Secretario	 _____ Presidente	 _____ Vocal
--	--	---

“Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia”

ANEXO N°06:

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD Y DE NO PLAGIO

DE LA TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO)

Yo, Elton Jhoel Pintado Cruz, egresado de la carrera Profesional de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Jaén, identificado (a) con DNI 73133272.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy Autor del trabajo titulado:

“DISEÑO DE MÁQUINA DESPULPADORA DE CAFÉ SUMINISTRADA CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A RED PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE DESPULPADO EN PROVINCIA SAN IGNACIO”.

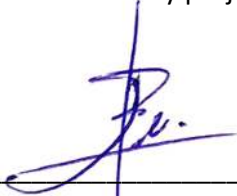
Asesorado por Mg. Mario Félix Olivera Aldana.

para optar; el Título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Mecánico Electricista.

2. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros, incluidos los derechos de propiedad intelectual. En el sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
3. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
4. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
5. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad Nacional de Jaén.
6. Soy consciente de que el hecho de no respetar los derechos de autor y hacer plagio, es objeto de sanciones universitarias y/o legales.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Nacional de Jaén y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: Jaén, día, mes y año.



Elton Jhoel Pintado Cruz.

INDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	ANTECEDENTES	2
1.1.1.	A Nivel Internacional	2
1.1.2.	A Nivel Nacional	6
1.1.3.	A Nivel Local	9
1.2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
1.3.	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	11
1.4.	JUSTIFICACIÓN	11
1.4.1.	Justificación económica.....	12
1.4.2.	Justificación social.....	12
1.4.3.	Justificación ambiental	13
1.5.	HIPOTESIS.....	13
II.	OBJETIVOS	14
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	14
2.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	14
III.	MATERIALES Y METODOS	14
3.1.	OBJETO DE ESTUDIO	14
3.2.	UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	14
3.3.	TIPOS DE INVESTIGACIÓN	15
3.4.	VARIABLES	16
3.4.1.	Variable Independiente.....	16
3.4.2.	Variable Dependiente	16
3.5.	MATERIALES.	17
3.5.1.	Equipos.17	
3.5.2.	Software.....	17
3.6.	PROCEDIMIENTO PARA CUMPLIR CON CADA OBJETIVO ESPECIFICO	17
3.7.	METODOS	18
3.8.	POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	18

3.8.1.	Población	18
3.8.2.	Muestra 18	
3.8.3.	Muestreo	19
3.9.	METODOLOGÍA	19
3.9.1.	Producción de café.....	19
3.9.2.	Estructura del café	20
3.9.3.	Parámetros del café.....	21
3.9.4.	Especies de café.....	23
3.9.5.	Principales variedades de café en el Perú	24
3.9.6.	Cosecha y Postcosecha de café.....	26
3.9.7.	Sistema a alimentar (Máquina despulpadora de café)	28
3.9.9.	Evaluación y caracterización de la energía solar en la finca El Guarapo	40
3.9.10.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a red	41
3.9.11.	Evaluación económica de la implementación de la máquina despulpadora de café 51	
3.9.12.	Presupuesto de la máquina despulpadora	51
3.9.13.	Análisis de rentabilidad	51
IV.	RESULTADOS.....	52
4.1.	Calculo y diseño de los elementos de la despulpadora de café.....	52
4.1.1.	Parámetros del café.....	52
4.1.2.	Diseño de la tolva	52
4.1.3.	Cálculo del tambor o cilindro	57
4.1.4.	Cálculo de la potencia de despulpado.	59
4.1.5.	Cálculo de las poleas y banda.....	61
4.1.6.	Cálculo de los engranajes.	66
4.1.7.	Coeficiente elástico Cp.....	87
4.1.8.	Número de calidad de AGMA.....	88
4.1.9.	Factor dinámico Kv	89
4.1.10.	Factor de geometría I.....	89

4.1.11. Factor de geometría J	90
4.1.12. Factor de distribución de carga K_m	91
4.1.13. Factor de alineamiento de engranado.	91
4.1.14. Factor de tamaño K_s	92
4.1.15. Factor de espesor K_B	93
4.1.16. Factor de sobrecarga K_o	93
4.1.17. Esfuerzo flexionante esperado en el piñón y en el engranaje.....	94
4.1.18. Esfuerzo de contacto esperado en el piñón y en el engranaje.	95
4.1.19. Cálculo del eje cuadrado.....	97
4.1.20. Cálculo del eje principal.	97
4.1.21. Par torsional en el eje.....	98
4.1.22. Fuerza sobre la polea	99
4.1.23. Fuerza sobre el tambor.	99
4.1.24. Fuerzas sobre el piñón.	100
4.1.25. Reacciones en el eje principal.	101
4.1.26. Propiedades del material.....	107
4.1.27. Diseño del eje.	108
4.1.28. Cálculo de pechero.	111
4.1.29. Regulación del pechero.	112
4.1.30. Cálculo de la estructura.	113
4.2. Ensamble.....	114
4.3. Evaluación y caracterización de la radiación solar en la finca El Guarapo	114
4.4. Angulo de inclinación optimo.....	117
4.5. Estimación y caracterización de la demanda eléctrica.....	117
4.6. Consumo promedio mensual del sistema de despulpado.....	117
4.7. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a red	119
4.7.1. Dimensionamiento de los paneles fotovoltaico	119
4.7.2. Selección del inversor.....	121
4.7.3. Dimensionamiento del cableado.....	131

4.7.4. Selección del tipo de cable	136
4.8. Sistema de puesta a tierra del sistema fotovoltaico conectado a red.	137
4.9. Protecciones	139
4.9.1. Protección de corriente continua	139
4.9.2. Protección de corriente alterna	141
4.10. Topología del sistema fotovoltaico conectado a red.....	144
4.10.1. Funcionamiento del SFCR	145
4.10.2. Lazos de control del SFCR.....	146
4.11. Energía producida por el SFCR	146
4.12. Evaluación económica de la implementación de la máquina despulpadora de café y SFCR. 148	
4.12.1. Presupuesto de la máquina despulpadora	148
4.12.2. Presupuesto del SFCR	149
4.12.3. Costo de la energía anual del SFCR	151
4.12.4. Determinación de la caja de flujo neto	155
4.13. Análisis de rentabilidad.....	156
V. DISCUSION	166
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	168
6.1. Conclusiones	168
6.2. Recomendaciones.	169
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	170
AGRADECIMIENTO	175
DEDICATORIA	176
ANEXOS	177

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Operacionalización de variables.</i>	16
Tabla 2	<i>Partes de la despulpadora</i>	29
Tabla 3	<i>Alternativas de despulpadoras.</i>	35
Tabla 4	<i>Consumo mensual de equipos del sistema de despulpado.</i>	39
Tabla 5	<i>Coeficiente de conductividad del cobre en función a la temperatura</i>	47
Tabla 6	<i>Interacciones de la tolva.</i>	55
Tabla 7	<i>Radiación solar promedio mensual en la finca El Guarapo ($kWh/m^2/día$).</i>	116
Tabla 8	<i>Consumo diario de equipos del sistema de despulpado</i>	118
Tabla 9	<i>Consumo mensual de equipos del sistema de despulpado.</i>	119
Tabla 10	<i>Características mecánicas del panel fotovoltaico</i>	120
Tabla 11	<i>Características técnicas del panel fotovoltaico.</i>	121
Tabla 12	<i>Rango de tensión y corriente para el inversor</i>	130
Tabla 13	<i>Especificaciones técnicas del inversor de red interconectado 1kW S6-GRIP1K-M 220V SOLIS.</i>	131
Tabla 14	<i>Conductores seleccionados para el sistema.</i>	137
Tabla 15	<i>Energía generada por SFCR (kWh/mes).</i>	147
Tabla 16	<i>Costos directos de la despulpadora.</i>	148
Tabla 17	<i>Elementos normalizados de la despulpadora.</i>	149
Tabla 18	<i>Mano de obra de la despulpadora.</i>	149
Tabla 19	<i>Presupuesto de la instalación del sistema fotovoltaico conectado a red.</i>	150
Tabla 20	<i>Evaluación anual con energía del SFV</i>	152
Tabla 21	<i>Evaluación anual con energía de ELOR</i>	155
Tabla 22	<i>Costos de mantenimiento anual.</i>	156
Tabla 23	<i>Costos de operación anual de la despulpadora.</i>	156
Tabla 24	<i>Costos de operación anual</i>	157

Tabla 25 <i>Flujo de caja a 25 años</i>	159
Tabla 26 <i>Flujo de caja anual total</i>	160
Tabla 27 <i>Flujo de caja a 25 años</i>	163
Tabla 28 <i>Flujo de caja anual total</i>	164

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Vista satelital de la finca El Guarapo.</i>	15
Figura 2	<i>Procedimiento a realizar en la investigación.</i>	17
Figura 3	<i>Cafeto.</i>	19
Figura 4	<i>Estructura del café.</i>	20
Figura 5	<i>Dimensiones de un grano de café en cerezo</i>	21
Figura 6	<i>Dimensiones ortogonales de un grano cereza de café.</i>	22
Figura 7	<i>Fuerza de desprendimiento de la pulpa de café</i>	22
Figura 8	<i>Valores de masa de cereza de café</i>	23
Figura 9	<i>Estructura del café.</i>	27
Figura 10	<i>Partes de una despulpadora de café.</i>	28
Figura 11	<i>Despulpadora de disco</i>	31
Figura 12	<i>Despulpadora de tambor horizontal</i>	32
Figura 13	<i>Despulpadora de tambor vertical.</i>	33
Figura 14	<i>Despulpadora de pantalla</i>	34
Figura 15	<i>Vista lateral y frontal de la tolva.</i>	53
Figura 16	<i>Dimensiones de la tolva.</i>	56
Figura 17	<i>Gráfico de la tolva.</i>	57
Figura 18	<i>Fuerza de desprendimiento de la pulpa de café.</i>	58
Figura 19	<i>Principales características de una despulpadora comercial</i>	58
Figura 20	<i>Propiedades de materiales para bandas.</i>	62
Figura 21	<i>Factores de servicio sugeridos para bandas.</i>	62
Figura 22	<i>Sistema de poleas y banda.</i>	64
Figura 23	<i>Pasos y diámetros para engranajes.</i>	69
Figura 24	<i>Engranaje recto (piñón).</i>	77

Figura 25 <i>Engranaje recto.</i>	85
Figura 26 <i>Sistema de engranaje.</i>	87
Figura 27 <i>Coeficiente elástico C_p</i>	88
Figura 28 <i>Números de calidad AGMA recomendados.</i>	88
Figura 29 <i>Factor dinámico K_v.</i>	89
Figura 30 <i>Factor de geometría I</i>	90
Figura 31 <i>Factor de geometría J</i>	90
Figura 32 <i>Factor de proporción del piñón.</i>	91
Figura 33 <i>Factor de alineamiento del engranado.</i>	92
Figura 34 <i>Factor de tamaño.</i>	92
Figura 35 <i>Factor de espesor</i>	93
Figura 36 <i>Factor de sobrecarga sugeridos.</i>	93
Figura 37 <i>Numero de esfuerzo de contacto.</i>	96
Ilustración 38 <i>Propiedades del acero AISI 1020</i>	96
Ilustración 39 <i>Eje cuadrado.</i>	97
Figura 40 <i>Eje principal.</i>	98
Figura 41 <i>Elementos acoplados al eje principal.</i>	98
Figura 42 <i>Reacciones y fuerzas sobre el eje.</i>	101
Figura 43 <i>Diagrama de cuerpo libre del eje X-Z.</i>	102
Figura 44 <i>Fuerza cortante en plano X-Z.</i>	103
Figura 45 <i>Momento flexionante en plano X-Z</i>	104
Figura 46 <i>Diagrama de cuerpo libre del eje Y-Z.</i>	104
Figura 47 <i>Fuerza cortante en plano Y-Z.</i>	105
Figura 48 <i>Momento flexionante en plano Y-Z.</i>	106
Figura 49 <i>Cilindro y pechero.</i>	111
Figura 50 <i>Pechero.</i>	112

Figura 51 <i>Regulador del Pechero.</i>	113
Figura 52 <i>Castillo o cureña.</i>	113
Figura 53 <i>Ensamble de despulpadora.</i>	114
Figura 54 <i>Ingreso de coordenadas geográficas de la finca El Guarapo.</i>	115
Figura 55 <i>Descarga de los datos de radiación solar.</i>	115
Figura 56 <i>Datos de radiación solar.</i>	116
Figura 57 <i>Consumo diario del sistema de despulpado.</i>	118
Figura 58 <i>Esquema de puesta a tierra.</i>	138
Figura 59 <i>Pozo a tierra.</i>	138
Figura 60 <i>Fusible de 10 A.</i>	140
Figura 61 <i>Portafusible.</i>	141
Figura 62 <i>Interruptor Termomagnético BTICINO.</i>	142
Figura 63 <i>Interruptor Diferencial BTICINO.</i>	143
Figura 64 <i>Medidor bidireccional.</i>	144
Ilustración 65 <i>Topología del sistema fotovoltaico.</i>	145
Figura 66 <i>Pliego tarifario máximo del servicio público de electricidad.</i>	151

RESUMEN

El principal objetivo es Diseñar una máquina despulpadora de café suministrada con energía solar SFCR para optimizar el proceso de despulpado en la finca El Guarapo. La investigación se centra en determinar la capacidad de producción de la finca, dimensionar la despulpadora, dimensionar el SFCR y evaluar su viabilidad económica. Se realizó un análisis de los tipos de café, la radiación solar de los últimos 5 años y los tipos de despulpadoras determinando el diseño de una máquina de tambor horizontal, con capacidad de tolva de 30 kg y una capacidad de procesamiento de 300 kg/h , una tolva de 0.12m de ancho en la base inferior, 0.40m en la parte superior y 0.30m de longitud, un tambor de 190.5 mm con una velocidad de giro de 200 RPM , se calculó la potencia de despulpado de 0.418 HP seleccionándose un motor de 0.5HP . Se seleccionó 2 paneles solares de 200W cada uno, 1 inversor de 1kW , conductores de 2.5mm^2 , se elaboró un presupuesto realizando una evaluación económica mediante flujo de caja y aplicando tasa de descuento del 10% , obteniendo un VAN positivo de $S/. 15\,334,7846$ y un TIR de $32,47\%$ concluyendo que el proyecto es viable.

Palabras claves: despulpadora, diseño, sistema fotovoltaico, conectado a red, radiación solar.

ABSTRACT

The main objective is to design a solar-powered SFCR coffee pulper to optimize the pulping process at the El Guarapo farm. The research focuses on determining the farm's production capacity, sizing the pulper, sizing the SFCR, and evaluating its economic feasibility. An analysis was conducted of coffee varieties, solar radiation over the past 5 years, and pulper types, leading to the design of a horizontal drum machine with a hopper capacity of 30\ kg and a processing capacity of 300\ kg/h; a hopper 0.12 m wide at the base, 0.40 m wide at the top, and 0.30 m long; and a 190.5\ mm drum rotating at 200\ RPM. The pulping power was calculated at 0.418\ HP, leading to the selection of a 0.5 HP motor. Two solar panels of 200 W each were selected, along with a 1 kW inverter and 2.5 mm² conductors. a budget was prepared by conducting an economic evaluation using a cash flow analysis and applying a discount rate of 10%, resulting in a positive NPV of S/. 15,334.7846 and an IRR of 32.47%, concluding that the project is viable.

Keywords: pulping machine, design, photovoltaic system, grid-connected, solar radiation.

I. INTRODUCCIÓN

Una de las principales actividades agrícolas y económicas en diversas zonas rurales del país es la producción de café, ya que representa una fuente de ingresos de las familias agricultoras dedicadas a su producción. Sin embargo, las condiciones de cultivo y cosecha no garantizan un producto de calidad, sino también de las actividades posteriores como el despulpado, proceso en el que se desprende la pulpa del fruto para obtener café en pergamino, realizar con eficiencia el proceso de despulpado influye en la calidad del producto y el tiempo de procesamiento. En zonas rurales productoras de café, se utilizan métodos tradicionales para el proceso de despulpado, métodos que requieren mayor esfuerzo y tiempo generando pérdidas en costos de operación y tiempo.

En la finca El Guarapo se considera una producción aproximada de 30 quintales de café pergamino al año, por lo que se plantea mejorar el proceso de despulpado mediante una alternativa eficiente y sostenible que permita incrementar la eficiencia del proceso y simultáneamente aprovechar una fuente de energía renovable. Por lo que se plantea el diseño de una máquina despulpadora de café con una capacidad de procesamiento de 300kg/h accionada mediante energía eléctrica proveniente de un sistema fotovoltaico conectado a red reduciendo la dependencia de fuentes convencionales para suministrar energía eléctrica a la máquina despulpadora, el aprovechamiento del recurso solar se presenta como una alternativa.

La propuesta comprende el diseño mecánico de una máquina despulpadora de café, el cálculo y la selección de sus principales componentes, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a red y la evaluación económica del presente proyecto considerando una vida útil de 25 años y los costos de inversión, operación y mantenimiento determinados para el sistema.

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. A Nivel Internacional

Bone & Kuonqui (2023) Llevaron a cabo un trabajo de titulación denominado “Desarrollo de un prototipo de máquina despulpadora capaz de extraer las semillas y la corteza de algunas frutas tropicales”, en la carrera de Mecatrónica de la Universidad Politécnica Salesiana con sede Guayaquil, donde su marco metodológico principalmente estuvo enfocado en un tipo aplicado ya que se llevó a cabo el análisis de diseño de máquinas elaboradas anteriormente para lograr elaborar una máquina con mayor precisión, obteniendo como resultado un desplazamiento máximo de $2,86\text{ mm}$ y una tensión máxima de 127 Mpa en el análisis estático de la tolva, también se obtuvo un desplazamiento de 0.035 mm y tensiones de 89 Mpa en el análisis estático de las cuchillas, en el análisis estático del eje se obtuvo como resultado un desplazamiento de 0.541 mm y una tensión de 126 Mpa , al finalizar la investigación se concluye que el diseño realizado es apto para la carga y finalidad con la que fue construida, ya que las deformaciones de los elementos analizados se presentaron por debajo del milímetro, los factores de seguridad obtenidos se encuentran dentro de los parámetros según norma ANSI-ASME. El diseño tiene la capacidad de despulpado de manera segura y con costos que resultaron accesibles para el pequeño productor estableciendo una capacidad de producción de 144 kg/h de guayaba.

En otro contexto Tomalá & Vallejo (2020) en su proyecto de grado titulado “Diseño de una máquina despulpadora de frutas exóticas con capacidad de 200 kg/h ” en la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, utilizó el método ordinal corregido de criterios ponderados para las cuales se evaluó alternativas de solución identificadas previamente a través de una tabla morfológica, obteniendo como

resultado que la tolva debe estar diseñada con un ángulo de inclinación entre 50° a 60° para un rápido desplazamiento y una altura de 420 mm y que el sistema de corte está compuesto por 4 cuchillas soldadas a un bocín con un agujero de 4 mm , al realizar los cálculos para un análisis estático y en fatiga se obtuvo un factor de seguridad de 2.62 garantizando la no falla del sistema en operación, para los agitadores se obtuvo una inercia total de $0.1271\text{ kg} \cdot \text{m}^2$ y una inercia cinética rotacional de 174.23 Nm . como resultado también se determinó un motor de 2 Hp y 1750 rpm concluyendo que para cumplir los criterios como la producción, utilización de materiales eco amigables, ergonomía, diversidad de producción y fuerza de desgarre es necesaria una máquina despulpadora horizontal.

También, Guevara (2023) en su proyecto de titulación denominado “Diseño y construcción de una máquina despulpadora de fruta” en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, donde, su trabajo se fundamentó en una investigación científica, teniendo como objetivo, la aprobación de una hipótesis establecida previamente a través de una experimentación matemática, ya sea con modelos físicos u ocupando herramientas computacionales de simulación, la metodología seguirá la línea del diseño concurrente propuesta por Carles Riba, esto tiene que ver con la perspectiva que el diseñador debe tener al momento de elaborar una máquina, obteniendo como resultados un eje de $14,5\text{ mm}$, la construcción de agitadores de placa de nylon de 1 cm de espesor, para el transportador helicoidal se le dio un paso de 6 cm , después de realizado el protocolo de pruebas se obtuvo una corriente de arranque de $2,6\text{ A}$, una corriente a plena carga de $3,6\text{ A}$, un tiempo de despulpado al 100% de capacidad de $4:18\text{ min}$ y una velocidad del eje de 643 rpm , concluyendo que para una mejor separación de pulpa y de pepas el mejor rango de giro de la máquina fue entre 300 y 400 rpm , el rango de

corriente del motor va desde 3 a 4 amperios permitiendo el no forzado del motor, obteniendo un residuo de pulpa del 10%, un porcentaje menor con relación a la cantidad de pulpa obtenida en el proceso, el diseño y construcción de la máquina se realizó en un promedio de 6 meses con un presupuesto de \$1800.

Romero (2023) En su trabajo de titulación denominado “Diseño y construcción de una máquina despulpadora de fruta” en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, donde se plantea un método experimental para obtener resultados, luego de haber realizado los ensayos se obtuvo como resultados una corriente de arranque de 2,6 *A*, una corriente en operación de 3,6 *A*, una velocidad angular en el eje de 643 *rpm*, adicionalmente debido al seteo de velocidad, el motor opera a su 76.25% asegurando un trabajo de 8 horas continuas sin recalentamiento, por otro lado, se obtuvo un flujo de operación de 28,09 *g/s*. Concluyendo con la construcción y ensamblado de los elementos en el tiempo establecido, con una potencia para contrarrestar la inercia de 0.064 *Hp* y con un error porcentual de 18.88% con respecto a la real medida, por otro lado, la potencia de arranque en vacío y potencia de operación con carga de 8,33 *kg* de materia prima es de 0.684 *Hp* y 0.95 *Hp* respectivamente. Finalmente, en temas de costo se determinó que los materiales, servicios y elementos normalizados resultan un total de 926,25 USD.

También Muñoz & Vallejo (2022) en su trabajo de titulación denominado “Diseño y simulación de una máquina despulpadora de fruta con capacidad de 11l/lote para la comunidad de Facundo Vela provincia de Bolívar” en la Universidad Politécnica Salesiana con sede Quito, la metodología seguida en la línea del diseño concurrente, esto tiene que ver con la perspectiva que el diseñador debe tener al momento de elaborar una máquina, obteniendo como resultados un

consumo de 451 W y una carga de 151 N y un consumo de $841,6\text{ W}$ con una sobrecarga de 300 N , también se consideró un motor de 840 W que trabajando 4 horas al día durante 20 días tendrá un consumo de $\$5.37$ considerando un tarifa de $\$0.08$ por kWh . Por otro lado se concluyó que para un mejor rendimiento y para cumplir con los objetivos trazados se optó por el diseño de una despulpadora horizontal con capacidad de 11l/lote con dimensiones de $891,5\text{ mm}$ de alto por 719 mm de ancho, considerando para el diseño materiales inoxidables como el acero AISI 316, contando con un motor de $1,5\text{ Hp}$ y 1200 rpm con reducción de transmisión por poleas de 75 y 180 mm , creando y visualizando las piezas de máquina con el software SolidWorks Motion que permite su simulación. Por otro lado, se determinó que la máquina despulpadora propuesta es viable económicamente existiendo un ahorro de aproximadamente $\$1000$ a comparación de adquirir una construida.

Espinoza & Londoño (2024) llevaron a cabo una monografía de titulación denominada “Dimensionamiento de un sistema solar fotovoltaico para una máquina despulpadora de café en la finca la Cordillera Municipio de Marquetalia Caldas”, en la facultad de tecnología, Ingeniería Mecánica de Bogotá, tuvo el diseño concurrente como metodología para denotar que todas las etapas del proceso van a la par simultáneamente, obteniendo como resultados que el mayor consumo de energía diario se produce entre las 6pm y las 10pm tiempo en el que produce el despulpado produciendo el consumo de 1 kW diario, también se obtuvo a través de la simulación, que bajo carga promedio mensual de $137,33\text{ kWh/mes}$, se requiere 4 paneles solares de 400 W ocupando un área de 8 m^2 para el montaje del sistema, generando un total de 1848 kWh/año obteniendo como resultado de simulación, se logra una potencia promedio mensual de 154 kWh/mes , concluyendo que el tamaño y la elección de los equipos fue correcta. Sin embargo,

las limitaciones que surgen por la posición de los paneles en la estructura que alberga la despulpadora causan pérdidas cercanas al 4.1%. también se realiza un estudio financiero para evaluar los gastos relacionados con la compra de los equipos elegidos.

También Tapuy (2023) en su trabajo de titulación denominado “Diseño y construcción de una máquina separadora y despulpadora de café para el análisis de rentabilidad financiera de la venta de café despulpado en la provincia de Napo” en la Carrera de Ingeniería en Electrónica de la Universidad de las Fuerzas Armadas, realizando una metodología experimental realizando el diseño y construcción de una máquina separadora de café para obtener resultados, obteniendo un ángulo de la tolva de 70° , una altura de $0,41\text{ m}$, una base superior de $0,4\text{ m}$, también se obtuvo el diámetro del tambor de 6.3 pulgadas para una capacidad de 200 kg/h , calculando la velocidad del tambor de $129,2\text{ rpm}$ y seleccionando un motor de $0,5\text{ Hp a }1800\text{ rpm}$, concluyendo que como mejor alternativa se seleccionó la despulpadora de tambor horizontal y separadora horizontal, la construcción se realizó guiado por los planos generados por la simulación, con respecto a la rentabilidad, se determinó que depende de las hectáreas de cultivo de café y el precio en el mercado, según los cálculos, es factible implementar la procesadora de café para cultivos superiores una hectárea y el periodo de retorno se estima en 5 años.

1.1.2. A Nivel Nacional

Escobar (2023) en su tesis de grado denominada “Diseño de una máquina despulpadora de cacao para incrementar la producción de una empresa productora de cacao en la ciudad de Tocache” en la Facultad de Ingeniería de la carrera de Ingeniería Mecánica en la Universidad Tecnológica del Perú, aplicando la metodología en espiral implicando establecer objetivos, identificar riesgos, desarrollar alternativas, revisar resultados, ajustar el diseño y planificar la

iteración siguiente, obteniendo como resultado el diseño de una máquina despulpadora con capacidad de 180 mazorcas por hora y la creación de bandas transportadoras para el material hacia una cuchilla giratoria impulsada por un motor de 0,9 *Hp*, con ayuda del software SolidWorks se determinó que los ejes son de 300 *rpm*, el indicador de seguridad es de 237, por otro lado, para la construcción de dicha máquina se requiere recursos materiales y humanos lo cual asciende al costo de S/ 10 852.10. concluyendo que el uso de la máquina despulpadora puede triplicar la producción y con un convertidor de frecuencia se puede tener un arranque suave.

En otro contexto Jara (2023) en su tesis de grado titulado “Diseño de trituradora 10 Ton/día alimentada por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET” en la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, se realizó una metodología aplicada-correlacional y el diseño se realizó mediante una matriz morfológica y ponderados, el CAD Y CAE se realizó a través de SolidWorks, como resultados se obtuvo una irradiación de $5,38 \text{ kWh/m}^2$, el diámetro del eje igual a 65 *mm* con material AISI 1045 Acero estirado en frío, un motor de 4 *Hp* de potencia, una capacidad de trituración de 3,15 *Ton/h*, un sistema fotovoltaico compuesto por 18 paneles de 300 *W* y 20 baterías con capacidad de 300 *Ah*. Concluyendo que la irradiación promedio en el norte del Perú es de 5.38 kWh/m^2 significando que es una buena zona para la implementación de un sistema fotovoltaico, determinando un buen factor de seguridad, significando que la máquina soportará los esfuerzos a los que será sometida.

También, Chavez (2021) en su tesis de grado titulada “Diseño de una trituradora actuada por sistema fotovoltaico para eliminar botellas plásticas en la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo” en la Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica de la

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, se utilizó, como metodología de investigación la estadística descriptiva y la estadística inferencial ya que requiere de una muestra de la población para diagnosticar y cuantificar los residuos, obteniendo como resultado una máquina con una capacidad de producción por hora de 30 kg/h , con cuchillas circulares de radio de 100 mm y un espesor de 25 mm con 1 mm de ancho y 25 mm de longitud, también como resultado se obtuvo la potencia del motor de 3 Hp , se calculó y se seleccionó 9 paneles fotovoltaicos, 6 baterías, 3 reguladores, 1 inversor, cables conductores y 3 estructuras soporte de paneles, por otro lado, se concluyó que la factibilidad del proyecto desde lo económico generando un retorno de inversión en 4 años.

Ramírez (2021) en su tesis de grado titulada “Dimensionamiento de un sistema con energías renovables conectado a la red para el laboratorio de cómputo – Fime de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo” en la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Desarrollando como metodología de investigación la estadística descriptiva para el procesamiento de datos, obteniendo los datos de irradiación solar de NASTEC, del software METEONORM y de SOLARIUS PLUS, obteniendo como resultado que los valores promedios anuales de irradiación solar son de $5,69\text{ kWh/m}^2/\text{día}$; por lo que el recurso solar si es utilizable para generar electricidad, la demanda de energía eléctrica promedio diaria es de 30 kW.h y una potencia del generador fotovoltaico de $8,75\text{ kW}$, se seleccionaron 26 paneles fotovoltaicos de 340 W y un ángulo de instalación de $8,23^\circ$ ocupando una área de instalación de 78 m^2 . Concluyendo que la velocidad del viento obtenido de la NASA que para una altura de 20 m la velocidad medio es de 3 m/s , que en el laboratorio existen 25 computadoras de 300 W , y

que tiene 4 h de uso promedio diario, también concluyo que el sistema conectado a red estará conformado por 26 paneles de 340 Wp , 01 inversor de 8,2 kW y un costo total de S/. 25146,89.

También, Niño (2023) en su tesis de grado denominada “Modelado, control y análisis comparativo de un sistema de bombeo fotovoltaico aislado y conectado a red” en la Escuela de Posgrado Maestría en Ciencias de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, desarrollo una metodología de diagnóstico permitiendo identificar y analizar la situación del recurso solar, teniendo como resultados de potencia con los casos de estudio planteado de 800 W/m^2 y 1000 W/m^2 para el sistema aislado de 4,37 kW y 5,43 kW , por otro lado, en cuanto a la velocidad y par del motor, sufren una reducción de 1550 rpm a 652 rpm por el cambio repentino de irradiación, concluyendo que para el sistema conectado se muestran resultados más confiables, donde la energía eléctrica de la red reemplaza la variación de potencia producto del cambio de irradiancia, también se concluye que para una mayor irradiación, se tendrá una mayor potencia de nuestro sistema fotovoltaico.

1.1.3. A Nivel Local

No se encontraron antecedentes de investigación a nivel local relacionados al tema del presente proyecto.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Matagalpa, Nicaragua a principios del año 1891 Otto Nicklaus Kuhl Von Derfectch de procedencia alemana desarrollo por primera vez una máquina despulpadora de café, luego en el año 1986 con el diseño del ingeniero Ricardo Quirós del centro de investigación de alimentos en Costa Rica se construyó la primera despulpadora de fruta, años después, en Estados Unidos nace progresivamente la producción industrial de zumos y pulpas (Bone & Kuonqui, 2023).

En la agricultura, la necesidad de energía eléctrica es vital debido al procesamiento de productos, riego, iluminación y empaquetado, ambientalmente resulta un impacto negativo ya que al generar energía para cumplir con dichas actividades se generan gases de efecto invernadero y la situación actual del planeta requiere la concientización ambiental promoviendo el uso de energías alternativas (Montenegro, 2024).

En septiembre del 2015, se analizó en la Asamblea General de la Organización de la Naciones Unidas (ONU) reemplazar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (SDG), a partir de dicha asamblea se elaboraron y publicaron los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), diecisiete prioridades que rotan en torno a la sostenibilidad y que todos los países y regiones del mundo han agregado a sus políticas medioambientales, económicas y sociales. Uno de los ODS, el séptimo lleva por nombre Energía Asequible y no contaminante (Simón, 2023).

El objetivo número doce de los ODS busca una Producción y Desarrollo sostenible, comprometiéndose todos los países a implementar, desarrollar y hacer cambios en la forma en que la sociedad produce y consume, con la finalidad de que al año 2030, se use de manera eficiente los recursos naturales, reducción de la contaminación, y reciclaje (Piñeiro, 2022).

Una de las principales causas que generan el calentamiento global y que está relacionada con la actividad humana es la producción de gases de efecto invernadero en la atmósfera, destacando el dióxido de carbono por su efecto nocivo (Ramírez, 2021).

La finca el Guarapo se encuentra ubicada en caserío La Laguna, Distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, la finca cuenta con una capacidad agrícola muy alta, donde sobre sale el cultivo de café pero que, por falta de industrialización, parte de las cosechas y la producción se pierde en los campos, la finca El Guarapo cuenta con 1 hectárea, de las cuales, su totalidad está

destinada para el cultivo de café, su producción depende del tiempo y cuidado, lo cual resulta en 25 quintales por año aproximadamente. la mayoría de agricultores productores de café en este caserío no cuenta con equipos y maquinarias que les permita procesar de manera óptima sus productos.

Gran parte de productores de café, el proceso de despulpado lo realizan de manera manual requiriendo de un mayor esfuerzo físico ya que el agricultor durante el día realiza el proceso de cosecha en los campos y para tener una mayor producción se tiene que invertir más en mano de obra generando un margen mínimo de ganancias y en algunos casos, para el proceso de despulpado se utiliza maquinaria a combustión generando un consumo de aproximadamente 10 galones lo cual resulta en un aproximado de S/. 188.91 por campaña, también se generan gastos por mantenimiento, operación y produciendo contaminación al medio ambiente.

1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo diseñar una máquina despulpadora de café suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red para optimizar el proceso de despulpado en la provincia de San Ignacio?

1.4. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación, diseño de una máquina despulpadora de café suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red para optimizar el proceso de despulpado, se realiza por la necesidad de industrializar la producción de café, ya que en la actualidad, el proceso de despulpado se realiza de manera manual y en algunos casos se utiliza motores a combustión generando contaminación del medio ambiente y gran parte de la producción se pierde en los

campos, ya que los agricultores no cuentan con equipos y maquinarias que les permitan procesar de manera óptima sus productos.

El diseño de una máquina despulpadora de café alimentada con energía solar fotovoltaica conectada a red, es crucial en múltiples niveles y para diversos sectores de la sociedad. En un mercado tan competitivo como es el cafetalero en Perú, el proceso de producción debe estar respaldada por innovación tecnológica para obtener productos de mejor calidad, reducir costos de producción, transformación y comercialización.

A continuación, se detalla la importancia de esta solución en términos económicos, sociales, y ambientales.

1.4.1. Justificación económica

Esta propuesta de diseño de una máquina despulpadora de café alimentada por energía solar fotovoltaica conectada a red tiene como principal ventaja económica la reducción de costos por mano de obra en el proceso de despulpado de café, optimizando la producción, reduciendo tiempos y aumentando el margen de ganancias para los productores.

1.4.2. Justificación social

En el caserío La Laguna, donde su fuente económica principal es la agricultura, destacando el cultivo de café que en el proceso de despulpado se utilizan maquinaria operada de manera manual y en algunos casos maquinaria a combustión provocando la contaminación del planeta lo cual conlleva a cambios climáticos, degradación de ecosistemas, deterioro de cultivos, escasez de agua y afectando la economía y el bienestar general.

En el ámbito social, el presente proyecto se justifica porque servirá como un modelo a seguir para los productores de café para optimizar este proceso, ya que el proceso de despulpado

del café es fundamental para lograr beneficios como una mejor calidad del producto, obtener mejores ingresos, mejorar la calidad de vida del agricultor y de su familia.

1.4.3. Justificación ambiental

Con el diseño de una máquina despulpadora de café alimentada con energía solar fotovoltaica conectada a red puede ayudar a reducir las emisiones de gases dañinos, generados por máquinas a combustión, preservar los recursos naturales, minimizar el daño a la biodiversidad y mejorar la calidad del aire y del agua. Estas instalaciones son una opción ecológica que apoya la protección del entorno y la lucha contra el cambio climático (Ramírez, 2023).

Desde el punto de vista ambiental, su implementación ofrece los siguientes beneficios:

Reducción de gases de efecto invernadero (GEI): Al no utilizar combustibles en sistemas de energías renovables no emite CO₂ ni otros gases contaminantes, contribuyendo significativamente a mitigar el cambio climático.

Energía limpia y sostenible: Las fuentes de energía renovable son consideradas ecológicas y viables a largo plazo, lo que asegura que la energía este siempre disponible sin disminuir los recursos naturales ni perjudicar los ecosistemas.

Conservación del entorno: El uso de fuentes de energía renovables protege los recursos de la naturaleza y disminuye el daño al entorno. Esto es crucial para la salud de las próximas generaciones.

1.5. HIPOTESIS

El diseño de una máquina despulpadora de café suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red para optimizar el proceso de despulpado en la finca El Guarapo puede ser una alternativa viable a partir de la radiación solar y demanda eléctrica.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar una máquina despulpadora de café suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red para optimizar el proceso de despulpado el caserío La Laguna.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ❖ Determinar la capacidad de producción de la finca el Guarapo.
- ❖ Dimensionar una máquina despulpadora de café.
- ❖ Dimensionar el sistema fotovoltaico conectado a red.
- ❖ Simular el sistema utilizando software de simulación especializado SolidWorks.
- ❖ Evaluar económica y financieramente el proyecto.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. OBJETO DE ESTUDIO

El presente proyecto tiene como objeto el diseño de una máquina despulpadora de café suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red para optimizar el proceso de despulpado en provincia de San Ignacio, buscando su viabilidad económica y técnica, optimizando el proceso de despulpado en la finca El Guarapo.

3.2. UBICACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El estudio se llevó a cabo en la finca El Guarapo, perteneciente al caserío La Laguna, ubicado en el distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, departamento de Cajamarca. La finca El Guarapo, geográficamente se sitúa a una altitud de 1734 msnm, con coordenadas aproximadas de longitud - 78.907181 y latitud -5.303712.

El clima en la zona de Chirinos presenta temperaturas promedio cambian según la altitud, presentando temperaturas de 35° C, en zonas bajas y temperaturas de 18° C, en zonas altas. El acceso a la finca El Guarapo se efectúa por medio del distrito de Chirinos, a partir de ahí, se toma la carretera que se dirige al caserío La Laguna, luego de recorrer un aproximado de 7 minutos, se desvía hacia la finca El Guarapo.

Figura 1

Vista satelital de la finca El Guarapo.



Nota. Adoptado de Google Earth (2025).

3.3. TIPOS DE INVESTIGACIÓN

los modelos de investigación que se desarrollaran en la presente tesis son siguientes:

Aplicada. – Ya que busca solucionar el problema planteado, utilizando conocimientos adquiridos con anterioridad.

Descriptiva. – Puesto que se pretende detallar características, rasgos y comportamientos sin analizarlos.

No experimental. – El investigador se limitará a observar los fenómenos tal como suceden en su contexto natural, sin adulterar variables.

3.4. VARIABLES

3.4.1. Variable Independiente

Máquina despulpadora de café.

3.4.2. Variable Dependiente

Proceso de despulpado.

Tabla 1

Operacionalización de variables.

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	SUB INDICADORES	UNIDADES	TECNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN
<u>Independiente</u> Máquina Despulpadora	Diseño de una máquina despulpadora de café suministrada por energía solar Fotovoltaica conectado a red.	Diámetro	Rotor	mm	Observación y análisis de documentos
		Torque		N.mm	Observación y análisis de documentos
		Velocidad	Ejes	rpm	Observación y análisis de documentos
		Potencia	Motor eléctrico	Hp	Observación y análisis de documentos
		Energía	Demanda	kWh/día	Observación y análisis de documentos
<u>Dependiente</u> Proceso De Despulpado	Volumen de café	Elementos	Paneles, inversor		Observación y análisis de documentos
		Peso o producción	Granos de café	Kg/día	Encuestas/análisis de encuestas

Nota. Elaboración propia.

3.5. MATERIALES.

Para el desarrollo del presente estudio se utilizaron los equipos y software siguientes.

3.5.1. Equipos.

- 01 laptops marca Asus VivoBook.
- 01 GPS marca Garmin.

3.5.2. Software.

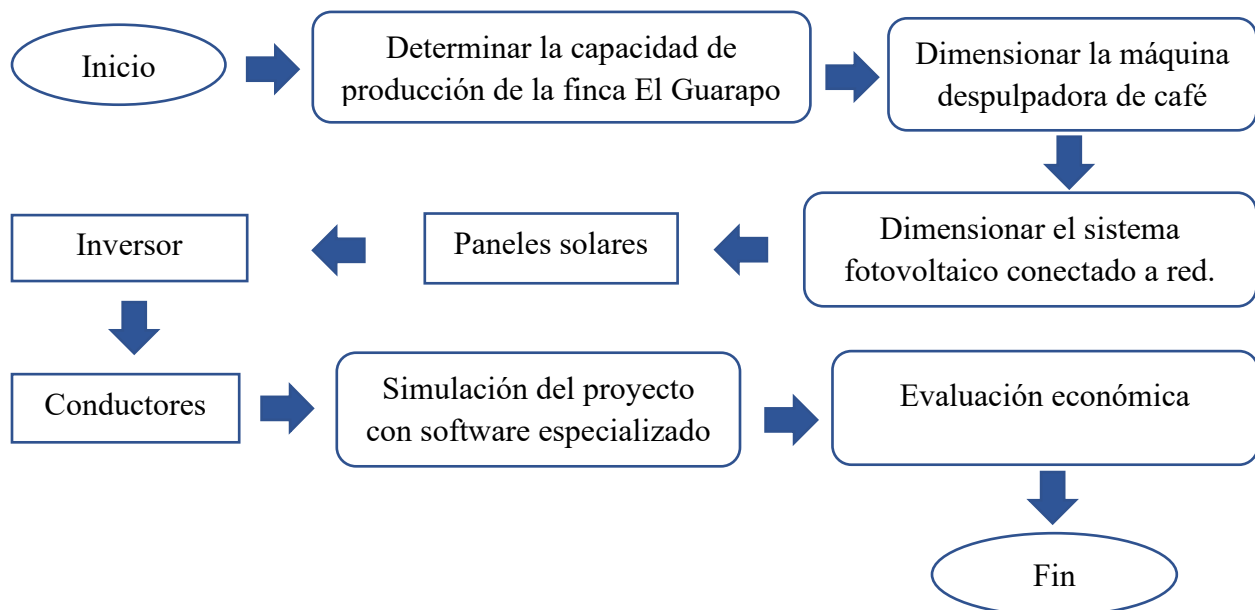
- Microsoft Word.
- Microsoft Excel.
- SolidWorks.

3.6. PROCEDIMIENTO PARA CUMPLIR CON CADA OBJETIVO ESPECIFICO

El diagrama de flujo que se muestra en la figura 2, se resume el proceso realizado de forma secuencial para lograr los objetivos específicos y el objetivo general.

Figura 2

Procedimiento a realizar en la investigación



3.7. METODOS

Los métodos que se utilizaron en el presente proyecto son el deductivo e inductivo, con la deducción permite relacionar la observación con la teoría deduciendo desde la teoría de los fenómenos objeto de observación y a través de la inducción, conlleva a acumular información y conocimientos aislados (Lozano & Quinde, 2025).

3.8. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.8.1. Población

La población en una investigación representa a un conjunto de sujetos que comparten una o más variables de estudio, lo cual será objeto de análisis. En una investigación, es frecuente identificar poblaciones que necesiten el uso de muestras estadísticas con la finalidad de validar los resultados del análisis de sus variables (Zevallos & Palomino, 2024).

Para el presente proyecto de investigación, se plantea que la población objeto de estudio engloba a la provincia de San Ignacio, ya que el objetivo es diseñar una máquina despulpadora de café suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red para optimizar el proceso de despulpado para los agricultores.

3.8.2. Muestra

En una investigación, la muestra representa a los sujetos seleccionados de una población, sobre los cuales es más accesible efectuar la investigación de una variable, hablando estadísticamente se obtiene un margen de error al seleccionar una muestra, por lo que es necesario, bajo ciertas condiciones, constatar el error y seleccionar de manera correcta (Zevallos & Palomino, 2024).

Para el presente proyecto de investigación, la muestra está conformada por la finca el guarapo, caserío La Laguna, en el distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio. En esta finca se cultiva el

café, razón por la cual se propuesto el diseño de una máquina despulpadora suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red.

3.8.3. Muestreo

El muestreo se refiere al procedimiento de selección de un subconjunto de elementos dentro de una población con la finalidad de efectuar una investigación y hacer inferencias sobre una población total (Lozano & Quinde, 2025).

En el presente proyecto se utilizó el muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que no todos los individuos de una población tienen la probabilidad de ser seleccionados.

3.9. METODOLOGÍA

3.9.1. Producción de café

El café o cafeto, es un árbol integrante de la familia Rubiaceae y al género coffee, la planta de café se desarrolla en lugares cálidos que reúnan condiciones ambientales especiales como altitud, temperatura y radiación solar, generalmente la planta de café es de color verde y toma aproximadamente nueve meses para florecer, las cerezas cambian de color verde a rojo o amarillo, indicando la madurez de la cereza y estando acto para su cosecha (Tapuy, 2023).

Figura 3

Cafeto.



Nota. Flor y Frutos de cafeto, verdes y maduros

El café tiene como origen a Etiopía, teniendo como descubridor a kaldi, un pastor que noto a sus rebaños más activos luego de comer algunos frutos rojos, en el mundo, existen más de 6000 especies de coffee, pero las especies coffee arábica (café Arábica) y coffee canephora (café robusta) son consideradas las principales ya que, entre él 75 y 80% del producto en el mundo representa el café arábica y el café canephora (Robusta) representa el 20% (Tapuy, 2023).

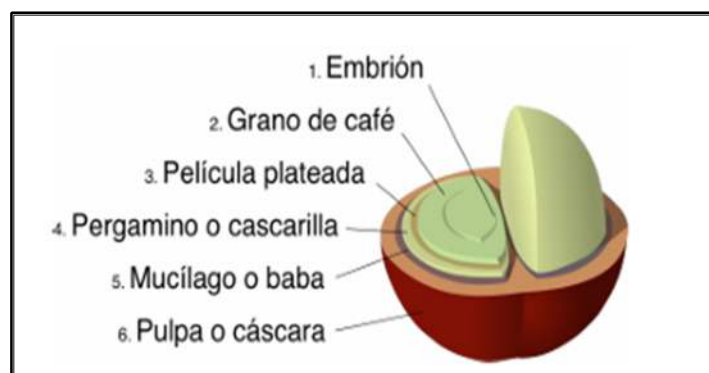
En la actualidad, los principales países exportadores y productores de café orgánico a nivel mundial son Etiopía y Perú, En el Perú, el café se cultiva en 10 departamentos, en 350 000 hectáreas de 210 distritos de la vertiente oriental de los andes (Quispe, 2024).

3.9.2. Estructura del café

El café, fruto del cafeto, en su etapa de madurez debido a su color rojizo recibe el nombre de cerezo por el parecido con el fruto de cereza por ende es común llamarlo como cereza de café o café cereza. El café cerezo, desde el exterior al interior está formado por seis capas las cuales son: pulpa o cascara (epicarpio), mucilago o baba (mesocarpio), pergamino o cascarilla (endocarpio), película plateada, grano de café y embrión (Tapuy, 2023).

Figura 4

Estructura del café.



Nota. Capas internas del café cerezo. Tomado de (Tapuy, 2023).

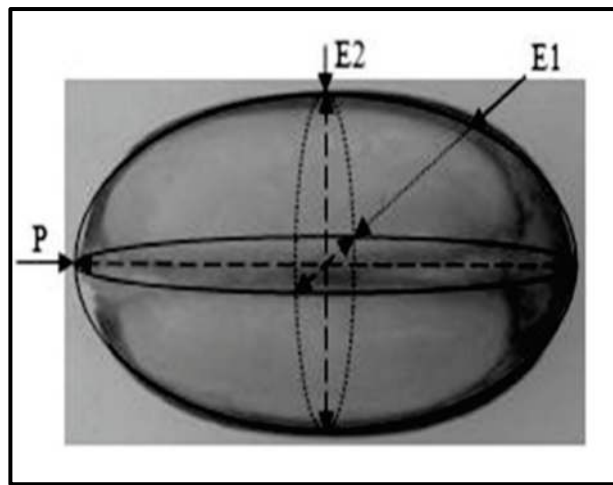
3.9.3. Parámetros del café

Para el diseño de una despulpadora es de vital importancia conocer las propiedades físicas de un grano de café cerezo, dimensiones como ancho, alto y profundidad, así como también la fuerza necesaria para separar la pulpa de un grano de café.

En la figura 5, se muestra las dimensiones de un grano de café cerezo, E1 ancho, E2 alto y P profundidad.

Figura 5

Dimensiones de un grano de café en cerezo



Nota. Se muestran las dimensiones de una cereza de café. Tomado de (Carvajal, Aristizabal, & Oliveros, 2012)

En la figura 6 se muestra las dimensiones ortogonales de 100 granos de café cerezo para cada día de desarrollo del grano (DDA). Para el presente proyecto se utiliza el diámetro característico (DC) ya que viene el promedio entre las longitudes E1, E2, P. de la figura 6, se toma el valor de $DDA = 224$ ya que, en este tiempo de desarrollo, el grano cerezo ya no este inmaduro y con un $Dc = 14,1\text{ mm}$.

Figura 6

Dimensiones ortogonales de un grano cereza de café.

DDA	E1		CV (%)	E2		CV (%)	P		CV (%)	Dc		CV (%)
182	11,39 ^{a*}	ab**	4,76	12,68 ^b	ab	3,88	15,49 ^c	abc	5,73	13,13 ^d	ab	3,55
189	11,22 ^a	a	4,73	12,56 ^b	a	4,63	15,32 ^c	a	7,69	12,98 ^d	a	3,83
196	11,47 ^a	b	4,73	12,74 ^b	ab	3,73	15,73 ^c	cd	6,65	13,25 ^d	b	3,54
203	11,41 ^a	ab	4,00	12,65 ^b	ab	3,73	15,64 ^c	abc	6,04	13,17 ^d	b	3,34
210	11,51 ^a	b	4,78	12,85 ^b	b	4,35	15,69 ^c	bcd	6,72	13,29 ^d	b	3,79
217	11,96 ^a	c	6,14	13,30 ^b	c	5,82	15,36 ^c	ab	6,95	13,50 ^b	c	4,97
224	12,46 ^a	d	4,87	14,37 ^b	d	6,28	15,57 ^c	abc	6,48	14,10 ^d	d	4,88
231	12,81 ^a	e	6,36	14,84 ^b	e	6,63	16,53 ^c	e	8,68	14,68 ^b	e	6,55
238	12,79 ^a	e	6,43	14,53 ^b	d	6,34	15,98 ^c	d	6,76	14,40 ^b	f	5,67

Nota. La figura muestra las dimensiones ortogonales E1, E2, P y diámetro característico (mm).

Tomado de (Carvajal, Aristizabal, & Oliveros, 2012)

En la figura 7 se muestra la fuerza necesaria para despulpar una cereza de café. Para un fruto pintón (DDA = 224) representa un color entre verde-amarillo, naranja rojiza con $Ft = 10,48\text{ N}$.

Figura 7

Fuerza de desprendimiento de la pulpa de café

DDA	Estado	Tonalidad	Ft (N)		CV (%)
182	Inmaduro	Verde	10,55	b*	29,94
189	Inmaduro	Verde	11,27	bc	29,80
196	Inmaduro	Verde	12,00	cd	30,30
203	Inmaduro	Verde	12,62	de	23,96
210	Inmaduro	Verde	13,45	e	20,82
217	Inmaduro	Verde-amarillo	13,07	e	24,47
224	Pintón	verde-amarillo-naranja-rojiza	10,48	b	22,04
231	Maduro	Rojo	10,77	b	23,42
238	Sobremaduro	Rojo-violeta	6,33	a	23,18

Nota. La figura muestra la fuerza necesaria para el desprendimiento de la pulpa de una cereza de café en diferentes tiempos de su desarrollo. Tomado de (Carvajal, Aristizabal, & Oliveros, 2012)

En la figura 8 se muestran los diferentes valores promedios de masa seca y fresca según los días de desarrollo.

Figura 8

Valores de masa de cereza de café

DDA	M (g)		CV (%)	Ms (g)		CV (%)	Mc (%)		CV (%)
182	1,32	a*	11,85	0,40	a	14,34	69,63	d	2,35
189	1,30	a	9,99	0,40	a	14,74	69,28	cd	1,30
196	1,37	ab	11,98	0,44	b	15,31	67,62	ab	0,85
203	1,37	ab	10,77	0,46	b	13,32	66,50	a	0,50
210	1,40	b	12,53	0,46	b	14,33	66,82	a	0,46
217	1,48	c	14,49	0,50	c	16,36	66,47	a	1,10
224	1,72	d	16,05	0,54	d	19,91	68,23	bc	2,44
231	1,94	f	19,96	0,58	e	19,19	70,34	d	0,93
238	1,80	e	18,07	0,61	f	18,83	66,33	a	2,09

Nota. La figura muestra la masa fresca, masa seca y contenido de humedad del fruto de café.

Tomado de (Carvajal, Aristizabal, & Oliveros, 2012)

3.9.4. Especies de café

Las plantas de café requieren de sombra y se tienen que proteger del sol y temperaturas muy bajas, alrededor de 25 grupos son los que existen, pero se puede dividir en tres grupos, Arábica, Robusta y Libérica. En términos de diferenciación, el sabor amargo y alta contenido de cafeína es lo que distingue al café Robusta, también, el sabor suave y aromático es lo que distingue al café Arábica, y finalmente la variedad rara del café Libérica tiene un sabor único e intenso (Tapuy, 2023).

- **Clasificación taxonómica**

Esta clasificación, según Quispe (2024) es la siguiente:

- Clase: Dicotiledónea
- Orden: Rubiales
- Familia: Rubiaceae

- Género: Coffea L.
- Especie: Arábica
- Nombre científico: Coffea Arábica

3.9.5. Principales variedades de café en el Perú

En los últimos años, se han introducido en el Perú, nuevas variedades producidas a partir de catimores y mezclas entre variedades de Arábica, teniendo como resultados al Marsella, Parainema, H1, Pacamara, Obata Rojo, siendo la variedad Marsella la más Cultivada en los últimos años (Delgado, 2021).

- **Variedad Typica**

Es una variedad que en producción es muy baja, buena calidad de taza y vulnerable a las enfermedades, hasta los años de 1940, la mayor parte de plantaciones de café en América central eran de la variedad Typica, pero con el tiempo se fue reemplazando por variedades de Borbón ya que la variedad Typica tiene baja producción y es vulnerable a las enfermedades, esta variedad aún se siembra ampliamente en el Perú (Delgado, 2021).

- **Variedad Bourbon**

La variedad Bourbon es, cultural y genéticamente es una de las variedades principales de la especie Arábica en el mundo. Teniendo una excelente calidad a mayor altitud. El Bourbon es una variedad vulnerable a la roya amarilla, motivo por la cual, desde el año 2012 es que se redujeron considerablemente las áreas de esta variedad. A pesar de eso, en la actualidad, a raíz de la tendencia de los cafés especiales es que se ha comenzado a producir plantaciones de Bourbon en zonas con mayor altitud, donde los efectos de la roya amarilla (Delgado, 2021).

- **Variedad Caturra**

Esta variedad alcanza una altura de entre 1,8 y 2,10 metros. Sus ramas alcanzan una longitud de hasta 110 *cm* formando ángulos de 45° con el tronco principal de la planta, el producto de esta variedad probablemente sea de la mutacion del café bourbon en Minas Gerais, Brasil (Quispe, 2024).

- **Variedad Mundo Novo**

Esta variedad es un arbusto de tamaño alto y productivo pero muy vulnerable a la a la roya amarilla del cafeto. Es una variedad poco cultivada en América central y Sudamérica, pero con gran importancia en Brasil, pasada la pandemia de la roya amarilla, no se han vuelto a recuperar las áreas cultivadas (Delgado, 2021).

- **Variedad Catuaí**

La variedad Catuaí es el producto de la mezcla sintética entre las variedades Caturra y Mundo Novo en Sao Paulo, Brasil. Esta variedad tiene un crecimiento rápido, alto rendimiento y un tamaño bajo, sus hojas son de color verde claro y sus frutos son difíciles de arrancar de las ramas (Quispe, 2024).

- **Variedad Geisha**

Es una variedad con una calidad organoléptica muy alta, con buenas prácticas agrícolas y una buena altitud, esta variedad es caracterizada por sus delicados aromas florales a jazmín y de melocotón (Delgado, 2021).

- **Variedad Pache**

Es una variedad encontrada en Guatemala en el año 1949 en la finca Brito, Santa Cruz Naranjo, Santa Rosa. En la IAC de Brasil fue nombrada como San Bernardo. En dicho país,

fue objeto de selección masal, a partir de ahí se dispersó a otras regiones y otros países (Delgado, 2021).

- **Variedad Catimor**

Esta variedad artificial, fue producida a partir de las variedades Mundo Novo y Caturra en Sao Paulo, Brasil. Es una variedad de rápido crecimiento y alta producción. Tiene muchas ramas laterales derivando en una gran capacidad de producción, el fruto es difícil de arrancar de las ramas, la producción del grano y la calidad de la bebida son excelentes (Quispe, 2024).

- **Variedad Marsellesa**

La variedad Marsellesa es producto del cruce entre Timor Híbrido 832/2 y Villa Sarchí CIFC 971/10. Selección pedigree realizada en Nicaragua por ECOM-CIRAD. Planta adaptada a altitudes medias y de alto rendimiento, esta variedad ha tenido acogida en los productores ya que es resistente a las plagas (Delgado, 2021).

3.9.6. Cosecha y Postcosecha de café

La cosecha es la actividad de recoger los granos maduros de café, por lo general, esta acción se realiza de manera manual evitando dañar los granos de café y seleccionado solo los granos maduros ya que los granos verdes tienen un sabor y aroma diferente. El café se cosecha cuando los frutos tienen una textura, color, aroma y sabor óptimos, los granos verdes que se mezclan con los maduros durante la cosecha, se separan durante el despulpado (Tapuy, 2023).

El proceso de cosecha es recoger los granos maduros de cerezo de manera selectiva de las plantas de café, en la región de Cajamarca como productora de café es una de las principales regiones, en zonas de mayor altitud, la cosecha normalmente comienza en mayo hasta octubre y en zonas bajas

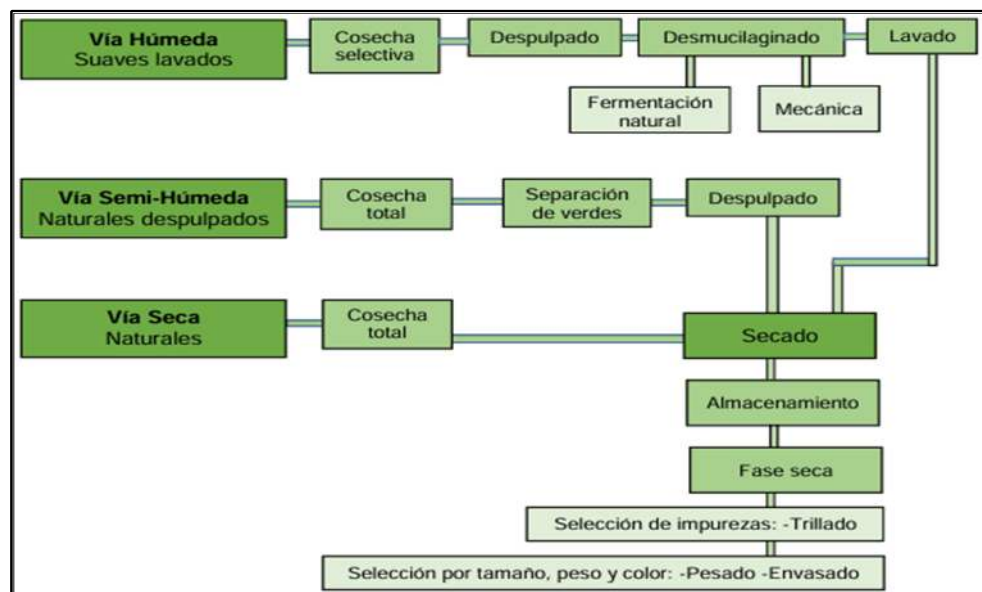
de marzo hasta agosto, sin embargo, por cambios climáticos, en algunas zonas la cosecha se realiza durante todo el año (Delgado, 2021).

La postcosecha es el cambio de café cerezo a café oro, mayormente conocido como café beneficiado (Tapuy, 2023).

- **Vía húmeda:** Es el proceso más común para el beneficiado de café, se recolecta la cereza de café, se mete en agua para su limpieza y selección eliminando desechos e impurezas (Tapuy, 2023).
- **Vía semihúmeda:** Es una mezcla de procesos húmedos y secos que se utilizan en cafés de alta calidad donde el café despulpado se seca (Tapuy, 2023).
- **Vía seca:** Es un proceso para café con alta concentración de azúcares, en el que los granos de café en cerezo se secan al sol antes de ser limpiados y seleccionados (Tapuy, 2023).

Figura 9

Estructura del café.



Nota. Diagrama de procesamiento de los frutos de café. Tomado de (Tapuy, 2023)

3.9.7. Sistema a alimentar (Máquina despulpadora de café)

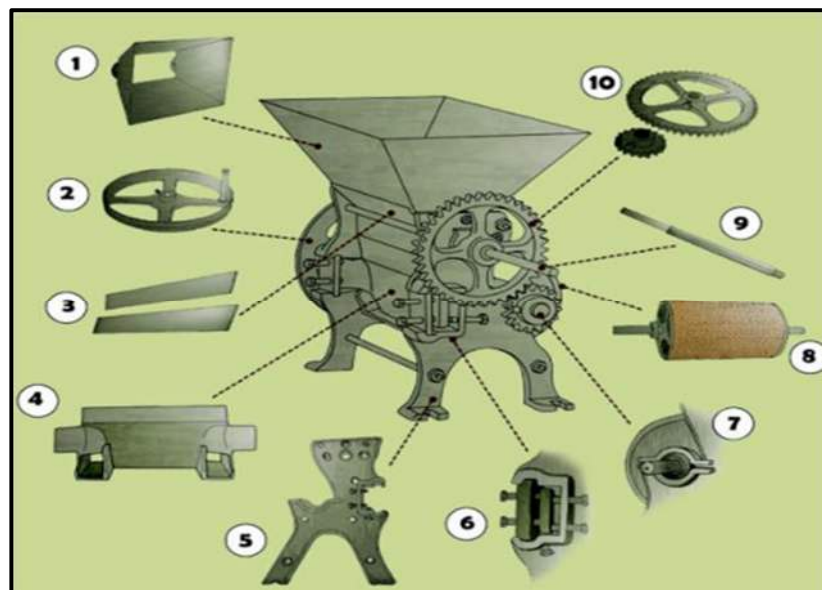
Una máquina despulpadora de café es un equipo esencial en el procesamiento del café y sirve para desprender la cascara o pulpa de los granos de café recién cosechados, el principio de funcionamiento de una despulpadora de café es utilizar mecanismos de presión y fricción para separar la cascara del fruto. Se puede utilizar para despulpar café tanto arábica como robusta (Tapuy, 2023).

3.9.7.1. Partes de una máquina despulpadora de tambor horizontal.

En la figura 10 se aprecian las partes que conforman una despulpadora con tambor horizontal.

Figura 10

Partes de una despulpadora de café.



Nota. Partes enumeradas de una despulpadora de café. Tomado de (Tapuy, 2023).

Tabla 2

Partes de la despulpadora

#	Descripción
1	Tolva
2	Polea
3	Cubierta
4	Pechero
5	Castillo
6	Regulador de pechero
7	Rodaje del eje del tambor y chumacera
8	Cilindro o tambor con cubierta de cobre y su eje
9	Regulador de cerezo
10	Engranaje

Nota. Tabla enumerando las partes de una máquina despulpadora de café.

Donde:

1. Tolva:

Parte superior para el ingreso de los granos de café cereza, el diseño de la tolva tiene la forma de pirámide trunca invertida guiando los granos de café hacia el tambor de despulpado.

2. Polea:

Sirve para transmitir la fuerza desde el motor o manivela hacia el sistema de engranajes de la máquina, la polea es fundamental para el funcionamiento mecánico de la despulpadora.

3. Cubierta:

Sirve para cubrir las partes vacías entre la tolva y el cilindro protegiendo el sistema interno de la máquina contra accidentes y suciedad, contribuyendo para que el grano de café cerezo no se disperse durante el proceso.

4. Pechero:

Parte fundamental de una despulpadora ya que sirve para separar el grano de café de la pulpa aplicando presión sobre el grano al momento de pasar entre el pechero y el tambor sin dañar el grano.

5. Castillo:

Es el soporte de toda la estructura y se tiene uno en cada lado dando firmeza y estabilidad a la máquina.

6. Regulador de pechero:

El regulador sirve para ajustar la distancia entre el pechero y el tambor, esto permite realizar el despulpado sin dañar el grano de café. Una mala calibración puede resultar en granos dañados o sin despulpar.

7. Rodaje del eje del tambor y chumacera:

Este componente permite el giro suave del eje del cilindro y sosteniéndolos y reduciendo la fricción y desgaste.

8. Cilindro o tambor con cubierta de cobre:

El cilindro con cubierta de cobre permite transportar los granos de café cerezo por el pechero presionándolos con su superficie rugosa para retirar la pulpa del grano de café.

9. Regulador de cerezo:

Permite el ingreso del café cerezo de forma regulada desde la tolva hasta el tambor para que luego sea despulpado ejerciendo presión entre el tambor y el pechero.

10. Engranaje:

Se tiene engranaje conductor y conducido permitiendo la transmisión del movimiento desde la polea hacia el tambor y al mismo tiempo reducir la velocidad.

3.9.7.2. Tipos de máquinas despulpadoras de café

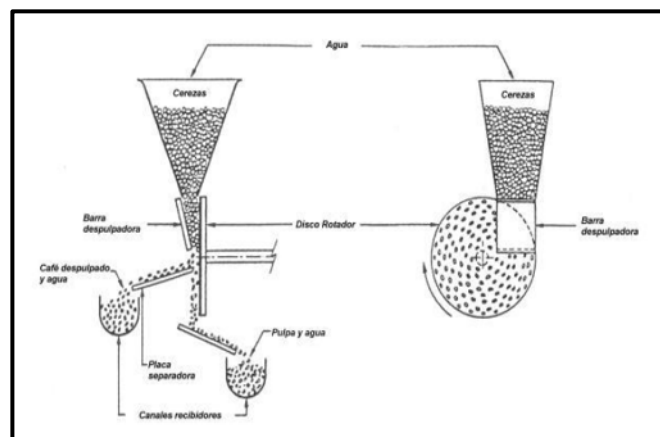
A continuación, se describen algunas de las máquinas despulpadoras de café que se encuentran en el mercado.

- **Despulpadora de disco**

Este tipo de despulpadora está formada por uno o varios discos armados a un eje horizontal giratorio de 45cm de diámetro aproximadamente y una barra despulpadora, esta barra comprime los granos de cerezas contra el disco giratorio produciendo la separación de la pulpa y el pergamino para posterior caer sobre una placa separadora permitiendo el paso de la pulpa mientras que el pergamino es transportado por la placa, su consumo de potencia varía entre 1 y 1,5kW dependiendo del tamaño y la capacidad (Tapuy, 2023).

Figura 11

Despulpadora de disco



Nota. La figura muestra una despulpadora de disco. Tomado de (Tapuy, 2023).

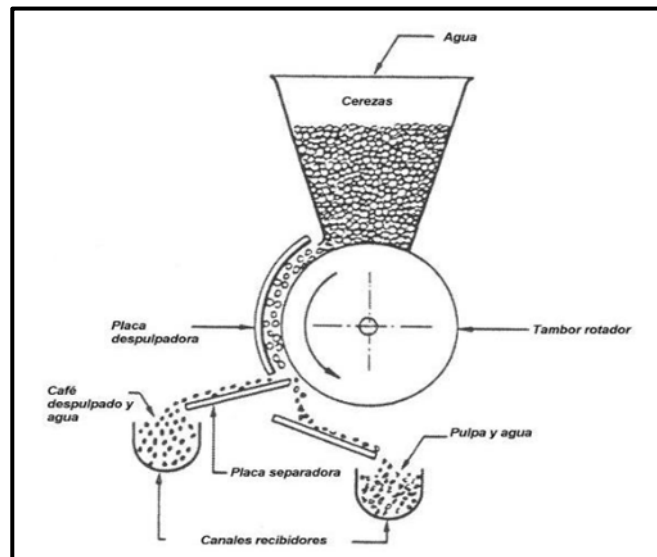
- **Despulpadora de tambor**

Este tipo de despulpadora, según la posición del tambor, puede ser vertical u horizontal.

Despulpadora de tambor horizontal: esta despulpadora formada por un tambor giratorio de aproximadamente 20 – 30cm de diámetro, una placa con o sin canales y una placa separadora. Al ingresar las cerezas por la tolva, bajan hasta el tambor y la placa cuya distancia de separación se reduce conforme se acerca hasta la placa separadora produciendo una presión generando el despulpado de las cerezas, la distancia de separación de la placa despulpadora y el tambor puede ser ajustada según la necesidad y evitar dañar el grano de café, su consumo de potencia varía entre 1 y 5kW dependiendo del tamaño y la capacidad (Tapuy, 2023).

Figura 12

Despulpadora de tambor horizontal

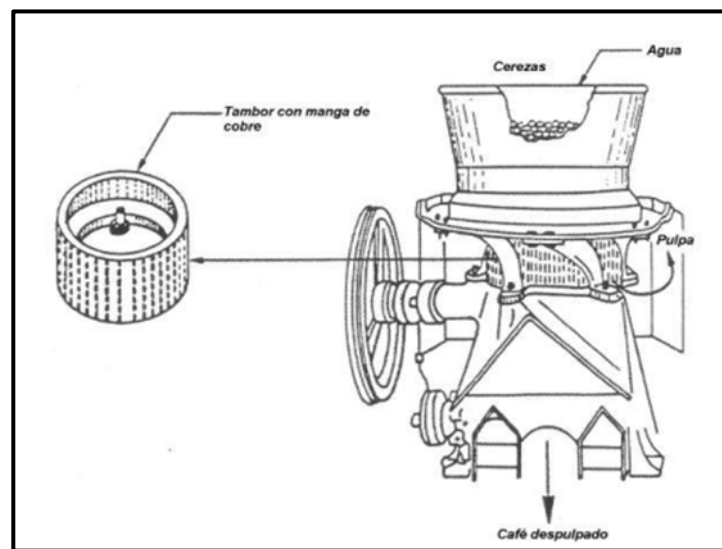


Nota. La figura muestra el funcionamiento de una despulpadora de tambor horizontal. Tomado de (Tapuy, 2023).

Despulpadora de tambor vertical: este tipo de despulpadora, contiene un cilindro que está en posición vertical, el ingreso de las cerezas se realiza por la parte superior y para después bajar por los canales del cilindro los cuales se va estrechando más, retirando y desechando la pulpa fuera de los canales, para esta despulpadora, la distancia entre el cilindro y los canales no es ajustable (Tapuy, 2023).

Figura 13

Despulpadora de tambor vertical



Nota. La figura muestra una despulpadora de tambor vertical. Tomado de (Tapuy, 2023).

- **Despulpadora de pantalla**

Este tipo de despulpadora, sus funciones son de despulpar las cerezas maduras y también el de separar las cerezas verdes, para realizar estas funciones, cuenta con un cilindro hueco con ranuras logrando que las cerezas verdes permanezcan dentro del cilindro y las cerezas maduras son despulpadas siendo presionadas por un rotor contra el cilindro (Tapuy, 2023).

Figura 14

Despulpadora de pantalla



Nota. La figura muestra una despulpadora de pantalla. Tomado de (Tapuy, 2023).

3.9.8. Selección de la máquina

3.9.8.1. Análisis de factibilidad

En esta parte, se determinará la selección de la despulpadora a diseñar considerando sus ventajas y desventajas, estudiando las alternativas propuestas.

Para la selección se analizará tres alternativas importantes las cuales se mencionan a continuación:

- Despulpadora vertical
- Despulpadora horizontal de tambor
- Despulpadora de disco

Los requerimientos a considerar en función a las necesidades son:

- Facilidad de construcción
- Costo
- Facilidad de montaje
- Facilidad de montaje
- Facilidad de mantenimiento

- seguridad

3.9.8.2. Alternativas de despulpadora.

El beneficiado del café se refiere al cambio del café cerezo a café pergamino, este proceso se realiza a través de vía húmeda, vía semihúmeda y vía seca. El presente proyecto está enfocado en el proceso por vía semi húmeda, por tal motivo queda descartado la selecciona de despulpadora de pantalla.

Por lo tanto, estudiaremos las alternativas de despulpadora de disco, despulpadora de tambor vertical y despulpadora de tambor horizontal.

Tabla 3

Alternativas de despulpadoras

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Despulpadora de tambor horizontal	Despulpadora de tambor vertical	Despulpadora de disco

Nota. Elaboración propia. Tabla mostrando las alternativas de máquinas despulpadoras de café.

a) **Despulpadora de tambor horizontal.**

Ventajas

- Es la más vendida y utilizada por lo que el productor tiene relación con esta máquina (Tapuy, 2023).
- Su manipulación y mantenimiento es fácil y práctica (Tapuy, 2023).
- Fácil calibración.
- No requiere de agua, es una despulpadora ecológica ya que trabaja en seco (Olarte, 2016).

- Su operación puede ser de manera automática o manual.

Desventajas

- La elaboración de las piezas está echas con fundición lo cual eleva su peso convirtiéndola en una máquina estacionara (Olarte, 2016).
- Complejidad en el diseño del pechero debido a su forma geométrica (Tapuy, 2023).
- El costo de mantenimiento es elevado (Tapuy, 2023).

b) Despulpadora de tambor vertical.

Ventajas

- Este tipo de despulpadora tiene la capacidad de despulpar café en grandes cantidades, aproximadamente 200 *kg/h* hasta 10 *ton/h* por lo que es adecuada para el sector industrial (Olarte, 2016).
- Esta máquina puede alcanzar una eficiencia de hasta 98% aproximadamente lo cual la hace apropiada para despulpar con el menor daño posible (Olarte, 2016).
- En el proceso de despulpado no necesita agua y ayuda al medio ambiente (Olarte, 2016).

Desventajas

- Debido a la posición vertical del tambor es que su giro es vertical siendo necesario la implementación de un mecanismo para el cambio de movimiento resultando complejo su diseño y mantenimiento de la máquina (Olarte, 2016).
- La fuerza centrífuga de la máquina por el movimiento del eje vertical puede expulsar los granos de café fuera de la misma (Tapuy, 2023).

c) Despulpadora de disco

Ventajas

- Su diseño es fácil y comprensible por lo que su mantenimiento también lo es (Olarte, 2016).
- Mayor eficiencia por lo que se puede controlar el desgaste del cuerpo móvil (Olarte, 2016).
- En comparación con la despulpadora de tambor, su peso es mucho menor (Tapuy, 2023).

Desventajas

- Menor rendimiento, granos dañados, mezcla de granos con pulpa, etc (Olarte, 2016).
- Calibración complicada debido a la forma del disco (Olarte, 2016).

3.9.8.3. Selección de la alternativa.

a. Evaluación.

Los tres tipos de despulpadora cumplen con su trabajo, sin embargo, se evalúa el rendimiento de las máquinas. Para la selección correcta de la máquina a diseñar, se tiene en consideración los parámetros anunciados en la formulación de las alternativas. Estos parámetros están ponderados con un valor de 10/10.

b. Facilidad de construcción

Los componentes de las despulpadoras son elaborados en talleres de fundición, son similares, por ende, el grado de dificultad para su construcción es similar.

Fácil: valor de 9

Medio: valor de 6

Difícil: valor de 3

c. Costos

El material de las piezas es el mismo en los tres tipos de despulpadoras, por lo que el costo no varía. también encontramos en costos la construcción y mano de obra.

También abarca un factor donde la máquina sea competitiva con otras despulpadoras similares que estén disponibles en el mercado.

Fácil: valor de 8

Medio: valor de 5

Difícil: valor de 4

d. Facilidad de montaje y desmontaje

Se realiza al momento de transportarla de un lugar a otro y al momento de encender la máquina.

Fácil: valor de 7

Medio: valor de 4

Difícil: valor de 2

e. Facilidad de mantenimiento

En una despulpadora de disco resulta más compleja la limpieza de residuos por la dificultad para llegar hasta las piezas internas.

Fácil: valor de 9

Medio: valor de 7

Difícil: valor de 5

f. Seguridad

La máquina despulpadora de café tiene un factor de seguridad ya que es de vital importancia brindarle al agricultor al momento de operar la máquina.

Fácil: valor de 10

Medio: valor de 5

Difícil: valor de 3

Tabla 4

Consumo mensual de equipos del sistema de despulpado

Criterios de comparación	Factor de calificación/alternativas						
	Ponderación	Fácil	Medio	Difícil	Alternativa	Alternativa	Alternativa
					1	2	3
Facilidad de construcción	9	9	6	3	3	6	9
Costos	7	8	5	4	8	4	4
Facilidad de montaje y desmontaje	5	7	4	2	7	7	7
Facilidad de mantenimiento	4	7	3	1	3	1	7
Seguridad	10	10	5	3	10	5	5
	Total				31	23	25
Alternativa seleccionada					Alternativa		
					1		

Nota. Elaboración propia. Selección de alternativa más alta considerando una ponderación alta en seguridad y construcción.

Como resultado de la evaluación que se muestra en la tabla 4, dando una puntuación mayor a la alternativa 1 (despulpadora horizontal de tambor) priorizando su costo y seguridad en la operación.

3.9.9. Evaluación y caracterización de la energía solar en la finca El Guarapo

Para la evaluación de la energía solar en la zona, podemos obtener la información de la radiación solar de diferentes instituciones, así como también, el atlas de energía solar, que sirve para el dimensionamiento adecuado de sistemas fotovoltaicos de acuerdo a la ubicación geográfica donde deban ser instalados. De igual manera, podemos obtener información de agencias meteorológicas o de la misma Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA).

Para el presente proyecto de investigación, la información meteorológica de radiación solar para la finca El Guarapo fue obtenida utilizando la herramienta interactiva “POWER DATA ACCESS VIEWER”, proporcionada por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA). A través de su plataforma web (<https://power.larc.nasa.gov>). Para obtener los datos requeridos se ingresó al icono ACCESS y luego al icono DATA ACCESS VIEWER en la parte superior de la ventana.

Luego, se ingresó las coordenadas geográficas de la finca El Guarapo (longitud: -78.907181, latitud: -5.303712) en el campo de búsqueda. Luego de realizada la búsqueda, se seleccionó los parámetros de radiación solar fotovoltaica obteniendo promedios de radiación solar mensuales expresados en $kWh/m^2/día$, los cuales se presentan en la tabla 7. Los datos obtenidos son importantes para el dimensionamiento del SFCR en la finca El Guarapo.

3.9.9.1. Angulo de Inclinación optima

El Angulo de inclinación optimo (β_{op}) en los paneles solares depende de la latitud en el lugar. Para el cálculo del Angulo, se utilizó la fórmula 01:

$$\beta_{op} = 3,7 + (0,69 * |\phi|) \dots \dots \dots (01)$$

Donde:

β_{op} : Angulo de inclinación (grados sexagesimales)

$|\phi|$: Es la latitud del lugar (grados sexagesimales)

3.9.9.2. Estimación y caracterización de la demanda eléctrica.

Para el diseño del sistema fotovoltaico conectado a red (SFCR), es necesario saber el consumo eléctrico al que va a estar sujeto.

3.9.9.3. Consumo promedio mensual del sistema de despulpado.

El tiempo de uso diario del motor eléctrico es de 2 horas entre las 2.00pm a 4.00pm, entre este tiempo se realiza el proceso de despulpado de la cereza recolectada durante el día.

3.9.10. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a red

3.9.10.1. Dimensionamiento de los paneles fotovoltaico

Para poder determinar la potencia de los paneles fotovoltaicos se utilizando la ecuación 02:

$$P_{GFV} = \frac{E_p}{G_{dm}(\beta) \times PR} \dots \dots \dots (02)$$

Donde:

P_{GFV} : Es la potencia que pueden entregar los paneles fotovoltaicos.

E_p : Es la cantidad de energía de la instalación fotovoltaica.

$G_{dm}(\beta)$: Es la radiación mensual sobre la superficie de los paneles.

PR : Es la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo.

Para el cálculo de la cantidad de paneles fotovoltaicos se muestra la ecuación 03:

$$N_{panel} = \frac{Potencia\ del\ generador\ fotovoltaico}{Potencia\ del\ panel\ fotovoltaico} \dots\dots\dots (03)$$

3.9.10.2.Estructura de soporte

Para obtener una mejor eficiencia de en la instalación, se debe tener una estructura de acuerdo al Angulo de inclinación debiendo ser adecuada para el lugar de instalación.

3.9.10.3.Selección del inversor

Para seleccionar el inversor, se debe tener presente que los paneles fotovoltaicos generan energía de corriente continua pero la finca el Guarapo utiliza energía alterna, por lo que se tiene que convertir la energía continua en alterna. Para seleccionar el inversor, se debe tener en cuenta la corriente y la tensión en el punto de máxima y mínima potencia que se pueda obtener en la salida de los paneles solares, la onda debe ser igual al de la red eléctrica y también se debe tener en cuenta la corriente de cortocircuito.

- **Tensión y corriente en el punto de máxima potencia**

Para determinar la tensión total en el punto de máxima potencia ($V_{mpp_{TOTAL}}$) y poder seleccionar de manera adecuada el inversor, se realizará a través de la ecuación 04:

$$V_{mpp_{TOTAL}} = V_{mpp} \times N_s \dots\dots\dots (04)$$

Donde:

$V_{mpp_{TOTAL}}$: Tensión total en el punto de máxima potencia

V_{mpp} : Tensión en el punto de máxima potencia

N_s : Numero de paneles en serie

Para poder calcular la corriente entregada en el punto de potencia máxima de los paneles solares, se utilizará la ecuación 05:

$$Impp_{TOTAL} = Impp \times Np \dots\dots\dots (05)$$

Donde:

$Impp_{TOTAL}$: Corriente total en el punto de máxima potencia

$Impp$: Corriente en el punto de máxima potencia

Np : Numero de paneles en paralelo

- **Corrección de la tensión y corriente debido a las temperaturas**

Los valores de tensión y corriente que el fabricante proporciona, son para una temperatura estándar de $25^{\circ}C$, entonces se debe adaptar para la temperatura de la finca El Guarapo.

Aguirre (2019) Menciona que, para calcular la temperatura que alcanzaran las celdas fotovoltaicas en la zona de instalación, se debe de utilizar la fórmula 06:

$$Tp = Ta + \frac{(T_{OCN} - 20) \times I}{800} \dots\dots\dots (06)$$

Donde:

Tp : Es la temperatura que lograra alcanzar la celda fotovoltaica.

Tp : Es la temperatura ambiente del lugar donde se realizará la instalación.

T_{OCN} : Viene a ser la temperatura nominal de la celda al ser sometida a una radiación de $1000 W/m^2$, distribución espectral de AM 1,5, temperatura ambiente de $25^{\circ}C$ y velocidad del viento de $1 m/s$, ($T_{OCN} = 40^{\circ}C$)

I : Radiación medida, esta dependerá del periodo en que se encuentre ($I = 1000 W/m^2$).

Aguirre (2019) Señala que para calcular la tensión del circuito abierto a la salida de los paneles fotovoltaicos cuando trabajan a una temperatura de celda diferente a 25°C , se puede utilizar el coeficiente de temperatura para la tensión de circuito abierto (V_{OC}) mencionado por el fabricante. Se determinará a través de la ecuación 07:

$$V_{OC(X^{\circ}\text{C})} = V_{OC(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta V_{OC(T)} \dots \dots \dots (07)$$

Donde:

$V_{OC(X^{\circ}\text{C})}$: Viene a ser la tensión del circuito abierto del panel fotovoltaico a temperatura ambiente del lugar de instalación

$V_{OC(25^{\circ}\text{C})}$: Viene a ser la tensión otorgada por el fabricante del circuito abierto a temperatura estándar.

ΔT : Viene a ser el cambio de temperatura entre la temperatura del lugar donde se realizará la instalación y la condición estándar entregada por el fabricante.

$\Delta V_{OC(T)}$: Viene a ser el coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto del panel. Aguirre (2019) Señala que, para calcular la corriente de cortocircuito a la salida de los paneles fotovoltaicos al momento de trabajar a temperatura de celda diferente de 25°C , se puede utilizar el coeficiente de temperatura para la corriente de cortocircuito proporcionada por el fabricante. Esta se puede calcular utilizando la formula 08:

$$I_{SC(X^{\circ}\text{C})} = I_{SC(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta I_{SC(T)} \dots \dots \dots (08)$$

Donde:

$I_{SC(X^{\circ}\text{C})}$: Corriente de cortocircuito a temperatura ambiente del lugar del panel fotovoltaico

$I_{SC(25^{\circ}\text{C})}$: Corriente de cortocircuito a temperatura estándar proporcionada por el fabricante.

ΔT : Viene a ser el cambio de temperatura entre la temperatura del lugar donde se realizará la instalación y la condición estándar entregada por el fabricante.

$\Delta I_{SC(T)}$: Viene a ser el coeficiente de temperatura de la corriente del panel fotovoltaico.

Seguidamente, el cálculo de la tensión de circuito abierto de nuestro inversor se realiza multiplicando el total de paneles en serie por la tensión de circuito abierto a temperatura de la zona de instalación a través de la fórmula 09:

$$V_{OC(x^{\circ}C)INVERSOR} = V_{OC(x^{\circ}C)} \times Ns \dots \dots \dots (09)$$

De igual manera para el cálculo de la corriente de cortocircuito, se multiplicará la cantidad de paneles fotovoltaicos conectados en paralelo por la corriente de cortocircuito a temperatura de la zona de instalación a través de la fórmula 10:

$$I_{SC(x^{\circ}C)INVERSOR} = I_{SC(x^{\circ}C)} \times Np \dots \dots \dots (10)$$

- **Corrección de la tensión en el punto de máxima potencia**

Como una última valoración, antes de elegir el inversor, se debe considerar la tensión de máxima potencia en la zona donde se instalarán los paneles fotovoltaicos.

Para obtener estos parámetros, se debe conocer la variación por temperatura de la tensión máxima de potencia utilizando la igualdad $V_{mpp(T)} = 0,8061 \times V_{OC(T)}$, así como también la variación de tensión $\Delta V_{mpp(T)} = 0,8061 \times \Delta V_{OC(T)}$, seguidamente se tiene:

$$\Delta V_{mpp(T)} = 0,8061 \times \Delta V_{OC(T)} \dots \dots \dots (11)$$

Habiendo calculado las tensiones que los paneles alcanzaran en el punto de máxima potencia, se utilizara la ecuación siguiente para ejecutar los cálculos:

$$\Delta V_{mpp(X)} = \Delta V_{mpp(25^{\circ}C)} \times \Delta T \times \Delta V_{mpp(T)} \dots \dots \dots (12)$$

Posteriormente, multiplicando el parámetro de tensión máxima de potencia por la cantidad de paneles fotovoltaicos en serie, obtendremos el rango de tensiones máximas y mínimas que deberá soportar el inversor, este cálculo se obtiene a través de la fórmula 13:

$$V_{mpp(X)} = V_{mpp(x)} \times Ns \dots \dots \dots (13)$$

3.9.10.4. Dimensionamiento del cableado

Para la instalación del sistema fotovoltaico, se requieren diferentes tipos de conductores en el recorrido de la instalación y las características en cada punto de conexión son distintas debido a la corriente que circula por la instalación.

En el presente proyecto, se utilizará cable multipolar y los recorridos donde se calculará la sección del conductor es:

- Tramo 1: Conexión de los paneles fotovoltaicos a la caja de protección CC.
- Tramo 2: Desde la caja de protección CC hasta el inversor.
- Tramo 3: Desde el inversor hasta la caja de protección CA.
- Tramo 4: Caja de protección CA hasta el tablero general de carga.

Según el Código Nacional de Electricidad Utilización (2006) sección 50, señala que los conductores de los alimentadores deben ser dimensionados para que la caída de tensión no sea mayor de 2,5%.

Para el recorrido de corriente continua, la sección del conductor se calculará con la ecuación 14:

$$S = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{k \times \Delta V} \dots \dots \dots (14)$$

Donde:

S : Viene a ser la sección del conductor (mm^2)

L : Viene a ser la longitud del conductor (m)

I_{cc} : Viene a ser la corriente máxima que pasa por los conductores, esta corriente viene
Viene a ser la de cortocircuito de los paneles (A).

ΔV : Viene a ser la máxima caída de tensión (V), que podrían tener los conductores.

k : Conductividad del elemento del conductor, este valor se asignará de acuerdo a la tabla 10

Tabla 5

Coefficiente de conductividad del cobre en función a la temperatura

Temperatura	Coefficiente de conductividad del cobre (K) ($m/\Omega \times mm^2$)
20 °C	56
30 °C	54
40 °C	52
50 °C	50
60 °C	48
70 °C	48
80 °C	45
90 °C	44

Nota. Adaptado de (Aguirre, 2019)

Para el recorrido de corriente alterna, este tramo esta desde el inversor hasta el tablero general del sistema de despulpado, el cálculo de sección del conductor, se realizará utilizando la ecuación 15:

$$S = \frac{2 \times L \times P}{k \times \Delta V \times V} \dots \dots \dots (15)$$

Donde:

S : Viene a ser la sección del conductor (mm^2).

L : Viene a ser la longitud del conductor (m).

P : Viene a ser la potencia máxima permitida del conductor (W).

ΔV : Viene a ser la máxima caída de tensión (V), que podrían tener los conductores. Para el código nacional de electricidad, la máxima caída de tensión en conductores de corriente alterna es de 2,5%.

k : Conductividad del elemento del conductor, este valor se asignará de acuerdo a la tabla 10.

V : Viene a ser la tensión de la red eléctrica convencional, esta viene a ser 220V.

3.9.10.5. Selección del tipo de cable

AENOR (2002) en su Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión en la norma ITC-19 indica que el montaje de conductores deberá realizarse a través de tubos empotrados o al aire libre, esta distribución debe realizarse buscando el mínimo tendido de conductores, de esta manera se evitar reducir el costo y pérdidas energéticas.

3.9.10.6. Puesta a tierra del sistema fotovoltaico conectado a red

Una puesta a tierra es un sistema de protección en un sistema eléctrico, ya que protege la instalación y también a quienes operan el sistema.

Para, el MINEM - DGE (2006) en el Código Nacional de Electricidad – Utilización en la sección 060 indica, que la puesta a tierra debe ser construidos para que cumplan los siguientes propósitos:

- Cuidar y proteger la vida e integridad física del ser humano de los efectos que puede ocasionar una descarga eléctrica, y evitar daños a la propiedad, enlazando las partes metálicas normalmente no energizadas de las instalaciones, equipos, artefactos, etc.;
- Limitar las tensiones en circuitos cuando estos queden expuestos a tensiones superiores a las que han sido diseñados;
- En general, limitar la tensión de fase a tierra a 250V, o menos, en aquellos circuitos de corriente alterna que alimentan a sistemas de alambrado interior;

- Limitar las sobretensiones debidas a descargas atmosféricas en aquellos circuitos que están expuestos a estos fenómenos;
- Facilitar la operación de equipos y sistemas eléctricos.

3.9.10.7. Protecciones

Las protecciones eléctricas son dispositivos importantes en una instalación y tienen como principal objetivo, interrumpir el flujo de corriente ante fallas para evitar daños, incendios y proteger la vida humana. Las protecciones son importantes también en sistemas fotovoltaicos, los cuales también facilitaran la conexión y desconexión del sistema para realizar su mantenimiento.

Para las protecciones, al igual que los conductores, se realiza un cálculo por tramos, tanto para las protecciones de corriente continua como alterna, la relación entre los dispositivos de protección se muestra con la ecuación 16:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \dots \dots \dots (16)$$

Donde:

I_B : Es la corriente que circula por el conductor.

I_n : Es la corriente nominal de activación del dispositivo de protección.

I_Z : Es la corriente máxima admisible del conductor.

- **Protecciones de corriente continua**

La protección de corriente continua es muy importante para equipos sensibles como paneles solares o baterías, estas protecciones de corriente continua, a diferencia de las de alterna, la corriente continua debe ser disminuida hasta anularse, ya que, si no se logra anular, daría lugar a elevadas sobretensiones.

- **Protección de corriente alterna**

Para la selección del sistema de protección en corriente alterna, se realizará tomando los mismos criterios que se utilizaron en la protección de corriente continua. Las protecciones de corriente forman parte desde el inversor hasta el tablero general protegiendo de esta manera a todos los componentes del sistema que funcionen con corriente alterna. Estos dispositivos de protección estarán ubicados en la caja de protección de corriente alterna la cual estará ubicado cerca del tablero general.

3.9.10.8. Topología del sistema fotovoltaico conectado a red

En esta parte del proyecto se mostrará la topología del sistema fotovoltaico conectado a red habiendo realizado el dimensionamiento de todos los elementos que forman parte del sistema fotovoltaico.

3.9.10.9. Energía generada por el sistema fotovoltaico conectado a red

Aguirre (2019) Refiere que para determinar si una instalación fotovoltaica conectada a red es rentable se tiene que calcular la producción del sistema en un año, para ello, en función a la radiación, se debe calcular la producción mensual, la potencia instalada y el rendimiento de la instalación. Para desarrollar el cálculo se utiliza la fórmula 17:

$$Ep = \frac{G_{dm}(\beta) \times P_{GFV} \times PR}{G_{CEN}} \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

Ep : Es la cantidad de energía producida diaria (kWh).

P_{GFV} : Es la potencia pico que puede entregar el generador o paneles fotovoltaicos (kW).

$G_{dm}(\beta)$: Es la radiación diaria sobre la superficie del generador ($kWh/m^2 - día$).

G_{CEN} : Es la radiación en condiciones estándares ($1kW/m^2$).

PR : Es la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo

3.9.11. Evaluación económica de la implementación de la máquina despulpadora de café

En el presente proyecto se realizará el análisis económico y financiero, permitiéndonos conocer si el proyecto propuesto para la finca El Guarapo es viable económicamente, obteniendo valores para evaluar su implementación. Estos valores serán el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y periodo de retorno (PR).

3.9.12. Presupuesto de la máquina despulpadora

En esta parte del proyecto se debe mostrar una tabla con el presupuesto de la implementación de una máquina despulpadora suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red.

3.9.13. Análisis de rentabilidad

Se debe tener en cuenta el comportamiento de los ingresos y egresos de dinero para obtener el flujo neto total, determinando si es conveniente en términos monetarios la implementación del proyecto, de debe calcular el VAN y el TIR.

IV. RESULTADOS

4.1. Cálculo y diseño de los elementos de la despulpadora de café.

En esta parte del proyecto se desarrollan los cálculos para poder diseñar y dimensionar las partes de la máquina despulpadora de café, seleccionándose el material a utilizar.

Requerimientos iniciales:

Capacidad de la tolva: 30 *kg*

Capacidad de procesamiento: 300 *kg/h*

4.1.1. Parámetros del café

Para el diseño de una despulpadora es de vital importancia conocer las propiedades físicas de un grano de café cerezo, dimensiones como ancho, alto y profundidad, así como también la fuerza necesaria para desprender la pulpa de un grano de café.

Datos finales:

$$D_C = 14,1 \text{ mm}$$

$$F_t = 10,48 \text{ N}$$

$$m = 1,72 \text{ g}$$

Donde:

D_C : Es el diámetro característico

F_t : Fuerza de tracción o desprendimiento

m : Masa de un grano de café en cerezo

4.1.2. Diseño de la tolva

El diseño de la tolva se realizará para una capacidad de 30 *kg*. La tolva debe ser rectangular en su base y pueda acoplarse a las dimensiones del tambor.

El volumen que ocupa los granos en cereza de café se calcula con la fórmula 22.

El total de masa que ingresa a la tolva es de 30 kg, para el dimensionamiento de los componentes de la máquina se adoptó una densidad de diseño del grano de café de 965 kg/m^3 .

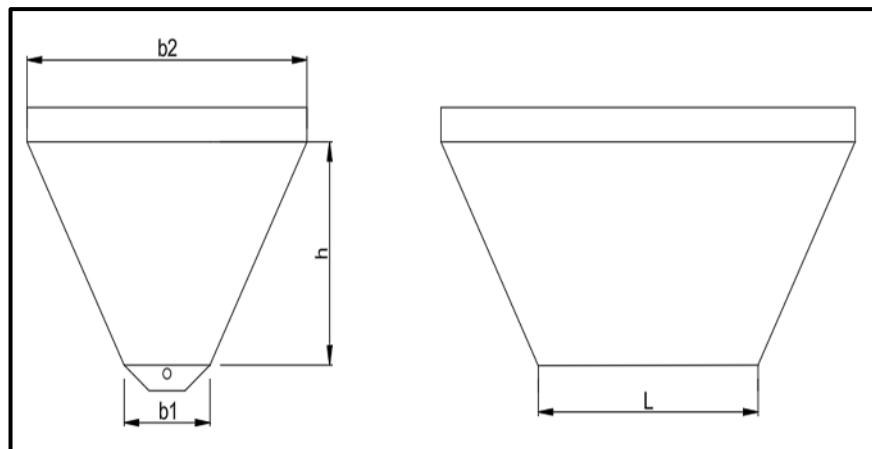
$$v = \frac{m}{\rho} \dots \dots \dots (22)$$

$$v = \frac{30 \text{ kg}}{965 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,03108 \text{ m}^3$$

Las dimensiones de la tolva se calculan a continuación:

Figura 15

Vista lateral y frontal de la tolva



Nota. Elaboración propia. La figura muestra la vista lateral y frontal de la tolva.

Siendo b1 la base inferior, b2 la base superior, h es la altura y L es la longitud. Para nuestro diseño de la tolva se tiene como parámetros de entrada “b1” y “L”. Para poder calcular el volumen requerido se tiene que variar el Angulo de inclinación entre b1 y b2 y variando la longitud de la base superior, para un buen flujo de los granos de café cerezo se considera un aproximado de 60° de inclinación.

Para obtener el volumen de la tolva se utiliza la fórmula 23:

$$v = \frac{h}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B \times A_b}) \dots\dots\dots (23)$$

Donde:

v : Volumen

h : Altura

A_B : Area de la base inferior

A_b : Area de la base superior

b_1 : 0,12 m

L : 0,3m

Utilizando la ecuación anterior y con los datos mencionados, se realizará las interacciones para encontrar las dimensiones faltantes de la tolva.

La altura se obtiene mediante trigonometría con la fórmula 24:

$$h = \frac{(b_2 - b_1)}{2} \tan (\theta) \dots\dots\dots (24)$$

$$h = \frac{(0,3 - 0,12)}{2} \tan (60^\circ)$$

$$h = 0,1558 \text{ m}$$

para encontrar las áreas se utiliza la fórmula 25:

Base inferior:

$$A_B = b_1 \times l \dots\dots\dots (25)$$

$$A_B = 0,12 \times 0,3$$

$$A_B = 0,036 \text{ m}^2$$

Base superior:

$$A_b = b_2 \times l$$

$$A_b = 0,3 \times 0,3$$

$$A_b = 0,09 \text{ m}^2$$

Teniendo los datos se reemplaza en la fórmula de volumen 23:

$$v = \frac{h}{3} (A_B + A_b + \sqrt{A_B \times A_b})$$

$$v = \frac{0,1558}{3} (0,036 + 0,09 + \sqrt{0,036 \times 0,09})$$

$$v = 0,00949 \text{ m}^3$$

De esta manera se sigue realizando las interacciones obteniendo la tabla 6:

Tabla 6

Interacciones de la tolva.

Interacción	b1 (m)	b2 (m)	l (m)	θ (°)	h (m)	V. calculado (m^3)	V. requerido (m^3)
1	0,12	0,30	0,3	60	0,1558	0,00949	0,03108
2	0,12	0,35	0,3	60	0,1991	0,01343	0,03108
3	0,12	0,40	0,3	60	0,2424	0,01791	0,03108
4	0,12	0,30	0,3	65	0,1930	0,01176	0,03108
5	0,12	0,35	0,3	65	0,2466	0,01664	0,03108
6	0,12	0,40	0,3	65	0,3002	0,02218	0,03108
7	0,12	0,30	0,3	70	0,2472	0,01507	0,03108
8	0,12	0,35	0,3	70	0,3159	0,02132	0,03108
9	0,12	0,40	0,3	70	0,3846	0,02842	0,03108
10	0,12	0,30	0,3	75	0,3358	0,02047	0,03108
11	0,12	0,35	0,3	75	0,4291	0,02896	0,03108
12	0,12	0,40	0,3	75	0,5224	0,03861	0,03108

Nota. Elaboración propia

En la tabla 6, se aprecia el resultado de las interacciones para determinar las dimensiones de la tolva considerando los valores de b_1 y l como constantes. En la interacción doceava se alcanzó el valor de volumen mínimo requerido teniendo como resultado los valores finales de la tolva siendo los siguientes:

$$b_1 = 0,12 \text{ m}$$

$$b_2 = 0,4 \text{ m}$$

$$l = 0,3 \text{ m}$$

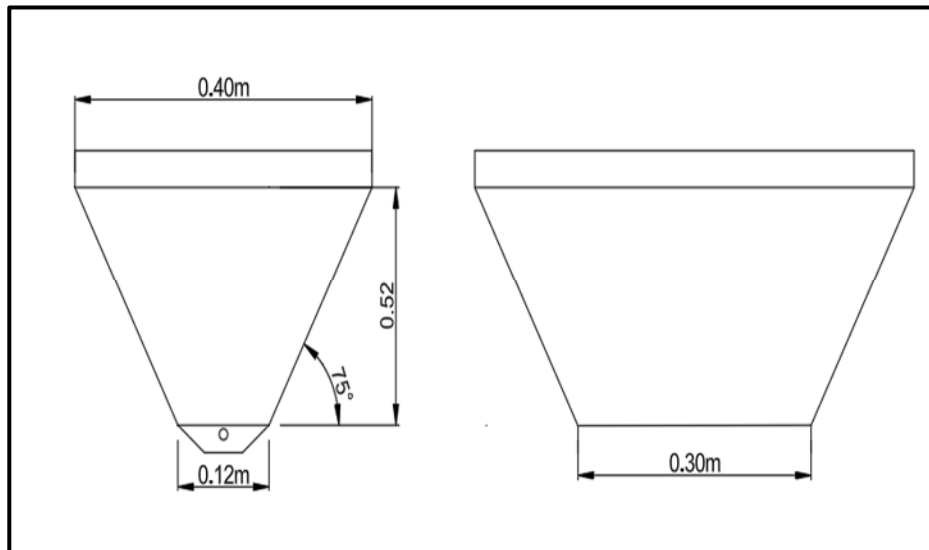
$$\theta = 75^\circ$$

$$h = 0,52 \text{ m}$$

las dimensiones de la tolva se muestran a continuación en la figura 16:

Figura 16

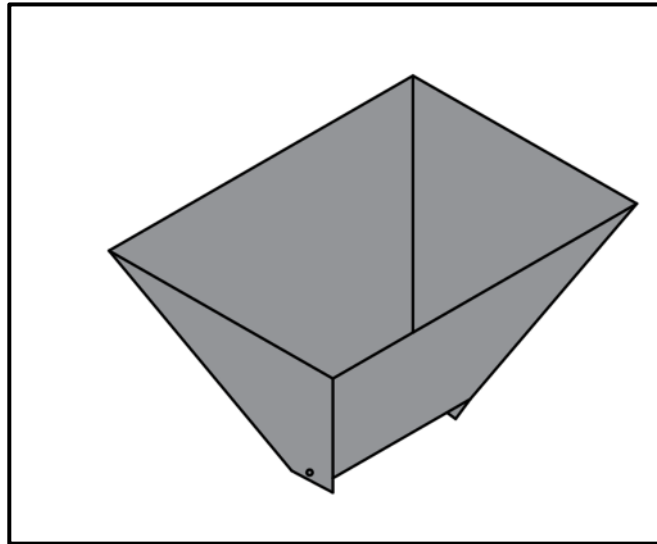
Dimensiones de la tolva



Nota. Elaboración propia. La figura muestra las dimensiones de la tolva.

Figura 17

Gráfico de la tolva



Nota. Elaboración propia. La figura muestra el grafico de la tolva en 3D.

4.1.3. Cálculo del tambor o cilindro

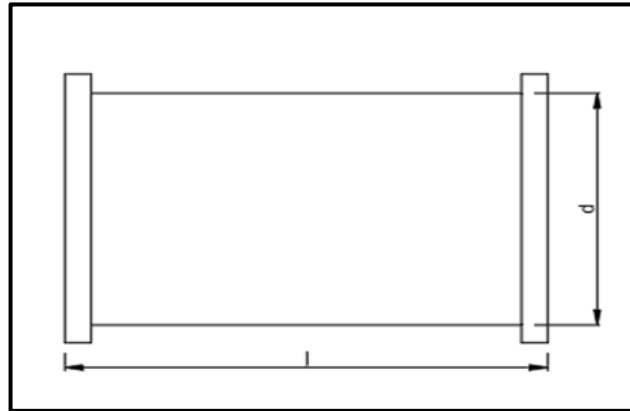
Como referencia se ha obtenido los diámetros de tambor de diferentes fabricantes. La longitud del tambor afecta en la capacidad de la máquina, pero el diámetro no afecta la capacidad, pero si está relacionada con las dimensiones del pechero y con la calidad de despulpado.

Para determinar que cilindro produce mayor porcentaje de café despulpado, se tendría que realizar experimentos físicos con diferentes diámetros, por lo tanto, se opta por utilizar diámetros comerciales.

En la figura 18 se muestra la forma de un tambor donde “D” es el diámetro y se está considerando también el espesor de la camisa de acople y “l” es la longitud.

Figura 18

Fuerza de desprendimiento de la pulpa de café



Nota. Elaboración propia. La figura muestra la forma de un tambor.

De acuerdo a la figura 19, para una capacidad de 300 kg/h , se recomienda un tambor de diámetro $7,5 \text{ pulgadas} = 190,5 \text{ mm}$.

Figura 19

Principales características de una despulpadora comercial

Modelo ESTRELLA	N° 2	N° 2 ½	N° 2 ¾	N° 3	N° 3 ½	N° 4 ½	N° 5	N° 5 ¾
Capacidad en Kg/h	200	300	400	450	600 700	900	1.200	1.800
Potencia requerida	1/3 HP	½ HP	½ HP	¾ HP	¾ HP	1 HP	1 HP	1½ HP
Cantidad de Chorros	2	2	2 3	3	2 3	3	2	3
Diámetro Volante	17"	17"	17"	17"	17"	17"	24"	24"
Diámetro Cilindro	6.3"	7.5"	8.5" 6.3"	7.5"	10" 8.5"	10"	14"	14"
Polea del motor	2"	2"	2"	2"	2"	2"	2.5"	2.5"

Nota. La figura muestra valores estandarizados de acuerdo a la capacidad de una despulpadora.

Tomado de (Tapuy, 2023)

Con la capacidad de la máquina, podemos calcular la velocidad de rotación de la siguiente manera:

$$C_m = \frac{300 \text{ kg}}{h} \times \frac{1h}{60 \text{ min}} \times \frac{1 \text{ cereza}}{0,00172 \text{ kg}} = 2907 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}$$

Sabiendo que la longitud del cilindro debe ser igual o menor que la longitud de la base inferior de la tolva, se procede a calcular el número de granos de café en cereza que ingresan de manera simultánea al cilindro de 0,30m de longitud. El cálculo se realiza mediante la ecuación 26:

$$N_c = \frac{l}{D_c} \dots \dots \dots (26)$$

Donde:

N_c : Es el número de cerezas que caben en la longitud del tambor.

l : Es la longitud del tambor.

D_c : Diámetro característico de una cereza de café.

$$N_c = \frac{300mm}{14,1mm}$$

$$N_c = 21,27 \approx 21 \text{ Cerezas}$$

La velocidad angular del cilindro se calcula a continuación con la ecuación 27:

$$n = \frac{C_m}{N_c} \dots \dots \dots (27)$$

$$n = \frac{2907 \frac{\text{cerezas}}{\text{min}}}{21 \text{ cerezas}}$$

$$n = 138,42 \text{ RPM}$$

El tambor debe girar al menos a 138,42 RPM. Se toma el valor de 200 RPM.

Para que el tambor se acople se utilizara una cubierta de cobre con muescas con un calibre entre 0,6 y 0,7 mm.

4.1.4. Cálculo de la potencia de despulpado.

Para el cálculo de la potencia de despulpado se tiene que la fuerza de desprendimiento total de la pulpa es:

$$F_T = F_t * N_C \dots \dots \dots (28)$$

Donde:

F_T : Fuerza total de desprendimiento

F_t : Fuerza de desprendimiento

N_C : Numero de cerezas que ingresan en el tambor

$$F_T = F_t * N_C$$

$$F_T = 10,48N * 21$$

$$F_T = 220,08N$$

$$F_T = 22,44 \text{ kgf}$$

La velocidad tangencial se define por:

$$v = \frac{\pi * n * D}{1000} \dots \dots \dots (29)$$

Donde:

v : Velocidad tangencial.

n : Velocidad angular en RPM

D : Diámetro del tambor

La velocidad lineal del tambor se obtiene desarrollando la ecuación 29:

$$v = \frac{\pi * 200 \text{ RPM} * 190.5 \text{ mm}}{1000}$$

$$v = 119,69 \frac{m}{min}$$

La potencia está definida por:

$$N = \frac{F_T * v}{60 * 102} \dots \dots \dots (30)$$

Donde:

N : Potencia para despulpar.

F_T : Fuerza total de despulpado.

v : Velocidad tangencial del motor.

Resolviendo la ecuación 30 se tiene que:

$$N = \frac{22,44 \text{ kgf} * 119,53 \frac{m}{min}}{60 * 102}$$

$$N = 0,312 \text{ kW}$$

$$N = 0,4382 \text{ HP}$$

Para el presente proyecto se selecciona un motor de 0,5 HP a 1800 rpm.

4.1.5. Cálculo de las poleas y banda.

Existen cuatro tipos de bandas: redonda, plana, tipo V y de sincronización. La banda plana tiene una eficiencia de 98% que es más o menos igual a la de una transmisión por engranaje. en cambio, la banda tipo V un 70%. Las bandas se pueden utilizar para centros grandes entre centros, una banda plana produce poco ruido y absorbe más vibración torsional del sistema a comparación con la banda V o los engranajes. (Keith & Gordon, 2012)

Se procede a seleccionar la polea considerando la velocidad de rotación de tambor:

$$v = 119,69 \frac{m}{min}$$

$$v = 392,68 \frac{pie}{min}$$

En la siguiente figura 20 se muestran las características para velocidades menores a $600 \frac{pie}{min}$.

Donde se recomienda utilizar una polea de 3 pulg.

Figura 20

Propiedades de materiales para bandas.

Material	Especificación	Tamaño, pulg	Diámetro mínimo de la polea, pulg	Tensión permisible por ancho unitario a 600 pies/min, lbf/pulg	Peso específico, lbf/pulg ³	Coefficiente de fricción
Cuero	1 capa	$t = \frac{11}{64}$	3	30	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{13}{64}$	$3\frac{1}{2}$	33	0.035-0.045	0.4
	2 capas	$t = \frac{18}{64}$	$4\frac{1}{2}$	41	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{20}{64}$	6 ^a	50	0.035-0.045	0.4
		$t = \frac{23}{64}$	9 ^a	60	0.035-0.045	0.4
Poliamida ^b	F-0 ^c	$t = 0.03$	0.60	10	0.035	0.5
	F-1 ^c	$t = 0.05$	1.0	35	0.035	0.5
	F-2 ^c	$t = 0.07$	2.4	60	0.051	0.5
	A-2 ^c	$t = 0.11$	2.4	60	0.037	0.8
	A-3 ^c	$t = 0.13$	4.3	100	0.042	0.8
	A-4 ^c	$t = 0.20$	9.5	175	0.039	0.8
	A-5 ^c	$t = 0.25$	13.5	275	0.039	0.8
Uretano ^d	$w = 0.50$	$t = 0.062$	Vea la tabla 17-3	5.2 ^e	0.038-0.045	0.7
	$w = 0.75$	$t = 0.078$		9.8 ^e	0.038-0.045	0.7
	$w = 1.25$	$t = 0.090$		18.9 ^e	0.038-0.045	0.7
	Redonda	$d = \frac{1}{4}$	Vea la tabla 17-3	8.3 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		18.6 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{1}{2}$		33.0 ^e	0.038-0.045	0.7
		$d = \frac{3}{4}$		74.3 ^e	0.038-0.045	0.7

Nota. Se muestran valores para bandas planas y redondas. Tomado de (Keith & Gordon, 2012)

En la figura 19 se recomienda utilizar una polea de 2 *pulg*. Por lo que se opta por ese valor

En la figura 21 se muestra el factor de servicio que va desde 1,0 hasta 1,2 para una máquina de impacto uniforme y de par de torsión normal.

Figura 21

Factores de servicio sugeridos para bandas.

Maquinaria impulsada	Fuente de potencia	
	Características del par de torsión normal	Par de torsión alto o no uniforme
Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Impacto ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Impacto medio	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Impacto pesado	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Nota. La figura muestra valores para bandas planas y en V. Tomado de (Keith & Gordon, 2012)

El cálculo de la relación de transmisión se utiliza la ecuación siguiente:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2} \dots \dots \dots (31)$$

Donde:

i : Relación de transmisión

n_1 : Velocidad de rotación de la polea motriz

n_2 : Velocidad de rotación de la polea conducida

D_1 : Diámetro de la polea motriz

D_2 : Diámetro de la polea conducida

Reemplazando en la fórmula 31 se tiene que:

$$i = \frac{1800 \text{ rpm}}{200 \text{ rpm}}$$

$$i = 9$$

Este resultado de la relación de transmisión nos indica que la velocidad se reduce 9 veces. Con la ecuación 32 se procede a calcular el diámetro de la polea conducida.

$$D_2 = \frac{D_1 * n_1}{n_2} \dots \dots \dots (32)$$

$$D_2 = \frac{2 \text{ pulg} * 1800 \text{ rpm}}{200 \text{ rpm}}$$

$$D_2 = 18 \text{ pulg}, \quad D_2 = 457,2 \text{ mm}$$

La distancia entre centros debe ser ubicada dentro de un intervalo, también se debe considerar la aplicación y el espacio disponible, el aumento de la distancia entre centros también debe ser considerado para el tensado inicial. El ángulo de contacto de la banda debe ser mayor a 120°. (Mott, 2006)

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1) \dots \dots \dots (33)$$

Donde:

D_1 : Diámetro de la polea menor

D_2 : Diámetro de la polea mayor

C : Distancia entre centros

Resolviendo la ecuación 33 se tiene:

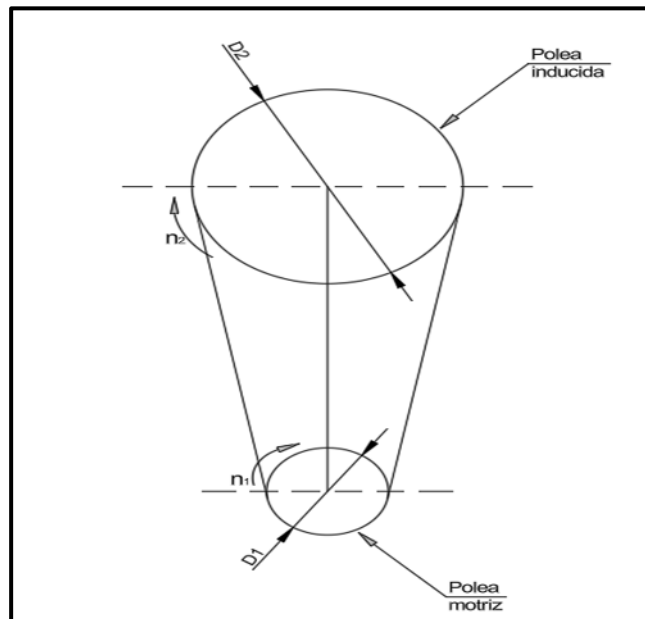
$$18 \text{ pulg} < C < 3(18 \text{ pulg} + 2 \text{ pulg})$$

$$18 \text{ pulg} < C < 60 \text{ pulg}$$

Se toma el valor de $C = 30 \text{ pulg} = 760 \text{ mm}$, con la finalidad de colocar la polea conducida y la polea motriz en posición vertical.

Figura 22

Sistema de poleas y banda.



Nota. Elaboración propia, la figura muestra los datos para las ecuaciones siguientes.

Teniendo los diámetros y la distancia entre centros se puede calcular los ángulos de contacto con la ecuación 34 y 35:

$$\theta_{D1} = \theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right) \dots \dots \dots (34)$$

$$\theta_{D2} = \theta_D = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right) \dots \dots \dots (35)$$

Donde:

D : Diámetro de polea mayor

d : Diámetro de polea menor

C : Distancia entre centros de las poleas

θ : Ángulo de contacto

Desarrollando la fórmula para el ángulo de contacto de la polea menor se tiene:

$$\theta_{D1} = \theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right)$$

$$\theta_d = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{18 \text{ pulg} - 2 \text{ pulg}}{2 * 30}\right)$$

$$\theta_d = 2,6017 \text{ rad.}$$

Convirtiéndolo a grados se tiene:

$$\theta_d = 2,6017 \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

$$\theta_d = 149,06^\circ.$$

Desarrollando la fórmula para el ángulo de contacto de la polea mayor se tiene:

$$\theta_D = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D-d}{2C}\right)$$

$$\theta_D = \pi + 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{18-2}{2*30}\right)$$

$$\theta_D = 3,6814 \text{ rad.}$$

Convirtiéndolo a grados se tiene:

$$\theta_D = 3,6814 \left(\frac{180}{\pi}\right)$$

$$\theta_D = 210,92^\circ$$

Para la longitud de la banda se calcula con la ecuación 36:

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{1/2} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d) \dots\dots\dots (36)$$

Resolviendo la ecuación 36 se tiene:

$$L = [4C^2 - (D - d)^2]^{0.5} + \frac{1}{2}(D\theta_D + d\theta_d)$$

$$L = [4(30 \text{ pulg})^2 - (18 \text{ pulg} - 2 \text{ pulg})^2]^{0.5} + \frac{1}{2}(18 \text{ pulg} * 3,68 \text{ rad} + 2 \text{ pulg} * 2,6 \text{ rad})$$

$$L = 93,54 \text{ pulg.}$$

4.1.6. Cálculo de los engranajes.

La función de los engranajes es transmitir el movimiento del eje principal hasta el eje cuadrado. Tomando el diámetro característico de una cereza, el diámetro del eje debe ser mayor a 14,1 *mm* y según las dimensiones de la base inferior de la tolva debe ser menor a 120 *mm*. Para el presente proyecto se toma el valor de 25,4*mm* o 1 *pulg* como diámetro normalizado.

Para calcular los engranajes, se realiza sabiendo que la distancia entre los centros debe ser mayor que el radio del tambor sumando el radio del eje cuadrado para evitar de esta manera alguna interferencia.

$$C_E > R_e + R_t + D_C \dots\dots\dots (37)$$

Donde:

C_E : Distancia entre centro de los engranajes

R_e : Radio del eje cuadrado

R_t : Radio del tambor

D_C : Diámetro característico

Resolviendo la ecuación 37 se tiene:

$$C_E > 12,7 + 95,25 + 14,1$$

$$C_E > 122,05 \text{ mm}$$

$$C_E > 4,80 \text{ pulg}$$

También es necesario conocer la velocidad de rotación del eje cuadrado. Se recomienda una velocidad entre 60 y 80 *rpm* para el desplazamiento de las cerezas por lo que se escoge una velocidad de 70 *rpm*.

La relación de velocidades se calcula con la ecuación 38:

$$V_R = \frac{n_P}{n_G} \dots\dots\dots (38)$$

Donde:

V_R : Relación de velocidades en engranajes

n_P : Velocidad de rotación de piñón

n_G : Velocidad de rotación del engranaje

Resolviendo la ecuación 38 se tiene:

$$V_R = \frac{200 \text{ rpm}}{70 \text{ rpm}}$$

$$V_R = 2.8571$$

Con respecto al número de dientes del piñón, en principio se recomienda entre 17 y 20 (Mott, 2006). Para el presente caso se selecciona 17 dientes.

Para calcular el número de dientes del engranaje se utiliza la ecuación 39:

$$N_G = N_P * V_R \dots \dots \dots (39)$$

Donde:

N_G : Número de dientes del engranaje.

N_P : Número de dientes del piñón.

V_R : Relación de velocidad del engranaje.

Resolviendo la ecuación 35 se tiene:

$$N_G = N_P * V_R$$

$$N_G = 17 \text{ dientes} * 2,85$$

$$N_G = 48,45 \text{ dientes} \approx 49 \text{ dientes}$$

La relación de velocidad real es:

$$V_R = \frac{49 \text{ dientes}}{17 \text{ dientes}}$$

$$V_R = 2,88$$

La velocidad real de salida es:

$$V_G = n_P * \frac{N_P}{N_G}$$

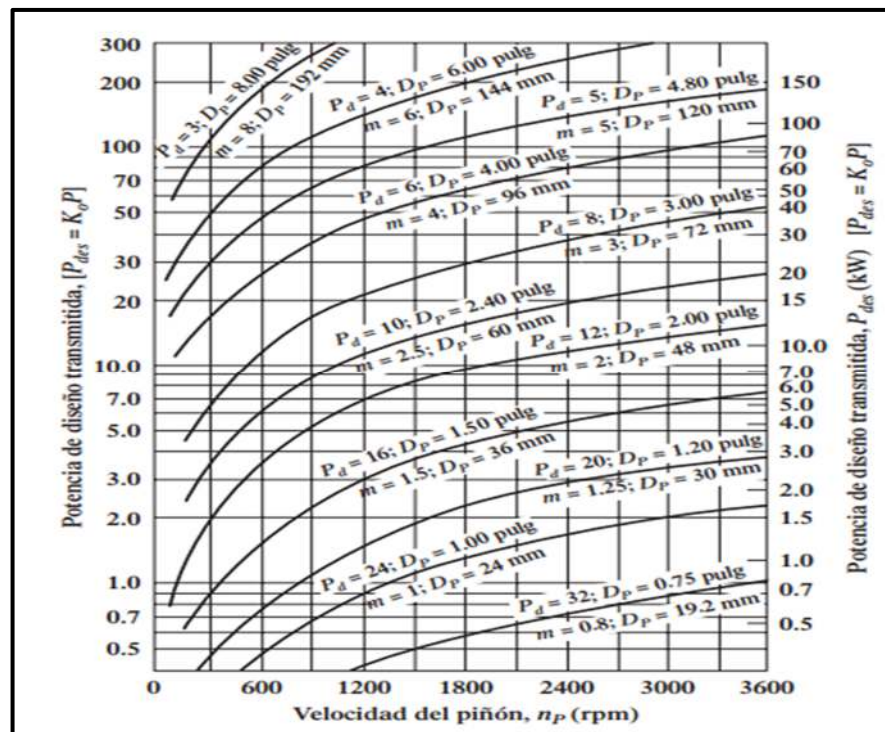
$$n_G = 200 \text{ rpm} * \frac{17 \text{ dientes}}{49 \text{ dientes}}$$

$$n_G = 69,38 \text{ rpm}$$

Para la selección del paso diametral se realiza de acuerdo a la figura 23. Para 0,5 Hp y 200 rpm el paso diametral es de 16.

Figura 23

Pasos y diámetros para engranajes.



Nota. Datos para ángulo de presión a 20°. Tomado de (Mott, 2006).

Para la distancia entre centros está definida por la ecuación 40:

$$C = \frac{(N_P + N_G)}{2P_d} \dots \dots \dots (40)$$

Donde:

C : Distancia entre centros en engranajes

N_G : Número de dientes del engranaje

N_P : Número de dientes del piñón

P_d : Paso diametral

$$C = \frac{17 \text{ dientes} + 49 \text{ dientes}}{2(16 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}})}$$

$$C = 2,0625 \text{ pulg.}$$

Sin embargo, para obtener una distancia mayor a 4,80 pulg, entre los centros, se debe modificar el paso diametral.

$$P_d = \frac{(N_P + N_G)}{2C}$$

$$P_d = \frac{(17 \text{ dientes} + 49 \text{ dientes})}{2 * 4,8 \text{ pulg}}$$

$$P_d = 6,87 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}$$

$$P_d = 6 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}$$

Se obtiene que $P_D = 6$ como valor estándar.

La distancia entre centros real es:

$$C = \frac{17 \text{ dientes} + 49 \text{ dientes}}{2(6 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}})}$$

$$C = 5,5 \text{ pulg.}$$

El cálculo de la distancia entre centros cumple con la condición requerida.

El diámetro del paso del piñón y del engranaje se calcula con las dos ecuaciones 41 y 42:

$$D_P = \frac{N_P}{P_d} \dots\dots\dots (41)$$

$$D_G = \frac{N_G}{P_d} \dots\dots\dots (42)$$

Diámetro de paso en el piñón:

$$D_p = \frac{N_p}{P_d}$$

$$D_p = \frac{17}{6}$$

$$D_p = 2,83 \text{ pulg}, \quad D_p = 71,882 \text{ mm}$$

Teniendo el número de dientes y el diámetro del paso del piñón, se calcula sus dimensiones.

A. Radio del diámetro de paso del piñón.

Para calcular el radio de paso se utiliza la siguiente ecuación:

$$r = \frac{D_p}{2} \dots\dots\dots (43)$$

Donde:

D_p : Es el diámetro de paso.

Resolviendo:

$$r = \frac{71,882}{2}$$

$$r = 35,941 \text{ mm}$$

B. El módulo.

El módulo esta dado por:

$$m = \frac{D_p}{N_p} \dots\dots\dots (44)$$

Donde:

m : Módulo.

D_p : Es el diámetro de paso.

N_p : Número de dientes.

Resolviendo:

$$m = \frac{71,882}{17}$$

$$m = 4,228353mm$$

C. Paso circular.

La distancia entre dos dientes medida sobre el círculo de paso:

$$p = \pi * m.....(45)$$

Donde:

p : Paso circular.

m : Módulo.

Resolviendo:

$$p = \pi * 4,2283$$

$$p = 13,2835mm$$

D. Espesor del diente.

$$s = \frac{p}{2}.....(46)$$

Donde:

p : Paso circular.

s : Espesor del diente.

Resolviendo:

$$s = \frac{13,2835}{2}$$

$$s = 6,6417mm$$

E. Diámetro exterior.

$$D_e = D_p + 2(m) \dots \dots \dots (47)$$

Donde:

D_e : Diámetro exterior.

D_p : Es el diámetro de paso.

m : Módulo.

Resolviendo:

$$D_e = 71,882 + 2(4,228353)$$

$$D_e = 80,338706mm$$

F. Radio del diámetro exterior.

$$r_a = \frac{D_e}{2} \dots \dots \dots (48)$$

Donde:

r_a : Radio Exterior.

D_e : Diámetro exterior.

Resolviendo:

$$r_a = \frac{80,338706}{2}$$

$$r_a = 40,169353mm$$

G. Altura de cabeza de diente.

$$h_a = m$$

Donde:

h_a : Altura de cabeza de diente.

m : Módulo.

Resolviendo:

$$h_a = 4,228353mm$$

Siendo esta distancia desde el circulo de paso hasta el circulo exterior.

H. Altura de pie del diente.

$$h_f = 1,25 * (m).....(49)$$

Donde:

h_f : Altura de pie del diente.

m : Módulo.

Resolviendo:

$$h_f = 1,25 * (4,228353mm)$$

$$h_f = 5,285441mm$$

Siendo esta la distancia desde el circulo de paso hasta el circulo de raíz.

I. Altura total del diente.

$$h = h_a + h_f.....(50)$$

Donde:

h : Altura total del diente.

h_a : Altura de cabeza de diente.

h_f : Altura de pie del diente.

Resolviendo:

$$h = 4,228353 + 5,285441$$

$$h = 9,513794mm$$

J. Diámetro de raíz.

$$d_f = D_p - 2h_f \dots\dots\dots (51)$$

Donde:

d_f : Diámetro de Raíz.

D_p : Es el diámetro de paso.

h_f : Altura de pie del diente.

Resolviendo:

$$d_f = D_p - 2(1,25 * m)$$

$$d_f = 71,882 - 2,5(4,228353)$$

$$d_f = 61,311118mm$$

K. Radio de raíz.

$$r_f = \frac{d_f}{2} \dots\dots\dots (52)$$

Donde:

r_f : Radio de Raíz.

d_f : Diámetro de Raíz.

Resolviendo:

$$r_f = \frac{61,311118}{2}$$

$$r_f = 30,655559mm$$

L. Diámetro de base.

Teniendo un ángulo de presión de 20° , se procede a calcular el diámetro base.

$$d_b = D_p * \cos\alpha \dots\dots\dots (53)$$

Donde:

d_b : Diámetro de base.

D_p : Es el diámetro de paso.

$\cos\alpha$: $\cos 20^\circ$.

Resolviendo:

$$d_b = 71,882 * \cos 20^\circ$$

$$d_b = 71,882 * 0,9396926$$

$$d_b = 67,546985mm$$

M. Radio base.

$$r_b = \frac{d_b}{2} \dots\dots\dots (54)$$

Donde:

r_b : Radio base.

d_b : Diámetro de base.

Resolviendo:

$$r_b = \frac{67,546985}{2}$$

$$r_b = 33,773492mm$$

N. Angulo entre dientes.

$$\theta = \frac{360^\circ}{N_p} \dots\dots\dots (55)$$

Donde:

θ : Angulo entre dientes

N_p : Número de dientes del piñón.

Resolviendo:

$$\theta = \frac{360^\circ}{17}$$

$$\theta = 21,17647^\circ$$

Esto indica que, cada diente y cada espacio ocupan aproximadamente $21,176471^\circ$

O. Espesor angular del diente.

$$\theta_d = \frac{180^\circ}{N_p} \dots\dots\dots (56)$$

Donde:

θ_d : Espesor angular del diente.

N_p : Número de dientes.

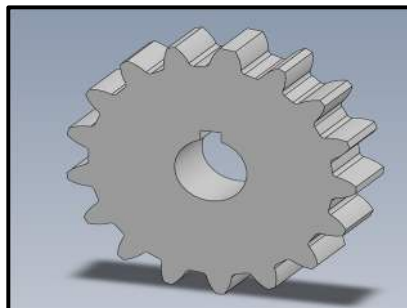
$$\theta_d = \frac{180^\circ}{17}$$

$$\theta_d = 10,588235^\circ$$

Espacio angular entre dientes es de $10,588235^\circ$

Figura 24

Engranaje recto (piñón).



Nota. elaboración propia, la imagen muestra el diseño del piñón con los cálculos obtenidos.

Diámetro de paso en el engranaje:

$$D_G = \frac{N_G}{P_d}$$

$$D_G = \frac{49}{6}$$

$$D_G = 8,16 \text{ pulg} \quad D_G = 207,264 \text{ mm}$$

Teniendo el número de dientes y el diámetro del paso del engranaje, se calcula sus dimensiones.

A. Radio del diámetro de paso del engranaje.

Para calcular el radio de paso se utiliza la ecuación 43:

$$r = \frac{D_P}{2}$$

Donde:

D_G : Es el diámetro de paso del engranaje.

Resolviendo:

$$r = \frac{207,264}{2}$$

$$r = 103,632 \text{ mm}$$

B. El módulo.

El módulo esta dado por la ecuación 44:

$$m = \frac{D_G}{N_G}$$

Donde:

m : Módulo.

D_G : Es el diámetro de paso del engranaje.

N_G : Número de dientes del engranaje.

Resolviendo:

$$m = \frac{207,264}{49}$$

$$m = 4,2298mm$$

C. Paso circular.

La distancia entre dos dientes medida sobre el círculo de paso está dada por la ecuación

45:

$$p = \pi * m$$

Donde:

p : Paso circular.

m : Módulo.

Resolviendo:

$$p = \pi * 4,2298$$

$$p = 13,2883mm$$

D. Espesor del diente.

El espesor del diente está dado por la ecuación 46:

$$s = \frac{p}{2}$$

Donde:

p : Paso circular.

s : Espesor del diente.

Resolviendo:

$$s = \frac{13,2883}{2}$$

$$s = 6,6441mm$$

E. Diámetro exterior.

El diámetro exterior esta dado por la ecuación 47:

$$D_e = D_G + 2(m)$$

Donde:

D_e : Diámetro exterior.

D_G : Es el diámetro de paso del engranaje.

m : Módulo.

Resolviendo:

$$D_e = 207,264 + 2(4,2298)$$

$$D_e = 215,72mm$$

F. Radio exterior.

El radio exterior esta dado por la ecuación 48:

$$r_a = \frac{D_e}{2}$$

Donde:

r_a : Radio Exterior.

D_e : Diámetro exterior.

Resolviendo:

$$r_a = \frac{215,72}{2}$$

$$r_a = 107,86mm$$

G. Altura de cabeza de diente.

$$h_a = m$$

Donde:

h_a : Altura de cabeza de diente.

m : Módulo.

Resolviendo:

$$h_a = 4,2298mm$$

Siendo esta distancia desde el círculo de paso hasta el círculo exterior.

H. Altura de pie del diente.

La altura de pie del diente esta dado por la ecuación 49:

$$h_f = 1,25 * (m)$$

Donde:

h_f : Altura de pie del diente.

m : Módulo.

Resolviendo:

$$h_f = 1,25 * (4,2298mm)$$

$$h_f = 5,2872mm$$

Siendo esta la distancia desde el círculo de paso hasta el círculo de raíz.

I. Altura total del diente.

La altura total del diente esta dado por la ecuación 50:

$$h = h_a + h_f$$

Donde:

h : Altura total del diente.

h_a : Altura de cabeza de diente.

h_f : Altura de pie del diente.

Resolviendo:

$$h = 4,2298 + 5,2872$$

$$h = 9,517mm$$

J. Diámetro de raíz.

El diámetro de raíz esta dado por la ecuación 51:

$$d_f = D_G - 2h_f$$

Donde:

d_f : Diámetro de Raíz.

D_G : Es el diámetro de paso del engranaje

h_f : Altura de pie del diente.

Resolviendo:

$$d_f = D_G - 2(1,25 * m)$$

$$d_f = 207,264 - 2,5(4,2298)$$

$$d_f = 196,6895mm$$

K. Radio de raíz.

El radio de raíz esta dado por la ecuación 52:

$$r_f = \frac{d_f}{2}$$

Donde:

r_f : Radio de Raiz.

d_f : Diámetro de Raiz.

Resolviendo:

$$r_f = \frac{196,6895}{2}$$

$$r_f = 98,3447mm$$

L. Diámetro de base.

El diámetro de la base esta dado por la ecuación 53:

Teniendo un ángulo de presión de 20° , se procede a calcular el diámetro base.

$$d_b = D_G * \cos\alpha$$

Donde:

d_b : Diámetro de base.

D_G : Es el diámetro de paso del engranaje.

$\cos\alpha$: $\cos 20^\circ$.

Resolviendo:

$$d_b = 207,264 * \cos 20^\circ$$

$$d_b = 207,264 * 0,9396926$$

$$d_b = 194,7644mm$$

M. Radio base.

El radio base esta dado por la ecuación 54:

$$r_b = \frac{d_b}{2}$$

Donde:

r_b : Radio base.

d_b : Diámetro de base.

Resolviendo:

$$r_b = \frac{194,7644}{2}$$

$$r_b = 97,3822mm$$

N. Angulo entre dientes.

El ángulo entre dientes esta dado por la ecuación 55:

$$\theta = \frac{360^\circ}{N_G}$$

Donde:

θ : Angulo entre dientes

N_G : Número de dientes del engranaje.

Resolviendo:

$$\theta = \frac{360^\circ}{49}$$

$$\theta = 7,3469^\circ$$

Esto indica que, cada diente y cada espacio ocupan aproximadamente $7,3469^\circ$

O. Espesor angular del diente.

El espesor angular del diente esta dado por la ecuación 56:

$$\theta_d = \frac{180^\circ}{N_G}$$

Donde:

θ_d : Espesor angular del diente.

N_G : Número de dientes del engranaje.

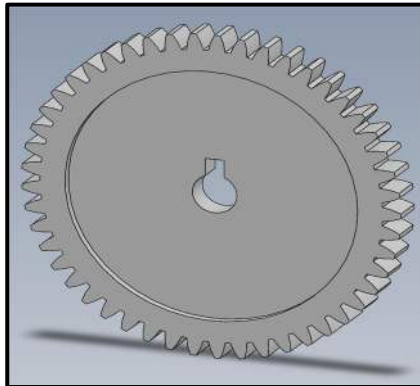
$$\theta_d = \frac{180^\circ}{49}$$

$$\theta_d = 3,6734^\circ$$

Espacio angular entre dientes es de $3,6734^\circ$

Figura 25

Engranaje recto.



Nota. elaboración propia, la imagen muestra el diseño del engranaje con los cálculos obtenidos.

La velocidad de la línea de paso se calcula con la ecuación 57:

$$v_t = \frac{\pi D_p * n_p}{12} \text{pies/min} \dots \dots \dots (57)$$

Donde:

v_t :Velocidad de la línea de paso

Resolviendo la ecuación 57 se tiene:

$$v_t = \frac{\pi * 2,83 \text{ pulg} * 200 \text{ rpm}}{12}$$

85

$$v_t = 148,17 \text{ pies/min.}$$

Carga transmitida:

$$W_t = \frac{33000 * P}{v_t} \text{ lb} \dots\dots\dots (58)$$

Donde:

W_t : Carga transmitida

P : Potencia transmitida

Resolviendo la ecuación 58 se tiene:

$$W_t = \frac{33000 * 0,5 \text{ HP}}{148,17 \text{ pies/min}}$$

$$W_t = 111,35 \text{ lb}$$

Ancho de cara recomendado según la ecuación 59:

$$\frac{8}{P_d} < F < \frac{16}{P_d} \dots\dots\dots (59)$$

Donde:

F :Ancho de cara.

P_d :Paso diametral

Valor nominal de ancho de cara:

$$F = \frac{12}{P_d} \dots\dots\dots (60)$$

Límite inferior:

$$F = \frac{8}{6 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$F = 1,33 \text{ pulg}$$

Límite superior:

$$F = \frac{16}{6 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$F = 2,66 \text{ pulg}$$

Valor nominal:

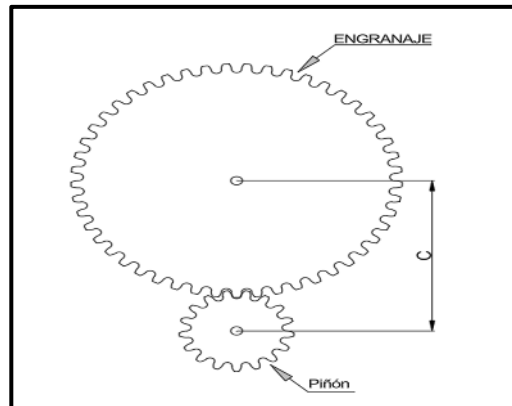
$$F = \frac{12}{6 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}$$

$$F = 2 \text{ pulg}$$

En la figura 26 se muestra la distancia entre centros del piñón y engranaje.

Figura 26

Sistema de engranaje.



Nota. elaboración propia, la imagen muestra la distancia de centros entre el engranaje y el piñón.

4.1.7. Coeficiente elástico C_p .

El coeficiente elástico y el material para los engranes se determinan con la figura 27.

Se selecciona el acero para el piñón y para el engrane con $C_p = 2300$.

Figura 27

Coefficiente elástico C_p

Material del piñón	Módulo de elasticidad, E_p , lb/pulg ² (MPa)	Material y módulo de elasticidad E_g , lb/pulg ² (MPa), del engrane					
		Acero	Hierro maleable	Hierro nodular	Hierro colado	Bronce de aluminio	Bronce de estaño
		30×10^6 (2×10^5)	25×10^6 (1.7×10^5)	24×10^6 (1.7×10^5)	22×10^6 (1.5×10^5)	17.5×10^6 (1.2×10^5)	16×10^6 (1.1×10^5)
Acero	30×10^6 (2×10^5)	2300 (191)	2180 (181)	2160 (179)	2100 (174)	1950 (162)	1900 (158)
Hierro maleable	25×10^6 (1.7×10^5)	2180 (181)	2090 (174)	2070 (172)	2020 (168)	1900 (158)	1850 (154)
Hierro nodular	24×10^6 (1.7×10^5)	2160 (179)	2070 (172)	2050 (170)	2000 (166)	1880 (156)	1830 (152)
Hierro colado	22×10^6 (1.5×10^5)	2100 (174)	2020 (168)	2000 (166)	1960 (163)	1850 (154)	1800 (149)
Bronce de aluminio	17.5×10^6 (1.2×10^5)	1950 (162)	1900 (158)	1880 (156)	1850 (154)	1750 (145)	1700 (141)
Bronce de estaño	16×10^6 (1.1×10^5)	1900 (158)	1850 (154)	1830 (152)	1800 (149)	1700 (141)	1650 (137)

Nota. Datos de coeficiente elástico para diferentes tipos de material. Tomado de (Mott, 2006).

4.1.8. Número de calidad de AGMA

El número de calidad de AGMA se visualiza en la figura 28. Se utiliza $Q_v = 5$ para accionamientos de tambor.

Figura 28

Números de calidad AGMA recomendados.

Aplicación	Número de calidad	Aplicación	Número de calidad
Accionamiento de tambor			
mezclador de cemento	3-5	Taladro pequeño	7-9
Horno de cemento	5-6	Lavadora de ropa	8-10
Impulsores de laminadoras de acero	5-6	Prensa de impresión	9-11
Cosechadora de granos	5-7	Mecanismo de cómputo	10-11
Grúas	5-7	Transmisión automotriz	10-11
Prensas de punzonado	5-7	Accionamiento de antena de radar	10-12
Transportador de mina	5-7	Accionamiento de propulsión marina	10-12
Máquina para fabricar cajas de papel	6-8	Accionamiento de motor de avión	10-13
Mecanismo de medidores de gas	7-9	Giroscopio	12-14

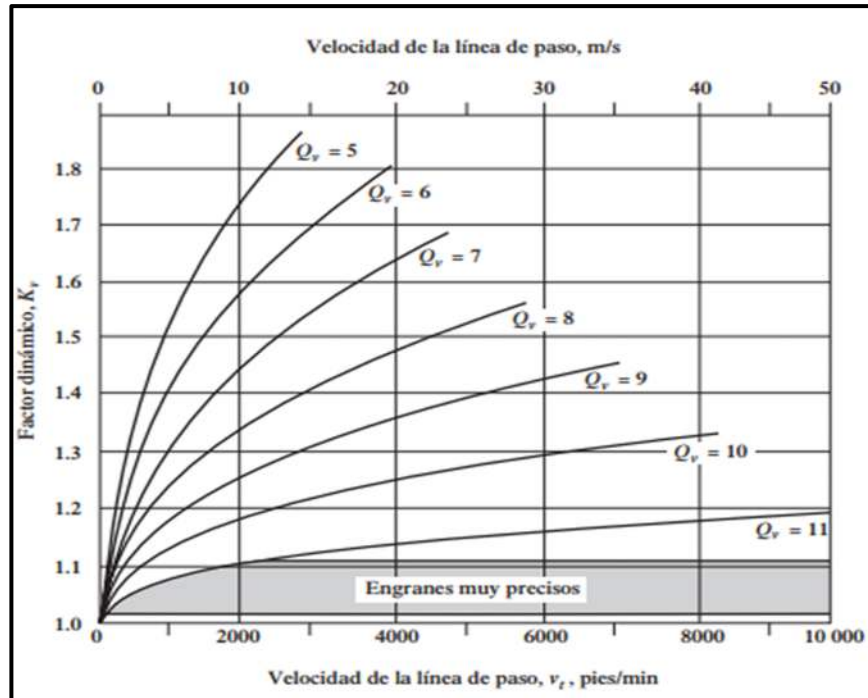
Nota. Datos números de calidad AGMA. Tomado de (Mott, 2006).

4.1.9. Factor dinámico K_v

Teniendo el número de calidad se procede a seleccionar el factor dinámico K_v . Para $V_t = 148,17$ pies/min se selecciona $K_v = 1,1$ como se muestra en la figura 29.

Figura 29

Factor dinámico K_v .



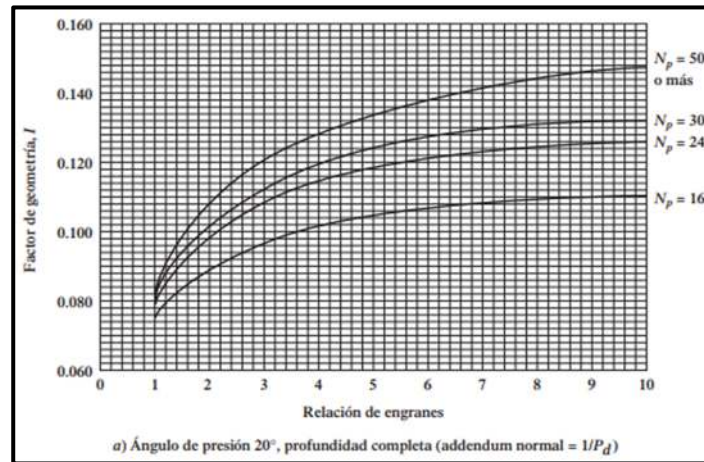
Nota. Datos números de factor dinámico. Tomado de (Mott, 2006).

4.1.10. Factor de geometría I .

Se emplea un ángulo de precisión de 20° . Para la relación de engranajes de 2,88 y $N_p = 17$ corresponde $I = 0,09$ según la figura 30.

Figura 30

Factor de geometría I



Nota. Datos números de factor de geometría I. Tomado de (Mott, 2006).

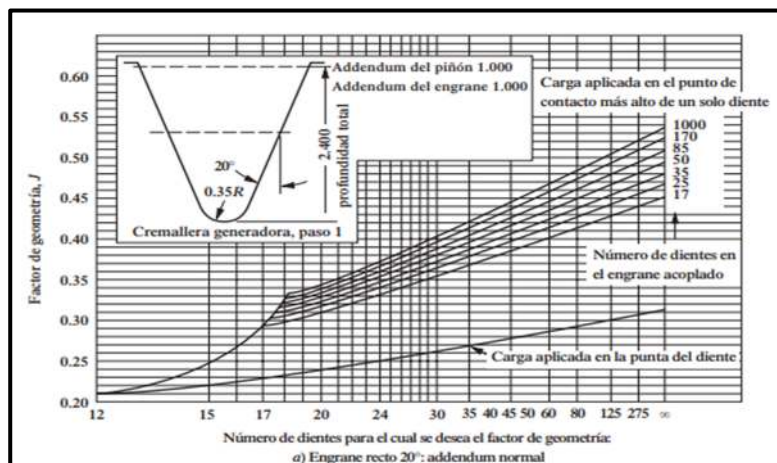
4.1.11. Factor de geometría J.

Se calcula el factor J tanto para el engranaje como para el piñón según la figura 31.

$$J_p = 0,29, \quad J_G = 0,38$$

Figura 31

Factor de geometría J



Nota. Datos números de factor de geometría J. Tomado de (Mott, 2006).

4.1.12. Factor de distribución de carga K_m

Para el factor de distribución de carga se tiene:

$$K_m = 1,0 + C_{pf} + C_{ma} \dots \dots \dots (61)$$

Donde:

K_m : Es el factor de distribución de carga.

C_{pf} : Factor de proporción del piñón.

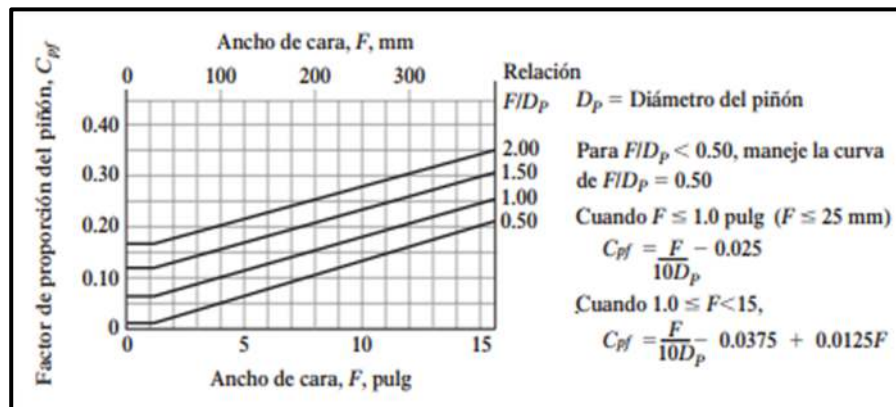
C_{ma} : Factor por alineamiento de engranado.

El factor de proporción del piñón se muestra en la figura 32.

$$C_{pf} = 0,01$$

Figura 32

Factor de proporción del piñón.



Nota. Datos números de factor de proporción del piñón. Tomado de (Mott, 2006).

4.1.13. Factor de alineamiento de engranado.

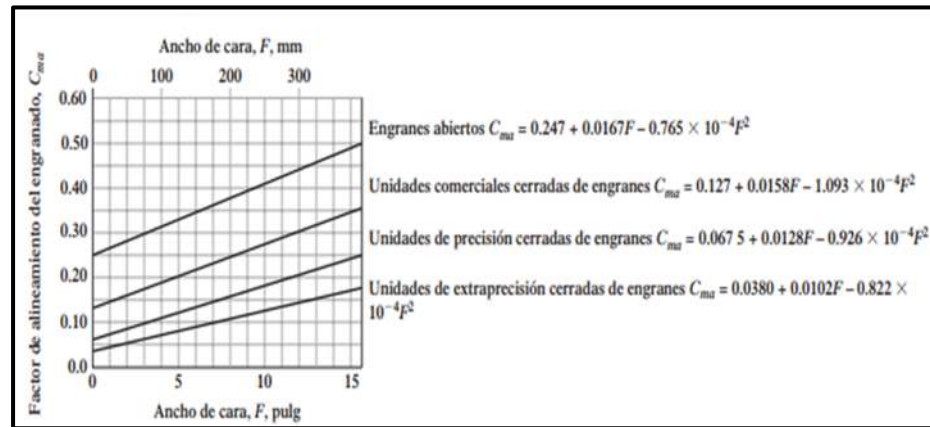
El factor de alineamiento del engranado en función al ancho de su cara se muestra en la figura 33.

Se utiliza engranajes abiertos.

$$C_{ma} = 0,27$$

Figura 33

Factor de alineamiento del engranado.



Nota. Datos números de factor de proporción del piñón. Tomado de (Mott, 2006).

Obtenido los datos anteriores entonces se tiene que el factor de carga es:

$$K_m = 1,0 + C_{pf} + C_{ma}$$

$$K_m = 1,0 + 0,01 + 0,27$$

$$K_m = 1,28$$

4.1.14. Factor de tamaño K_s

El factor de tamaño $K_s = 1$. Se selecciona en la figura 34.

Figura 34

Factor de tamaño.

TABLA 9-6 Factores de tamaño sugeridos, K_s		
Paso diametral, P_d	Módulo métrico, m	Factor de tamaño, K_s
≥ 5	≤ 5	1.00
4	6	1.05
3	8	1.15
2	12	1.25
1.25	20	1.40

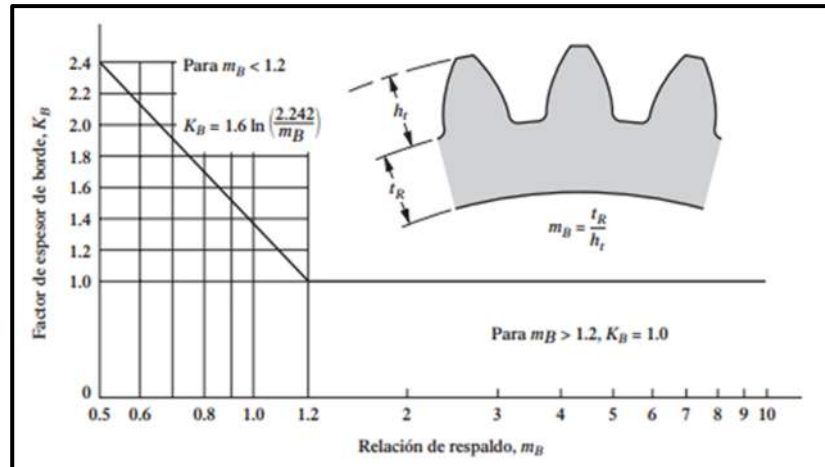
Nota. Datos números de factor de tamaño K_s . Tomado de (Mott, 2006).

4.1.15. Factor de espesor K_B

El factor de espesor se muestra en la figura 35. Se recomienda $K_B = 1$ para un modelo solido de engranaje.

Figura 35

Factor de espesor



Nota. Datos números de factor de espesor K_B . Tomado de (Mott, 2006).

4.1.16. Factor de sobrecarga K_o

Los factores de sobrecarga recomendados en función de la fuente de potencia se muestran en la

Figura 36

Factor de sobrecarga sugeridos.

Fuente de potencia	Máquina impulsada			
	Uniforme	Choque ligero	Choque moderado	Choque pesado
Uniforme	1.00	1.25	1.50	1.75
Choque ligero	1.20	1.40	1.75	2.25
Choque moderado	1.30	1.70	2.00	2.75

Nota. Datos números de factor de sobrecarga sugeridos K_o . Tomado de (Mott, 2006).

4.1.17. Esfuerzo flexionante esperado en el piñón y en el engranaje.

$$S_t = \frac{W_t * P_d}{F * J} * K_O * K_S * K_m * K_B * K_v \dots (62)$$

Donde:

W_t : Carga transmitida.

P_d : Paso diametral.

J : Factor de geometría.

K_O : Factor de sobrecarga para resistencia flexionante.

K_S : Factor de tamaño para la resistencia flexionante.

K_m : Factor de distribución de carga para la resistencia flexionante.

K_B : Factor de espesor de orilla.

K_v : Factor dinámico para la resistencia flexionante.

F : Ancho de cara.

Para el factor de esfuerzo del piñón se tiene:

$$S_{tP} = \frac{111,35 \text{ lb} * 6 \frac{\text{dientes}}{\text{pulg}}}{2 * 0,29} * 1 * 1 * 1,28 * 1 * 1,1$$

$$S_{tP} = 1621,87 \text{ psi}$$

Para el factor de esfuerzo del engranaje se tiene:

$$S_{tG} = S_{tP} * \frac{J_P}{J_G}$$

$$S_{tG} = 1621,87 \text{ psi} * \left(\frac{0,29}{0,38}\right)$$

$$S_{tG} = 1237,07 \text{ psi}$$

4.1.18. Esfuerzo de contacto esperado en el piñón y en el engranaje.

El esfuerzo de contacto en el engranaje es el mismo que el esfuerzo en el piñón y el cálculo se realiza con la fórmula 63:

$$S_c = C_p * \sqrt{\frac{W_t * K_O * K_S * K_m * K_v}{F * D_p * I}} \dots\dots\dots(63)$$

Donde:

C_p : Coeficiente elástico

W_t : Carga transmitida

I : Factor de geometría

D_p : Diámetro de paso del piñón

K_O : Factor de sobrecarga para resistencia flexionante

K_S : Factor de tamaño para la resistencia flexionante

K_m : Factor de distribución de carga para la resistencia flexionante.

K_v : factor dinámico para la resistencia flexionante.

Resolviendo la ecuación 63 se tiene que:

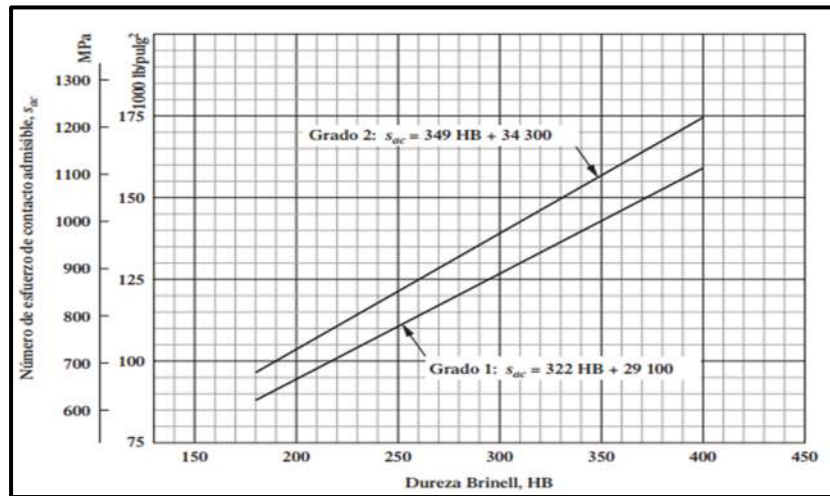
$$S_c = 2300 * \sqrt{\frac{111,35 \text{ lb} * 1 * 1 * 1,28 * 1,1}{2 * 2,25 * 0,09}}$$

$$S_c = 45252.93 \text{ psi}$$

Se selecciona el acero templado totalmente de *HB* 130 de acuerdo a la figura 37.

Figura 37

Numero de esfuerzo de contacto.

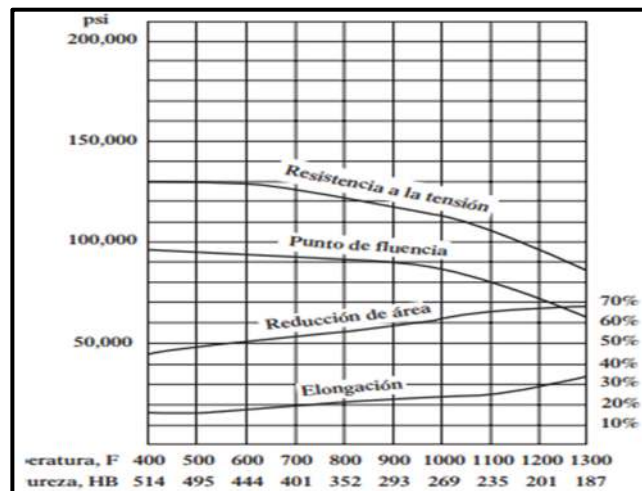


Nota. Datos números de esfuerzo de contacto. Tomado de (Mott, 2006).

A partir del esfuerzo de contacto $S_c = 45252,93 \text{ psi}$ y la dureza $\text{HB} = 269$, se selecciona el material que corresponde al acero AISI 1040 OQT1000 como se visualiza en la figura 38.

Ilustración 38

Propiedades del acero AISI 1020



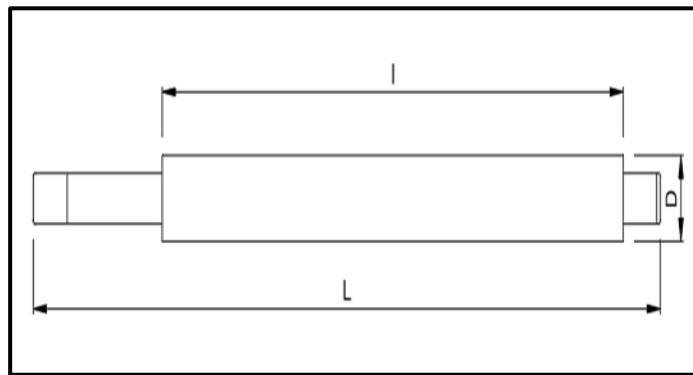
Nota. Datos números de propiedades del acero AISI 1020. Tomado de (Mott, 2006).

4.1.19. Cálculo del eje cuadrado.

El eje secundario o cuadrado sirve para transportar los granos cereza al tambor por lo que su diámetro depende de la base inferior de la tolva y la cantidad de granos cereza que se transportan. Para el diámetro se tomó como valor normalizado $25,4\text{ mm}$ o 1 pulg. La longitud total “L” corresponde a la longitud total del eje y la longitud del eje cuadrado está representado con la letra “l”. en la figura 39 se muestra los datos antes mencionados.

Ilustración 39

Eje cuadrado.



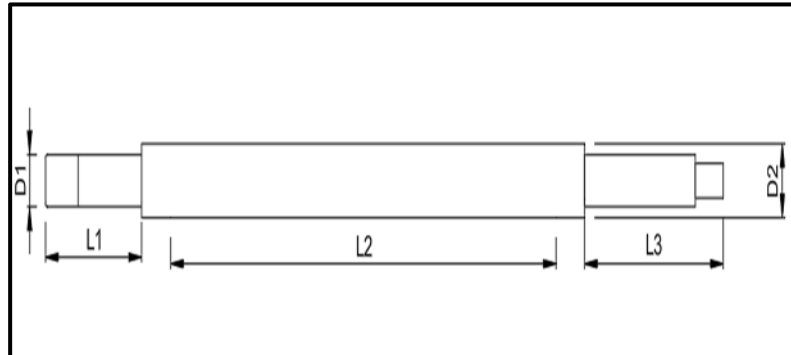
Nota. Elaboración propia, la figura muestra datos de un eje cuadrado.

4.1.20. Cálculo del eje principal.

El eje que contiene el tambor es el eje principal y es el responsable de frotar los granos cerezas contra el pechero logrando retirar la pulpa. En la figura 40 se muestra las longitudes del eje donde L1 es la longitud correspondiente al piñón, L2 es la longitud donde va el tambor y L3 es la parte de la polea. Con respecto al diámetro, D1 corresponde al lado del piñón y D2 corresponde al tambor.

Figura 40

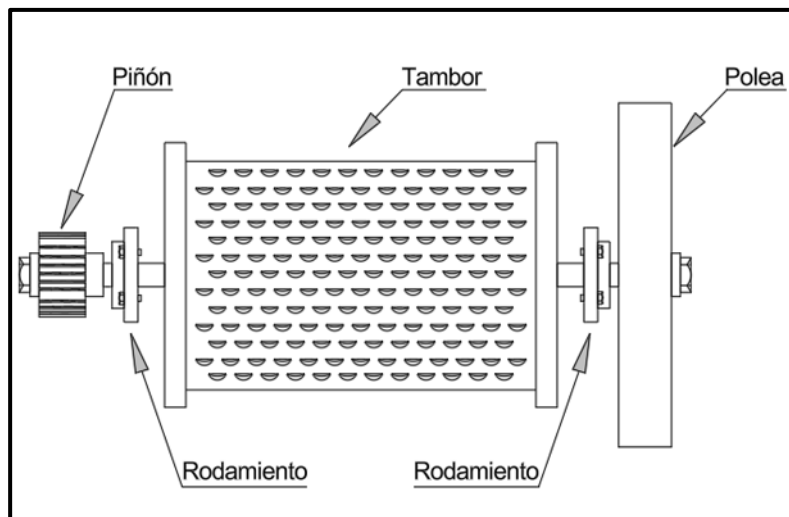
Eje principal.



Nota. Elaboración propia, la figura muestra datos de un eje principal.

Figura 41

Elementos acoplados al eje principal.



Nota. Elaboración propia, la figura muestra los elementos acoplados al eje principal.

4.1.21. Par torsional en el eje.

El par torsional en el eje se calcula utilizando la ecuación 64:

$$T = \frac{63000 * P}{n} \dots \dots \dots (64)$$

Donde:

T : Par torsional

P : Potencia

n : Velocidad angular

Resolviendo la ecuación 64 se tiene:

$$T = \frac{63000 * 0,5 \text{ HP}}{200}$$

$$T = 157,5 \text{ lb.pulg}$$

4.1.22. Fuerza sobre la polea

La fuerza en la polea se calcula con la ecuación 65:

$$F_p = \frac{2T}{\frac{D_p}{2}} \dots \dots \dots (65)$$

Donde:

F_p : Fuerza flexionante en la polea

T : Par torsional

D_p : Diámetro de la polea

Resolviendo la ecuación 47 se tiene:

$$F_p = \frac{2 * 157,5 \text{ lb.pulg}}{\frac{18 \text{ pulg}}{2}}$$

$$F_p = 35 \text{ lb.}$$

4.1.23. Fuerza sobre el tambor.

Sobre el tambor se presenta una fuerza distribuida ejercida por el pechero esta fuerza fue calculada anteriormente por lo que se tiene:

$$F_D = 157,2N$$

$$F_D = 16,02 \text{ kgf}$$

4.1.24. Fuerzas sobre el piñón.

La fuerza tangencial se calcula con la fórmula 66:

$$W_{tA} = \frac{T_A}{\frac{D_A}{2}} \dots\dots\dots (66)$$

Donde:

W_{tA} : Fuerza tangencial

T_A : Torque en el eje

D_A : Diámetro del paso en el piñón

La fuerza radial se calcula con la fórmula 67:

$$W_{rA} = W_{tA} * \tan\theta \dots\dots\dots (67)$$

Donde:

W_{rA} : Fuerza radial

θ : Ángulo de presión

Resolviendo la ecuación tangencial y radial se tiene:

$$W_{tA} = \frac{T_A}{\frac{D_A}{2}}$$

$$W_{tA} = \frac{157,5 \text{ lb.pulg}}{\frac{2,83}{2}}$$

$$W_{tA} = 111,30 \text{ lb}$$

$$W_{rA} = W_{tA} * \tan\theta$$

$$W_{rA} = 111,30 * \tan 20^\circ$$

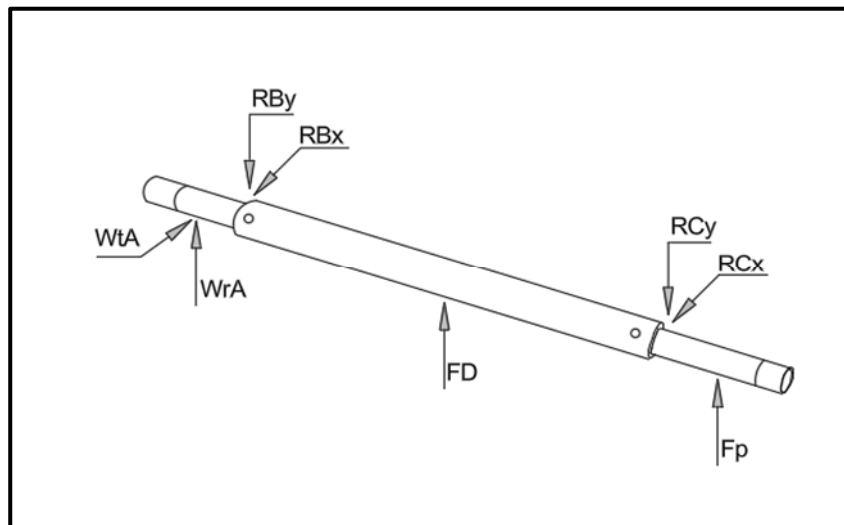
$$W_{rA} = 40,50 \text{ lb}$$

4.1.25. Reacciones en el eje principal.

Las reacciones y las fuerzas en el eje principal se muestran en la figura 42.

Figura 42

Reacciones y fuerzas sobre el eje.



Nota. Elaboración propia, la figura muestra reacciones y fuerzas sobre el eje principal.

Las distancias se obtienen de cálculos anteriores.

Distancia A-B: 2 pulg.

Distancia B-D: 6 pulg.

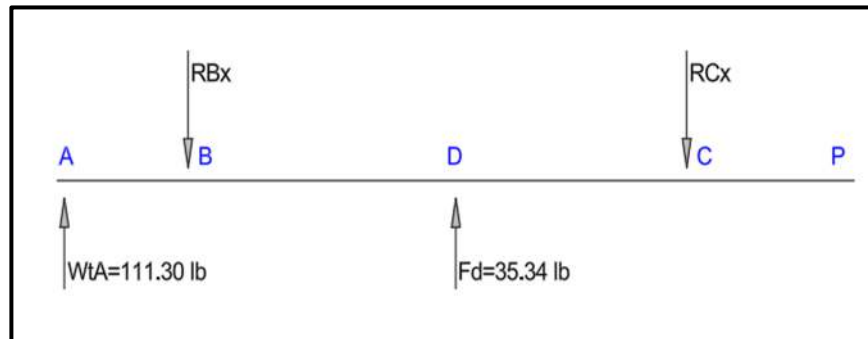
Distancia D-C: 6 pulg.

Distancia C-P: 2 pulg.

En la figura 43 se muestran las fuerzas y reacciones a lo largo del eje.

Figura 43

Diagrama de cuerpo libre del eje X-Z



Nota. Elaboración propia, la figura muestra reacciones y fuerzas sobre el eje principal.

Reacciones resultantes:

Equilibrio de fuerzas

$$\sum F_z = 0 \dots\dots\dots (68)$$

$$111,30 + 35,34 - R_{Bx} - R_{Cx} = 0$$

$$R_{Bx} + R_{Cx} = 146,64$$

Momentos respecto a B

$$\sum M_B = 0 \dots\dots\dots (69)$$

$$(111,30 * 2) + (35,34 * 6) - (R_{Cx} * 12) = 0$$

$$R_{Cx} = \frac{222,6 + 212,04}{12}$$

$$R_{Cx} = 36,22 \text{ lb}$$

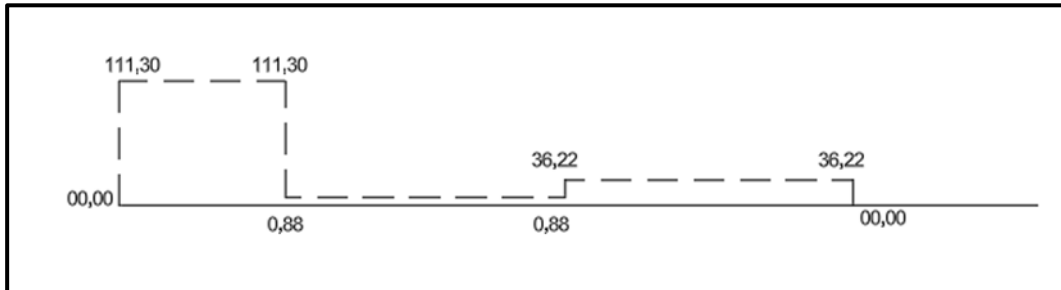
Entonces:

$$R_{Bx} = 146,64 - 36,22$$

$$R_{Bx} = 110,42 \text{ lb}$$

Figura 44

Fuerza cortante en plano X-Z



Nota. Elaboración propia, la figura muestra el diagrama de cortante.

Los momentos flexionantes se calculan siguiendo la siguiente ecuación:

Momento A:

$$M_A = 0$$

Momento B:

$$M_B = 111,30(2)$$

$$M_B = 222,60 \text{ pulg.}$$

Momento D:

Desde B hasta D hay 6 *pulg* con una cortante constante de 0.88 lb

$$M_D = 222,6 + (0,88)(6)$$

$$M_D = 227,88 \text{ pulg.}$$

Momento C:

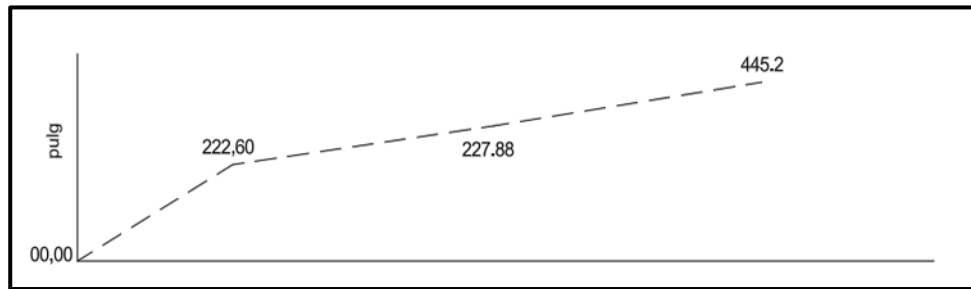
Desde D hasta C hay 6 *pulg* con una cortante constante de 36.22 lb

$$M_C = 227,88 + (36,22)(6)$$

$$M_C = 445,2 \text{ pulg}$$

Figura 45

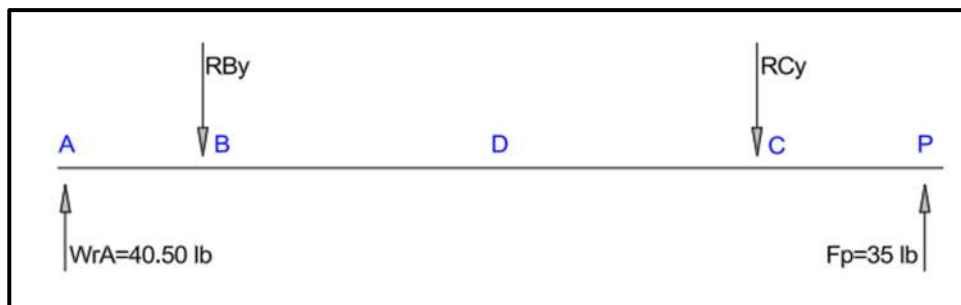
Momento flexionante en plano X-Z



Nota. Elaboración propia, la figura muestra el diagrama de momento flexionante.

Figura 46

Diagrama de cuerpo libre del eje Y-Z



Nota. Elaboración propia, la figura muestra reacciones y fuerzas sobre el eje principal.

$$\sum F_z = 0$$

$$(40,50) + (35) - R_{By} - R_{Cy} = 0$$

$$R_{By} + R_{Cy} = 75,5$$

Sumatoria de momentos respecto a B

$$\sum M_B = 0$$

$$(40,50 * 2) + (35 * 14) - (R_{Cy} * 12) = 0$$

$$R_{Cy} = 47,58 \text{ lb.}$$

Entonces:

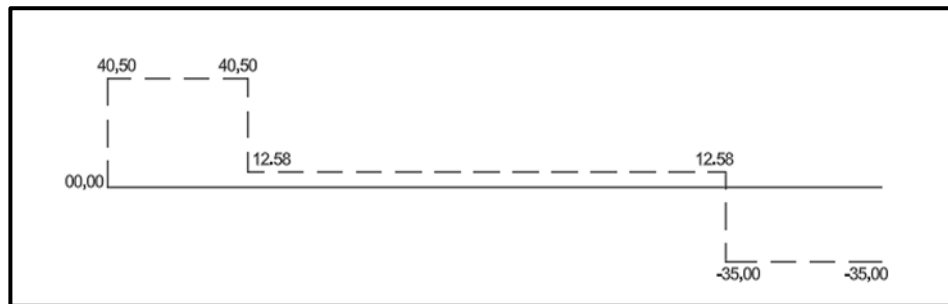
$$R_{By} = 75,5 - R_{Cy}$$

$$R_{By} = 75,5 - 47,58$$

$$R_{By} = 27,92 \text{ lb.}$$

Figura 47

Fuerza cortante en plano Y-Z



Nota. Elaboración propia, la figura muestra el diagrama de cortante.

Los momentos flexionantes se calculan siguiendo la siguiente ecuación:

Momento A:

$$M_A = 0$$

Momento B:

$$M_B = 40,50(2)$$

$$M_B = 81 \text{ pulg.}$$

Momento D:

Desde B hasta D hay 12 *pulg* con una cortante constante de 12,58 *lb*

$$M_D = 81 + (12,58)(12)$$

$$M_D = 231,96 \text{ pulg.}$$

Momento P:

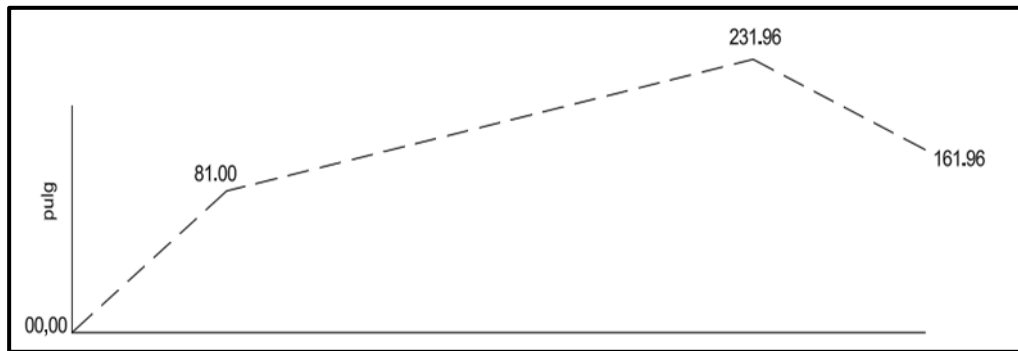
Desde D hasta P hay 2 *pulg* con una cortante constante de -35 lb

$$M_P = 231,96 + (-35)(2)$$

$$M_P = 161,96 \text{ pulg.}$$

Figura 48

Momento flexionante en plano Y-Z



Nota. Elaboración propia, la figura muestra el diagrama de momento flexionante.

Momentos resultantes:

$$M_B = \sqrt{M_{Bxz}^2 + M_{Byz}^2}$$

$$M_B = \sqrt{445,2^2 + 231,96^2}$$

$$M_B = 502 \text{ lb.pulg}$$

$$M_C = \sqrt{M_{Cxz}^2 + M_{Cyz}^2}$$

$$M_C = \sqrt{222,60^2 + 81^2}$$

$$M_C = 236,87 \text{ lb.pulg}$$

4.1.26. Propiedades del material

Se selecciona como material AISI 1144 OQT 1000 maquinado en frio. Ver anexo 1.

Resistencia a la tensión:

$$S_u = 118000 \text{ psi.}$$

Resistencia a la fluencia:

$$S_y = 83000 \text{ psi.}$$

Resistencia a la fatiga:

$$S_n = 42000 \text{ psi.}$$

Factor de tamaño:

$$C_s = 0,8$$

Factor de confiabilidad:

$$\text{confiabilidad} = 0,99$$

$$C_r = 0,81$$

Resistencia modificada a la fatiga:

$$S'_n = S_n * C_s * C_R \dots \dots \dots (70)$$

Donde:

S'_n : Resistencia modificada a la fatiga

S_n : Resistencia a la fatiga

C_s : Factor de tamaño

C_R : Factor de confiabilidad

Resolviendo la ecuación 53 se tiene que:

$$S'_n = 42000 \text{ psi} * 0,8 * 0,81$$

$$S'_n = 27216 \text{ psi}$$

4.1.27. Diseño del eje.

El diseño del eje principal se realiza con la formula siguiente:

$$D = \left[\frac{32N}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{K_t * M}{S'_n} \right]^2} + \frac{3}{4} * \left[\frac{T}{S_y} \right]^2 \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (71)$$

Donde:

D : Es el diámetro del eje

N : Factor de diseño

K_t : Factor de concentración de esfuerzos

M : Momento flexionante

T : Par torsional

S'_n : Resistencia modificada a la fatiga

S_y : Resistencia a la fluencia

Se recomienda factores de diseño $N = 2$ para todos los diámetros

➤ Punto P:

$$M = 0$$

$$K_t = 1,6(\text{ranura de trineo})$$

$$T = 157,5 \text{ lb.pulg.}$$

$$D_p = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{1,6 * 0}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{157,5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_p = 0,32 \text{ pulg.}$$

➤ Punto C:

A la izquierda

$$M = 236,87 \text{ lb.pulg}$$

$$K_t = 1,5(\text{chaflan bien redondeado})$$

$$T = 157,5 \text{ lb.pulg.}$$

$$D_c = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{1,5 * 236,87}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{157,5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_p = 0,64 \text{ pulg.}$$

A la derecha:

$$M = 236,87 \text{ lb.pulg}$$

$$K_t = 2,5(\text{chaflan agudo})$$

$$T = 157,5 \text{ lb.pulg.}$$

$$D_p = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{2,5 * 236,87}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{157,5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_p = 0,76 \text{ pulg.}$$

➤ Punto B:

A la derecha

$$M = 502 \text{ lb.pulg}$$

$$K_t = 2,5(\text{chaflan agudo})$$

$$T = 157,5 \text{ lb.pulg.}$$

$$D_B = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{2,5 * 502}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{157,5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_B = 0,979 \text{ pulg.}$$

A la izquierda

$$M = 502 \text{ lb.pulg}$$

$$K_t = 1,5(\text{chaflan redondeado})$$

$$T = 157,5 \text{ lb.pulg.}$$

$$D_B = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{1,5 * 502}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{157,5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_B = 0.826 \text{ pulg.}$$

➤ Punto A:

$$M = 0$$

$$K_t = 1,6(\text{ranura de trineo})$$

$$T = 157,5 \text{ lb.pulg.}$$

$$D_A = \left[\frac{32 * 2}{\pi} * \sqrt{\left[\frac{1,6 * 0}{27216} \right]^2 + \frac{3}{4} * \left[\frac{157,5}{83000} \right]^2} \right]^{\frac{1}{3}}$$

$$D_A = 0,32 \text{ pulg.}$$

4.1.28. Cálculo de pechero.

Para determinar las dimensiones del pechero se toma en cuenta la longitud de la tolva y el diámetro del cilindro.

$$\text{longitud total} = 300 \text{ mm} = 11,81 \text{ pulg}$$

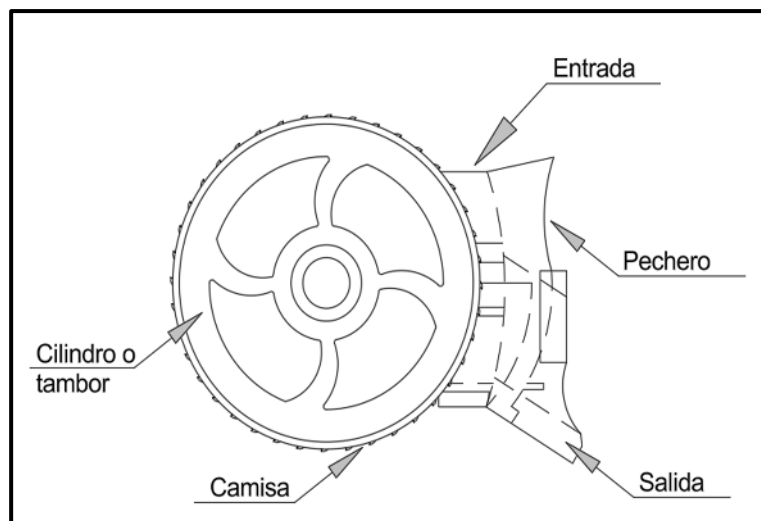
$$\text{diametro inicial del pechero} = 7,5 \text{ pulg} = 190,5 \text{ mm}$$

En el ingreso de la despulpadora se debe permitir la entrada de granos cerezo más grandes de un diámetro de $14,1 \text{ mm}$. Para el presente proyecto se selecciona el valor de 15 mm o 59 pulg . Como separación en la entrada, la separación en la salida es la misma.

En el centro del pechero se presenta la separación mínima con $2 \text{ mm} = 0,078 \text{ pulg}$. Esta distancia puede ser regulada con el regulador del pechero según la necesidad a la salida del pechero. Con respecto al material, se recomienda utilizar hierro colado y debe ser del mismo material que la estructura ya que están en la parte externa y están expuestos a la corrosión.

Figura 49

Cilindro y pechero.

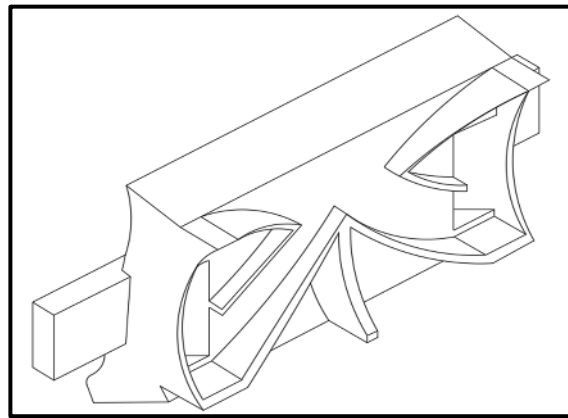


Nota. Elaboración propia, la figura muestra el aspecto de Tambor y un pechero.

Como se puede apreciar en la figura 49, la distancia entre el pechero y el cilindro disminuye siendo la parte central donde alcanza la distancia mínima y el punto máximo de compresión.

Figura 50

Pechero.



Nota. Elaboración propia, la figura muestra el aspecto de un pechero.

4.1.29. Regulación del pechero.

La distancia entre el tambor y el pechero se puede ajustar mediante un regulador, si esta distancia es mayor a las dimensiones de un grano de café en cerezo despulpado entonces los granos de café cerezo que pasen sin despulpar puede ser mayor. También, si la distancia es menor, como producto se puede tener granos de café dañados producto de la presión.

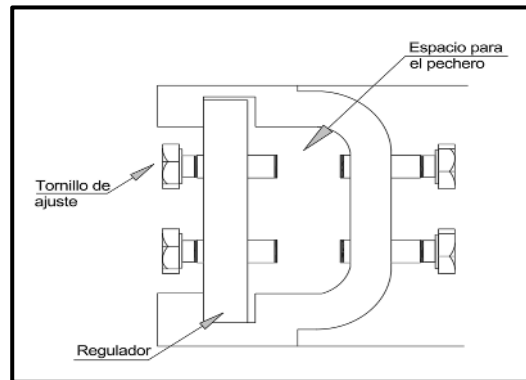
Por defecto, la distancia en el centro del pechero es de 5mm, que puede desplazarse $\frac{1}{2}$ pulgada o 12,7mm.

Las cerezas de café, no tienen las mismas dimensiones, por lo que se debe regular a una distancia en la que las cerezas despulpadas sean mayores en porcentaje.

Una despulpadora cuenta con dos reguladores y cada uno cuenta con cuatro tornillos de ajuste para el desplazamiento del pechero.

Figura 51

Regulador del Pechero.



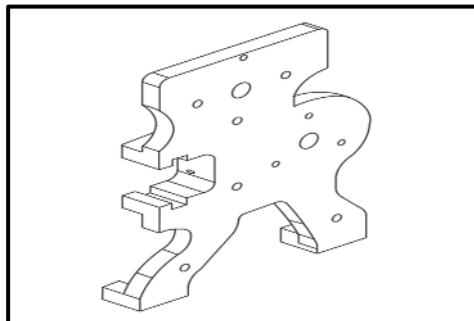
Nota. Elaboración propia, la figura muestra el regulador de un pecho.

4.1.30. Cálculo de la estructura.

El castillo o estructura de la máquina, es la encargada de soportar todo el peso de las partes que conforman la despulpadora. El castillo se calcula considerando *75kg* como carga máxima incluyendo la carga de almacenamiento en la tolva, para el material se recomienda que sea de hierro colado ya que es resistente a la corrosión, su forma va a depender de los elementos y su ubicación y su espesor debe ser entre 0,5 y 1 *pulg*, para evitar colisiones con otros componentes.

Figura 52

Castillo o cureña.



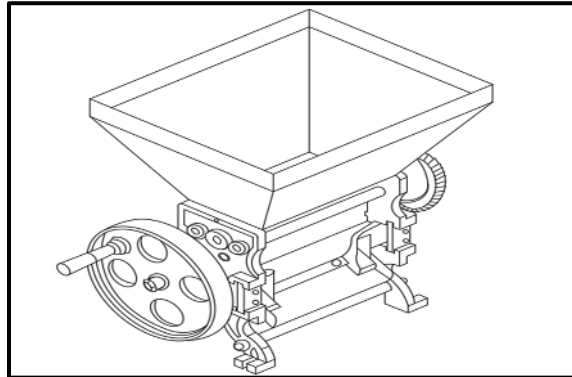
Nota. Elaboración propia, la figura muestra el castillo o cureña.

4.2. Ensamble.

En la figura 53 se muestra el ensamble de la máquina despulpadora con tambor horizontal, el movimiento se transfiere a través de un motor.

Figura 53

Ensamble de despulpadora.



Nota. Elaboración propia, la figura muestra el ensamblaje de la despulpadora.

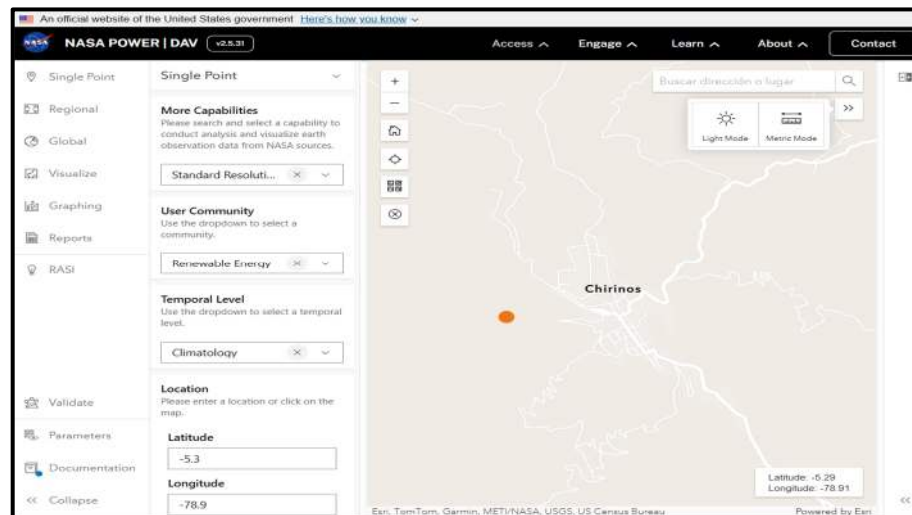
4.3. Evaluación y caracterización de la radiación solar en la finca El Guarapo

Para la evaluación de la energía solar en la zona, la información meteorológica de radiación solar para la finca El Guarapo fue obtenida utilizando la herramienta interactiva “POWER DATA ACCESS VIEWER”, proporcionada por la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (*National Aeronautics and Space Administration*, NASA). A través de su plataforma web (<https://power.larc.nasa.gov>).

Ingresando las coordenadas geográficas de la finca El Guarapo (longitud: -78,907181, latitud: -5,303712) en el campo de búsqueda. Luego de realizada la búsqueda, se seleccionó los parámetros de radiación solar fotovoltaica obteniendo promedios de radiación solar mensuales expresados en $kWh/m^2/día$, los cuales se presentan en la tabla 7. Los datos obtenidos son importantes para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a red en la finca El Guarapo.

Figura 54

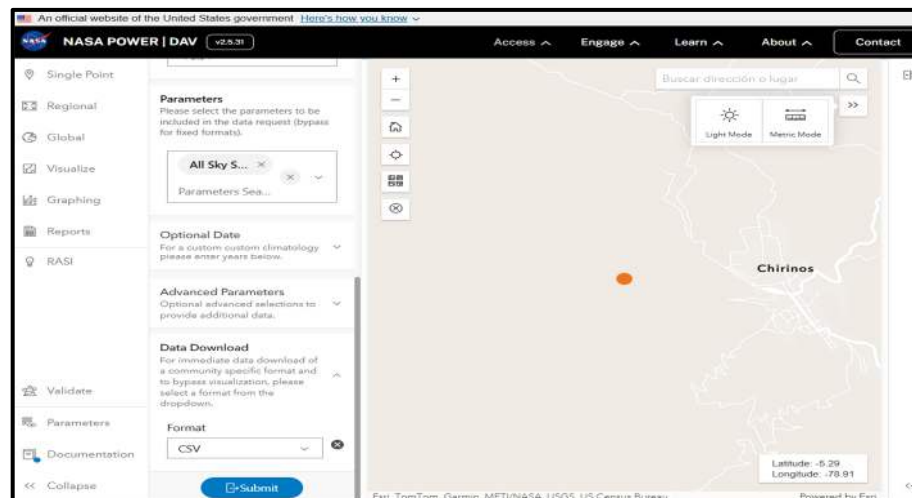
Ingreso de coordenadas geográficas de la finca El Guarapo



Nota. La figura 54 muestra el ingreso de las coordenadas geográficas. Tomado de (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)

Figura 55

Descarga de los datos de radiación solar



Nota. La figura 55 muestra la descarga de los datos de radiación solar. Tomado de (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)

Figura 56

Datos de radiación solar

-BEGIN HEADER-											
NASA/POWER Source Native Resolution Monthly and Annual											
Dates (month/day/year): 01/01/2021 through 12/31/2025 in LST											
Location: Latitude -5.3037 Longitude -78.9072											
Elevation from MERRA-2: Average for 0.5 x 0.625 degree lat/lon region = 1312.17 meters											
The value for missing source data that cannot be computed or is outside of the sources availability range: -999											
Parameter(s):											
ALLSKY_SFC_SW_DWN CERES SYN1deg All Sky Surface Shortwave Downward Irradiance (kW-hr/m^2/day)											
-END HEADER-											
PARAMETER, YEAR, JAN, FEB, MAR, APR, MAY, JUN, JUL, AUG, SEP, OCT, NOV, DEC, ANN											
ALLSKY_SFC_SW_DWN, 2021, 4.1486, 4.1446, 3.9758, 4.157, 3.869, 3.6317, 3.8662, 4.2461, 4.7304, 4.7237, 4.6212, 4.4695, 4.2151											
ALLSKY_SFC_SW_DWN, 2022, 4.7062, 3.6286, 4.3774, 3.8225, 3.6857, 4.0932, 3.8731, 4.3474, 4.9366, 5.191, 5.075, 4.901, 4.3918											
ALLSKY_SFC_SW_DWN, 2023, 4.3066, 3.2652, 4.1165, 3.8638, 3.847, 3.6948, 3.9936, 4.715, 4.806, 4.9315, 4.4976, 3.6538, 4.1474											
ALLSKY_SFC_SW_DWN, 2024, 3.4865, 4.2991, 4.0404, 3.9895, 3.9907, 4.0898, 3.8045, 4.4532, 4.2754, 4.8782, 4.7707, 4.2326, 4.1911											
ALLSKY_SFC_SW_DWN, 2025, 4.0193, 3.8878, 3.8134, 4.2734, 3.8748, 3.6218, 3.9475, 4.1897, 4.1453, 4.747, 4.3486, 5.3033, 4.1844											

Nota. La figura muestra los datos obtenidos de radiación solar. Tomado de (<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>)

Tabla 7

Radiación solar promedio mensual en la finca El Guarapo (kWh/m^2/día)

Año	2021	2022	2023	2024	2025
Enero	4.1486	4.7062	4.3066	3.4865	4.0193
Febrero	4.1446	3.6286	3.2652	4.2991	3.8878
Marzo	3.9758	4.3774	4.1165	4.0404	3.8134
Abril	4.157	3.8225	3.8638	3.9895	4.2734
Mayo	3.869	3.6857	3.847	3.9907	3.8748
Junio	3.6317	4.0932	3.6948	4.0898	3.6218
Julio	3.8662	3.8731	3.9936	3.8045	3.9475
Agosto	4.2461	4.3474	4.715	4.4532	4.1897
Septiembre	4.7304	4.9366	4.806	4.2754	4.1453
Octubre	4.7237	5.191	4.9315	4.8782	4.747
Noviembre	4.6212	5.0775	4.4976	4.7704	4.3486
Diciembre	4.4695	4.9101	3.6538	4.2326	5.3033
Media anual	4.2151	4.3918	4.1474	4.1911	4.1844

Nota. Adaptado de *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, 2026

4.4. Angulo de inclinación optimo

El Angulo de inclinación optimo (β_{op}) en los paneles solares, se obtiene utilizando la formula siguiente:

$$\beta_{op} = 3,7 + (0,69 * |\phi|) \dots \dots \dots (01)$$

Resolviendo la ecuación se tiene:

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 * |\phi|)$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 * |-5,303712|)$$

$$\beta_{opt} = 7,359^\circ$$

Se obtiene un Angulo de inclinación de $7,359^\circ$

4.5. Estimación y caracterización de la demanda eléctrica

Para el diseño del sistema fotovoltaico conectado a red (SFCR), es necesario saber el consumo eléctrico al que va a estar sujeto.

La despulpadora diseñada para la finca El Guarapo es del tipo tambor con capacidad de procesamiento de 300 kg/hora , la cual trabaja mediante transmisión por banda desde un motor eléctrico de $372,85 \text{ w}$.

4.6. Consumo promedio mensual del sistema de despulpado

El tiempo de uso diario del motor eléctrico es de 2 horas entre las 2pm a 4pm, entre este tiempo se realiza el proceso de despulpado de la cereza recolectada durante el día.

El consumo diario del sistema de despulpado se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 8

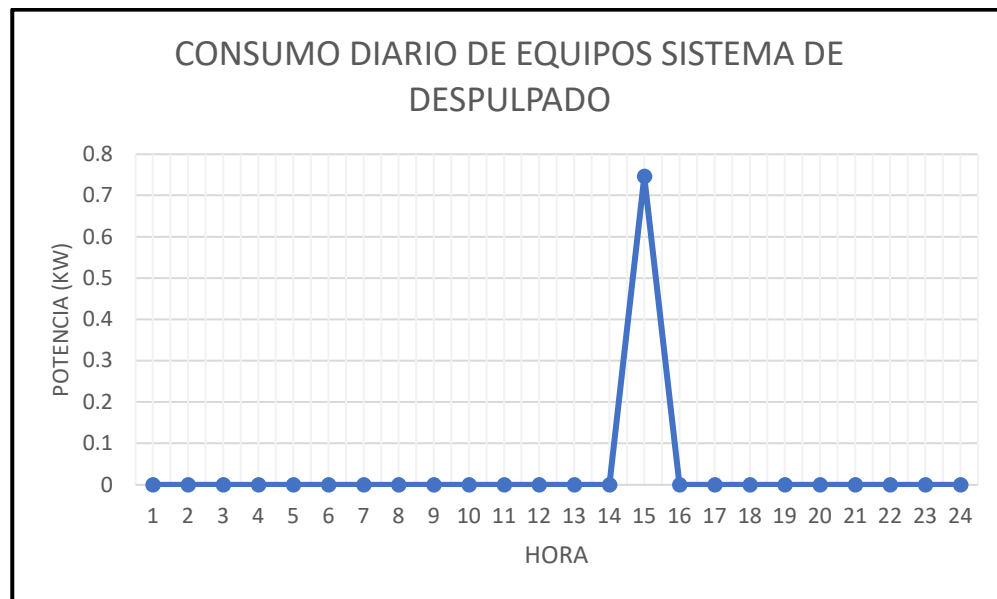
Consumo diario de equipos del sistema de despulpado

Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Consumo (W/h)	Horas de uso diario	Total, diario (kW/h)
Motor eléctrico	1	372,85	372,85	2	0,7457
Total					0,7457

Nota. Elaboración propia

Figura 57

Consumo diario del sistema de despulpado



Nota. Elaboración propia

El consumo mensual se desarrolla en la tabla 9, donde se muestra los equipos que forman parte del sistema de despulpado del cerezo, considerando que el proceso de despulpado se realiza los 7 días de la semana.

Tabla 9*Consumo mensual de equipos del sistema de despulpado*

Equipos	Cantidad	Potencia (W)	Consumo (W/h)	Horas de uso mensual	Total, Mensual (kW/h)
Motor eléctrico	1	372,85	372,85	60	22,371
Total					22,371

Nota. Elaboración propia

4.7. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a red**4.7.1. Dimensionamiento de los paneles fotovoltaico**

Para poder determinar la potencia de los paneles fotovoltaicos, se toma el valor de la demanda eléctrica diaria a cubrir, lo cual vendría a ser 0,7457kWh/día. Utilizando la siguiente ecuación:

$$P_{GFV} = \frac{E_p}{G_{dm}(\beta) \times PR} \dots\dots\dots (02)$$

Donde:

P_{GFV} : Es la potencia que pueden entregar los paneles fotovoltaicos.

E_p : Es la cantidad de energía de la instalación fotovoltaica.

$G_{dm}(\beta)$: Es la radiación mensual sobre la superficie de los paneles.

PR : Es la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo.

Según Aguirre (2019), para poder calcular la potencia de los paneles fotovoltaicos se considera un factor de eficiencia de $PR = 0.7$.

Desarrollando la ecuación se obtiene que:

$$P_{GFV} = \frac{0,7457kWh/día}{3,62(hp/día) \times 0,7}$$

$$P_{GFV} = 0,2942kWp$$

Habiendo determinado la potencia que debe suministrar el generador fotovoltaico se procede a elegir los paneles adecuados para la configuración considerando lo siguiente:

- Tensión para que se proporcione energía correcta a la red por parte del inversor.
- Potencia total que el generador fotovoltaico debe entregar.

Para el cálculo de la cantidad de paneles fotovoltaicos se muestra la ecuación siguiente:

$$N_{panel} = \frac{\text{Potencia del generador fotovoltaico}}{\text{Potencia del panel fotovoltaico}}$$

Para términos de cálculo se ha procedido a seleccionar paneles de la marca AutoSolar de 200W 24V con un factor de rendimiento de 0,9 por envejecimiento por lo que en la tabla 10 y 11 se presenta las especificaciones y características de los paneles.

Tabla 10

Características mecánicas del panel fotovoltaico

Características mecánicas	
Tipo de celda	silicio policristalino de 1490 x 990 x 42 mm
Nº de Celda	72 (12x6)
Dimensiones del modulo	1490 x 990 x 42 mm
Peso del modulo	17,5 kg
Cubierta Frontal	Vidrio templado de bajo contenido en hierro de 3,2 mm
Lamina posterior	TPT blanco
Estructura	aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones	mayor o igual IP65
Clase de seguridad contra fuego	Clase C
Clase de protección eléctrica	Clase II

Nota. Adaptado de AutoSolar.com

Tabla 11*Características técnicas del panel fotovoltaico*

Especificaciones	
Tipo de módulo: WS-200/24V	200
Potencia máxima (Wp)	200W
Voltaje de Circuito Abierto (Voc)	44.53V
Corriente de Corto Circuito (Isc)	6A
Voltaje de potencia máxima (Vm)	36.1V
Corriente de potencia máxima (Im)	5.55A
Eficiencia del Modulo	13.56%
Fusible serie máxima	15A
Condiciones de prueba estándar	1000W/M²,25°C,AM1.5
Voltaje máximo del sistema	1000V/DC
Coeficiente de temperatura Isc	+0.0681%/°C
Coeficiente de temperatura Uoc	-0.2941%/°C
Coeficiente de temperatura Pmpp	-0.3845%/°C
Temperatura de funcionamiento normal de la celda	-40°C...+85°C

Nota. Adaptado de AutoSolar.com

Para obtener el número de paneles solares se desarrolla la ecuación 03:

$$N_{panel} = \frac{294.2 \text{ Wp}}{200 \text{ Wp}}, \quad N_{panel} = 1,471$$

Para el presente proyecto se considerarán 2 paneles solares. Dichos paneles serán conectados como se describe a continuación, una fila de 2 panel que estarán conectados en serie. Para poder elegir el inversor adecuadamente se debe tener en cuenta la conexión de los paneles solares ya que se tiene que determinar la corriente y tensión producida por el generador fotovoltaico.

4.7.2. Selección del inversor

Para seleccionar el inversor, se debe tener presente que los paneles fotovoltaicos generan energía de corriente continua pero la finca el Guarapo utiliza energía alterna, por lo que se tiene que convertir la energía continua en alterna.

Para la selección del inversor se considera la potencia de la máquina despulpadora de café.

Teniendo un motor es necesario considerar la corriente de arranque de la máquina ya que en el momento del arranque del motor puede requerir varias veces su corriente nominal. Para un motor monofásico de 373W, FP = 0,62, Eficiencia = 56% y una relación de corriente de arranque de 6 veces la nominal se tiene:

- **Potencia aparente nominal.**

Para poder seleccionar el inversor, también es necesario conocer la potencia aparente.

$$S_N = V \times I_N \dots \dots \dots (18)$$

Donde:

S_N : Potencia Aparente

V : Tensión

I_N : Corriente nominal

Desarrollando la ecuación se tiene:

$$S_N = 220 \times 2,8$$

$$S_N = 616 \text{ VA}$$

Entonces, el motor demanda de 0,616kV A aproximadamente.

- **Potencia activa nominal.**

En un motor monofásico se tiene:

$$P_N = V \times I_N \times FP \dots \dots \dots (19)$$

Donde:

P_N : Potencia Nominal

I_N : Corriente Nominal

V : Tensión

FP : Factor de Potencia

Desarrollando la ecuación se tiene:

$$P_N = 220 \times 2,8 \times 0,62$$

$$P_N = 381,92W$$

- **Corriente de arranque**

Teniendo una relación de corriente de arranque de 6, se tiene:

$$\frac{I_{arr}}{I_N} = 6 \dots \dots \dots (20)$$

Donde:

I_{arr} : Corriente de arranque.

I_N : Corriente Nominal

Desarrollando la ecuación se tiene:

$$I_{arr} = 6 \times 2,8$$

$$I_{arr} = 16,8A$$

- **Potencia aparente de arranque**

$$S_{arr} = V \times I_{arr} \dots \dots \dots (21)$$

Donde:

S_{arr} : Potencia aparente de arranque

V : Tensión

I_{arr} : Corriente de arranque.

Desarrollando la ecuación se tiene:

$$S_{arr} = 220 \times 16,8$$

$$S_{arr} = 3696VA$$

$$S_{arr} = 3,696kVA, \quad S_{arr} \approx 3,70kVA$$

Durante el arranque, el inversor debe estar en la capacidad de entregar aproximadamente 3,70kVA.

- **Selección del inversor**

Para el presente proyecto, al ser un sistema conectado a red (on-grid) el inversor no tiene que soportar el arranque del motor por sí solo, siendo la red convencional quien proporcione la potencia faltante y el pico de arranque, por lo que la selección se realiza como:

$$P_{inversor} \geq P_{FV}$$

$$P_{inversor} \geq 400W$$

Por lo tanto, se procede a seleccionar un inversor de 1000W

4.7.2.1. Tensión y corriente en el punto de máxima potencia

Para determinar la tensión total en el punto de máxima potencia ($V_{mpp_{TOTAL}}$), se realizará a través de la ecuación 04:

$$V_{mpp_{TOTAL}} = V_{mpp} \times N_s$$

Al desarrollar la formula se obtiene que:

$$V_{mpp_{TOTAL}} = 36,1 \times 2$$

$$V_{mpp_{TOTAL}} = 72,2 V$$

La corriente entregada en el punto de potencia máxima de los paneles solares se calcula con la ecuación 05:

$$Impp_{TOTAL} = Impp \times Np$$

Al desarrollar la ecuación se tiene:

$$Impp_{TOTAL} = 5,55 \times 1$$

$$Impp_{TOTAL} = 5,55A$$

4.7.2.2. Corrección de la tensión y corriente debido a las temperaturas

Los valores de tensión y corriente que el fabricante proporciona, son para una temperatura estándar de $25^{\circ}C$, por tal motivo es que se debe adaptar para la temperatura de la finca El Guarapo.

De acuerdo con el aplicativo NASA POWER, en la finca El Guarapo, se tiene temperaturas que se encuentran entre $36,61^{\circ}C$ como máximo y $12,31^{\circ}C$ como mínimo, la temperatura de la celda será diferente a la de $25^{\circ}C$ en condiciones estándares de medida.

Aguirre (2019) Señala que para calcular la tensión del circuito abierto a la salida de los paneles fotovoltaicos cuando trabajan a una temperatura de celda diferente a $25^{\circ}C$, se puede utilizar el coeficiente de temperatura para la tensión de circuito abierto (V_{OC}) mencionado por el fabricante.

Se determinará a través de la ecuación 07:

$$V_{OC(X^{\circ}C)} = V_{OC(25^{\circ}C)} + \Delta T \times \Delta V_{OC(T)}$$

Donde:

$V_{OC(X^{\circ}C)}$: Viene a ser la tensión del circuito abierto del panel fotovoltaico a temperatura ambiente del lugar de instalación

$V_{OC(25^{\circ}C)}$: Viene a ser la tensión otorgada por el fabricante del circuito abierto a temperatura estándar $V_{OC(25^{\circ}C)} = 44,53V$.

ΔT : Viene a ser el cambio de temperatura entre la temperatura del lugar donde se realizará la instalación y la condición estándar entregada por el fabricante.

$\Delta V_{OC(T)}$: Viene a ser el coeficiente de temperatura de la tensión de circuito abierto del panel

$$\Delta V_{OC(T)} = -0,2941\%/^{\circ}\text{C}$$

para calcular la corriente de cortocircuito a la salida de los paneles fotovoltaicos al momento de trabajar a temperatura de celda diferente de 25°C , Esta se puede calcular utilizando la fórmula 08:

$$I_{SC(X^{\circ}\text{C})} = I_{SC(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta I_{SC(T)}$$

Donde:

$I_{SC(X^{\circ}\text{C})}$: Corriente de cortocircuito a temperatura ambiente del lugar del panel fotovoltaico

$I_{SC(25^{\circ}\text{C})}$: Corriente de cortocircuito a temperatura estándar proporcionada por el fabricante.

$I_{SC(25^{\circ}\text{C})}$: 6A.

ΔT : Viene a ser el cambio de temperatura entre la temperatura del lugar donde se realizará la instalación y la condición estándar entregada por el fabricante.

$\Delta I_{SC(T)}$: Viene a ser el coeficiente de temperatura de la corriente del panel fotovoltaico

$$\Delta I_{SC(T)} = +0,0681\%/^{\circ}\text{C}$$

Calculo para la temperatura más alta ($T = 36.61^{\circ}\text{C}$):

La temperatura que logran alcanzar las celdas del panel fotovoltaico en la zona de instalación se determina a través de la ecuación 06:

$$Tp = Ta + \frac{(T_{OCN} - 20) \times I}{800}$$

$$Tp = 36,61 + \frac{(40 - 20) \times 1000}{800}$$

$$Tp = 61,61^{\circ}\text{C}$$

A continuación, se determinará la tensión de circuito abierto a la salida del panel fotovoltaico con la temperatura ambiente de la zona de instalación a través de la fórmula 07:

$$V_{OC(x^{\circ}C)} = V_{OC(25^{\circ}C)} + \Delta T \times \Delta V_{OC(T)}$$

$$V_{OC(36.61^{\circ}C)} = 44,53 + (25 - 36,61) \times (-0,2941)$$

$$V_{OC(36.61^{\circ}C)} = 47,94 \text{ V}$$

Seguidamente se procede a calcular la corriente de cortocircuito a la salida del panel fotovoltaico con la temperatura de la zona de instalación mediante la ecuación 08:

$$I_{SC(x^{\circ}C)} = I_{SC(25^{\circ}C)} + \Delta T \times \Delta I_{SC(T)}$$

$$I_{SC(36.61^{\circ}C)} = 6 + (36,61 - 25) \times 0,0681$$

$$I_{SC(36.61^{\circ}C)} = 6,79 \text{ A}$$

Seguidamente, el cálculo de la tensión de circuito abierto de nuestro inversor se realiza multiplicando el total de paneles en serie por la tensión de circuito abierto a temperatura de la zona de instalación a través de la fórmula 09:

$$V_{OC(x^{\circ}C)INVERSOR} = V_{OC(x^{\circ}C)} \times Ns$$

$$V_{OC(36.61^{\circ}C)INVERSOR} = V_{OC(36.61^{\circ}C)} \times Ns$$

$$V_{OC(36.61^{\circ}C)INVERSOR} = 47,94 \times 2$$

$$V_{OC(36.61^{\circ}C)INVERSOR} = 95,88 \text{ V}$$

La corriente de cortocircuito permanece igual.

$$I_{SC(36.61^{\circ}C)INVERSOR} = 6,79$$

Calculo para la temperatura más baja (T = 12.31°C):

La temperatura que logran alcanzar las celdas del panel fotovoltaico en la zona de instalación se determina a través de la ecuación 06:

$$Tp = Ta + \frac{(T_{OCN} - 20) \times I}{800}$$

$$Tp = 12,31 + \frac{(40 - 20) \times 1000}{800}$$

$$Tp = 37,31^{\circ}C$$

A continuación, se determinará la tensión de circuito abierto a la salida del panel fotovoltaico con la temperatura ambiente de la zona de instalación a través de la fórmula 09:

$$V_{OC(x^{\circ}C)} = V_{OC(25^{\circ}C)} + \Delta T \times \Delta V_{OC(T)}$$

$$V_{OC(12.31^{\circ}C)} = 44,53 + (12,31 - 25) \times (-0,2941)$$

$$V_{OC(12.31^{\circ}C)} = 48,26 \text{ V}$$

Seguidamente se procede a calcular la corriente de cortocircuito a la salida del panel fotovoltaico con la temperatura de la zona de instalación mediante la ecuación 08:

$$I_{SC(x^{\circ}C)} = I_{SC(25^{\circ}C)} + \Delta T \times \Delta I_{SC(T)}$$

$$I_{SC(12.31^{\circ}C)} = 6 + (25 - 12,31) \times 0,0681$$

$$I_{SC(12.31^{\circ}C)} = 6,86 \text{ A}$$

Seguidamente, el cálculo de la tensión de circuito abierto de nuestro inversor se realiza multiplicando el total de paneles en serie por la tensión de circuito abierto a temperatura de la zona de instalación a través de la ecuación 09:

$$V_{OC(x^{\circ}C)INVERSOR} = V_{OC(x^{\circ}C)} \times Ns$$

$$V_{OC(12.31^{\circ}C)INVERSOR} = V_{OC(12.31^{\circ}C)} \times Ns$$

$$V_{OC(12.31^{\circ}C)INVERSOR} = 48,26 \times 2$$

$$V_{OC(12.31^{\circ}C)INVERSOR} = 96,52 \text{ V}$$

La corriente de cortocircuito permanece igual.

$$I_{SC(12.31^{\circ}C)INVERSOR} = 6,86 \text{ A}$$

4.7.2.3. Corrección de la tensión en el punto de máxima potencia

Como una última valoración, antes de elegir el inversor, se debe considerar la tensión de máxima potencia en la zona donde se instalarán los paneles fotovoltaicos.

Para obtener estos parámetros, se debe conocer la variación por temperatura de la tensión máxima de potencia utilizando la igualdad $V_{mpp(T)} = 0,8061 \times V_{OC(T)}$, así como también la variación de tensión $\Delta V_{mpp(T)} = 0,8061 \times \Delta V_{OC(T)}$, seguidamente se tiene la ecuación 11:

$$\Delta V_{mpp(T)} = 0,8061 \times \Delta V_{OC(T)}$$

$$\Delta V_{mpp(T)} = 0,8061 \times (-0,2941\%/^{\circ}\text{C})$$

$$\Delta V_{mpp(T)} = -0,237074\%/^{\circ}\text{C}$$

Habiendo calculado las tensiones que los paneles alcanzaran en el punto de máxima potencia, cuando los paneles se encuentren a una temperatura de $12,31^{\circ}\text{C}$ (La celda fotovoltaica estará a una temperatura de $37,31^{\circ}\text{C}$ y cuando estén a $36,61^{\circ}\text{C}$, la celda fotovoltaica estará a una temperatura de $61,61^{\circ}\text{C}$, se utilizara la ecuación 12 para ejecutar los cálculos:

$$\Delta V_{mpp(X)} = \Delta V_{mpp(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta V_{mpp(T)}$$

$$\Delta V_{mpp(61,61^{\circ}\text{C})} = 36,1 + (61,61 - 25) \times (-0,237074)$$

$$\Delta V_{mpp(61,61)} = 27,4207 \text{ V}$$

$$\Delta V_{mpp(37,31^{\circ}\text{C})} = \Delta V_{mpp(25^{\circ}\text{C})} + \Delta T \times \Delta V_{mpp(T)}$$

$$\Delta V_{mpp(37,31^{\circ}\text{C})} = 36,1 + (37,31 - 25) \times (-0,237074)$$

$$\Delta V_{mpp(37,31^{\circ}\text{C})} = 33,2053$$

Posteriormente, multiplicando el parámetro de tensión máxima de potencia por la cantidad de paneles fotovoltaicos en serie, obtendremos el rango de tensiones máximas y mínimas que deberá soportar el inversor, este cálculo se obtiene a través de la fórmula 13:

$$V_{mpp(X)} = V_{mpp(x)} \times Ns$$

$$V_{mpp(61,61)} = 27,4207 \times 2$$

$$V_{mpp(61,61)} = 54,8414 \text{ V}$$

$$V_{mpp(37,31)} = 33,2053 \times 2$$

$$V_{mpp(37,31)} = 66,4106 \text{ V}$$

4.7.2.4. Inversor elegido

Habiendo realizado los cálculos a temperatura ambiente y habiendo obtenido los parámetros necesarios, se procederá a escoger el inversor que cumpla con los valores obtenidos.

Tabla 12

Rango de tensión y corriente para el inversor

Temperatura durante el año	Tensión máxima de potencia (VMPP)	Tensión de circuito abierto (Voc)	Corriente de cortocircuito (Isc)
Máxima temperatura (T = 36.61°C)	54,84 V	95,88 V	6,79 A
Mínima temperatura (T = 12.31°C)	66,41 V	96,52 V	6,86 A

Nota. Elaboración propia

De los cálculos obtenidos y con la finalidad de seleccionar un inversor que cumpla con los requerimientos de la instalación, se optó por el inversor de red interconectado 1kW S6-GRIP1K-M 220V SOLIS monofásico.

Tabla 13

Especificaciones técnicas del inversor de red interconectado 1kW S6-GRIP1K-M 220V SOLIS.

CARACTERISTICAS	VALORES
Max. Voltaje De Entrada (V)	600V
Min. Voltaje de entrada CC (V)	60V/600V
Max. Potencia (kW)	1
Corriente de cortocircuito (A)	22
Max. Eficiencia (%)	96,6%
Grado de protección (según IEC 60529)	IP66
Ancho (mm)	160
Alto (mm)	373
Profundidad (mm)	310

Nota. Elaboración propia

4.7.3. Dimensionamiento del cableado

Para el dimensionamiento del cableado se requiere identificar el recorrido de la instalación y las características en cada punto de conexión por la corriente que circula por la instalación. El recorrido donde se calculará la sección del conductor es:

Tramo 1: Conexión de los paneles fotovoltaicos a la caja de protección CC.

Tramo 2: Desde la caja de protección CC hasta el inversor.

Tramo 3: Desde el inversor hasta la caja de protección CA.

Tramo 4: Caja de protección CA hasta el tablero general de carga.

Para el recorrido de corriente continua, la sección del conductor se calculará con la ecuación 14:

$$S = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{k \times \Delta V}$$

Para el recorrido de corriente alterna, este tramo esta desde el inversor hasta el tablero general del sistema de despulpado, el cálculo de sección del conductor, se realizará utilizando la ecuación 15:

$$S = \frac{2 \times L \times P}{k \times \Delta V \times V}$$

El cálculo del conductor, se realizará por tramos, los cuales se mencionan a continuación:

- **Tramo 1: Conexión de los paneles fotovoltaicos a la caja de protección CC**

En esta parte de la instalación, desde la salida de los paneles solares, hasta la caja de protección CC, está compuesto por dos conductores, positivo y negativo. Para poder calcular la sección del conductor, se realizará utilizando los siguientes parámetros:

L : Es la distancia desde el punto de conexión del panel más alejado hasta la caja de protección CC, a esta distancia, se le sumara un 10% de la distancia real, obteniendo una distancia total de 7,20 m.

I_{cc} : Es la corriente de cortocircuito que pasa por esta parte del sistema, siendo la corriente máxima que circula por los conductores. Esta corriente viene a ser de 6 A.

ΔV : Es la caída de tensión máxima que los conductores podían tener, para el presente proyecto, se tomará 1,5% de la caída de tensión según IDAE (2011). Para nuestro caso, en el punto máximo de potencia la caída de tensión a la salida del ramal seria 2,22V.

k : : Es la conductividad del elemento conductor en nuestro sistema, para el presente estudio, se utiliza el cobre como elemento conductor el cual tiene una conductividad de $54 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$ para una temperatura de 30°C (ver tabla 5)

Para este tramo, la corriente que circula es continua por lo que se utiliza la ecuación 14:

$$S = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{k \times \Delta V}$$

$$S = \frac{2 \times 7,20 \times 6}{54 \times 2,22}$$

$$S = 0,72 \text{ mm}^2$$

▪ **Tramo 2: Desde la caja de protección CC hasta el inversor**

Esta parte de la instalación, comprende desde la caja de protección CC hasta el inversor, en este tramo salen dos conductores, positivo y negativo desde la caja de protección CC hasta el inversor suministrando la corriente de los paneles fotovoltaicos para su posterior conversión de corriente continua a alterna. Para calcular la sección del conductor en este tramo, se tomarán los siguientes parámetros:

L : Es la longitud del conductor para esta parte de la instalación que comprende desde la caja de protección CC hasta el inversor, por causas de mantenimiento es que se va a determinar el 10% de la distancia real por lo que se va a establecer una distancia de real de 15,2 m.

I_{cc} : Es la corriente máxima que circula en los conductores, esta corriente es la del cortocircuito de los paneles fotovoltaicos. En el presente sistema fotovoltaico, se suministra la misma corriente por cada ramal en serie lo cual resulta en 6A.

ΔV : Es la máxima caída de tensión que pueden tener los conductores, para el presente proyecto se tomara 1,5% de la caída de tensión según IDAE (2011). La caída de tensión en el punto de máxima potencia es de 2,22V para el presente caso.

k : viene a ser la conductividad del elemento conductor en nuestro sistema, para el presente estudio, se utiliza el cobre como elemento conductor el cual tiene una conductividad de $54 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$ para una temperatura de 30°C (ver tabla 5)

Al tratarse de un tramo del sistema por el cual circula corriente continua, se utilizará la ecuación 14:

$$S = \frac{2 \times L \times I_{cc}}{k \times \Delta V}$$

$$S = \frac{2 \times 15,2 \times 6}{54 \times 2,22}$$

$$S = 1,52 \text{ mm}^2$$

▪ **Tramo 3: Desde el inversor hasta la caja de protección CA**

Esta parte del tramo comprende desde la conexión desde el inversor hasta la caja de protecciones de CA, en este tramo, habrá dos conductores para una conexión monofásica desde el inversor hasta la caja de protección CA. Los parámetros a tener en cuenta para el cálculo de la sección del conductor en este tramo son los siguientes:

L : Longitud del conductor, para este tramo se tomará la distancia desde el inversor hasta la caja de protección CA asignando un 10% de la longitud real para conceptos de mantenimiento obteniendo una longitud de $4.2m$

P : Es la potencia máxima para esta parte del sistema, teniendo una potencia suministrada por el inversor a la salida de CA de $1000W$.

ΔV : Caída de tensión máxima de corriente alterna permitida en el sistema, para poder realizar el cálculo, se tomará el porcentaje de 2,5% de máxima caída de tensión según el Código Nacional de Electricidad – Utilización (2006) sección 50, entonces, el voltaje a la salida del inversor debe ser la misma que llega de la red eléctrica siendo $220V$ obteniendo una caída de tensión máxima de $5,5V$

k : viene a ser la conductividad del elemento conductor en nuestro sistema, para el presente estudio, se utiliza el cobre como elemento conductor el cual tiene una conductividad de $54 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$ para una temperatura de $30^\circ C$ (ver tabla 5)

V : Tensión de la red eléctrica convencional en baja tensión siendo 220V.

Para este tramo donde circula corriente alterna, se utilizará la fórmula.

$$S = \frac{2 \times L \times P}{k \times \Delta V \times V}$$
$$S = \frac{2 \times 4,2 \times 1000}{54 \times 5,5 \times 220}$$
$$S = 0,12 \text{ mm}^2$$

▪ **Tramo 4: Desde la caja de protección CA hasta el tablero general de carga.**

Este tramo del sistema comprende la conexión monofásica a través de dos cables desde la caja de protecciones de corriente alterna hasta el tablero general, este punto del sistema sirve como protección y también para sacar de servicio el sistema y poder realizar trabajos de mantenimiento, los parámetros a utilizar para el cálculo de sección del conductor en este tramo son los siguientes:

L : Longitud del conductor para el tramo 4 siendo la distancia desde la caja de protección CA hasta el tablero general de carga, asignando un 10% de la longitud real por concepto de mantenimiento obtenido así una longitud de 2,4m.

P : Es la potencia máxima para esta parte del sistema, teniendo una potencia suministrada por el inversor a la salida de CA de 1000W.

ΔV : Caída de tensión máxima de corriente alterna permitida en el sistema, para poder realizar el cálculo, se tomará el porcentaje de 2,5% de máxima caída de tensión según el Código Nacional de Electricidad – Utilización (2006) sección 50, por lo tanto, el voltaje a la salida del inversor debe ser la misma que llega de la red eléctrica en baja tensión siendo 220V teniendo una caída de tensión máx. de 5,5V

k : : Viene a ser la conductividad del elemento conductor en nuestro sistema, para el presente estudio, se utiliza el cobre como elemento conductor el cual tiene una conductividad de $54 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$ para una temperatura de 30°C (ver tabla 5)

V : Tensión de la red eléctrica convencional en baja tensión siendo 220V.

Para este tramo donde circula corriente alterna, se utilizará la fórmula 15 para conductores en CA obteniendo lo siguiente:

$$S = \frac{2 \times L \times P}{k \times \Delta V \times V}$$

$$S = \frac{2 \times 2,4 \times 1000}{54 \times 5,5 \times 220}$$

$$S = 0,07 \text{ mm}^2$$

4.7.4. Selección del tipo de cable

Al realizar los cálculos y obteniendo resultados que no están normalizados, se procederá a seleccionar el conductor considerando una sección de conductor mayor a la calculada y considerando un conductor con la capacidad de soportar la corriente que circule por este para poder garantizar el buen funcionamiento del sistema.

El tipo de conductor para el sistema fotovoltaico por el que se ha optado es de la marca INDECO del tipo NH-80, este tipo de conductor es de cobre 100% libre de alógenos, soporta 80°C , no emite gases tóxicos y no propaga la llama. Su tabla de datos técnicos se muestra en el (Anexo 4)

Habiendo realizado los cálculos para la selección normalizada del conductor, se obtiene un cuadro final donde se expone el tipo y sección del conductor a utilizar por tramo, el cual se muestra a continuación en la tabla 14, esta selección se realizó consultado la regla 030-002 (sección mínima

de conductores) de la sección 030 del CNE-Utilización 2026 donde indica que la sección mínima para circuitos derivados de fuerza y alumbrado debe ser de $2,5\text{mm}^2$

Tabla 14

Conductores seleccionados para el sistema.

TRAMO	Parámetros calculados			Cable seleccionado INDECO NH-80	
	Sección teórica (mm^2)	Longitud (m)	Corriente de cortocircuito (A)	Sección (mm^2)	Amperaje (A)
1	0,72	7,20	6	2,5	24
2	1,52	15,2	6	2,5	24
3	0,12	4,2	4,54	2,5	24
4	0,07	2,2	4,54	2,5	24

Fuente: Elaboración propia

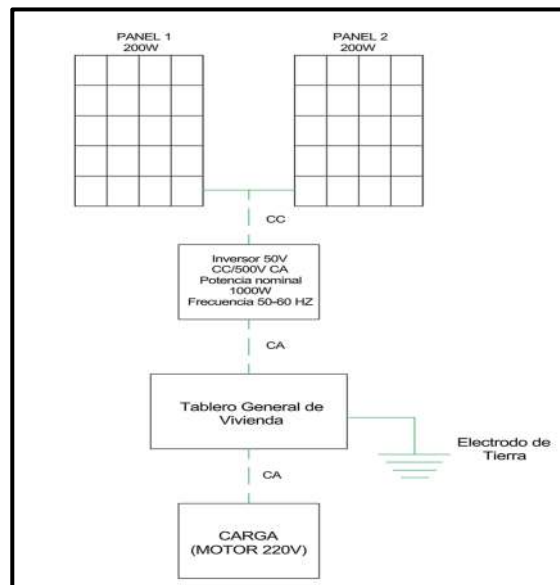
4.8. Sistema de puesta a tierra del sistema fotovoltaico conectado a red.

Para nuestro sistema, la puesta a tierra se conectará a todas las partes metálicas, como el soporte metálico de los paneles, tableros y carcazas metálicas. La longitud del conductor será la suma de las distancias de todos los tramos por lo que se obtiene una longitud total de 28,80 m.

De acuerdo con el Código Nacional de Electricidad – Utilización, sección 060, menciona que el valor de la resistencia de la puesta a tierra debe ser tal que, ninguna masa pueda dar lugar tensiones de contacto superiores a las permitidas y no debe ser mayor a 25Ω , también establece que los conductores de un sistema de puesta a tierra deben ser de cobre y de 10mm^2 como sección mínima por lo que se utilizara cable CPT de 10mm^2 . En la regla 060-702 del CNE-Utilización menciona que el electrodo de varilla para una puesta a tierra debe tener un diámetro no inferior a 16mm (o 5/8 de pulgada) para electrodos de acero-cobre (Minas, 2006).

Figura 58

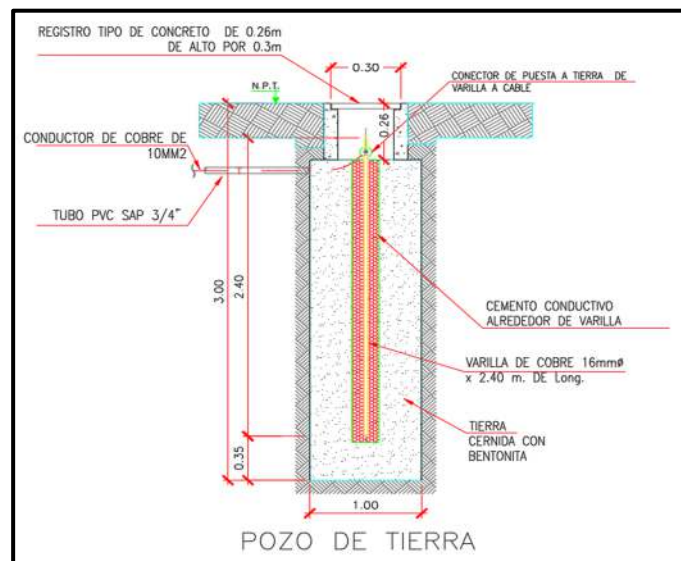
Esquema de puesta a tierra.



Nota. La figura muestra el esquema de la puesta a tierra. Elaboración propia.

Figura 59

Pozo a tierra.



Nota. La figura muestra el pozo a tierra. Elaboración propia.

4.9. Protecciones

Las protecciones en un sistema eléctrico son de suma importancia, también en las instalaciones fotovoltaicas. Estas se encargarán de proteger a las personas que operen el sistema eléctrico, asimismo facilitara la conexión y desconexión por tramos, siendo de gran ayuda en caso se requiera realizar algún mantenimiento a lo largo de sus componentes.

Para las protecciones, al igual que los conductores, se realiza un cálculo por tramos, tanto para las protecciones de corriente continua como alterna, la relación entre los dispositivos de protección se muestra con la ecuación 16:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \dots \dots \dots (16)$$

4.9.1. Protección de corriente continua

4.9.1.1. Fusibles.

En la salida de los conductores, se ha considerado el uso de fusibles como primer elemento de protección los cuales servirán para proteger a los conductores de sobreintensidades de corriente.

Estos fusibles se colocarán uno por conductor, al tener dos conductores por ramal entonces se colocarán dos fusibles.

Teniendo en cuenta la relación antes mencionada, se seleccionará el tipo de fusible, la sección del conductor para este tramo es de $2,5 \text{ mm}^2$ por lo que el fusible se dimensionara a continuación:

$$I_B = I_{mpp \text{ modulo}} = 5,55A$$

$$I_Z = I_{max \text{ admisible del conductor}} = 24A$$

Entonces, la selección de la corriente nominal del fusible se realiza con ecuación 16:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

$$5,55 \leq I_n \leq 24$$

$$I_n = 10 A$$

Se utilizará fusibles de 10 A que estarán ubicados en la caja de protecciones, cada conductor proveniente de los ramales del generador fotovoltaico utilizara un fusible, para nuestro sistema se ha optado por elegir un fusible de la marca DF ELECTRIC modelo 491620, este modelo trabaja con una corriente de 10 A y opera con una tensión de hasta 1000 V CC, lo cual lo hace ideal para protecciones aplicadas a sistemas fotovoltaicos.

Figura 60

Fusible de 10 A



Nota. La figura muestra un fusible de 10 A, DF ELECTRIC 491620. Tomado de DF ELECTRIC

4.9.1.2. Portafusible

El portafusible es un dispositivo que trabaja con fusibles cilíndricos de potencias bajas, cuenta con una fisionomía compacta y de sencilla instalación, así como con unas características técnicas ideales para soportar la sobretensión a la que el fusible puede verse expuesto.

El diseño y fabricación se realiza en base a la norma IEC60947-3, cuenta con un indicador led que muestra el estado del fusible, cuenta con una corriente nominal de 15A y un voltaje nominal de hasta 1000VCC.

Figura 61

Portafusible.



Nota. La figura muestra un portafusible 10x38 15A 1000Vdc 1P ZJ Beny. Tomado de AutoSolar.com

4.9.2. Protección de corriente alterna

4.9.2.1. Interruptor termomagnético

Siguiendo el procedimiento de selección que se utilizó en corriente continua, se seleccionara el interruptor termomagnético de corriente alterna, estos dispositivos protegerán a los conductores por donde circula corriente alterna.

En este tramo de corriente alterna, el conductor seleccionado es de 2,5 mm², por lo tanto, se utilizarán los siguientes parámetros:

$$I_B = I_{max} \text{ a la salida del inversor} = 4,54 \text{ A}$$

$$I_Z = I_{max} \text{ admisible del conductor} = 24 \text{ A}$$

Para seleccionar la corriente nominal de protección se determina con la ecuación 16:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$

$$4,54 \leq I_n \leq 24$$

$$I_n = 20 A$$

Realizada la selección se ha determinado el uso de un interruptor termomagnético de 20A para la corriente alterna. Recomendando dispositivos de la marca BTICINO del modelo 2x20A Btdin, este modelo tiene dos polos y está diseñado para una intensidad de corriente de 20 A.

Figura 62

Interruptor Termomagnético BTICINO



Nota. La figura muestra un interruptor termomagnético BTICINO. Tomado de catálogo de productos BTICINO

4.9.2.2. Interruptor diferencial

Un interruptor diferencial es un dispositivo de protección con capacidad de detectar fugas de corriente y cortar el flujo de la misma de manera automática, este dispositivo es de vital importancia en una instalación eléctrica por su función principal que es proteger la vida de las personas en casos de electrocuciones por contacto directo o indirecto. Para el Código Nacional de Electricidad – Utilización (2006) este dispositivo de corriente residual debe tener una sensibilidad adecuada y ser del tipo selectivo para fines de coordinación con los dispositivos de corriente residual de alta sensibilidad (30 mA), que se deben instalar en el tablero.

Para seleccionar el interruptor diferencial de nuestro sistema se tomará como referencial el cálculo del interruptor termomagnético ya que puede ser de igual o mayor capacidad que el anterior. El interruptor termomagnético antes seleccionado es de 20 A por lo tanto la capacidad del interruptor diferencial debe ser de igual o mayor capacidad, por lo que se ha optado por seleccionar la capacidad de corriente inmediata superior que es 25 A.

El interruptor diferencial recomendado para el presente sistema es de la marca BTICINO del modelo 2x25A Salvavita el cual tiene dos polos con una sensibilidad de 30 mA y una intensidad de corriente nominal igual a 25 A.

Figura 63

Interruptor Diferencial BTICINO



Nota. Se muestra un interruptor Diferencial. Tomado de catálogo de productos BTICINO

4.9.2.3. Medidor bidireccional

Para un sistema fotovoltaico conectado a red es esencial contar con este dispositivo, este tipo de medidor tiene la capacidad de diferenciar la energía que es entregada por los paneles fotovoltaicos

y la energía que se consume de la red pública, este dispositivo podrá enviar información al sistema de monitorización del inversor. Para el presente sistema se ha considerado un medidor bidireccional DDSU666-H para el presente sistema fotovoltaico conectado a red.

Figura 64

Medidor bidireccional



Nota. La figura muestra un medidor bidireccional DDSU666-H. Tomado de https://autosolar.pe/vatimetro/vatimetro-ddsu666h-monofasico-huawei?srsId=AfmBOoqs_I9iDwrYcdQeZ5ops7JtiF3vas64Wbd2ldiQDnOEV6zZU81s

4.9.2.4. Interruptor de interconexión:

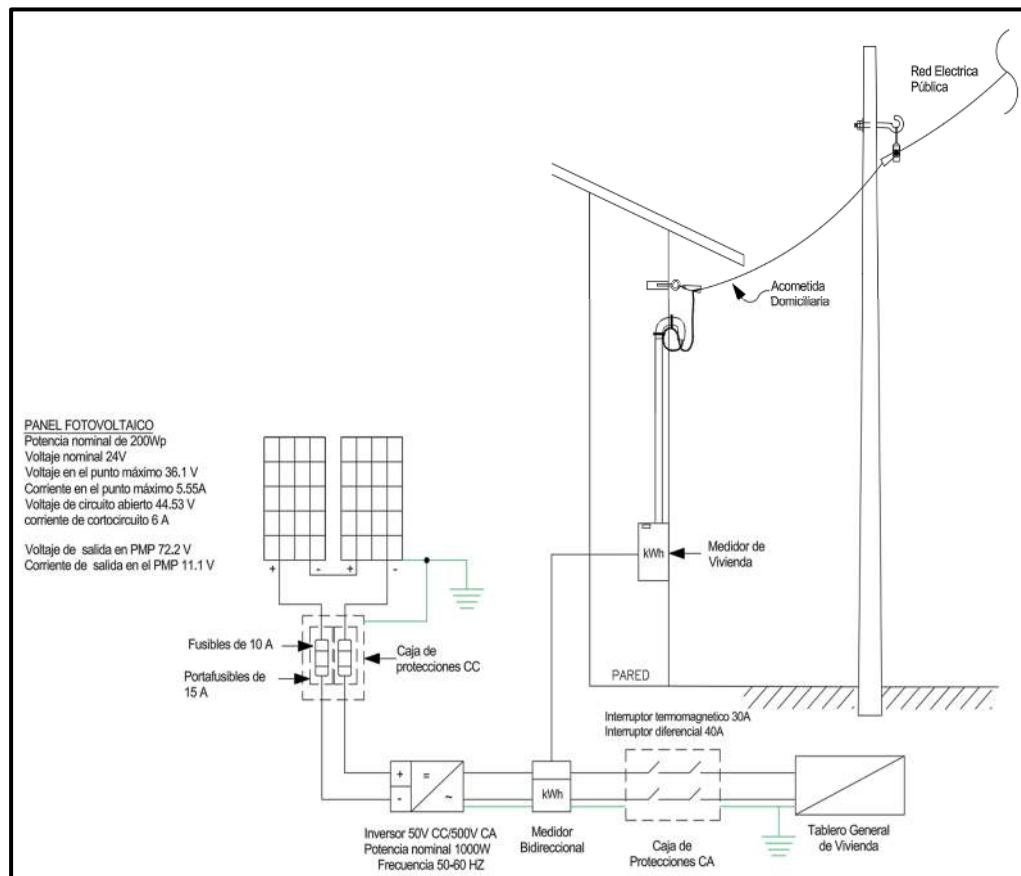
Este tipo de interruptor cuya función es conmutar de manera automática o manual una carga eléctrica provenientes de dos fuentes diferentes de energía, pero también el inversor seleccionado realiza estas funciones, y además este inversor posee un sistema de monitorización consiguiendo que el inversor no inyecte energía a la red eléctrica.

4.10. Topología del sistema fotovoltaico conectado a red

Habiendo realizado el dimensionamiento de todos los elementos, a continuación, se muestra la topología del sistema fotovoltaico conectado a red.

Ilustración 65

Topología del sistema fotovoltaico



Nota. La figura muestra la topología del sistema fotovoltaico conectado a red. Elaboración propia.

4.10.1. Funcionamiento del SFCR

En un sistema fotovoltaico conectado a red los paneles solares son los que captan la radiación solar para luego ser convertida en energía eléctrica continua, siendo el inversor, el dispositivo que controla el funcionamiento del SFCR, el inversor monitoriza la operación del sistema de manera automatizada, controlando la potencia generada durante el día por los paneles fotovoltaicos de acuerdo al consumo de la vivienda, en los casos, en donde la potencia generada por los paneles fotovoltaicos no sea suficiente, se comprara la energía necesaria a la concesionaria.

Durante las horas nocturnas, en los paneles fotovoltaicos aumenta y pone en operación al inversor. El dispositivo encargado de cuantificar la energía que ingresa de la red pública es el medidor bidireccional y también envía información al sistema de monitoreo del inversor.

4.10.2. Lazos de control del SFCR

En un sistema fotovoltaico conectado a red los lazos de control son los siguientes:

- **Conexión de un receptor de control remoto:**

El inversor seleccionado Tensite, está equipado con interfaces para ser conectado a un receptor de control remoto. Este dispositivo obtiene señales de control transmitidas a través de la red. Su configuración puede ser ajustada a través de la interface web del inversor.

- **Control mediante componentes de terceros:**

El inversor puede ser controlado también, a través de componentes terceros.

4.11. Energía producida por el SFCR

Para realizar el cálculo de la energía generada se utiliza la fórmula 17:

$$Ep = \frac{G_{dm}(\beta) \times P_{GFV} \times PR}{G_{CEN}}$$

Donde:

Ep : Es la cantidad de energía producida diaria (kWh).

P_{GFV} : Es la potencia pico que puede entregar el generador o paneles fotovoltaicos (kW).

$G_{dm}(\beta)$: Es la radiación diaria sobre la superficie del generador ($kWh/m^2 - día$).

G_{CEN} : Es la radiación en condiciones estándares ($1kW/m^2$).

PR : Es la eficiencia de la instalación en condiciones reales de trabajo.

Para Aguirre (2019), se considera un factor de eficiencia en sistemas fotovoltaicos de $PR = 0,7$ el cual va hacer posible calcular la cantidad de energía producida en un año.

Teniendo 2 paneles fotovoltaicos de $200Wp$ y una potencia entrega de $400Wp$ por el generador fotovoltaico con un factor de rendimiento de los paneles de $0,9$.

En la tabla 15 se muestra la anergia generada de manera mensual y en un año, por lo que se puede determinar que el sistema fotovoltaico conectado a red puede generar $417,96 kWh$ en un año.

$$Ep = \frac{G_{dm}(\beta) \times P_{GFV} \times PR}{G_{CEN}}$$

$$Ep = \frac{4,70 \times 400 \times 0,7}{1000}$$

$$Ep = 1,316$$

Tabla 15

Maxima energía generada desde enero 2021 hasta diciembre 2025 por el SFCR (kWh/mes).

Mes	Irradiación mensual (kWh/día).	PR	Energía disponible (kWh/día).	Días	Factor de rendimiento k	Energía mensual (kWh/mes).
Enero	4,70	0,7	1,316	31	0,9	36,72
Febrero	4,29	0,7	1,201	28	0,9	30,27
Marzo	4,37	0,7	1,224	31	0,9	34,14
Abril	4,27	0,7	1,196	30	0,9	32,28
Mayo	3,99	0,7	1,117	31	0,9	31,17
Junio	4,09	0,7	1,145	30	0,9	30,92
Julio	3,99	0,7	1,117	31	0,9	31,17
Agosto	4,71	0,7	1,319	31	0,9	36,79
Septiembre	4,93	0,7	1,380	30	0,9	37,27
Octubre	5,19	0,7	1,453	31	0,9	40,54
Noviembre	5,07	0,7	1,420	30	0,9	38,33
Diciembre	4,91	0,7	1,375	31	0,9	38,36
Energía de generación anual						417,96

Nota. Elaboración propia

4.12. Evaluación económica de la implementación de la máquina despulpadora de café y SFCR.

En el presente proyecto se realizará el análisis económico y financiero, permitiéndonos conocer si el proyecto propuesto para la finca El Guarapo es viable económicamente, obteniendo valores para evaluar su implementación. Estos indicadores serán, el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y periodo de retorno (PR).

4.12.1. Presupuesto de la máquina despulpadora

En la siguiente tabla se muestra el presupuesto para implementar una máquina despulpadora de café, presupuesto que se realizó con precios actuales de los equipos y materiales que se utilizaron en el diseño.

Tabla 16

Costos directos de la despulpadora.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Parcial (S/.)
1.00	Lamina de acero inoxidable AISI304 1000x1000x1 mm	und	1	165,00	165,00
2.00	Eje principal Acero AISI 1144, Ø1 pulg, L=16 pulg	Und	1	150,00	150,00
3.00	Eje cuadrado Acero AISI 1144, Ø1 pulg, L=16 pulg	und	1	155,00	155,00
4.00	Eje de acero inoxidable AISI 1144, Ø1/8 pulg, L=16 pulg	und	4	25,00	100,00
5.00	Polea 2 pulg	und	1	35,00	35,00
6.00	Polea 18 pulg	und	1	180,00	180,00
7.00	Banda A-94	und	1	55,00	55,00
8.00	Engranaje 49 dientes en acero AISI 1144	und	1	280,00	280,00
9.00	Piñón 17 dientes en acero AISI 1144	und	1	140,00	140,00
10.00	Maquinado del tambor	und	1	180,00	180,00
11.00	Camisa de cobre	und	1	120,00	120,00
12.00	Maquinado del pechero	und	1	220,00	220,00

13.00	Maquinado del castillo	und	2	180,00	360,00
Total					2140,00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 17

Elementos normalizados de la despulpadora.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Parcial (S/.)
1.00	Motor monofásico 0.5 HP	und	1	460,00	460,00
2.00	Chumacera rodamientos eje principal 1 pulg	Und	2	85,00	170,00
3.00	Chumacera rodamientos eje cuadrado 1 pulg	und	2	85,00	170,00
4.00	Pernos, tuercas, rodajes	und	1	120,00	120,00
Total					920,00

Nota. Elaboración propia.

Tabla 18

Mano de obra de la despulpadora.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Parcial (S/.)
1.00	torno	h-m	3	40,00	120,00
2.00	Dobladora	h-m	1	35,00	35,00
3.00	Taladro	h-m	1	35,00	35,00
4.00	Pintura	h-m	1	30,00	30,00
5.00	Montaje	h-h	2	40,00	80,00
Total					300,00

Nota. Elaboración propia.

4.12.2. Presupuesto del SFCR

En la tabla 14, se muestra el presupuesto para implementar el sistema fotovoltaico conectado a red, presupuesto que se realizó con precios recientes de los materiales y equipos del diseño.

Tabla 19

Presupuesto de la instalación del sistema fotovoltaico conectado a red.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Parcial (S/.)
1.00	Modulo solar				1 173,40
1.01	Panel solar WS-200	und	2	547,00	1 094,00
1.02	Estructura soporte de paneles	und	2	39,70	79,40
2.00	Unidad de control y potencia				2 096,40
2.01	Inversor interconectado 1kW S6-GRIP1K-M 220V SOLIS	und	1	1 505,67	1 505,57
2.02	Medidor bidireccional DDSU666-H	und	1	590,73	590,73
3.00	Sistema de protección				288,96
3.01	Fusible DF ELECTRIC 10A	und	2	7,87	15,74
3.02	Porta Fusibles 10x38 PV	und	2	6,71	13,42
3.03	Interruptor Termomagnético CA 2x20A BTICINO	und	1	43,90	43,90
3.04	Interruptor diferencial 2x25A BTICINO	und	1	154,90	154,90
3.05	Caja de protecciones CC	und	1	30,50	30,50
3.06	Tablero de protecciones CA	und	1	30,50	30,50
4.00	Cables				335,08
4.01	Cable NH-80 2,5 mm2	m	115,2	1,95	224,64
4.02	Tubo PVC 20mm	m	30	2,00	60,00
4.03	Tornillos, tarugos, abrazaderas	glb	1	50,40	50,44
				Costo directo (S/.)	3 893,84
				Gastos generales (10%)	389,384
				Utilidad (5%)	194,692
				Subtotal (S/.)	4 477,916
				IGV (18%)	806,024
				Presupuesto total (S/.)	5 283,94

Fuente: Elaboración propia

En el sistema fotovoltaico, el inversor tiene un tiempo de vida útil de 10 años, por ende, en el flujo de caja en el año 11 se considera el costo del inversor como nuevo.

4.12.3. Costo de la energía anual del SFCR

Para determinar el ahorro económico de la energía generada se tiene como referencia el precio del kWh, en este caso se toma el precio del consumo eléctrico del pliego tarifario vigente correspondiente al Caserío La Laguna, Distrito de Chirinos, Provincia de San Ignacio departamento de Cajamarca, publicado el 04 de agosto del 2026 por Osinergmin en su página web. Como se aprecia en la figura 66.

Figura 66

Pliego tarifario máximo del servicio público de electricidad

Pliego Tarifario Máximo del Servicio Público de Electricidad				
Empresa: Electro Oriente				
Pliego	Vigencia	Sector	Interconexion	
SAN IGNACIO	4/Ago/2026	3	SEIN	
MEDIAS TENSIÓN		UNIDAD	TARIFA	
			Sin IGV	
TARIFA BT5B	TARIFA CON SIMPLE MEDICIÓN DE ENERGÍA 1E			MCTER-Sin IGV
Residencial	a) Para usuarios con consumos menores o iguales a 140 kW.h por mes			
0 - 30 kW.h				
	Cargo Fijo Mensual	S//mes	5.04	3.91
	Cargo por Energía Activa	ctm. S//kW.h	32.72	32.03
31 - 140 kW.h				
	Cargo Fijo Mensual	S//mes	5.04	3.91
	Cargo por Energía Activa - Primeros 30 kW.h	S//mes	9.82	9.61
	Cargo por Energía Activa - Exceso de 30 kW.h	ctm. S//kW.h	81.80	80.08

Nota. La figura muestra el pliego tarifario vigente de electricidad. Tomado de Osinergmin (2019)

Para determinar el cálculo del costo de la energía anual se emplea la siguiente ecuación:

$$CE_{Anual} = ET \times CP_{kWh} \dots \dots \dots (72)$$

Donde:

CE_{Anual} : Es el costo de la energía anual del sistema fotovoltaico conectado a red.

ET : Es la energía total (kWh. año)

CP_{kWh} : Es el costo de la energía del SFV

Resolviendo la ecuación anterior se tiene:

$$CE_{Anual} = 417,96 \times 1,79$$

$$CE_{Anual} = S/ 748,1484$$

Tabla 20

Evaluación anual con energía del SFV

Costo unitario S./kWh	Energía kWh/año	Total, S./año
1,79	417,96	748,1484

Nota. Elaboración propia.

Para calcular de manera correcta la tarifa del sistema fotovoltaico conectado a red y el costo nivelado de energía (LCOE), se realizará separando el SFCR de la despulpadora ya que los costos de la despulpadora y su operación corresponden al otro componente del proyecto.

- **Factor de recuperación de capital**

$$FRC = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \dots \dots \dots (73)$$

Donde:

i : Tasa de descuento

n : Vida útil del sistema

Entonces:

$$FRC = \frac{0,10(1+0,10)^{20}}{(1+0,10)^{20} - 1}$$

$$FRC = \frac{0,10(1,10)^{20}}{(1,10)^{20} - 1}$$

$$FRC = 0,117459$$

- **Costo anualizado de la inversión FV**

$$CAI = I \times FRC \dots\dots\dots (74)$$

Donde:

I : Inversión inicial del SFCR

FRC : Factor de Recuperación de Capital

Entonces:

$$CAI = 5373,19 \times 0,117459$$

$$CAI = S/ 631,12/ \text{año}$$

- **Costo anual total del sistema FV**

En esta parte se suma el costo anualizado de la inversión y el mantenimiento:

$$CAT = CAI + 120$$

$$CAT = 631,12 + 120$$

$$CAT = S/ 751,12/ \text{año}$$

- **Costo nivelado de energía (LCOE)**

El costo nivelado se puede expresarse en su forma de factor de recuperación como:

$$LCOE = \frac{FRC \times I + M}{E} \dots\dots\dots (75)$$

Donde:

E : Viene a ser la energía anual producida por el sistema.

Entonces:

$$LCOE = \frac{(0,117459 \times 5\,373,19) + 120}{417,96}$$

$$LCOE = S/ 1,79/kWh$$

Teniendo un Costo Nivelado de Energía de $S/ 1,79/kWh$

- **Tarifa del sistema fotovoltaico**

Determinando la tarifa de generación FV de equilibrio como el precio por kWh que permite recuperar la inversión y los costos de mantenimiento durante 20 años, entonces se tiene que:

$$T_{FV} = LCOE$$

$$T_{FV} = S/ 1,79/kWh$$

- **Comparación con la tarifa convencional**

$$Tarifa (LCOE FV) - Tarifa convencional$$

$$1,79 - 0,8368 = 0,9532$$

Con lo cual se determina que la Tarifa (LCOE FV) es mayor a la tarifa convencional en $S/ 0,9532/kWh$ aproximadamente.

Para términos de comparación, también se realizó el cálculo con la tarifa de ELOR.

En la figura 66 se muestra el pliego tarifario del servicio de electricidad regulado por Osinergmin para el cual se toma el valor referencial para la tarifa BT5B RESIDENCIAL teniendo un costo del kWh de 0.818 con este precio se determina el ahorro económico por consumo de energía anual.

Para determinar el cálculo del costo de la energía anual se emplea la siguiente ecuación:

$$CE_{Anual} = ET \times CP_{kWh} \dots \dots \dots (72)$$

Donde:

CE_{Anual} : Es el costo de la energía anual del sistema fotovoltaico conectado a red.

ET : Es la energía total ($kWh. año$)

CP_{kWh} : Es el costo de la energía por cargo referencial

Resolviendo la ecuación anterior se tiene:

$$CE_{Anual} = 417,96 \times 0,8180$$

$$CE_{Anual} = S/ 341,89$$

Tabla 21

Evaluación anual con energía de ELOR

Costo unitario S./kWh	Energía kWh/año	Total, S./año
0,8180	417,96	341,89

Nota. Elaboración propia.

En el cálculo realizado se obtuvo una producción de energía de 417,96kW al año con costo de energía anual del sistema fotovoltaico de S/ 341,89.

4.12.4. Determinación de la caja de flujo neto

Con el flujo de caja neto nos permite determinar los ingresos y egresos netos que generaría el proyecto durante los años de operación, se tomara 20 años como horizonte ya que es el tiempo de vida útil de los paneles fotovoltaicos.

4.12.4.1. Estructura del flujo de caja

- **Ingresos y egresos proyectados:**

Los ingresos se percibirán al no pagar una facturación mensual a la concesionaria por el consumo de energía, ya que se tendrá implementado el sistema fotovoltaico y como egresos se tendrá el mantenimiento y operación.

La operación y mantenimiento la ejecutara la finca El Guarapo, mantenimiento como la limpieza de los paneles solares debiéndose realizar cada 3 meses y teniendo 4 mantenimientos en un año a cargo de la finca El Guarapo.

En la tabla 22 se muestra el costo por mantenimiento y operación anual de los equipos del sistema fotovoltaico conectado a red.

Tabla 22

Costos de mantenimiento anual.

Equipos del sistema fotovoltaico conectado a red	Costos de mantenimiento (S/.)
Paneles solares	70
Inversor	50
Total, del mantenimiento anual	120

Nota. Elaboración propia.

4.13. Análisis de rentabilidad

- **Costos de operación.**

Para los costos de operación de la máquina se incluye el mantenimiento, el operador de la máquina, tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 23

Costos de operación anual de la despulpadora.

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Parcial anual (S/.)
1.00	Operador	Mes	6	89,00	534,00
2.00	Mantenimiento				
2.01	Sistema Fotovoltaiico	Trimestral	4	30,00	120,00
2.02	Máquina despulpadora	Trimestral	4	60,00	240,00
	Total, anual				894,00

Nota. Elaboración propia.

- **Utilidad.**

El cálculo de la utilidad se realizará de la siguiente manera:

$$Utilidad = Ingreso\ bruto - Costos\ de\ producción\ y\ Operación$$

Tabla 24

Costos de operación anual

Ítems	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Parcial anual (S/.)
1.00	Inversión inicial (año cero)				
1.01	despulpadora	und	1	3 360,00	3 360,00
1.02	Sistema fotovoltaico conectado a red	und	1	5 283,94	5 283,94
2.00	Ingresos anuales				
2.01	Despulpado de café	kg	30 000,00	0,10	3 000,00
2.02	Ahorro en energía convencional	Kwh/año	417,96	0.8368	349,74
3.00	Costos anuales de operación y mantenimiento				
3.01	Mano de obra de operación	mes	6	89,00	534,00
3.02	Mantenimiento				
3.2.1	Mantenimiento S.F.	trimestral	4	30,00	120,00
3.2.2	Mantenimiento despulpadora	trimestral	4	60,00	240,00

Nota. Elaboración propia.

Para obtener el flujo neto total se tiene en cuenta los ingresos y egresos de dinero de todo el proyecto, determinando la conveniencia de la implementación del proyecto en términos monetarios, se calcula el VAN y el TIR y con una tasa del 10%.

- **Como datos del presente proyecto se tiene una inversión inicial**

$$I_0 = 3\,360 + 5\,283,94 \quad I_0 = S/ 8\,643,94$$

- **Ingresos anuales**

Despulpado:

$$30\,000(0,10) = S/ 3\,000$$

Ahorro de energía:

$$417,96(1,70) = S/ 710,532$$

Obteniendo ingresos totales anuales de:

$$Ingresos = 3\,000 + 710,532$$

$$Ingresos = S/ 3\,710,532/año$$

- **Costos anuales**

Mano de obra: S/ 534

Mantenimiento del SFCR: S/ 120

Mantenimiento de la despulpadora: S/ 240

Entonces:

$$Costos = 534 + 120 + 240$$

$$Costos = S/ 894/año$$

El costo anual en el año 11 es:

$$Costos = 894 + 1\,505,67$$

$$Costos = 2\,399.67$$

- **Flujo neto anual**

$$FN = 3\,710,532 - 894$$

$$FN = S/ 2\,816,532/año$$

El flujo neto anual en el año 11 es:

$$FN = 3\,710,532 - (894 + 1\,505,67)$$

$$FN = S/ 1\,310,862/\text{año}$$

Tabla 25

Flujo de caja a 25 años.

Año	Ingresos Totales (S/.)	Egresos Totales (S/.)	Flujo de caja neto (S/.)	Flujo actualizado 10% (S/.)	Flujo acumulado actualizado (S/.)
0	0	8 643,94	-8 643,94	-8 643,94	-8 643,94
1	3 710,532	894,00	2 816,532	2 560,48	-6 083,46
2	3 710,532	894,00	2 816,532	2 327,71	-3 755,74
3	3 710,532	894,00	2 816,532	2 116,10	-1 639,64
4	3 710,532	894,00	2 816,532	1 923,73	284,09
5	3 710,532	894,00	2 816,532	1 748,84	2 032,93
6	3 710,532	894,00	2 816,532	1 589,86	3 622,79
7	3 710,532	894,00	2 816,532	1 445,33	5 068,12
8	3 710,532	894,00	2 816,532	1 313,93	6 382,05
9	3 710,532	894,00	2 816,532	1 194,48	7 576,53
10	3 710,532	894,00	2 816,532	1 085,90	8 662,43
11	3 710,532	2 399,67	1 310,862	459,45	9 121,88
12	3 710,532	894,00	2 816,532	897,43	10 019,31
13	3 710,532	894,00	2 816,532	815,85	10 835,16
14	3 710,532	894,00	2 816,532	741,68	11 576,84
15	3 710,532	894,00	2 816,532	674,26	12 251,10
16	3 710,532	894,00	2 816,532	612,96	12 864,06
17	3 710,532	894,00	2 816,532	557,24	13 421,29
18	3 710,532	894,00	2 816,532	506,58	13 927,87
19	3 710,532	894,00	2 816,532	460,53	14 388,40
20	3 710,532	894,00	2 816,532	418,66	14 807,06

Nota. Elaboración propia.

Al terminar el año 3, falta por recuperar aun S/. 1 639,64 y en el año 4 se recibe un flujo de S/. 284,09 por lo que las condiciones otorgadas en el presente proyecto lo hacen viable debido a

que la inversión inicial se recupera, así mismo, el proyecto está calculado para una vida útil de 20 años.

El periodo de recuperación esta dado por:

$$PRI = \frac{8\,643,94}{2\,816,532}$$

$$PRI = 3,06 \text{ años}$$

Por lo tanto:

$$PRI = 3,06 \text{ años} \approx 3 \text{ años}$$

Tabla 26

Flujo de caja anual total.

Año	Flujo efectivo (S/.)
0	-8 643,94
1	2 816,532
2	2 816,532
3	2 816,532
4	2 816,532
5	2 816,532
6	2 816,532
7	2 816,532
8	2 816,532
9	2 816,532
10	2 816,532
11	2 816,532
12	2 816,532
13	2 816,532
14	2 816,532
15	2 816,532
16	2 816,532
17	2 816,532
18	2 816,532

19	2 816,532
20	2 816,532

Nota. Elaboración propia.

Con los cálculos obtenidos en la tabla anterior se puede calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), con datos de flujo de caja anual que se manejan durante un periodo de 20 años.

El valor actual neto con tasa de descuento de 10% se calcula con la formula siguiente:

$$VAN = -8\,643,94 + \sum_{t=1}^{20} \frac{2\,816,532}{(1 + 0,10)^t}$$

Valor presente de los flujos anuales es:

$$VP = 2\,816,532 \left[\frac{1 - (1 + 0,10)^{-20}}{0,10} \right]$$

$$VP = S/. 23\,978,7246$$

Valor actual neto:

$$VAN = 23\,978,7246 - 8\,643,94$$

$$VAN = S/. 15\,334,7846$$

Como resultado se obtiene un VAN positivo, indicador de que el proyecto genera valor a una tasa de descuento del 10%

Para calcular el TIR se procede a realizar el presente procedimiento:

$$\text{➤ Año 0} = -S/. 8\,643,94$$

$$\text{➤ Año 1} - 20 = S/. 2\,816,532$$

$$\text{➤ TIR} = 32,47\%$$

Comparación:

$$32,47\% > 10\%$$

El TIR es mayor que la tasa mínima requerida por lo que el proyecto es rentable.

En términos de comparación, se realizó el cálculo con la tarifa de ELOR (conectado a red)

Para obtener el flujo neto total se tiene en cuenta los ingresos y egresos de dinero de todo el proyecto, determinando la conveniencia de la implementación del proyecto en términos monetarios, se calcula el VAN y el TIR y con una tasa del 10%.

- **Como datos del presente proyecto se tiene una inversión inicial**

$$I_0 = 3\,360$$

- **Ingresos anuales**

Despulpado:

$$30\,000(0.10) = S/ 3\,000$$

Obteniendo ingresos totales anuales de:

$$Ingresos = S/ 3\,000/año$$

- **Costos anuales**

Mano de obra: S/ 534

Mantenimiento de la despulpadora: S/ 240

Costo por energía:

$$417,96(0,8180) = S/ 341,89$$

Entonces:

$$Costos = 534 + 240 + 341,89$$

$$Costos = S/ 1\,115,89/año$$

- **Flujo neto anual**

$$FN = 3\,000 - 1\,115,89$$

$$FN = S/ 1\,884,11/\text{año}$$

Tabla 27

Flujo de caja a 25 años.

Año	Ingresos Totales (S/.)	Egresos Totales (S/.)	Flujo de caja neto (S/.)	Flujo actualizado 10% (S/.)	Flujo acumulado actualizado (S/.)
0	0	3 360,00	-3 360,00	-3 360,00	-3 360,00
1	3 000,00	1 115,89	1 884,11	1 712,83	-1 647,17
2	3 000,00	1 115,89	1 884,11	1 557,12	-90,06
3	3 000,00	1 115,89	1 884,11	1 415,56	1 325,50
4	3 000,00	1 115,89	1 884,11	1 286,87	2 612,38
5	3 000,00	1 115,89	1 884,11	1 169,88	3 782,26
6	3 000,00	1 115,89	1 884,11	1 063,53	4 845,79
7	3 000,00	1 115,89	1 884,11	966,85	5 812,64
8	3 000,00	1 115,89	1 884,11	878,95	6 691,59
9	3 000,00	1 115,89	1 884,11	799,05	7 490,63
10	3 000,00	1 115,89	1 884,11	726,41	8 217,04
11	3 000,00	1 115,89	1 884,11	660,37	8 877,41
12	3 000,00	1 115,89	1 884,11	600,34	9 477,74
13	3 000,00	1 115,89	1 884,11	545,76	10 023,50
14	3 000,00	1 115,89	1 884,11	496,15	10 519,65
15	3 000,00	1 115,89	1 884,11	451,04	10 970,69
16	3 000,00	1 115,89	1 884,11	410,04	11 380,73
17	3 000,00	1 115,89	1 884,11	372,76	11 753,49
18	3 000,00	1 115,89	1 884,11	338,87	12 092,36
19	3 000,00	1 115,89	1 884,11	308,07	12 400,43
20	3 000,00	1 115,89	1 884,11	280,06	12 680,49

Nota. Elaboración propia.

Al terminar el año 2, falta por recuperar aun S/. 90,06 y en el año 3 se recibe un flujo de S/. 1 325,50 por lo que, conectado a red en comparación con el sistema fotovoltaico.

El periodo de recuperación esta dado por:

$$PRI = \frac{3\,360}{1\,884,11} = 1,78 \text{ años}$$

Por lo tanto:

$$PRI = 1,78 \text{ años} \approx 1 \text{ años y } 7 \text{ meses}$$

Tabla 28

Flujo de caja anual total.

Año	Flujo efectivo (S/.)
0	-3 360,00
1	1 884,11
2	1 884,11
3	1 884,11
4	1 884,11
5	1 884,11
6	1 884,11
7	1 884,11
8	1 884,11
9	1 884,11
10	1 884,11
11	1 884,11
12	1 884,11
13	1 884,11
14	1 884,11
15	1 884,11
16	1 884,11
17	1 884,11
18	1 884,11
19	1 884,11
20	1 884,11

Nota. Elaboración propia.

Con los cálculos obtenidos en la tabla anterior se puede calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), con datos de flujo de caja anual que se manejan durante un periodo de 20 años.

El valor actual neto con tasa de descuento de 10% se calcula con la formula siguiente:

$$VAN = -3\,360 + \sum_{t=1}^{20} \frac{1\,884,11}{(1 + 0,10)^t}$$

Valor presente de los flujos anuales es:

$$VP = 1\,884,11 \left[\frac{1 - (1 + 0,10)^{-20}}{0,10} \right]$$

$$VP = S/. 16\,040,4905$$

Valor actual neto:

$$VAN = 16\,040,4905 - 3\,360$$

$$VAN = S/. 12\,680,1905$$

Como resultado se obtiene un VAN positivo, indicador de que el proyecto genera valor a una tasa de descuento del 10%

Para calcular el TIR se procede a realizar el presente procedimiento:

- Año 0 = $-S/. 3\,360$
- Año 1 – 20 = $S/. 1\,884,11$
- TIR = 56,07%

Comparación:

$$56,07\% > 10\%$$

El TIR es mayor que la tasa mínima requerida por lo que el proyecto es rentable.

V. DISCUSION

Bone & Kuonqui (2023) Nos dice que, la capacidad de producción de su máquina despulpadora de frutas conectada a red es de 144 kg/h y que su construcción se llevó a cabo utilizando acero inoxidable del tipo AISI 304, el motor utilizado es de 2HP y un costo total de su proyecto de 1 780,00 dólares, en nuestro proyecto se determinó que la capacidad de producción de nuestra máquina despulpadora de café suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red es de 300 kg/h , utilizando acero AISI 1040 OQT1000 para el diseño de piñón, engranaje, ejes y acero inoxidable AISI304 para el diseño de la tolva, el motor calculado es de $0,5\text{HP}$ y un costo total del proyecto de S/. 8 643,94.

Tomalá & Vallejo (2020) En su investigación determino que su máquina despulpadora conectada a red cumple con una capacidad de procesamiento de 200 kg/h , una potencia del motor de $1,25\text{HP}$, siendo su principal material de fabricación el acero inoxidable AISI 304, teniendo una valorización total de 2 421,86 dólares, en nuestra investigación, el principal material de diseño es el acero AISI 1040 OQT1000 con una capacidad de producción de la máquina de 300 kg/h y un costo total de S/. 8 643,94.

Espinoza & Londoño (2024) En el dimensionamiento de su sistema fotovoltaico aislado para suministrar energía a una máquina despulpadora de café requiere de 4 paneles solares de 400W generando un total de $1\,848\text{ kWh/año}$ con una inversión total de 15 893,410 dólares, en nuestro proyecto se determinó 2 paneles solares de 200W cada uno, generando $417,96\text{ kWh/año}$ con una inversión total de S/. 8 643,94.

Olarte (2016), determino en su investigación que la capacidad de producción de la máquina despulpadora conectada a red es de 400 kg/h , resultando un costo de construcción de 1 606,15

dólares, por nuestra parte, en nuestro proyecto se determinó que la capacidad de producción de nuestra máquina despulpadora de café suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red es de 300 *kg/h*, con un costo de S/. 8 643,94 lo cual resulta accesible para la finca El Guarapo. Tapuy (2023), en su investigación, diseño y construcción de una máquina separadora y despulpadora conectada a red determino el diseño de la tolva para una capacidad de 25 *kg*, y una capacidad de procesamiento de 200 *kg/h*, con un motor de $\frac{3}{4}$ HP, resultando en una inversión de 905 dólares. En cambio, en nuestro diseño suministrado con energía solar fotovoltaica conectado a red se determinó una capacidad de la tolva de 30 *kg*, una capacidad de producción de 300 *kg/h*. Con una inversión de S/. 8 643,94.

Después de haber realizado los cálculos para el sistema fotovoltaico conectado a red, se determina con los resultados de la presente investigación, un potencial en radiación solar en la finca El Guarapo siendo adecuado para el diseño de un sistema fotovoltaico eficiente. Los resultados revelan una radiación solar promedio anual durante los últimos 5 años de 4,20 *kWh/m²/día*, garantizando un suministro energético constante durante todo el año, estos resultados son consistentes con los estudios de (Lozano & Quinde, 2025) y (Aguirre, 2019), quienes dimensionaron sistemas fotovoltaicos como fuentes de energía alcanzo los objetivos planteados en sus investigaciones.

La implementación de un sistema fotovoltaico como fuente de energía en la finca El Guarapo contribuirá a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, promoviendo el uso de energías renovables como la solar, generando beneficios sociales y ambientales, concordando con (OSINERGMIN, 2022), quienes determinan que la implementación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales es una medida para reducir el uso de combustibles fósiles.

VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La finca el Guarapo se encuentra ubicada en caserío La Laguna, Distrito de Chirinos, provincia de San Ignacio, cuenta con una capacidad agrícola muy alta, donde sobre sale el cultivo de café, la finca El Guarapo cuenta con 1 hectárea, de las cuales, su totalidad está destinada para el cultivo de café, su producción depende del tiempo y cuidado, lo cual resulta en 30 quintales por año aproximadamente.

La máquina despulpadora de café, tiene una capacidad de la tolva de 30 *kg* y una capacidad de procesamiento de la máquina de 300 *kg/h*, las dimensiones de la tolva son de 0,12m de ancho en la base inferior, 0,40m en la base superior y 0,30m de longitud, un tambor de 190,5m de diámetro con una velocidad angular del cilindro de 200RPM, la potencia necesaria de despulpado es de 0,418 HP por lo que se seleccionó un motor de 0,5HP, el piñón está formado por 17 dientes y el engranaje está formado por 49 dientes, el diámetro eje cuadrado y eje principal es de 25,4mm con una longitud de 406,4mm.

El dimensionamiento del sistema fotovoltaico conectado a red se determinó 2 paneles fotovoltaicos de 200Wp, un inversor de 1000W con rendimiento de 96,6% y las protecciones que se necesitan para el diseño son 2 fusibles de 10A, 1 interruptor termomagnético de 2x20A CA, 1 medidor bidireccional y un interruptor diferencial de 2x25A.

Mediante la simulación se tiene una visualización del resultado final del piñón y del engranaje.

La evaluación económica del proyecto se determinó un VAN de S/. 16 918,8336 y una TIR de 32,56% considerando una tasa de interés del 10% se tienen un periodo de retorno de 3 años determinado la rentabilidad del proyecto.

6.2. Recomendaciones.

- Se recomienda a la finca El Guarapo implementar la máquina despulpadora suministrada con energía solar fotovoltaica conectada a red con el diseño realizado, la implementación del sistema fotovoltaico no implicaría ninguna penalidad por infringir la normativa por parte de la concesionaria que suministra energía convencional.
- Se recomienda una previa capacitación o información para el manejo y operación de la máquina en la finca El Guarapo y evitar accidentes a futuro.
- Al momento de depositar los granos de café cereza en la tolva se recomienda visualizar que no contengan elementos extraños como piedras, que puedan ocasionar daños en la máquina.
- Para evitar vibraciones o movimientos extraños de la despulpadora , se recomienda una correcta fijación y que sea sobre una superficie plana.
- En la instalación de los paneles solares se debe considerar que el área esté libre de obstáculos, sombras que puedan interferir con la radiación solar que van a recibir los paneles solares afectando en su rendimiento, el inversor debe ser ubicado en un área hermética para evitar daños por humedad.
- Si la demanda eléctrica se incrementa, se recomienda ampliar el número de paneles solares y poder cubrir una nueva demanda eléctrica en la finca El Guarapo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AENOR. (2002). *Reglamento Electrotécnico para baja tensión e Instrucciones Técnicas*. Asociación Española de Normalización y certificación.
- Aguirre Peña, N. E. (2019). *Diseño de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica pública para la I.E. N.º 16531, Puerto Chinchipe – San Ignacio*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio institucional de la UNJ. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/203>.
- Bone Pilataxi, C. D., & Kuonqui Gáinza, F. I. (2023). *Desarrollo de un prototipo de máquina despulpadora capaz de extraer las semillas y la corteza de algunas frutas tropicales*. [Trabajo de Titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional de la UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/24967>
- Carvajal Herrera, J. J., Aristizabal Torres, I. D., & Oliveros Tascón, C. E. (2012). *Evaluación de propiedades físicas y mecánicas del fruto de café (Coffea Arabica L. VAR. Colombia) Durante su desarrollo y maduración*. Universidad Nacional de Colombia. Repositorio institucional de la UNC. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49623206015>
- Chavez Tantarico, J. M. (2021). *Diseño De Una Trituradora Actuada Por Sistema Fotovoltáico Para Eliminar Botellas Plásticas En La Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo]. Repositorio institucional de la UCSTM. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4741>
- Delgado Iparraguirre, A. (2021). *Efecto de la fermentación aeróbica y anaeróbica sobre la calidad organoléptica del café (coffea arabica) de las variedades Catimor y Marsella*. [Tesis, Universidad Señor de Sipán]. Repositorio institucional de la USS. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/8539>
- Escobar Asparrin, R. E. (2023). *Diseño de una máquina despulpadora de cacao para incrementar la producción*. [Tesis de Pregrado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio institucional de la UTP. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/8843>

- Espinoza Parra, C. G., & Londoño Rodriguez, J. (2024). *Dimensionamiento De Un Sistema Solar Fotovoltaico Para Una Maquina Despulpadora De Café En La Finca La Cordillera Municipio De Marquetalia Caldas*. [Monografía De Grado, Universidad Distrital Francisco José De Caldas]. Repositorio institucional de la UDFJC. <http://hdl.handle.net/11349/42454>
- Guevara Urquiza, A. D. (2023). *Diseño y construcción de una maquina despulpadora de fruta*. [Trabajo De Titulación Curricular, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio institucional de la EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24325>
- IDAE. (2011). *Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a red*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- Jara Tapia, F. B. (2023). *Diseño de trituradora 10 ton/día alimentada por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET*. [Tesis de Pregrado, Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo]. Repositorio institucional de la UCSTM. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/7171>
- Keith Nisbett, J., & Gordon Budynas, R. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. McGRAW-HILL.
- Lozano Larriategui , G. A., & Quinde Flores, H. K. (2025). *Dimensionamiento De Un Sistema Eléctrico Fotovoltaico Para Suministrar Energía Eléctrica En El Sector Las Piñas, Caserio Cruce De Lambayeque, Chirinos-Cajamarca*. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional De Jaén]. Repositorio institucional de la UNJ. <https://repositorio.unj.edu.pe/handle/20.500.14689/891>
- Melendez luza, O. J., & Velasquez Perez, H. F. (2025). *Diseño y construcción de una máquina para triturar plásticos para la unidad recicladora de la Municipalidad Provincial de La Convención-2022*. [Tesis de Pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional de la UC. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/17394>
- Minas, M. d. (2006). *Código Nacional de Electricidad - Utilización*.

- Montenegro Calderón, N. R. (2024). *Diseño De Un Sistema De Generación Fotovoltaico Conectado A Red, Para La Industria Agrícola Alfadeli S.A.* [Trabajo De Grado, Universidad Técnica Del Norte]. Repositorio institucional de la UTN. <https://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/15654>
- Mott, R. L. (2006). *Diseño de elementos de máquinas* (Vol. 4.^a ed.). Pearson Educación.
- Muñoz Quito, K. V., & Vallejo Enríquez, J. D. (2022). *Diseño Y Simulación De Una Máquina Despulpadora De Fruta Con Capacidad De 11l/Lote Para La Comunidad De Facundo Vela Provincia De Bolívar.* [Trabajo De Titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio institucional de la UPS. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22315>
- National Coffee Association, s. (s.f.). ¿Que es el café? Obtenido de <https://www.aboutcoffee.org/origins/what-is-coffee/>
- Niño Vasquez, P. E. (2023). *Modelado, control y análisis comparativo de un sistema de bombeo fotoltaico aislado y conectado a red.* [Tesis De Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional de la UNPRG. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/13096>
- Olarte Zamora, A. S. (2016). *Diseño y construcción de una despulpadora de café para el recinto estereo del platano, Parroquia Galera, Cantón Muisne, Provincia Esmeraldas.* [Trabajo de investigación previo a la obtencion del titulo, Universidad Politecnica Salesiana Sede Quito]. Repositorio institucional de la UPSSQ. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/11996>
- OSINERGMIN. (2022). *Energías Renovables Experiencia y Perspectivas en la Ruta del Perú Hacia la Transición Energetica.*
- Piñeiro Villaverde, G. (2022). *Estudio de la producción y consumo responsable en el marco del desarrollo sostenible.* [Tesis Doctoral, Universidad de la Coruña]. Repositorio institucional de la UC. <http://hdl.handle.net/2183/31910>
- Quispe Condori, K. M. (2024). *Manejo organico para determinar su eficiencia en la produccion del café (Coffea arabica), en el distrito de San Juan del Oro, Sandia, Región Puno.*

- [Trabajo de investigación, Universidad José Carlos Mariátegui]. Repositorio institucional de la UJCM. <https://hdl.handle.net/20.500.12819/3031>
- Ramirez Quispe, L. A. (2023). *Diseño de un sistema de generación fotovoltaico para el proceso productivo de una huerta de media hectárea de hortalizas en el distrito Los Aquijes-Ica, 2023*. [Tesis De Pregrado, Universidad Continental]. Repositorio institucional de la UC. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/16125>
- Ramirez Requejo, J. C. (2021). *Dimensionamiento De Un Sistema Con Energias Renovables Conectado A La Red Para El Laboratorio De Computo - Fime De La Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*. [Tesis De Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional de la UNPRG. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/10076>
- Romero Carrillo, S. R. (2023). *Diseño y construcción de una máquina despulpadora de fruta*. Escuela Politécnica Nacional. Distrito Metropolitano de Quito. Repositorio institucional de la EPN. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/24388>
- Simón Palmeiro, J. M. (2023). *Energía Asequible Y No Contaminante: Factores Que Influyen En La Aceptacion De Las Energías Renovables*. [Trabajo De Investigación, Universidad Pontificie Comillas]. Repositorio institucional de la UPC. <http://hdl.handle.net/11531/68874>
- Tapuy Cacinto, D. E. (2023). *Diseño y construcción de una máquina separadora y despulpadora de café para el análisis de rentabilidad financiera de la venta de café despulpado en la provincia de Napo*. [Trabajo De Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas]. Repositorio institucional de la UFA. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/35720>
- Tomalá Galán, L. J., & Vallejo Cervantes, C. M. (2020). *Diseño de una máquina despulpadora de frutas exóticas con capacidad de 200 kg/h*. [Proyecto De Pregrado, Escuela Superior Politécnica Del Litoral]. Repositorio institucional de la ESPL. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/50370>
- Zegarra Villegas, J. C. (2021). *Implementación De Un Sistema Fotovoltaico Para Reducir El Consumo De Energía Convencional En Un Sistema De Riego Tecnificado Por Aspersión*

En El Estadio Municipal César Flores Marigorda De Lambayeque. [Tesis De Pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio institucional de la UNPRG. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/9879>

Zevallos Arzapalo, Y. L., & Palomino Garcilazo, W. S. (2024). *Diseño de una trituradora para obtener hojuelas de PET reciclado en el Valle del Mantaro.* Universidad Continental. Repositorio institucional de la UC. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/15545>

AGRADECIMIENTO

A Dios por concederme la salud, sabiduría y voluntad para seguir adelante para conseguir mis objetivos como persona y como profesional, a mis padres por su esfuerzo y dedicación y porque siempre estuvieron a mi lado bríndame su apoyo en esta etapa de formación profesional e impulsándome a seguir adelante para lograr mis propósitos.

A mis hermanos y a mi familia por motivarme a no desmayar en el proceso de concretar mis metas mejorando día a día.

A mi alma mater, mi institución, que en sus aulas me he forjado como persona y como profesional, brindándome conocimientos y habilidades en mi etapa de desarrollo profesional.

A mi asesor, Mg. Mario Félix Olivera Aldana, por su tiempo, dedicación y asesoramiento para poder culminar con éxito este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A Dios por guiar mis pasos en todo momento de mi vida, brindándome salud, sabiduría para entender las cosas y tomar buenas decisiones.

A mis queridos padres, Fernando Pintado Ocupa y Edita Cruz Román quienes con su amor y sacrificio me han inculcado buenos valores y me han apoyado a lo largo de mi formación como persona y como profesional.

A mis hermanos y a mi familia por motivarme a seguir superándome y lograr mis metas trazadas.

ANEXOS

Anexo 1: propiedades mecánicas del acero al carbono AISI 1144 OQT 1000.

Propiedades mecánicas	
Propiedad	Valor
Resistencia última a la tensión (Su)	118000 psi (814 MPa)
Límite de fluencia (Sy)	83000 psi (572 MPa)
Módulo de elasticidad	29×10^6 psi (200 GPa)
Módulo de corte	11.6×10^6 psi
Dureza	248–269 HB (aprox.)
Relación de Poisson	0.29
Densidad	7.87 g/cm ³
Maquinabilidad	83 %
Alargamiento	10–12 %

Anexo 2: especificaciones mecánicas y técnicas del panel solar.



WS-100 to WS-235 ARUN SERIES



FEATURES

-  Superior Module Efficiency as per International Benchmarks
-  Positive Power Tolerance
-  IP 67 rated MC4 compatible connectors

APPLICATIONS

Telecommunication and Radio Relay Stations | Telemetry systems | Defence and Offshore Devices | Signage and Outdoor Media | Standalone Systems for Homes not connected to Grid | Power packs for Telemetry Stations | Billboard Lighting | Portable Mobile Phone Chargers | Street & Outdoor Lighting | Home & Indoor Lighting | Community Lighting | Solar Lanterns: LED, CFL | Standalone Power Packs | Railway Signaling | Surveillance Camera | Rural Electrification | Backup Power Systems & much more..

**500 MW**
Module Manufacturing Capacity

**- 5 years Limited Product Warranty****
- 25 years Limited Power Output Warranty**

- Minimum 90% at the end of 10 years
- Minimum 80% at the end of 25 years

**Over 20 in house tests**
(DH: Damp heat test
TC: Thermal cycling test
HF: Humidity freeze test)

INTERNATIONAL & NATIONAL CERTIFICATIONS



ISO 9001:2008 | ISO 14001:2004 | OHSAS 18001:2007
IEC 61215 | IEC 61730-1&2 | IEC 61701 | IEC 62716 | IEC 60068-2-68

www.waaree.com

Electrical Characteristics*

Model**	WS-170 / 24V	WS-175 / 24V	WS-180 / 24V	WS-185 / 24V	WS-190 / 24V	WS-195 / 24V	WS-200	WS-200 / 12V	WS-200 / 24V	WS-205
Nominal Maximum Power, P _m (W)*	170	175	180	185	190	195	200	200	200	205
Power tolerance	Positive tolerance only									
Open Circuit Voltage, V _{oc} (V)*	44.38	44.40	44.43	44.45	44.48	44.50	33.00	22.97	44.53	33.10
Short Circuit Current, I _{sc} (A)*	5.11	5.26	5.40	5.56	5.71	5.85	8.08	11.64	6.00	8.25
Voltage at Maximum Power, V _{mp} (V)*	35.95	35.98	36	36.03	36.05	36.08	27	17.97	36.1	27.1
Current at Maximum Power, I _{mp} (A)*	4.73	4.87	5	5.14	5.28	5.41	7.41	11.13	5.55	7.57
Maximum System Voltage (V)	1000									
Module Efficiency (%)*	14.61	15.04	12.20	12.54	12.88	13.22	13.56	13.56	13.56	13.90
Maximum Series Fuse Rating (A)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Limiting Reverse Current (A)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15

*Under Standard Test Conditions (STC) of 1000 W/m² irradiance, AM 1.5 spectrum and 25°C cell temperature.

Mechanical Characteristics

Model**	WS-170 / 24V	WS-175 / 24V	WS-180 / 24V	WS-185 / 24V	WS-190 / 24V	WS-195 / 24V	WS-200	WS-200 / 12V	WS-200 / 24V	WS-205
Length x Width x Thickness (L x W x T) - mm	1175 x 990 x 35	1175 x 990 x 35	1490 x 990 x 42	1490 x 990 x 42	1490 x 990 x 42	1490 x 990 x 42	1490 x 990 x 42	1490 x 990 x 42	1490 x 990 x 42	1490 x 990 x 42
Mounting Holes Pitch (Y) - mm	595.00	595	900	900	900	900	900	900	900	900
Mounting Holes Pitch (X) - mm	950	950	942	942	942	942	942	942	942	942
Weight (kg)	14.45	14.45	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5	17.5
Solar Cells per Module (Units) / Arrangement	72 / (12 x 6)	72 / (12 x 6)	72 / (12 x 6)	72 / (12 x 6)	72 / (12 x 6)	72 / (12 x 6)	54 / (9 x 6)	72 / (12 x 6)	72 / (12 x 6)	54 / (9 x 6)
Solar Cell Type	poly crystalline Silicon									
Front Cover (Material / Thickness)	Tempered & Low Iron Glass / 3.2 mm									
Encapsulate	Ethylene Vinyl Acetate									
Frame Material	Anodized Aluminum Alloy									
Junction Box (Protection degree / Material)	IP65 rated / Weatherproof PPO enclosure with bypass diodes									
Connector	Optional									
Cable	Optional									
Fire safety class	C									
Safety application class	A									
Safety class	II									

** "/ xxV" in Model indicates the voltage rating of applicable battery

Thermal Characteristics

Temperature coefficient of Current (I _{sc}), α (%/°C)	0.0681
Temperature coefficient of Voltage (V _{oc}), β (%/°C)	-0.2941
Temperature coefficient of Power (P _m), γ (%/°C)	-0.3845
NOCT (°C)	46 ± 2
Operating temperature range (°C)	-40 to 85

Anexo 3: especificaciones técnicas del inversor.



S6-GR1P(0.7-3.6)K-M

Inversores monofásicos de conexión a red Solis

Características:

- 97.3% de eficiencia máxima
- Corriente de string hasta 14A
- Tecnología de conmutación de alta frecuencia
- Amplio rango de voltaje y bajo voltaje de arranque
- Algoritmo preciso de MPPT
- Administrador de exportación de energía integrado (EPM)
- Protección AFCI, reduce activamente el riesgo de incendio
- Compacto y ligero
- Conexión amigable y adaptable a la red

Modelo:

S6-GR1P0.7K-M / S6-GR1P1K-M

S6-GR1P1.5K-M / S6-GR1P2K-M

S6-GR1P2.5K-M / S6-GR1P3K-M

S6-GR1P3.6K-M



Vista 360°



Hoja de datos

S6-GR1P(0.7-3.6)K-M

Modelo	0.7K	1K	1.5K	2K	2.5K	3K	3.6K
Entrada (DC)							
Potencia FV máxima de entrada recomendada	1.1 kW	1.5 kW	2.3 kW	3 kW	3.8 kW	4.5 kW	5.4 kW
Voltaje máximo de entrada	600 V						
Voltaje nominal	200 V			330 V			
Voltaje de arranque	60 V			90 V			
Rango de voltaje MPPT	50 - 500 V			80 - 500 V			
Corriente máxima de entrada				14 A			19 A
Corriente máxima de cortocircuito				22 A			24 A
Número de MPPT / Número máximo de cadenas de entrada				1 / 1			1 / 2
Salida (AC)							
Potencia nominal de salida	0.7 kW	1 kW	1.5 kW	2 kW	2.5 kW	3 kW	3.6 kW
Potencia aparente máxima de salida	0.77 kVA	1.1 kVA	1.65 kVA	2.2 kVA	2.75 kVA	3.3 kVA	3.6 kVA
Potencia máxima de salida	0.77 kW	1.1 kW	1.65 kW	2.2 kW	2.75 kW	3.3 kW	3.6 kW
Voltaje nominal de la red	L/N/PE, 220 V / 230 V						
Frecuencia nominal de la red	50 Hz / 60 Hz						
Corriente nominal de salida de red	3.2 A / 3.0 A	4.5 A / 4.3 A	6.8 A / 6.5 A	9.1 A / 8.7 A	11.4 A / 10.9 A	13.6 A / 13 A	16 A
Corriente máxima de salida	4.4 A	5.2 A	8.1 A	10.5 A	13.3 A	15.7 A	16 A
Factor de potencia	> 0.99 (0.8 capacitivo a 0.8 inductivo)						
THDi	< 3%						
Eficiencia							
Eficiencia máxima	96.6%		96.6%	97.1%	97.1%		97.3%
Eficiencia EU	95.3%		95.4%	96.4%	96.7%		96.8%
Protección							
Protección contra polaridad inversa DC				Sí			
Protección contra cortocircuito				Sí			
Protección de sobrecorriente de salida				Sí			
Protección contra sobretensiones				Sí			
Monitores de red				Sí			
Protección Anti-isla				Sí			
Protección de temperatura				Sí			
Escaneo múltiple				Sí			
AFI integrado				Sí ⁽¹⁾			
Interruptor de DC integrado				Sí			
Datos generales							
Dimensiones (longitud x altura x ancho)				310 x 373 x 160 mm			
Peso	7.4 kg			7.7 kg			
Topología				Sin Transformador			
Consumo propio (noche)				< 1 W			
Rango de temperatura de funcionamiento				-25 ~ +60°C			
Humedad relativa				0 - 100%			
Nivel de protección				IP66			
Emisión de ruido (típica)				< 20 dB(A)			
Enfriamiento				Refrigeración natural			
Altitud máxima de funcionamiento				4000 m			
Estándar de conexión de red	G88 o G99, VDE-AR-N 4105/VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126/UTE C 15/VFR 2019, RD 1699/RD 244/UNE 206006/UNE 206007-1, CEI 0-21, C10/11, TOR, NRS 097-2-1, EIPS 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC 60068, IEC 61683, EN 50530, MFA, PEA						
Estándar de seguridad / EMC	IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-1/-2/-3/-4						
Características							
Conexión de DC	Conector MC4						
Conexión de AC	Enchufe de conexión rápida						
Pantalla	LCD						
Comunicación	RS485, Opcional: Wi-Fi, GPRS						

(1) Activación necesaria.

Anexo 4: características técnicas del cable INDECO NH-80.

FICHA TÉCNICA

CABLE NH-80



Usos

Aplicación especial en aquellos ambientes poco ventilados en los cuales ante un incendio, las emisiones de gases tóxicos, corrosivos y la emisión de humos oscuros, pone en peligro la vida y destruye equipos eléctricos y electrónicos, como, por ejemplo, edificios residenciales, oficinas, plantas industriales, cines, discotecas, teatros, hospitales, aeropuertos, estaciones subterráneas, etc.

En caso de incendio aumenta la posibilidad de sobre vivencia de las posibles víctimas al no respirar gases tóxicos y tener una buena visibilidad para el salvamento y escape del lugar. Generalmente se instalan en tubos conduit.

Descripción

Conductor de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado. Aislamiento de compuesto termoplástico no halogenado HFFR.

Características

Es retardante a la llama, baja emisión de humos tóxicos y libre de halógenos.

Marca

INDECO S.A. FREETOX NH-80 450/750 V <Sección> <Año> <Metrado Secuencial>

Calibres

1.5 mm² - 300 mm²

Embalaje

De 1.5 a 10 mm², en rollos estándar de 100 metros.
De 16 a 300 mm², en carretes de madera.

Colores

De 1.5 a 10 mm²: blanco, negro, rojo, azul, amarillo, verde y verde / amarillo.

Mayores de 10 mm² sólo en color negro (*).

Norma(s) de Fabricación
NTP 370.252

Tensión de servicio
450/750 V

Temperatura de operación
80°C



TABLA DE DATOS TECNICOS NH - 80

CALIBRE CONDUCTOR mm ²	N° HILOS	DIAMETRO HILO mm	DIAMETRO CONDUCTOR mm	ESPESOR AISLAMIENTO mm	DIAMETRO EXTERIOR mm	PESO Kg/Km	AMPERAJE (*)	
							AIRE A	DUCTO A
1.5	7	0.52	1.50	0.7	2.9	20	18	14
2.5	7	0.66	1.92	0.8	3.5	31	30	24
4	7	0.84	2.44	0.8	4.0	46	35	31
6	7	1.02	2.98	0.8	4.6	65	50	39
10	7	1.33	3.99	1.0	6.0	110	74	51
16	7	1.69	4.67	1.0	6.7	167	99	68
25	7	2.13	5.88	1.2	8.3	262	132	88
35	7	2.51	6.92	1.2	9.3	356	165	110
50	19	1.77	8.15	1.4	11.0	480	204	138
70	19	2.13	9.78	1.4	12.6	678	253	165
95	19	2.51	11.55	1.6	14.8	942	303	198
120	37	2.02	13.00	1.6	16.2	1174	352	231
150	37	2.24	14.41	1.8	18.0	1443	413	264
185	37	2.51	16.16	2.0	20.2	1809	473	303
240	37	2.87	18.51	2.2	22.9	2368	528	352
300	37	3.22	20.73	2.4	25.5	2963	633	391

(*) TEMPERATURA AMBIENTE 30°C.

NO MAS DE TRES CONDUCTORES POR DUCTO.

Anexo 5: características técnicas de los fusibles cilíndricos para aplicaciones fotovoltaicas.

df Electric

HORUS
PHOTOVOLTAIC
PROTECTION

FOTOVOLTAICOS
FUSIBLES & BASES PORTAFUSIBLES PARA APLICACIONES FOTOVOLTAICAS

gPV
CILINDRICOS
fusibles

CIL 10x38

PROTECTING THE WORLD

dfelectric.es

10x38 14x51 10x65 10x68 22x65



10x38
TENSIÓN ASIGNADA 1000V DC
CORRIENTE ASIGNADA 1A...20A
PODER DE CORTE 30kA
NOVIAS IEC/EN 60269-1 IEC/EN 60269-6 UL248-1 UL248-19



Fusibles cilíndricos para aplicaciones fotovoltaicas

Los fusibles cilíndricos 10x38 DF Electric han sido desarrollados para ofrecer una solución de protección compacta, segura y económica de los módulos fotovoltaicos en tensiones hasta 1000V DC

La gama comprende los siguientes fusibles:

→ Talla 10x38 1000V DC 1A a 20A

Proporcionan protección contra sobrecargas y cortocircuitos (clase gPV de acuerdo a la Norma IEC 60269-6 y UL248-19).

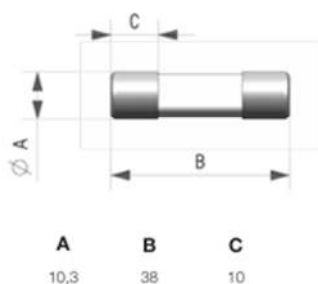
Están contruidos con tubo cerámico de alta resistencia a la presión interna y a los choques térmicos lo que permite un alto poder de corte en un reducido espacio.

Los contactos están realizados en cobre plateado y los elementos de fusión son de plata, lo que evita el envejecimiento y mantiene inalterables las características.

Para la instalación de estos fusibles se recomienda la utilización de las **bases portafusibles PMX-PV 10x38**



Dimensiones



Peso 8gr

Referencias

I_n (A)	REFERENCIA	EMBALAJE Unid./CAJA
1	491601	10/100
2	491602	10/100
3	491604	10/100
4	491605	10/100
5	491606	10/100
6	491610	10/100
8	491615	10/100
10	491620	10/100
12	491625	10/100
15	491629	10/100
16	491630	10/100
20	491635	10/100



gPV
CILINDRICOS
fusibles



FOTOVOLTAICOS

HORUS
PHOTOVOLTAIC
PROTECTION

Datos técnicos

Tensión asignada	1000V DC
Corriente asignada	1A...20A
Poder de corte asignado	30kA
Clase	gPV
Corriente mínima de interrupción	1A → 1,45-In 2A...20A → 1,35-In
Corriente de no fusión	1,13-In
Temperatura de almacenaje	-40°C ... 90°C
Temperatura de funcionamiento *	-40°C ... 80°C

* Para temperaturas ambiente superiores a 25°C es necesario aplicar un coeficiente de corrección sobre la corriente máxima.

Normas

IEC/EN 60269-1
IEC/EN 60269-6
UL248-1
UL248-19
RoHS Compliant



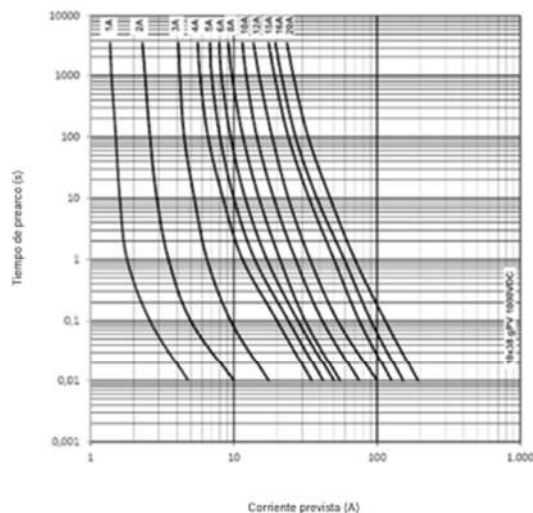
Certificaciones



Potencias disipadas

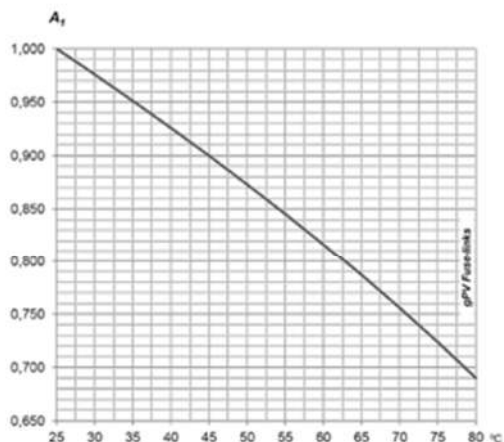
I_n	I_t^2 PREARCO	I_t^2 TOTAL	POTENCIA DISIPADA $0,7 \cdot I_n$	POTENCIA DISIPADA I_n
(A)	(A ² s)	(A ² s)	(W)	(W)
1	0,35	1,2	0,31	0,76
2	0,62	1,0	0,78	1,45
3	1,9	3,1	0,66	1,66
4	6,9	11	0,64	1,57
5	14	22	0,60	1,65
6	24	38	0,77	1,84
8	7	17	0,82	2,00
10	15	38	0,94	2,20
12	27	68	0,98	2,40
15	62	115	1,05	2,65
16	89	165	1,10	2,70
20	158	294	1,33	3,20

Características t-I





Coeficiente de reducción por temperatura ambiente



ta (°C)	A1
25	1,00
30	0,98
35	0,96
40	0,93
45	0,90
50	0,87
55	0,84
60	0,82
65	0,79
70	0,76
75	0,72
80	0,69

Guía de selección y aplicación

REQUISITOS PARA LA PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES DE STRING

Tensión asignada de los fusibles

Para verificar que la tensión asignada del fusible es adecuada debemos tener en cuenta los siguientes puntos:

- Tensión de circuito abierto de los módulos PV (V_{OC} STC)
- Número de módulos conectados en serie (M).
- Factor de seguridad (20%) para tener en cuenta el incremento de la tensión de vacío a temperaturas muy bajas.

La tensión de circuito abierto de los módulos V_{OC} (STC) es la tensión máxima que un módulo fotovoltaico puede dar cuando funciona en vacío (sin ninguna carga conectada) en unas condiciones de ensayo determinadas (STC = Standard Test Condition) y es un dato indicado por el fabricante de los módulos fotovoltaicos.

Así, la tensión asignada en DC mínima de los fusibles debe ser:

$$V_{DC_FUSIBLE} \geq V_{OC\ STC} \cdot M \cdot 1,2$$

Se puede prescindir del factor de seguridad del 20% si se puede determinar con seguridad que bajo ninguna circunstancia la tensión de la instalación superará el valor de la tensión asignada de los fusibles.

Corriente asignada de los fusibles

De acuerdo a las recomendaciones de las Normas IEC 60364-7-712, IEC 62548 y IEC 60269-5, para escoger la corriente asignada del fusible a utilizar, los puntos a contemplar serán:

- Intensidad de cortocircuito de los módulos I_{SC} (STC)
- Factor de corrección de la temperatura ambiente (A_1).

La intensidad de cortocircuito de los módulos I_{SC} (STC) es la corriente máxima que un módulo fotovoltaico puede dar en unas condiciones de ensayo determinadas (STC) y es un dato indicado por el fabricante de los módulos fotovoltaicos.

Se debe aplicar un factor de corrección (A_1) en función de la temperatura ambiente.

La corriente asignada del fusible debe ser:

$$1,5 \cdot I_{SC_MOD} < I_n \leq 2,4 \cdot I_{SC_MOD}$$

Para tener en cuenta el factor de corrección de la temperatura ambiente deberemos utilizar la siguiente expresión:

$$1,5 \cdot I_{SC_MOD} < (I_n \cdot A_1) \leq 2,4 \cdot I_{SC_MOD}$$

Donde:

I_{SC_MOD} → Corriente de cortocircuito de los módulos

I_n → Corriente asignada del fusible.

A_1 → Factor de corrección de la temperatura ambiente.

Anexo 6: características técnicas del conductor CPT.

ELECTRO CONDUCTORES PERUANOS S.A.C

ELCOPE

CABLE CPT



Descripción

- 1 Conductor de cobre electrolítico recocido, suave, flexible y cableado en haz (Clase5).
- 2 Aislamiento termoplástico con cloruro de polivinilo (PVC).

Propiedades

Retardante a la llama, alta resistencia dieléctrica, resistencia a la humedad, productos químicos y grasas, resistente a cualquier condición de corrosión que exista en la instalación

Aplicaciones

Utilizado de acuerdo a los estándares en todas las instalaciones con sistema de puesta a tierra, desde la conexión entre el SPAT al tablero general y/o distribución, hasta los puntos de cargas como iluminación, tomacorrientes, motores, AACC, etc., aplicado en ambientes interiores y exteriores.

Tensión Nominal 450/750 V	Colores Amarillo con una franja verde.
Temperatura de Operación 70°	
Normas de Fabricación • NTP-IEC 60228 • NTP 370.250 • NTP 370.252 • IEC 60332- 1	Presentación En rollos de 100 m o a solicitud del cliente.


No propagación de la llama


Resistente al aceite


Tensión nominal 450/750 V


Resistente a la humedad


Temperatura de operación 70° C

Calle Las Camelias Mz. "D" Lt. 5
Pachacamac - Lima - Perú
(511) 660 2652 Fax: (511) 430 0926

ventas@elcope.com.pe
www.elcope.com.pe

Tabla de Datos Técnicos

mm²

CALIBRE CONDUCTOR	DIAMETRO CONDUCTOR	ESPESOR AISLAMIENTO	DIAMETRO EXTERIOR	PESO APROX.	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)	
					AIRE	DUCTO
mm ²	mm	mm	mm	Kg/Km	A	A
1.5	1.52	0.7	2.92	22	18	14
2.5	2	0.8	3.6	32	30	24
4	2.52	0.8	4.12	48	35	31
6	3.02	0.8	4.62	69	50	39
10	4.02	1	6.02	115	74	51
16	5.1	1	7.1	174	99	68
25	6.42	1.2	8.82	271	132	88
35	7.56	1.2	9.96	370	165	110
50	8.9	1.4	11.7	522	204	138
70	10.5	1.4	13.3	725	253	165
95	12.5	1.6	15.7	990	303	198
120	14.1	1.6	17.3	1219	352	231
150	15.7	1.8	19.3	1480	413	264
185	17.6	2	21.6	1869	473	303
240	20	2.2	24.4	2410	528	352

AWG

Calibre AWG-MCM	Sección Nominal (mm ²)	Espesor Aislamiento (mm)	Diámetro Exterior (mm)	Capacidad de Corriente (Amperios)		Peso (Kg/Km)
				AIRE	DUCTO	
20	0.515	0.6	2.20	10	8	9
18	0.823	0.6	2.40	12	10	13
16	1.309	0.7	2.90	15	12	19
14	2.08	0.8	3.45	28	22	27
12	3.309	0.8	3.9	33	28	41
10	5.261	0.8	4.85	44	33	66
8	8.366	1.1	6.5	66	44	107
6	13.3	1.5	8.2	88	61	168
4	21.15	1.5	9.9	116	77	259
2	33.63	1.7	12	154	105	393
1	42.4	1.7	13.1	181	120	504
1/0	53.48	1.7	13.7	215	138	612
2/0	67.43	1.8	14.6	248	160	750
3/0	85.02	1.8	17.6	286	182	920
4/0	107.22	1.8	19.3	330	215	1146
250	126.7	2	21	374	237	1337

(*) Consideraciones de Instalación

No más de tres conductores por Ducto.

Temperatura ambiente: 30°C

Todos los diseños especificaciones y detalles de nuestros conductores son estrictamente indicativos.

No podrán ser considerados contractuales para ELCOPE.

Consultar con nuestra área técnica para calibres no considerados en el presente catálogo.



No propagación de la llama



Resistente al aceite



Tensión nominal 450/750V



Resistente a la humedad



Temperatura de operación 70°C

Calle Las Camelias Mz. "D" Lt. 5
Pachacamac - Lima - Perú
(511) 660 2652 Fax: (511) 430 0926

ventas@elcope.com.pe
www.elcope.com.pe

Anexo 7: características técnicas del portafusible.

BR-30
PV DC Fuse Holder



- 1 Brand
- 2 Type
- 3 Rated Current
- 4 Rated Voltage
- 5 Fuse Size
- 6 Electrical Diagram
- 7 Status Indicator

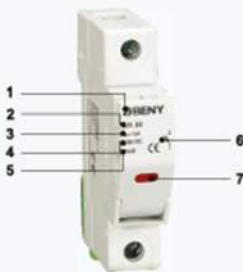
- Photovoltaic Applications
- Max Breaking Capacity up to 20KA, Effective Protection
- The Innovation Replacing Fuse Link Touch-safe
- Led Indicator, Reminding Fuse Link Replacement
- Be Sult for 10x38mm Fuse Size
- Comply with :IEC6094-3



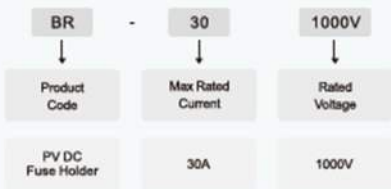
Application

ZBENY PV DC BR-30 Fuse Holder was designed and manufactured , complying with the standard IEC60947-3. The Rated Current up to 30A, rated voltage up to 1000V DC. It applied for PV DC combiner box, inverter etc, with the main function of over-current protection and effective disconnection.

Appearance Introduction



Type Instruction

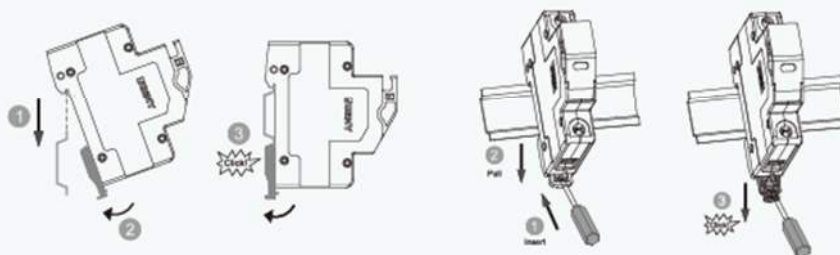


Parameter

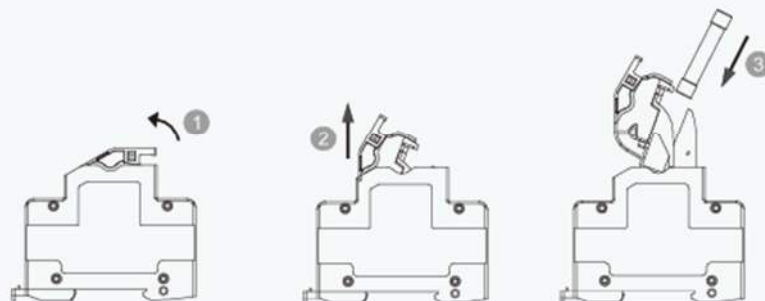
PV DC BR-30 Fuse Holder		
Pole		1P
According to		IEC 60947-3
Electrical Characteristics		
Rated Working Voltage	Ue	1000V DC
Rated Current	In	1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 8A, 10A, 12A, 15A, 20A, 25A, 30A
Breaking Capacity		20KA
Max Power Dissipation		3W
Control and Indication		
Operating State/Fault Indication		Indicator Light OFF/Indicator Light ON
Connection and Installation		
Wire		2.5mm ² ~25mm ²
Terminal Screws		M5
Torque	Nm	2.5
Degree of Protection		IP20
Installation Environment		
Fuse Size		10x38 mm
Operating Temperature Range	TU	-40°C ~ +85°C
For Mounting On		TH35-7.5/DIN35
Pollution Degree		3
Relative Humidity		+20°C≤95%, +40°C≤50%
Weight		0.07kg Per pole
Installation Class		III

BR-30 PV DC Fuse Holder

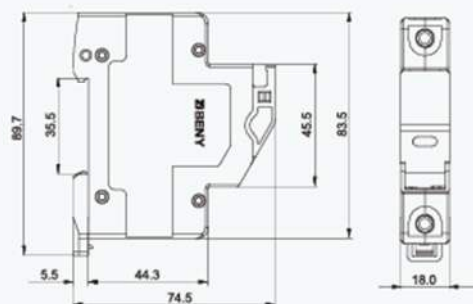
Installation



Replacement Fuse



Dimensions(mm)



Anexo 8: características técnicas del motor monofásico.



MOTOR MONOFÁSICO CON
CARCASA DE ALUMINIO / SERIE - YC

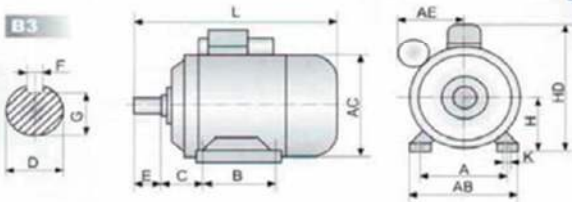


■ Descripción de Producto

Los motores de la serie YC son motores de inducción monofásicos de servicio pesado enfriados por ventilador totalmente cerrados (TEFC). La dimensión de montaje cumple completamente con el estándar IEC. Los motores de la serie YC están integrados con un diseño actualizado, construcción de materiales de la mejor calidad y poseen las características de apariencia agradable, rendimiento excepcional y fácil mantenimiento. También concentran las ventajas de un par de arranque alto, giro suave, aumento de temperatura bajo, bajo nivel de ruido y gran rendimiento de sobrecarga. Los motores de la serie YC son fabricados 100% de cobre.



MODELO
YC80A-4



■ Condiciones

Temperatura ambiente: -15 °C ≤ 40 °C
Altitud: no superior a 1000 m
Tensión nominal: 220 V
Frecuencia nominal: 60 Hz
Clase de protección: IP54
Clase de aislamiento: F
Método de refrigeración: IC0141
Servicio: S1 (continuo)

Parámetro técnico

Modelo	Salida nominal		Velocidad RPM	Corriente (A)	Eficiencia (%)	Factor de potencia (COS)	Ist/In	Ist/Tn
	KW	HP						
YC80A-4	0.37	1/2	1750	2.8	56	0.62	6	3
YC90S-4	0.75	1	1750	5.2	63	0.72	6.5	2.5
YC100L-4	1.5	2	1750	9.6	72	0.73	6.5	2.5
YC90L-2	1.5	2	3500	9.4	73	0.82	7	2.5
YC112M-4	2.2	3	1750	14.54	73	0.74	6.5	2.5
YC112M-2	3	4	3500	18.2	79	0.8	6.5	2.2
YC132M-4	3.7	5	1750	24.12	79	0.82	6.5	2.2
YC90L-4	1.1	1.5	1750	7.2	73	0.95	6.5	2.5
YC90S-2	1.1	1.5	3500	7	70	0.8	7	2.5
YC100L-2	2.2	3.0	3500	12.62	72	0.85	6.5	2.5

conectado

Anexo 9: características técnicas del medidor bidireccional.

Smart Power Sensor



Preciso

Precisión de medición: Clase 1



Fácil y sencillo

Pantalla LCD, fácil de configurar y comprobar



Energía eficiente

Consumo general de energía ≤ 1 W

Especificaciones técnicas	DDSU666-H	DTSU666-H 250A/50mA
Datos generales		
Dimensiones (alto x anchura x profundidad)	100 x 36 x 65.5 mm	100 x 72 x 65.5 mm
Tipo de montaje	DIN35 Rail	
Peso (incluidos los cables)	1.2 kg	1.5 kg
Fuente de alimentación		
Tipo de red eléctrica	1P2W	3P4W
Tensión de entrada (por fase)	176 Vac ~ 288 Vac	
Consumo de potencia	≤ 0.8 W	≤ 1 W
Rango de medición		
Tensión de línea	/	304 Vac ~ 499 Vac
Tensión por fase	176 Vac ~ 288 Vac	
Intensidad	0 ~ 100 A	0 ~ 250 A
Precisión de medición		
Tensión	±0.5 %	
Intensidad / Potencia / Energía	±1 %	
Frecuencia	±0.01 Hz	
Comunicación		
Interfaz	RS485	
Velocidad de transmisión en baudios	9,600 bps	
Protocolo de comunicación	Modbus-RTU	
Entorno		
Rango de temperatura de operación	-25 °C ~ 60 °C	
Rango de temperatura de almacenamiento	-40 °C ~ 70 °C	
Humedad de operación	5 %RH ~ 95 %RH (sin condensación)	
Otros		
Accesorios	Cable RS485 (10 m)	
	1 CT 100 A/40 mA (5 m)	3 CT 250 A/50 mA (5 m)

Anexo 10: características técnicas del interruptor termomagnético.



Catálogo Interruptores termomagneticos

Interruptor Termomagnético 2x20A 220V-10KA Bticino Bticino 17196



FICHA TÉCNICA

Color principal Blanco	Características Manija negra para encender y apagar dispositivo, porta etiqueta ergonómico para facil identificación en caso de un fallo eléctrico, enganche empotrable fácil para tablero riel DIN, obturadores de seguridad y conectores internos de plata, flujo de aire en la parte lateral para una mejor ventilación, protección a las instalaciones eléctricas de sobrecargas y cortocircuitos.
Garantía 1 Año	Observaciones Monofásico con poder de ruptura de 10ka ante un cortocircuito, Tipo de curva C, Bornes de gran capacidad de 35mm, Copytracer para protección contra falsificaciones.
Profundidad Del Producto 7.50 cm	Recomendaciones De Uso Tener en cuenta que el tablero electrico a instalar sea tipo riel, tener en cuenta el calibre del cable antes de instalar el interruptor termomagnético.
Altura Del Producto 9.00 cm	Modelo 2x20A Btdin
Tipo de Producto Interruptor	Ancho Del Producto 3.50 cm
Sub Tipo de Producto Termomagnético	Material PVC
Número de piezas 1	Peso Del Producto 0.04 kg
Amperaje 20 A	Advertencia de uso Prohibido tocar las unidades con las manos mojadas, no usar productos de limpieza líquidos o aerosoles.
Frecuencia 50-60 Hz	Uso Para cualquier instalación eléctrica.
Voltaje 220-400 V	¿Dónde usarlo? Aplicaciones residenciales y comerciales

Anexo 11: características técnicas del interruptor diferencial.



Catálogo Interruptores diferenciales

Interruptor Diferencial 2x25A 30MA
230V Bticino
Bticino 17243



FICHA TÉCNICA

Color principal Blanco	Características Manija gris para encender y apagar dispositivo, porta etiqueta ergonómico para identificar la protección del dispositivo conectado, botón tester de seguridad, enganche empotrable fácil para riel DIN, obturadores de seguridad y conectores internos de plata, protege principalmente la vida humana de descargas eléctricas directas o indirectas, detectan fugas de corriente.
Garantía 1 Año	Observaciones Soporta máximo hasta 3 dispositivos. Tiene una sensibilidad de 30miliamperios. Tiene que ser de igual o mayor amperaje que el interruptor termomagnético.
Profundidad Del Producto 7.5 cm	Recomendaciones De Uso Tener en cuenta el amperaje del interruptor termomagnético antes de realizar la instalación.
Altura Del Producto 9 cm	Modelo 2x25A Salvavita
Tipo de Producto Interruptor	Ancho Del Producto 3.5 cm
Sub Tipo de Producto Diferencial	Material PVC
Número de piezas 1	Peso Del Producto .22 kg
Amperaje 25 A	Advertencia de uso No protege las instalaciones electricas de sobrecargas o cortocircuitos, prohibido tocar las unidades con las manos mojadas, no usar productos de limpieza líquidos o aerosoles.
Frecuencia 50-60 Hz	Uso Para cualquier instalación eléctrica.
Voltaje 220-400 V	¿Dónde usarlo? Aplicaciones residenciales y comerciales

Anexo 12: Precio de panel solar.

Panel Solar 200W 24V Waaree Policristalino



s/.547,00 SIN IGV
S/. 463,56

Envío: Envío gratuito a provincias!

Entrega: **Recójalo el miércoles, 19.08.2026 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias**
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Fabricante: **Waaree** | Código de artículo: 1002215

Cantidad:

AÑADIR AL CARRITO **COMPRAR**

Anexo 13: Precio de soporte para paneles.

Soporte posterior ajustable 15°-30°



s/.39,70 SIN IGV
S/. 33,64

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: **Recójalo el miércoles, 19.08.2026 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias**
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Fabricante: **Falcat** | Código de artículo: 1503114

Cantidad:

AÑADIR AL CARRITO **COMPRAR**

Soporte posterior ajustable 15°-30° opiniones [Ver más opiniones](#)

 **TEIA INTERNATIONAL S** ★★★★★ 19.04.2025

Fácil de usar e instalar con las guías

Anexo 14: Precio de inversor monofásico.

 Inversor Monofásico 1kW S6-GR1P1K-M 220V SOLIS



S/.1.505,67

SIN IGV
S/. 1.275,99

☆☆☆☆☆

Descuento 7% (S/. 1.621,49 sin descuento)

Envío: Envío gratuito a provincias!

Entrega:

Recójalos el miércoles, 19.08.2026 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias

Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Fabricante: Solis | Código de artículo: 3208250

Cantidad:

- 1 +

AÑADIR AL CARRITO

COMPRAR

Anexo 15: Precio de medidor bidireccional.

 Vatímetro DDSU666H Monofásico Huawei



S/.590,73

SIN IGV
S/. 500,62

☆☆☆☆☆

Envío: Envío gratuito a provincias!

Entrega:

Recójalos el miércoles, 19.08.2026 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias

Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Fabricante: Huawei | Código de artículo: 3200233

Cantidad:

- 1 +

AÑADIR AL CARRITO

COMPRAR

Anexo 16: Precio de fusible.



Fusible 10A



S/.7,87 SIN IGV
S/. 6,67

☆☆☆☆☆

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: **Recójalo el miércoles, 19.08.2026 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias** ✓
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Fabricante: Autosolar | Código de artículo: 5504026

Cantidad:

AÑADIR AL CARRITO

COMPRAR

Anexo 17: Precio de portafusible.



Portafusible DC 10x38



S/.6,71 SIN IGV
S/. 5,69

☆☆☆☆☆

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: **Recójalo el miércoles, 19.08.2026 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias** ✓
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Fabricante: DC Solar Energy | Código de artículo: 5504024

Cantidad:

AÑADIR AL CARRITO

COMPRAR

Anexo 18: Precio de interruptor termomagnético.



 **PROMART**
BTICINO

Interruptor Termomagnético
2x20A 220V-10KA Bticino

s/ **43^{.90}**

Anexo 19: Precio de interruptor diferencial.



 **PROMART**
BTICINO

Interruptor Diferencial 2x25A
30MA 230V Bticino

s/ **154^{.90}**

Anexo 20: Precio de tablero de protección.

Tablero Adosable 4 Polos



S/.30,50

SIN IGV
S/. 25,85

★★★★★
[1 Opinión](#)

Envío: Envío gratuito a provincias por más de S/. 500

Entrega: **Recójalo el miércoles, 19.08.2026 en la agencia Marvisur o Shalom de provincias**
Estimated delivery time. Envío gratuito no aplicable para las delegaciones de Marvisur de Lima y Callao. El tiempo de entrega puede variar según destino o rotura de stock, consúltanos para más información.

Fabricante: Autosolar | Código de artículo: 5504050

Cantidad:

AÑADIR AL CARRITO

COMPRAR

Anexo 21: Precio de conductor NH-80 2.5mm².



Inicio / CABLES / CABLEADO ELÉCTRICO / CABLE NH-80 / NH-90 2.5MM2 450/750V INDECO

CABLE NH-80 / NH-90 2.5MM2 450/750V INDECO

S/195.00

- Marca: Indeco
- Colores disponible: rojo, negro, azul, blanco y amarillo verde.
- Calibre: 2.5 MM2
- Aislamiento: LIBRE ALOGENO IEC 60754-1 (No propaga la flama VW-1.)
- Material conductor: cobre temple blando
- Temperatura max: 30°C – 80°C

[VER FICHA TÉCNICA](#)

Anexo 22: Precio de conductor NH-80 4mm².



Inicio / CABLES / CABLEADO ELÉCTRICO / CABLE NH-80 / NH-90 4MM2 450/750V INDECO

CABLE NH-80 / NH-90 4MM2 450/750V INDECO

S/307.00

- Marca: Indeco
- Colores disponible: rojo, negro, azul, blanco y amarillo verde.
- Calibre: 4 MM2
- Aislamiento: LIBRE ALOGENO IEC 60754-1 (No propaga la llama VW-1.)
- Material conductor: cobre temple blando
- Temperatura max: 30°C – 80°C

[VER FICHA TÉCNICA](#)

Anexo 23: Precio de tubo Sel Liviano ¾”.



Anexo 24: Precio del Motor eléctrico monofásico de 0.5HP



DAIMLER PERUVIAN CORP S.A.C

RUC 20602471625

RESIDENCIAL LAS MALVINAS CAL.2 MZA. E LOTE. 26 , LIMA , LIMA - LIMA

Email: R.SPINOZA@HOTMAIL.COM

COTIZACIÓN
COT-00019537

Cliente: PINTADO CRUZ, ELTON JHOEL
DNI: 73133272
Dirección: , , -
T. Pago: Contado
Vendedor: ELIAN BAZAN

Fecha de emisión: 2026-08-11

CANT.	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	MARCA	MODELO	LOTE	P.UNIT	DTO.	TOTAL
1	NIU	YC80A-4 MOTOR ELECTRICO MONOFASICO DE 0.5HP 1750RPM	BERKLIN	YC80A-4	/1	469.00	0.00	469.00
OP. GRAVADAS: S/								397.46
IGV: S/								71.54
TOTAL A PAGAR: S/								469.00

BANCO DE CREDITO DEL PERU Soles N°: 191-9944696-0-72 - CCI: 002-191-009944696072-58
BANCO DE CREDITO DEL PERU Dólares Americanos N°: 1919939986-1-06 - CCI: 002-191-009939986106-53
INTERBANK Soles N°: 200-3001537669 - CCI: 003-200-003001537669-39
INTERBANK Dólares Americanos N°: 200-30015337676 - CCI: 003-200-003001537676-34

PAGOS:
SALDO: S/ 469.00

Anexo 25: Precios de componentes mecánicos



COCPLI

CONSULTORES Y CONSTRUCTORES
P&L INGENIEROS SAC

JR. JOSÉ BALTA N° 248-MAGLLANAL-JAEN-CAJAMARCA

CEL:991738675

E-Mail: plingenieros19@gmail.com

RUC 20607977331

COTIZACION

N° 000123

Cliente :	ELTON JHOEL PINTADO CRUZ	Fecha :	21/08/2026
DNI :	73133272	Moneda :	SOLES
Dirección:		Telefono:	
Referencia:			

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Sub Total	Total
A)	COMPONENTES MECÁNICOS					
1.00	Lamina de acero inoxidable AISI304 1000x1000x1 mm	u	1.00	165.00	165.00	165.00
2.00	Eje Acero AISI 1144, Ø1 pulg, L=16 pulg	u	1.00	150	150.00	150.00
3.00	Eje cuadrado Acero AISI 1144, Ø1 pulg, L=16 pulg	u	1.00	155.00	155.00	155.00
4.00	Eje de acero inoxidable AISI 1144, Ø1/8 pulg, L=16 pulg	u	4.00	25.00	100.00	100.00
5.00	Polea 2 pulg	u	1.00	35.00	35.00	35.00
6.00	Polea 18 pulg	u	1.00	180.00	180.00	180.00
7.00	Banda A-94	u	1.00	55.00	55.00	55.00
8.00	Engranaje 49 dientes en acero AISI 1144	u	1.00	280.00	280.00	280.00
9.00	Piñón 17 dientes en acero AISI 1144	u	1.00	140.00	140.00	140.00
10.00	Maquinado del tambor	u	1.00	180.00	180.00	180.00
11.00	Camisa de cobre	u	1.00	120.00	120.00	120.00
12.00	Maquinado del pechero	u	1.00	220.00	220.00	220.00
13.00	Maquinado del castillo	u	2.00	180.00	360.00	360.00
	Subtotal Adicional					2,140.00

Forma de pago: 50% al inicio y 50% al finalizar

CUENTA BANCARIA



210-01-2028465

80100621001202846584

SUBTOTAL	2,140.00
IGV	0.00
IMPORTE TOTAL (X)	2,140.00
Costo adicional (Y)	2,140.00
COSTO TOTAL X+Y	4,280.00

Adelanto

-

Anexo 26: Costos de mantenimiento



COCPLI

CONSULTORES Y CONSTRUCTORES
P&L INGENIEROS SAC

JR. JOSÉ BALTA N° 248-MAGLLANAL-JAEN-CAJAMARCA

CEL:991738675

E-Mail: plingenieros19@gmail.com

RUC 20607977331

COTIZACION

N° 000125

Cliente :	ELTON JHOEL PINTADO CRUZ	Fecha :	22/08/2026
DNI :	73133272	Moneda :	SOLES
Dirección:		Telefono:	
Referencia:			

Item	Descripción	Unidad	Cantidad	P.U.	Sub Total	Total
A)	MANTENIMIENTO					
1.01	Paneles solares	u	2.00	35.00	70.00	70.00
1.02	Inversor	u	1.00	50.00	50.00	50.00
	Subtotal					120.00

Forma de pago: 50% al inicio y 50% al finalizar

CUENTA BANCARIA



210-01-2028465

80100621001202846584

SUBTOTAL	160.00
IGV	0.00
IMPORTE TOTAL (X)	160.00
Costo adicional (Y)	120.00
COSTO TOTAL X+Y	280.00

Adelanto

-