ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.1611

SUSTAINABLE ENERGY GENERATION: DESIGN OF A GRAIN MILL DRIVEN BY A STIRLING ENGINE AND DISK

Paul C. Cuno[1], Diego R. Mamani[2], Lenin B. Huamani[3], Emerson J. Figueroa[4], Renzo J. Condori[5], Arturo G. Velasquez[6], Jorge M. Ortega[7]

[1,2,3,4,5,6,7]Universidad Tecnológica del Perú. Arequipa, Perú, *[1]U20303351@utp.edu.pe, [2]U19206697@utp.edu.pe, [3]U20219761@utp.edu.pe, [4]U19206573@utp.edu.pe, [5]U20206173@utp.edu.pe, [6]C25661@utp.edu.pe, [7]C26173@utp.edu.pe*

***Abstract*– The objective of this work is to design a grain milling system based on solar energy, using a parabolic dish and a Stirling engine as key elements of the system. The main problem lies in the dependence on human power for grain processing, which generates inefficiency and limits production in rural environments. The proposed system uses a parabolic dish to concentrate solar radiation and generate enough heat to drive a Stirling engine. This, in turn, converts thermal energy into mechanical energy, which is then transformed into electrical energy to power a grain mill. Through proper material selection, efficient parabolic dish design and integration of the Stirling engine with the mechanical transmission system, it is hoped to achieve a sustainable system that minimizes the need for human intervention, maximizes energy efficiency and provides a capacity continuous grinding of at least 80 kg/hour. Preliminary results indicate the technical and economic viability of the project, with the potential to be implemented in areas with high solar radiation.**

***Keywords*— Solar energy, Stirling engine, parabolic dish, grain milling, sustainability.**

Generación de energía sostenible: diseño de un molino de granos impulsado por un motor y disco Stirling

Paul C. Cuno[1], Diego R. Mamani[2], Lenin B. Huamani[3], Emerson J. Figueroa[4], Renzo J. Condori[5], Arturo G. Velasquez[6], Jorge M. Ortega[7]

[1,2,3,4,5,6,7]Universidad Tecnológica del Perú. Arequipa, Perú, *[1]U20303351@utp.edu.pe, [2]U19206697@utp.edu.pe, [3]U20219761@utp.edu.pe, [4]U19206573@utp.edu.pe, [5]U20206173@utp.edu.pe, [6]C25661@utp.edu.pe, [7]C26173@utp.edu.pe*

Resumen*– El objetivo de este trabajo es diseñar un sistema de molienda de grano basado en energía solar, utilizando un disco parabólico y un motor Stirling como elementos clave del sistema. El principal problema radica en la dependencia de la energía humana para el procesado del grano, lo que genera ineficiencia y limita la producción en entornos rurales. El sistema propuesto utiliza un disco parabólico para concentrar la radiación solar y generar calor suficiente para accionar un motor Stirling. Éste, a su vez, convierte la energía térmica en energía mecánica y ésta en energía eléctrica para accionar un molino de grano. Mediante una adecuada selección de materiales, un diseño eficiente del disco parabólico y la integración del motor Stirling con el sistema de transmisión mecánica, se espera conseguir un sistema sostenible que minimice la necesidad de intervención humana, maximice la eficiencia energética y proporcione una capacidad de molienda continua de al menos 80 kg/hora. Los resultados preliminares indican la viabilidad técnica y económica del proyecto, con potencial para ser implantado en zonas de alta radiación solar.

Palabras clave—Energía solar, motor Stirling, disco parabólico, molienda de granos, sostenibilidad

I. Introducción

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño y evaluación de un sistema de molienda de granos que funcione mediante energía solar, utilizando un disco parabólico para concentrar el calor en un motor Stirling, el cual será convertido en energía eléctrica la cual será usada por el molino de granos.

A. Problemática

La principal problemática es el esfuerzo humano y el tiempo que se requiere el día a día para moler los distintos tipos de granos, esta misma genera pérdidas de tiempo ya que es necesaria la presencia de un operador para su funcionamiento.

B. Hipótesis

Una solución practica al problema detectado es mejorar la producción de granos, como también eliminar los esfuerzos humanos y que estos sean invertidos en otras necesidades. Se propuso un motor Stirling y un disco Stirling que será utilizado para convertir energía térmica en energía mecánica y luego en eléctrica, así como un sistema de acoplamiento que conecte el motor Stirling con un generador, acompañado de fajas de transmisión, de esta manera se pretende aprovechar la energía solar para alimentar un motor y que mediante los distintos tipos de mecanismos pueda ser convertida en energía eléctrica y pueda funcionar el molino de granos.

C. Metodología

La metodología empleada en este trabajo (VDI 2221) incluyó el uso de software de modelado y simulación para diseñar la estructura que soportara al molino de granos y las poleas para el motor eléctrico de 1HP. Se realizaron cálculos estáticos y dinámicos como la selección de bandas de transmisión, dimensiones de las poleas y distancia entre ejes. Con el fin de desarrollar un sistema eficiente y sostenible de molienda de granos, aprovechando la energía solar mediante un disco parabólico que concentra el calor en un motor Stirling. Por otra parte, se generaron múltiples planos y archivos CAD buscando un diseño ligero, modular y de fácil manufactura. Este proyecto contribuye al avance de la investigación en energías renovables promoviendo un futuro más verde y sostenible.

D. Objetivos generales

Desarrollar un sistema eficiente y sostenible para la molienda de granos, aprovechando la energía solar mediante un disco parabólico que concentra el calor en un motor Stirling, el cual se utilizará para accionar un molino de granos. El objetivo principal es diseñar este sistema para maximizar la eficiencia energética y la producción.

E. Objetivos específicos

- Diseño del disco parabólico: Crear un disco parabólico capaz de concentrar la energía solar de manera óptima para generar el calor necesario que alimentará el motor Stirling.
- Selección del motor Stirling: Elegir y adaptar un motor Stirling adecuado para convertir el calor solar en energía mecánica suficiente para accionar el molino de granos.
- Integración del sistema: Desarrollar un mecanismo que conecte de manera eficiente el motor Stirling con el molino de granos, garantizando una transferencia de energía efectiva.

F. Descripción del proyecto seleccionado

El proyecto se centra en el diseño de un sistema de molienda de granos que utilice energía eléctrica como fuente primaria. El disco parabólico será responsable de concentrar la energía solar, que se transformará en energía mecánica mediante un motor Stirling. Esta energía mecánica se utilizará a través de un generador el cual nos dará energía eléctrica DC, esta será almacenada en baterías y con un alternador lo convertiremos en energía eléctrica AC, para poder alimentar un molino de granos, permitiendo un proceso de molienda sostenible y eficiente. Este proyecto busca ofrecer una solución innovadora en el campo de las energías renovables aplicadas a la agroindustria.

G. Condiciones técnicas

- Materiales del disco parabólico: Reflectores de alta eficiencia para maximizar la captación de energía

solar. Aluminio con recubrimiento reflectante debido a su ligereza y capacidad de reflexión.

- Características del motor Stirling: Motor de baja temperatura optimizado para funcionar con la cantidad de calor disponible del disco parabólico. Motor Stirling SOLO V161
- Sistema de acoplamiento: Transmisión mecánica que conecte el motor Stirling con el generador, diseñada para minimizar pérdidas de energía.
- Capacidad de molienda: Sistema dimensionado para una producción mínima de 80 kg de granos por hora.
- Ubicación: El sistema deberá ser diseñado considerando su instalación en una región con alta incidencia solar.

H. Criterios de aceptación

- Funcionamiento continuo: El sistema debe ser capaz de operar de manera continua durante al menos 8 horas diarias bajo condiciones de sol óptimas.
- Eficiencia energética: El sistema debe demostrar una eficiencia energética de al menos el 92%.
- Capacidad de producción: El molino debe ser capaz de procesar al menos 80 kg de granos por hora.
- Facilidad de mantenimiento: El sistema debe ser de fácil mantenimiento, con componentes accesibles y de larga durabilidad.
- Sostenibilidad: El sistema debe operar utilizando únicamente energía solar, sin depender de fuentes de energía externas

II. Requerimientos

A. Requerimientos técnicos

Disco parabólico:

- Diámetro mínimo de 3 metros.
- Material reflectante con alta eficiencia para la captación de energía solar.
- Sistema de seguimiento solar para maximizar la captación de luz solar durante todo el día. (opcional)

Motor Stirling:

- Capaz de operar con la energía térmica proporcionada por el disco parabólico.
- Sistema de acoplamiento para transmitir la energía mecánica al molino de granos.

Molino de granos:

- Capacidad de molienda de 80 kg por hora.
- Compatible con la potencia y el par del motor Stirling.
- Molino que permita un uso correcto.

Sistema de acoplamiento y transmisión

- Mecanismo eficiente que minimice pérdidas de energía entre el motor Stirling y el molino de granos.
- Componentes duraderos y de fácil mantenimiento.

B. Materiales

Disco parabólico:

- Material reflectante (espejos)
- Estructura de soporte: Acero AISI 1018 (Acero al carbono)
- Sistema de montaje (soportes, tornillería, etc.).

Motor Stirling:

- Metales resistentes al calor para el motor. AISI 310 (Temperaturas de hasta 1100 °C) o AISI 321 (Temperaturas de 800-900 °C).

Molino de granos:

- Cuerpo de molino: acero inoxidable o hierro fundido. Según el fabricante
- Componentes de transmisión y acoplamiento. (AISI 4140).

Adicionales:

- Cables, tornillería, soldadura, lubricantes, etc.

C. Equipos

Equipos de diseño y simulación:

- Software CAD para diseño del sistema (AutoCAD, SolidWorks, etc.).
- Software de simulación térmica para analizar el rendimiento del disco parabólico y el motor Stirling.

Equipos de fabricación:

- Máquinas de corte y soldadura para la construcción del disco parabólico y la estructura.
- Torno y fresadora para la fabricación y ajuste del motor Stirling y sus componentes.
- Herramientas manuales (taladros, llaves, etc.).

Equipos de medición:

- Sensores de temperatura y presión para evaluar el rendimiento del motor Stirling.
- Medidores de potencia y torque para el análisis de la transmisión de energía al generador.

III. Lista de exigencias

Tabla 1: Lista de exigencias

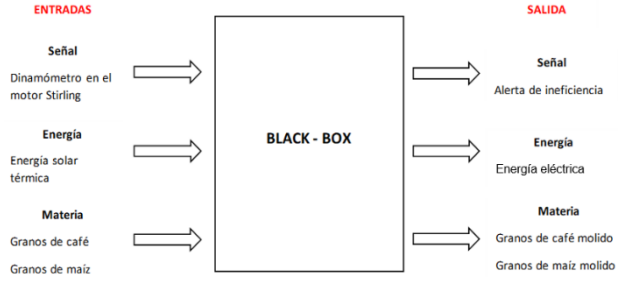
Lista de exigencias	Universidad UTP	Pág.	1/2
Diseño y evaluación de un sistema de molienda de granos que funcione mediante energía solar, utilizando un disco parabólico para concentrar el calor en un motor Stirling, el cual accionará el molino de granos.	Facultad de Ingeniería	Fecha	
	Ingeniería Mecánica		
	Área de diseño y evaluación de sistema de molienda	Autor	

Figura 1: Black Box

Tabla 2: Lista de exigencias desarrollada

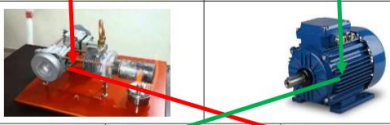
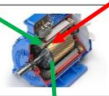
Características	Deseo o Exigencia	Descripción
Función Principal	E	Aprovechar la energía solar mediante un disco parabólico que concentra el calor en un motor Stirling, el cual se utilizará para accionar un molino de granos
Peso	E	25 kg
Función	E	El motor Stirling energizado por el disco parabólico para generar energía mecánica, y mediante el sistema de transformación a energía eléctrica, transmitirlo al molino de granos
Fuerza	E	La capacidad del motor deberá ser lo suficiente para evitar sobrecargas y un mal funcionamiento
Seguridad	E	Protección contra sobrecargas, guardapolvos, el molino deberá contar con cubiertas protectoras para evitar el contacto con el mecanismo en funcionamiento
Medio ambiente	E	Este motor será accionado con energía solar.
Mantenimiento	D	Los componentes del sistema deberán ser de fácil desmontaje para una adecuada limpieza y mantenimiento.
Mantenimiento	D	La mantenibilidad del sistema deberá ser sencilla.
Fabricación	E	El diseño y selección de componentes de la máquina deberán ser de fácil adquisición en el mercado local.
Fabricación	E	Se debe de tomar en cuenta la manufactura local en el caso de diseñar componentes mecánicos
Costos	E	Se estima un presupuesto de S/25000.00 a /60000.00

IV. BLACK BOX



V. MATRIZ MORFOLÓGICA

Tabla 3: Matriz Morfológica

	FUNCION	PORTADOR DE LA FUNCION
1	FUENTE DE ENERGIA	
2	MOTOR	
3	TRANSMISION DE LA ENERGIA MECANICA	
4	CAMBIO DE ENERGIA MECANICA A ENERGIA ELECTRICA DC	
5	ALMACENAMIENTO DE LA ENERGIA DC	
6	TRANSFORMACION DE ENERGIA DC A AC	
7	MOLEDORA DE GRANOS	

VI. CALCULOS DE MOTOR STIRLING SOLO V16

A. Rendimiento y Potencia del Motor Stirling

Se analizó la relación entre la potencia suministrada por el sistema y la irradiación normal directa recibida. Los datos fueron procesados en Excel, obteniendo una función interpolada que permite calcular la potencia en kW. (Fig. 2)

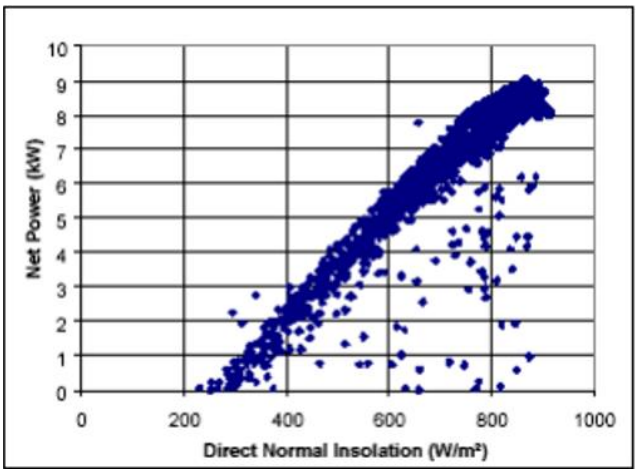


Figura 2: Potencia neta obtenida

Datos del motor GENOA 03, que se usará:

Tipo de motor	Tipo alfa (Cilindros paralelos)
Cilindrada	2 x 522 cm^3
Fluido de trabajo	Aire
Presión media de operación	15 bar
Límite de sobrepresión	30 bar
Temperatura de operación (calentador)	1023 K
Temperatura de arranque (calentador)	793 K
Revoluciones operación	600 rpm
Lubricación	No necesaria
Fluido refrigerante	Agua
Peso en vacío	158 Kg
Dimensiones en mm	Ver Fig. 12
Mantenimiento	Requiere inspección cada 1000 h de trabajo
Alternador	Imanes permanentes con rectificador a DC
Potencia nominal	**3 KW e**
Precio (pedido único)	**14.000 €**

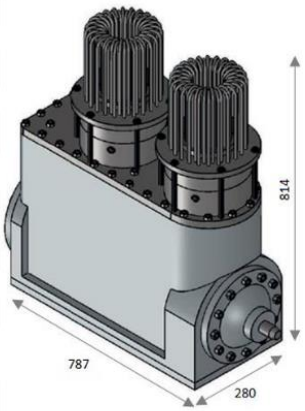


Figura 3: Datos del motor modelo GENOA03[1]

B. Comportamiento del sistema

Para analizar el comportamiento del sistema se calcula el rendimiento global del sistema. El rendimiento global del sistema se define como el cociente entre la potencia neta suministrada por la instalación y la potencia de entrada recibida por el concentrador. La potencia de entrada se calculará como el producto de la irradiación normal directa recibida por el concentrador en W/m^2 y del área de este en m^2 (52'9). Los datos obtenidos se muestran en la (Tabla 5).

C. Comportamiento del motor

Una vez calculada la eficiencia del sistema se calcula la evolución del rendimiento del motor frente a cambios en la irradiación normal incidente recibida. Para ello se supondrán los valores de los rendimientos de cada componente del sistema que aparecen en la (Tabla 4).

Tabla 4: Rendimiento de los componentes del Sistema

Componente	Concentrador	Receptor	Absorbedor	Generador
Rendimiento (%)	92	82	83	91

El rendimiento global del sistema se puede calcular como el producto de cada uno de los componentes del sistema: Como el único de ellos que no es conocido es el rendimiento del motor, se despeja de la ecuación anterior. Los resultados obtenidos se muestran en la (Tabla 5).

Tabla 5: Evolución del rendimiento global del sistema y del motor

Irradiación normal directa (W/m^2)	Potencia neta (kW)	Rend. Sistema	Rend. Motor
200	0	0,00	0,00
250	0,2	0,02	0,03
300	0,5	0,03	0,06
380	1,8	0,09	0,16
400	2,5	0,12	0,21
450	3	0,13	0,22
500	3,4	0,13	0,23
550	4,5	0,15	0,27
600	5,25	0,17	0,29
650	5,75	0,17	0,29
700	6,5	0,18	0,31
750	7,3	0,18	0,32
800	8	0,19	0,33
850	8,4	0,19	0,33

VII. CALCULO DE LOS MATERIALES Y ESTRUCTURA

Datos de la región Arequipa:

Tabla 6: Radiación solar en W/m^2 (Promedio) [2]

Horas	R. solar (W/m^2)
6	51
7	301
8	602
9	764
10	918
11	1001
12	1009
13	941
14	801
15	603
16	356
17	97
P. Total	620.33

A. Parámetros de selección

En este caso se usará aluminio con un 95% de reflectividad [5].

Tabla 7: Materiales para el concentrador solar [3], [4]

Material	Propiedades	Costo relativo	Reflectividad	Durabilidad	Peso
Aluminio	Ligero Alta reflectividad Buena Resistencia a la corrosión Fragilidad moderada Frágil y caro	Medio	85-95%	Buena	Ligero

B. Aproximado de calor en el receptor

Con la ayuda de la ecuación de Stefan-Boltzmann para la radiación térmica [6]. Con los valores de radiación en Arequipa el valor de radiación usado será de 777.22 W/m^2 aproximadamente (Tabla1), y la temperatura ambiente del aire

se considerará en 25 °C [2], y los valores de coeficientes de transferencia del calor dentro del receptor y fuera de él se toman como 5 y 10 W/m^2. Para la emisividad de la superficie del material se considerará 0.9[6]. De acuerdo con la geometría del concentrador se tiene que la relación de concentración de nuestro concentrador es 250.

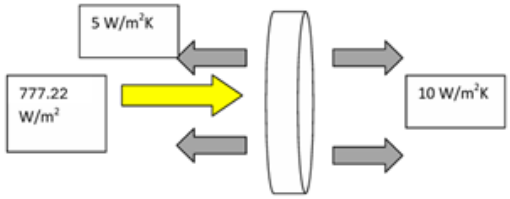


Fig. 4 Calor en el receptor [6]

$$(250 \times 777) - 5(T - 25) - 10(T - 25) - 0.9(5.67) \times 10^{-8}(T^4 - (25 + 273)^4 = 0$$

$$T = 1360.10\ °C$$

Entonces la temperatura en el concentrador será de 1360.10 °C

VIII. Diseño del concentrador solar

Cuanto mayor sea la relación de concentración, mayor será la temperatura que puede alcanzar el receptor [7]. Por lo tanto, se seleccionará el PDC.

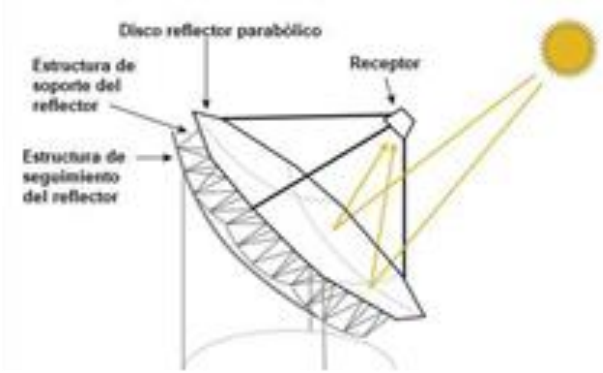


Fig. 5 Partes del disco o concentrador [7]

Usando las ecuaciones de la parábola y distancia focal:

$$y = \frac{x^2}{4f}$$

Donde:
y: Ecuación de la parábola (m)
x: Abscisa de la parábola (m)
f: Distancia focal (m)
Ecuación de la parábola:

Para este caso el diámetro del concentrador solar será de 2 m. Donde con la ayuda con la ayuda del software Sol TRACE[6]. Usaremos un ángulo de apertura de 70°, entonces obtendríamos la siguiente ecuación [6].

$$y = \frac{x^2}{4 \times 714.074}$$

$$y = \frac{x^2}{2856.16}$$

Con esta ecuación se grafica en inventor el concentrador solar.

IX. Calculo de cargas estáticas

A. *Carga muerta*

Peso del disco o concentrador

- Diámetro del disco: D=2 m (2000 mm).
- Radio del disco: r =1 m
- Área del disco parabólico: A= πr^2 = 3.14m^2
- Espesor de la lámina de aluminio: Asumiremos que el espesor, ya que es el más usado, será 3 mm (0.003 m).
- Densidad del aluminio: Aproximadamente 2700 kg/m³.

Volumen del disco:
El volumen de la lámina de aluminio se calcula multiplicando el área por el espesor:

$$V = A \times Espesor = 0.00942m^3$$

Peso del disco:
El peso del disco se calcula multiplicando el volumen por la densidad del aluminio:

$$P.\ del\ disco = V \times D\ del\ aluminio = 25.43kg$$

Como usaremos motor GENOA 03 (Fig. 3) que pesa 158 kg. Calculamos el peso total, asumiremos que la estructura pesa que sostiene al disco pesa 50 kg.

$$P.total = Peso\ del\ disco + Peso\ del\ motor + P.estructura\ del\ disco$$

$$P.total = 25.43kg + 50kg + 158\ kg = 233\ kg$$

Consideraremos que la estructura pesa 300kg por si hay alguna imprecisión. Por lo tanto:

$$F = 2943\ N$$

B. *Carga con viento*

Datos:

- Velocidad del viento en Arequipa: V=24 m/s[8]
- Altura: 1.5 m
- Área: 2.25m2
- Terreno plano: C_{topo} =1.0
- Factor de exposición: C_e=0.7
- Factor direccional: C_{dir}=1.0

$$q_z = 0.5 \cdot \mathrm{P} \cdot V^2 \cdot C_e \cdot C_{topo} \cdot C_{dir}$$

$$q_z = 246.96\ N/m^2$$

Para calcular la fuerza del viento:

$$F = q_z \cdot A \cdot C_f$$

Donde:
q_z = 246.96 N/ m^2
A=2.25m^2
C_f=1 (coeficiente de forma para superficies verticales).

$$F = 722.358\ N = 0.162\ klb$$

C. *Carga con nieve*

Usando la NTP E.030[9], usaremos el valor de 40kgf/m^2 = 0.3924kN/m^2.

$$S = ps \cdot A$$

Donde:
ps: Carga de nieve por unidad de área (0.3924kN/m²).
A: 2.25 m2

$$S = 882.9\ N = 0.198\ klb$$

D. Carga combinada

$$P_u = 1.2D + 1.0W + 0.5S$$

Donde:
D: Carga muerta
W: Carga de viento
S: Carga de nieve

$$P_u = 1.05\ klb$$

E. Cálculo del perfil

$$A_{req} = P_u/\phi FC_r$$

Donde
Areq: Área requerida (pulg^2)
Pu: Carga combinada (klb)
ϕFCr: Esfuerzo critico
Entonces:

$$A_{req} = 0.03697\ pulg^2$$

Con la Tabla 1-12 HSS [10], seleccionaremos el perfil HSS2x2x1/8 que tiene un área=0.840 pulg2.
Factor de seguridad [10]

$$\phi P_n = \phi \mathrm{FC}_r \cdot A$$

Donde
ϕPn: Carga nominal
ϕFCr: Esfuerzo critico
A: Área

$$\phi P_n = 23.856$$

Factor de seguridad será:

$$F_s = \phi P_n/P_u$$
$$F_s = 22.73$$

Simulando en inventor con perfiles cuadrados de AISC 2x2x1/8, obtendremos los siguiente: Deformación o desplazamiento, teniendo como máximo 0.1043mm.

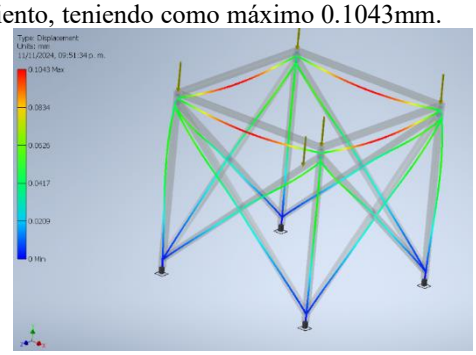


Fig. 6 Simulación Inventor 1

Y el esfuerzo máximo será de, 2.55 MPa. Siendo el esfuerzo de fluencia 250 MPa.

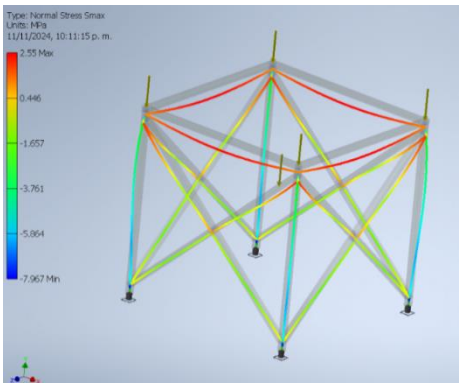


Fig. 7 Simulación Inventor 2

Se observa que la deformación es mínima y con los cálculos el factor de seguridad es alto con un Acero A36.
Simulación en SAP2000

Se observa que nos da en color celeste, lo que muestra que la estructura puede soportar los esfuerzos sin mayor inconveniente.

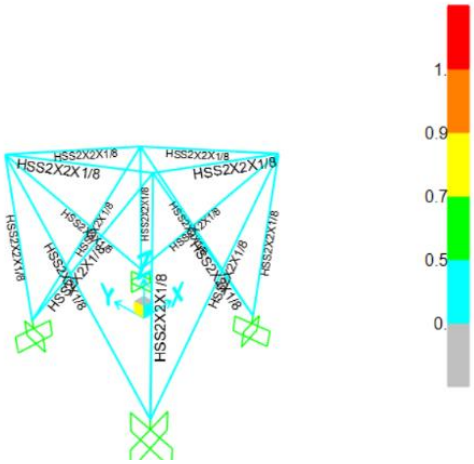


Fig. 8 Perfiles de Base de Disco

X. Análisis Mecánico-Eléctrico

La temperatura para la operación según el motor es de 1023 K, según esto calcularemos la Radiación solar W/m^2.

$$(250 \times x) - 5(1023 - 25) - 10(1023 - 25) - 0.9(5.67) \times 10^{-8} \times ((1023^4 - (25 + 273)^4) = 0$$
$$x = 281.8272\ W/m^2$$

Por lo tanto, la radiación mínima será de 281.83 W/m^2, de esta manera nuestro motor podrá trabajar desde las 8 hasta las 16 horas.

A. Inversor

Requerimiento: 220 V AC, 3A
Potencia de salida

$$P_{AC} = V \cdot I = 220\ V \cdot 3A = 660W$$

Considerando una eficiencia del 90%

$$P_{DC} = \frac{P_{AC}}{\eta} = 733W.$$

B. Energía necesaria

$$E = P_{DC} \cdot t = 733W \cdot 8h = 5864Wh = 5.9kWh$$

Velocidad del motor Stirling: 600 rpm
Potencia: 3kw
Generador debe de producir: 48 V DC

$$I_{generador} = \frac{P}{V} = \frac{3000W}{48V} = 62.5A$$

C. Baterías

Se usará baterías de iones de litio.

$$C = \frac{E}{V} = \frac{5864Wh}{48V} \approx 122.2A.h$$

Por margen de seguridad el banco de baterías deberá de ser de al menos 130A.h
Configuración de las baterías: Usando baterías de 12 V y 100 A.h
Se necesitan 4 baterías en serie para alcanzar 48 V.
Para alcanzar 130A.h serán necesarios 1,3 bancos en paralelo (se redondeará a 2 bancos para garantizar la capacidad y durabilidad)
Total: 8 baterías de 12 V, 100A.h

D. Inversor

Voltaje de entrada: 48 V DC
Potencia nominal: 1kw, para manejar los 660w del motor
El inversor adecuado sería 48 V DC a 220 V AC, 1kw.
Duración del sistema: 8 horas con un margen de seguridad

XI. Comparación con el paneles

Se analiza un sistema con motor Stirling alimentado por un disco parabólico y otro basado en paneles solares fotovoltaicos.

Tabla 8: Comparativa con panel fotovoltaico

Criterio	Motor Stirling con Disco Parabólico	Panel Solar Fotovoltaico	Relevancia
Fuente de Energía	Energía térmica concentrada por el disco parabólico y convertida en energía mecánica y eléctrica.	Energía solar convertida directamente en electricidad por celdas fotovoltaicas.	Ambos sistemas utilizan una batería para almacenamiento de energía.
Eficiencia de Conversión	Térmica - Mecánica - Eléctrica (~30-40%).	Solar - Eléctrica (~15-20%).	El motor Stirling tiene mayor eficiencia de conversión gracias al aprovechamiento térmico directo.
Consumo Diario de Energía	Requiere 20 kWh/día para generar los 6 kWh necesarios.	Requiere 40 kWh/día para generar los 6 kWh necesarios.	Basado en 8 horas de operación diaria para alimentar un motor de 1 HP (0.75 kW).
Eficiencia Global	~25-34% (incluye pérdidas en conversión térmica y almacenamiento).	~13-17% (incluye pérdidas en conversión fotovoltaica y almacenamiento).	El sistema Stirling tiene menor pérdida total en la conversión.
Mantenimiento Anual	Moderado; limpieza del disco parabólico, lubricación del motor y mantenimiento de batería	Moderado; limpieza de paneles, mantenimiento de inversores y batería	Ambos sistemas requieren cuidado regular de componentes para evitar pérdidas de rendimiento.
Impacto Ambiental	Moderado; incluye fabricación del disco parabólico y batería.	Mayor; fabricación de paneles fotovoltaicos y baterías tiene mayor huella de carbono.	El sistema Stirling tiene menor impacto ambiental en términos de reciclaje y desechos.

El sistema con motor Stirling y disco parabólico es más eficiente en términos de conversión energética total que el sistema fotovoltaico, especialmente en aplicaciones que requieren generación directa de calor y su posterior conversión a energía mecánica. Aunque ambos sistemas utilizan baterías con un impacto ambiental significativo, el motor Stirling tiene una huella de carbono menor debido a la simplicidad de fabricación del disco parabólico y la ausencia de procesos de producción intensivos como los necesarios para los paneles solares.

XII. Cálculo de las bandas de transmisión

Cálculo de las bandas de transmisión, dimensiones de las poleas, longitud de las bandas.
Datos.

- Potencia del motor: 1hp
- Velocidad de rotación: 1700rpm
- Condiciones: normales
- Tipo de correa: clásica
- Horas de funcionamiento: 8h
- Velocidad de rotación: 500rpm

De acuerdo con el manual técnico optibelt correas trapeciales [11]

A. Relación de transmisión

$$i = \frac{n1}{n2} = \frac{1700}{500} = 3.4$$

B. Potencia Calculada

$$\mathrm{PB} = \mathrm{P1}*\mathrm{c2}$$

Se selecciona un factor de carga (C2) para transmisiones ligeras (página 69 tabla 18)

$$(C2) = 1.1$$

$$PB = 0.75\ KW * 1.1$$

$$PB = 0.825\ KW$$

C. Selección del Perfil de Correa

Se selecciona una correa clásica VB Z/10 (diagrama 1 página 63)

D. Selección de los Diámetros Primitivos

Diámetro mínimo recomendado: 50mm (pág.9 tabla 3)

E. Diámetro de polea transmitida

$$D = d * i$$

$$D = 63\ mm * 3.4$$

$$D = 214.2\ mm$$

F. Distancia entre ejes provisional

$$0.7 * (d + D) < a < 2 * (d + D)$$

$$0.7 * (63 + 214.2) < a < 2 * (63 + 214.2)$$

$$194 < a < 554.4$$

Desarrollo de referencia de la correa (valor teórico)

$$Lo \approx 2 * a + 1.57 * (D + d) + \frac{(D - d)^2}{4 * a}$$

$$Lo \approx 2 * 300 + 1.57 * (214.2 + 63) + \frac{(214.2 - 63)^2}{4 * 300}$$

$$Lo \approx 1054.26mm$$

Con ello:

$$\text{L} = 1063\text{mm} \rightarrow \text{Z41 (perfil Z10)}$$

G. Distancia entre ejes real

$$Cuando\ L > Lo \rightarrow anom \approx a + \frac{L - Lo}{2}$$

$$Cuando\ L > Lo \rightarrow anom \approx a - \frac{Lo - L}{2}$$

$$anom \approx 300 + \frac{1063 - 1054.26}{2}$$

$$anom \approx 304.37mm$$

H. Recorrido mínimo de ajuste x/y de la distancia entre ejes

Ajuste mínimo en x: 15mm (Pág. 77 – tabla 24)

Ajuste mínimo en y: 15mm (Pág. 77 – tabla 24)

I. Velocidad y frecuencia de flexión de la correa

$$v = \frac{d * n1}{19100} = \frac{63\ mm * 1700\ rpm}{19100}$$

$$v = 5.61 m/s$$

J. Factor de ángulo y ángulo de contacto

$$\frac{D - d}{anom} = \frac{214.2\ mm - 63\ mm}{300}$$

$$\frac{D - d}{anom} = 0.503$$

Angulo de contacto (Pág. 68 – tabla 17)

$$\beta = 150$$

$$C1 = 0.98$$

K. Factor de Desarrollo

Desarrollo de referencia (C3)

Lo= 1054.24mm

C3=1.055mm (Pág. 72 – tabla 21)

L. Potencia nominal por cada correa (PN)

Datos:

d=63mm

i=3.4

n1=1700rpm

Potencia nominal preliminar (PN")

PN"=0.66KW (Pág. 106 – tabla 50)

Con ello:

$$PN = PN" + incrento$$

$$PN = 0.68 + 0.08$$

$$PN = 0.76\ KW$$

M. Numero de correas trapeciales

$$z = \frac{PB}{PN * C1 * C3}$$

$$z = \frac{0.825}{0.76 * 0.98 * 1.055}$$

$$z = 1$$

$$z = 1(correas)$$

- Se selecciona 1 correa de tipo clásica VB z41
- Longitud de la correa: 1063mm
- D= 214.2 mm
- d= 63mm
- Distancia entre ejes: 304.37mm

XIII. Cálculo de esfuerzo cortante torsional del eje

A. Par torsión

- Potencia = 745.7W
- n(velocidad de rotación) = 500 rpm

$$P = T * n$$

$$T = \frac{P}{n}$$
$$T = \frac{745.7W}{52.36\frac{Rad}{s}}$$
$$T = 14.24N.m$$

B. MOMENTO POLAR DE INERCIA PARA UNA SECCIÓN CIRCULAR

D= 214.2mm

$$= \frac{\pi D^4}{32}$$
$$J = \frac{\pi * (0.21875m)^4}{32}$$
$$J = 0.0002067m^4$$

C. ESFUERZO CORTANTE TORSIONAL

$$Tmax = \frac{Tc}{J}$$
$$Tmax = \frac{14.24N.m * 0.10937m}{0.0002067m^4}$$
$$Tmax = 7534.73Pa$$

XIV. PRESENTACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES SELECCIONADOS

A. W22 Motor Eléctrico Monofásico

Descripción del Producto:

- Tipo: Motor de inducción monofásico
- Potencia: 1 HP
- Velocidad: 1700 RPM
- Voltaje: 220V

B. Máquina manual de molino de grano

Descripción de la Máquina

- Fundición gris o acero inoxidable
- Propiedades: Resistencia a la corrosión, alta durabilidad y resistencia al desgaste, capacidad para soportar esfuerzos mecánicos repetidos
- Piedra de corindón, acero o hierro fundido
- Propiedades: Alta dureza para asegurar una buena molienda, Larga vida útil.

C. Mesa de Acero A36 – Hoja Técnica

Propiedades del Material:

- Resistencia a la tracción: 400-550 MPa
- Límite elástico: 250 MPa mínimo
- Dureza Brinell: 119-159 HB

D. Inversor Blue Solar 48v a 220v 1000W – Hoja Técnica

Descripción del Producto:

- Modelo: Inversor Blue Solar 48v a 220v
- Potencia Máxima de Operación: 1,000 W
- Potencia Pico: 2,000 W

E. Batería GEL 12V 100Ah Tensite – Hoja Técnica

Descripción del Producto:

- Modelo: Batería GEL 12V 100Ah Tensite
- Capacidad Nominal: 100 Ah

XIV. ESTRUCTURA DE SOPORTE

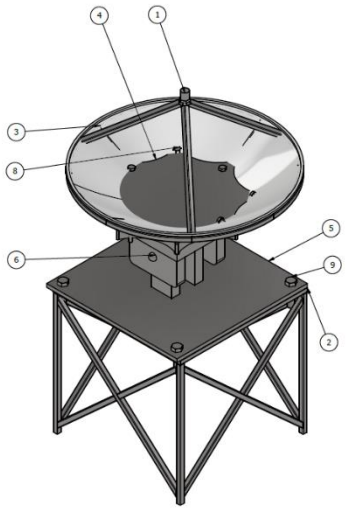


Fig. 9 Estructura de Disco

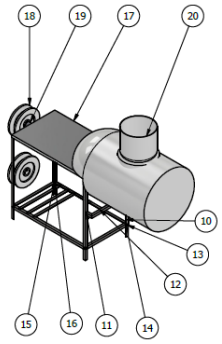


Fig. 10 Estructura de Molino

Tabla 9: Lista de materiales de Concentrador Solar

PARTS LIST		
ITEM	QTY	PART NUMBER
1	1	Plato parabolico de 2 m
2	1	Estructura
3	1	Estructura del plato
4	1	Soprte giratorio
5	1	Placa base
6	1	Tornillo M40
7	1	Cabezade tornillo M40
8	8	Perno Hex M36 x 140
9	4	Perno Hex M60 x 4 x 240
10	2400.000 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-600
11	63.308 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-63.31
12	420.014 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-420.01
13	400.000 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-100
14	2000.000 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-400
15	350.000 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-350
16	1400.000 mm	ISO 657-1 - L20x20x3-700
17	1	Plancha
18	2	Polea Menor
19	1	Eje
20	1	Molino

XV CONCLUSIONES

El sistema de molienda con capacidad de 80 kg/h optimiza la producción en áreas rurales al superar los métodos manuales. Con una eficiencia energética del 92% gracias al disco parabólico y el motor Stirling, destaca como una opción eficiente y sostenible. La estructura de aluminio de alta reflectividad (3 mm) soporta cargas de 1.05klb con un factor

de seguridad de 22.73, validado por simulaciones en SAP2000 e Inventor.

El motor Stirling SOLO V161, operando con temperaturas de 800–900 °C, asegura un funcionamiento continuo de 8 horas diarias bajo condiciones óptimas, La radiación solar promedio en Arequipa (777.22 W/m²) permite concentrar energía hasta 1360.10 °C, promoviendo sostenibilidad y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

En esta sección puede agradecer a las personas e instituciones que contribuyeron con el desarrollo del estudio.

REFERENCIAS

[1] M. Moreno, "Análisis numérico de las prestaciones de un motor Stirling GENOA 03," Sevilla, 2018. Accessed: Oct. 11, 2024. [Online]. Available: https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/92064/fichero/TFG-2064-MORENO.pdf

[2] M. Enciso, "Diseño de un sistema móvil de captación y redireccionamiento de radiación solar para condiciones climatológicas de la ciudad de Arequipa Perú," Universidad Católica de Santa María, 2024. [Online]. Available: https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/16d18c77-d43a-4c2d-9da7-8b0af8233960

[3] IMPAK CORPORATION, "¿Qué Es Mylar?" Accessed: Oct. 12, 2024. [Online]. Available: https://www.impakcorporation.com/que-es-mylar?srsltid=AfmBOopeyruRo3ZknR6rpJGfw7Isa6eb4lWR69nWkcuX73SOp27ZZ92O

[4] R. D. Echazú, C. A. Cadena, and L. R. Saravia Mathon, "Estudio de materiales reflectivos para concentradores solares," Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 4, 2000, Accessed: Oct. 12, 2024. [Online]. Available: http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79370

[5] Made-in-China, "0,4mm aluminio fino de alta calidad con recubrimiento PVD 95% de alta reflectancia Lámina de aluminio en espiral - China Bobina de aluminio altamente reflectante para iluminación, hojas de aluminio termoreflectivas." Accessed: Oct. 12, 2024. [Online]. Available: https://es.made-in-china.com/co_smmtmaterial/product_0-4mm-Thin-High-Quality-PVD-Coated-95-High-Reflectance-Aluminum-Coil-Aluminum-Sheet_yuuingoyig.html

[6] R. M. González, "Diseño mecánico del disco parabólico de un concentrador solar y la caracterización térmica del receptor," 2014. Accessed: Oct. 11, 2024. [Online]. Available: https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000720439/3/0720439.pdf

[7] A. Morales Segura, "Diseño óptico y térmico de un disco parabólico de concentración solar para tratamientos térmicos a escala de laboratorio," 2022, Accessed: Oct. 12, 2024. [Online]. Available: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/22270

[8] Normas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), NORMA E.020 CARGAS. [Online]. Available: www.gob.pe/sencico.

[9] [9] Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma E.030 Diseño sismorresistente. [En línea]. Disponible en: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2686410/E.030%20Dise%C3%B1o%20Sismo%20resistente.pdf. Accedido: Oct. 12, 2024.

[10] AISC, Steel Construction Manual, 14th Edition, American Institute of Steel Construction, 2011. Accedido el 12 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.aisc.org/Steel-Construction-Manual-14th-Ed-Fourth-Printing-Print

[11] Optibelt GmbH, "Transmisiones por Correas Trapeciales", Alemania, 2016. Consultado: el 1 de diciembre de 2024. [En línea]. Disponible en: https://studylib.es/doc/2640240/manual_tecnico_optibelt_correas.pdf