

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño de trituradora 10 ton/día alimentada por energía solar
fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Fidel Brallan Jara Tapia

ASESOR

Hernan Henry Santisteban Chapoñan

<https://orcid.org/0000-0002-8103-862X>

Chiclayo, 2023

**Diseño de trituradora 10 ton/día alimentada por energía solar
fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET**

PRESENTADA POR

Fidel Brallan Jara Tapia

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Luis Alberto Gonzales Bazán

PRESIDENTE

Alejandro Segundo Vera Lázaro

SECRETARIO

Hernan Henry Santisteban Chapoñan

VOCAL

Dedicatoria

A Dios por ser quien me guío y me fortaleció en circunstancias difíciles, también, por darme una familia maravillosa y amigos con quienes puedo confiar.

A mis padres por apoyarme siempre y brindarme consejos en situaciones complicadas.

A mis hermanos por los buenos momentos que pasamos y por compartirme sus metas y alegrías.

Agradecimientos

Un agradecimiento especial por todo el soporte metodológico y profesional por la guía en el desarrollo de esta tesis al Ing. Hernan Henry Santisteban Chapoñan, esta tesis no hubiera sido posible sin su participación. También, gracias por la gran calidad y cantidad de saberes brindados en este tiempo.

Así mismo agradecemos a la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, a la Facultad de Ingeniería; y en especial, a nuestra querida Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y a toda su plana docente, por los conocimientos y orientación impartidos durante nuestra formación profesional.

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.uptc.edu.co Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	1library.co Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen.....	11
Abstract	12
1. Introducción	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Objetivos	14
1.2.1. Objetivo General	14
1.2.2. Objetivos específicos.....	14
2. Revisión de literatura	14
2.1. Antecedentes Empíricos.....	14
2.2. Bases Teórico-Científico.....	15
2.2.1. Máquina Trituradora	15
2.2.2. Residuos Sólidos	21
2.2.3. Tereftalato de Polietileno (PET).....	21
2.2.4. Energía renovable.....	23
2.2.5. Diagrama de Sankey.....	26
2.2.6. Diseño mecánico	27
2.2.7. Software Computacional	29
3. Materiales y métodos	31
3.1. Tipo y nivel de investigación	31
3.1.1. Tipo	31
3.1.2. Nivel.....	31
3.2. Población y muestra	31
3.3. Diseño de investigación	31
3.4. Metodología de diseño	32
3.5. Operacionalización de variables.....	33
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	34
3.7. Procesamiento y análisis de datos	34
3.8. Matriz de consistencia.....	34
4. Resultados y discusión.....	36
4.1. Cantidad de residuos sólidos de PET en Chiclayo	36
4.2. Evaluación de la Irradiación solar en Chiclayo.....	37
4.3. Matriz morfológica de la máquina trituradora	39
4.4. Matriz de ponderados de la máquina trituradora.....	41
4.5. Diagrama de flujo del proceso de trituración	42
4.6. Componentes y materiales de la máquina trituradora	43

4.7.	Dimensión máxima de botellas tipo PET	43
4.8.	Cálculos de diseño.....	45
4.8.1.	Cálculo de fuerza de corte para las botellas tipo PET	45
4.8.2.	Cálculo de las cuchillas	45
4.8.3.	Cálculo de los bujes separadores.....	46
4.8.4.	Cálculo de la velocidad de corte.....	46
4.8.5.	Cálculo de la potencia del motor	48
4.8.6.	Cálculo y selección de bandas y correas	49
4.8.7.	Cálculo de tensiones inducidas por la banda.....	53
4.8.8.	Cálculo del diámetro del eje.....	56
4.8.9.	Selección de rodamientos.....	65
4.8.10.	Cálculo de la capacidad de trituración por revolución	66
4.8.11.	Cálculo de la capacidad de trituración	67
4.9.	CAD y CAE de los componentes de la máquina trituradora.....	67
4.9.1.	CAD de los componentes de la máquina trituradora.....	67
4.9.2.	CAE de los componentes de la máquina trituradora	72
4.10.	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	83
4.10.1.	Módulos fotovoltaicos.....	84
4.10.2.	Inclinación de los paneles solares	86
4.10.3.	Distancia mínima entre paneles.....	87
4.10.4.	Estructura de sujeción del panel fotovoltaico.....	88
4.10.5.	Capacidad de la batería	88
4.10.6.	Regulador	90
4.10.7.	Inversor.....	91
4.10.8.	CAD del sistema fotovoltaico	91
4.11.	Validación del dimensionamiento fotovoltaico con el software PVsyst	91
4.12.	Tamaño adecuado del producto triturado de PET	97
5.	Conclusiones	99
6.	Recomendaciones	99
7.	Referencias.....	100
8.	Anexos	102

Lista de Tablas

Tabla 1 Propiedades PET	22
Tabla 2 Resultados extraídos por el software RETScreen	38
Tabla 3 Matriz morfológica.....	40
Tabla 4 Soluciones de la matriz morfológica	40
Tabla 5 Sistema de calificación	41
Tabla 6 Matriz de ponderación.....	42
Tabla 7 Componentes y materiales de la trituradora	43
Tabla 8 Dimensiones de la botella PET.....	43
Tabla 9 Información de malla de la cuchilla	73
Tabla 10 Resultados del CAE de la cuchilla	74
Tabla 11 Información de la malla del eje	75
Tabla 12 Resultados del CAE del eje	78
Tabla 13 Resultados del CAE de la estructura	79
Tabla 14 Información de malla del ensamblaje.....	80
Tabla 15 Resultados del CAE del ensamblaje.....	83
Tabla 16 Resultados de los cálculos del punto 4.1	83

Lista de Figuras

Figura 1 Clasificación del proceso de Reducción de tamaños	15
Figura 2 Trituradora de mandíbulas	16
Figura 3 Tipos de trituradora de mandíbulas.....	16
Figura 4 Trituradora giratoria.....	16
Figura 5 Trituradora de rodillos.....	17
Figura 6 Trituradora de impacto o martillos.....	17
Figura 7 Trituradora de cuchillas.....	17
Figura 8 Diagrama de confrontación de criterios de falla [37].....	20
Figura 9 Botella de PET	21
Figura 10 Símbolo que se encuentra en los envases de PET.....	22
Figura 11 Trayectoria solar al cabo de un año con sus respectivas latitudes	24
Figura 12 Irradiancia en el departamento de Lambayeque.....	24
Figura 13 Módulo fotovoltaico.....	25
Figura 14 Regulador de carga.....	25
Figura 15 Batería	25
Figura 16 Inversor 12 CC/AA	26
Figura 17 Inclinación en los paneles solares	26
Figura 18 Ejemplo de diagrama de Sankey	27
Figura 19 Relaciones esfuerzo-tiempo	28
Figura 20 Gráfica Esfuerzo-Vida	29
Figura 21 Logo del software SolidWorks	30
Figura 22 Logo del software RETScreen	30
Figura 23 Condiciones climáticas de Chiclayo	37
Figura 24 Resultados del software RETScreen	37
Figura 25 Irradiación solar por día promedio al año en Chiclayo.....	38
Figura 26 Irradiación solar por mes al año en Chiclayo.....	39
Figura 27 Diagrama de flujo del proceso de trituración.....	42
Figura 28 Botella de PET para obtener las medidas.....	44
Figura 29 Medición del espesor de la botella de PET utilizando un vernier.....	44
Figura 30 Medición del espesor del pico de la botella de PET utilizando un vernier ...	44
Figura 31 Configuraciones de cuchillas utilizadas por SSI Shredder Systems	45
Figura 32 Vista frontal de cuchilla en SolidWorks	46
Figura 33 Vista frontal del buje separador en SolidWorks	46
Figura 34 Factores de servicio para bandas V [36]	48
Figura 35 Gráfica para la selección de bandas en V [36].....	49
Figura 36 Diámetro mínimo recomendado para la polea del motor [38]	50
Figura 37 Longitudes de bandas estándar 3V, 5V y 8V (unidad: in) [37]	51
Figura 38 Factor de corrección por ángulo de contacto, C_0 [37].....	52
Figura 39 Factor de corrección por longitud de banda, C_L [37].....	52
Figura 40 Potencia nominal por banda [37]	53

Figura 41 Tensiones en la banda en V [21]	54
Figura 42 Parámetros de bandas en V [21].....	55
Figura 43 Diagrama de cuerpo libre del eje	57
Figura 44 Diagrama de cuerpo libre de la polea.....	57
Figura 45 Diagrama de cuerpo libre del eje plano XZ	59
Figura 46 Diagrama de fuerza cortante en el plano XZ (unidades en N).....	59
Figura 47 Diagrama de momento flector en el plano XZ (unidades en N.m)	59
Figura 48 Diagrama de cuerpo libre del eje en el plano YZ.....	60
Figura 49 Diagrama de fuerza cortante en el plano YZ (unidades en N).....	60
Figura 50 Diagrama de momento flector en el plano YZ (unidades en N.m)	60
Figura 51 Parámetros en el factor de la condición superficial [21].....	62
Figura 52 Ecuaciones para el factor de tamaño de acuerdo con el diámetro [21].....	62
Figura 53 Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión [21].....	63
Figura 54 Factores de confiabilidad [21].....	63
Figura 55 Vista isométrica de la cuchilla en SolidWorks	67
Figura 56 Vista isométrica del buje separador en SolidWorks	68
Figura 57 Vista isométrica del eje de la máquina trituradora en SolidWorks.....	68
Figura 58 Vista isométrica de la pared frontal de la cámara de trituración en SolidWorks	68
Figura 59 Vista isométrica de la pared frontal de la cámara de trituración con rodamientos en SolidWorks	69
Figura 60 Vista isométrica de la pared lateral de la cámara de trituración en SolidWorks	69
Figura 61 Vista isométrica del complemento de la pared lateral de la cámara de trituración en SolidWorks	69
Figura 62 Vista isométrica del ensamblaje del eje con las cuchillas en SolidWorks.....	70
Figura 63 Vista isométrica de la chumacera en SolidWorks.....	70
Figura 64 Vista isométrica del ensamblaje final de la cámara de trituración en SolidWorks	70
Figura 65 Vista lateral del ensamblaje final de la cámara de trituración en SolidWorks.....	71
Figura 66 Vista isométrica de la estructura en SolidWorks	71
Figura 67 Vista isométrica del motor eléctrico en SolidWorks.....	71
Figura 68 Vista isométrica del ensamblaje final de la máquina trituradora en SolidWorks	72
Figura 69 Mallado de la cuchilla	72
Figura 70 Resultados de von Mises de la cuchilla.....	73
Figura 71 Resultados de desplazamiento de la cuchilla	73
Figura 72 Resultados de deformación unitaria de la cuchilla.....	74
Figura 73 Resultados de factor de seguridad de la cuchilla	74
Figura 74 Mallado del eje.....	75
Figura 75 Resultados de von Mises del eje	76
Figura 76 Resultados de desplazamiento del eje	76
Figura 77 Resultados de deformación unitaria del eje	76

Figura 78 Resultados de factor de seguridad del eje	77
Figura 79 Resultados del porcentaje de daño del eje.....	77
Figura 80 Resultados de vida útil del eje.....	77
Figura 81 Resultados de la tensión axial y flexión en el límite superior de la estructura	78
Figura 82 Resultados de desplazamiento de la estructura	79
Figura 83 Resultados de factor de seguridad de la estructura	79
Figura 84 Mallado del eje.....	80
Figura 85 Resultados de von Mises del ensamblaje.....	81
Figura 86 Resultados del desplazamiento del ensamblaje.....	81
Figura 87 Resultados de la deformación del ensamblaje	81
Figura 88 Resultados del factor de seguridad del ensamblaje.....	82
Figura 89 Resultados del porcentaje de daño del ensamblaje	82
Figura 90 Resultados de vida útil del ensamblaje	82
Figura 91 Conexión paralelo-serie de paneles fotovoltaicos.....	85
Figura 92 Posición de los Trópicos en el mapa de la Tierra	86
Figura 93 Distancia mínima entre filas de paneles.....	87
Figura 94 Estructura para panel solar	88
Figura 95 Conexión de baterías en serie.....	89
Figura 96 Conexión de baterías en paralelo	89
Figura 97 Conexión de baterías en paralelo-serie	90
Figura 98 CAD del sistema fotovoltaico	91
Figura 99 Ubicación geográfica de Chiclayo en el software PVsyst	92
Figura 100 Irradiación solar de Chiclayo del software PVsyst	92
Figura 101 Orientación de los paneles en el software PVsyst.....	93
Figura 102 Consumo de energía diario en el software PVsyst.....	93
Figura 103 Distribución de horas de trabajo de la máquina trituradora	94
Figura 104 Parámetros iniciales del sistema fotovoltaico	94
Figura 105 Dimensionamiento del almacenamiento del sistema fotovoltaico	94
Figura 106 Dimensionamiento del conjunto FV del sistema fotovoltaico	95
Figura 107 Gráfico de producción normalizada y factores de perdida.....	95
Figura 108 Gráfico de la proporción de rendimiento y fracción solar	96
Figura 109 Tabla de balances y resultados principales	96
Figura 110 Diagrama de pérdidas del sistema fotovoltaico	97
Figura 111 Flakes de PET	98
Figura 112 Tipos de Flakes de PET	98

Resumen

Actualmente el Perú registra un valor de aproximadamente siete millones de toneladas por año de residuos sólidos, pero solo 683 991 toneladas son de plástico. Esto genera un gran daño al ambiente debido que este material tarda alrededor entre cien a mil años en degradarse. Por lo general, gran cantidad de toneladas son desechadas en rellenos sanitarios, calles, basurales, entre otros. Sin embargo, pueden ser aprovechadas puliendo el proceso de reciclaje de este material contaminante por medio del proceso de trituración. La presente tesis tuvo como finalidad diseñar una trituradora de 10 Ton/Día alimentada por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET. Para evaluar la irradiación solar en el norte del Perú se usó el software RETScreen, por otra parte, el diseño de la máquina trituradora se realizó mediante una matriz morfológica y de ponderados, también se usó el software SolidWorks para el realizar el CAD y CAE. Los resultados obtenidos fueron: una irradiación igual a 5.38 kWh/m^2 , flakes de PET en un intervalo de dos a treinta milímetros, el diámetro del eje igual a 65 mm con material AISI 1045 Acero estirado en frío, un motor con una potencia de 4 hp, una capacidad de trituración de 3.15 ton/h, 22 cuchillas de tres puntas a 60 grados de apertura con material AISI 1035 Acero, y un sistema fotovoltaico compuesto por 18 paneles de 330 W y 20 baterías con capacidad de 300 Ah.

Palabras clave: diseño de trituradora, sólidos PET, energía solar fotovoltaica, reducción del tamaño de PET.

Abstract

Peru currently registers a value of approximately seven million tons per year of solid waste, but only 683 991 tons are plastic. This generates great damage to the environment because this material takes around a hundred to a thousand years to degrade. In general, many tons are disposed of in landfills, streets, dumps, among others. However, they can be used by polishing the recycling process of this polluting material through the grinding process.

The purpose of this thesis was to design a 10 Ton/Day shredder powered by photovoltaic solar energy to reduce the size of PET solid waste. To evaluate the solar irradiation in the north of Peru, the RETScreen software was used, on the other hand, the design of the crushing machine was carried out through a morphological and weighted matrix, the SolidWorks software was also used to perform the CAD and CAE.

The results obtained were: irradiation equal to 5.38 kWh/m², PET flakes in a range from two to thirty millimeters, shaft diameter equal to 65 mm with material AISI 1045 cold-drawn steel, a motor with a power of 4 hp, a shredding capacity of 3.15 ton/h, 22 three-point blades at 60 degrees opening with AISI 1035 Steel material, and a photovoltaic system made up of 18 panels of 330 W and 20 batteries with a capacity of 300 Ah.

Keywords: crusher design, PET solids, photovoltaic solar energy, PET size reduction.

1. Introducción

El tereftalato de Polietileno, cuya abreviación es PET, hace referencia a un tipo de plástico que tiene como principales propiedades la transparencia, la resistencia y es ligero, además que su principal uso es para empaquetar alimentos y bebidas [1]. Desde su aparición masiva en el mercado global hacia los años 70's ha empezado a generar una gran problemática debido a su disposición final, ya que cada vez que se utiliza dicho material para la fabricación de envases tienen un periodo de uso corto y un periodo de descomposición largo [2].

La utilidad de residuos sólidos ha incrementado extremadamente a nivel global, particularmente en la utilización de botellas de PET, este incremento se ve reflejado en los últimos treinta y cinco años, de acuerdo con la ONU, en general cada cuatro de cinco botellas tipo PET utilizadas son arrojadas directamente a los basureros, lo que significa que únicamente el veinte por ciento del PET empleado se recicla y se muestra reflejado en los países con una conciencia ecológica alta [3]. Esto no se ve reflejado en el Perú ya que registra un valor de 6,93 millones de toneladas por año de remanentes sólidos, sabiendo que 683 991 toneladas son de plástico, y solo se recicla el 1,9% del total [4].

Un medio por el cual se puede reciclar este material contaminante es mediante el proceso de trituración, utilizando una trituradora que es una máquina diseñada para reducir objetos de material sólido en un volumen más pequeño, o piezas más pequeñas [5].

El objetivo de esta tesis es diseñar una máquina trituradora de residuos sólidos de PET la cual tendrá una capacidad máxima de trituración de 10 toneladas por día que funcione con energía solar fotovoltaica, el material empleado para las cuchillas será de acero AISI 1035, también contara con un filtro que se encontrara debajo de las cuchillas que servirán para que solo deje pasar virutas trituradas que tengan el tamaño deseado. Para el diseño de la trituradora se realizará una matriz morfológica y se usará el software SolidWorks para el realizar el CAD y CAE.

La energía solar fotovoltaica es denominada fuente de energía limpia, la cual se logra al recibir radiación solar directa, el proceso consiste básicamente en transformar la energía del sol en energía eléctrica, y esto se consigue mediante los paneles solares [6]. De acuerdo con el Atlas Solar del Perú realizado por el MINEM, el Perú presenta un valor elevado de radiación solar anual, teniendo en primer lugar la Costa con un valor comprendido en un intervalo de cinco a seis kWh/m² [7].

¿Será factible diseñar una máquina trituradora de 10 TON/DÍA alimentada por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET?

1.1. Realidad problemática

Actualmente el Perú registra un valor de aproximadamente siete millones de toneladas por año de residuos sólidos, pero solo 683 991 toneladas son de plástico.

Esto genera un gran daño al ambiente debido que este material tarda alrededor entre cien a mil años en degradarse. Por lo general, gran cantidad de toneladas son desechadas en rellenos sanitarios, calles, basurales, entre otros. Sin embargo, pueden ser aprovechadas puliendo el proceso de reciclaje del material contaminante por medio de la trituración.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Diseño de una trituradora de 10 Ton/Día alimentada por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET.

1.2.2. Objetivos específicos

- Evaluar la irradiación solar en el norte del Perú utilizando el software RETScreen.
- Realizar la matriz morfológica, los cálculos de diseño de la máquina trituradora de 10 TON/DÍA de residuos sólidos tipo PET y seleccionar los materiales de los componentes.
- Elaborar el CAD y CAE de los componentes de la máquina trituradora en el software SolidWorks, mediante la simulación de un análisis estático estructural y análisis de fatiga.
- Dimensionar el sistema fotovoltaico que estará conectado con la máquina trituradora.
- Determinar el tamaño de reducción adecuado del producto triturado de PET para su procesamiento de reciclado.

2. Revisión de literatura

2.1. Antecedentes Empíricos

Según [9] propone realizar una máquina trituradora que funcione con energía solar, con la finalidad de facilitar la gestión de los residuos domésticos, el modelo desarrollado actúa como un electromecánico que reduce el esfuerzo humano, teniendo en cuenta que el mecanismo irá acoplada a la fuente de energía solar. La trituradora está montada en un eje doble, el cual tiene 600 milímetros de largo y 12,5 milímetros de radio, el material utilizado es acero EN31. Cada eje tiene 4 cortadores o cuchillas, las cuales son de acero dulce, con dimensiones de 145 y 45 mm de longitud y espesor respectivamente, y por último tenemos que el marco de la máquina tiene las siguientes dimensiones: (275 X 220 X 178) mm que se conectará a través del proceso de fijación.

En [10] se propone diseñar y fabricar una máquina trituradora para limpieza ambiental, además de que se desea procesar los desechos plásticos lo más barato posible triturándolos, teniendo en cuenta que la máquina trituradora es alimentada por un motor eléctrico de 2 hp, el tipo de cuchilla que se utiliza en este diseño es una cuchilla de tres filos. La punta de las hojas se refuerza recubriéndolas con la ayuda de

una herramienta de carburo, además de que las hojas están dispuestas en dos ejes, cada uno de los cuales consta de un total de nueve hojas. Con esta máquina trituradora de plástico, se reduce el coste total del proceso de reciclaje y requiere menos trabajo de mano de obra.

Según [11] propone diseñar un triturador vertical automatizado alimentado por energía solar para procesar los residuos orgánicos para compostaje. Al utilizar esta máquina los agricultores pueden triturar allí los residuos agrícolas utilizando energía solar sin la dependencia de la red de alimentación de CA y pueden triturar efectivamente dependiendo de su forma y tamaño requeridos para la preparación de compost.

En [12] propone el desarrollo del diseño y evaluación del rendimiento de la trituradora de residuos de plásticos. El plástico PET podría triturarse eficientemente a una velocidad de 950 rpm en comparación con el PVC y el HDPE con mayor eficiencia en 1 200 rpm. La máquina fue diseñada para procesar un promedio de 50 kg de residuos de plástico. La evaluación del rendimiento de la máquina muestra que la máquina es más eficaz para triturar de los residuos plásticos de HDPE, PVC y PET.

2.2. Bases Teórico-Científico

2.2.1. Máquina Trituradora

Una máquina trituradora o chancadora realiza el proceso de trituración a través componentes que ejercen fuerzas sobre los objetos, de esta forma se consigue quebrantarlos y reducirlos a la escala deseada [13].

2.2.1.1. Trituración

La trituración es básicamente la reducción del tamaño de un objeto mediante un proceso mecánico, esto con la finalidad de que al momento de transportar los materiales sea más fácil [13]. La reducción de tamaños se puede clasificar de la siguiente manera:

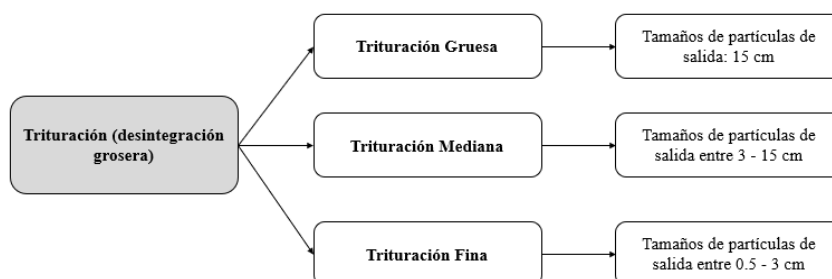


Figura 1 Clasificación del proceso de Reducción de tamaños

2.2.1.2. Tipos de trituradoras

A nivel industrial generalmente suelen utilizar diferentes tipos de trituradoras, el modelo seleccionado dependerá principalmente del material del objeto que deseamos triturar y la escala final deseada [13].

Los principales tipos de trituradoras son:

- **Trituradora de mandíbulas:** Modelo que se usa para la trituración de objetos que se requieran a reducir a un tamaño medio o grueso. Su mecanismo utiliza dos placas de hierro, una de ellas tendrá una acción de vaivén con una aproximación y apartamiento a la placa fija, con ello se logra fraccionar el objeto ingresado en la zona contemplada entre las dos, como podemos observar en figura N°02 [13].

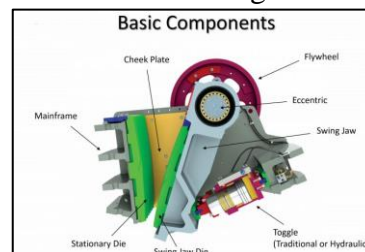


Figura 2 Trituradora de mandíbulas

Las trituradoras de mandíbulas se pueden clasificar dependiendo de la colocación del punto de balanceo, entonces tenemos los siguientes tipos: Blake, Dodge y Universal [13].

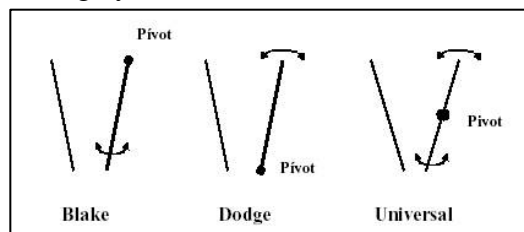


Figura 3 Tipos de trituradora de mandíbulas

- **Trituradora giratoria:** Este modelo se utiliza generalmente cuando se requiere una trituración gruesa, media o fina debido a un sistema hidráulico denominado reglaje, el cual permite la regulación del producto final [13].

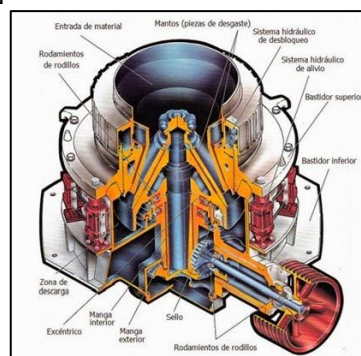


Figura 4 Trituradora giratoria

- Trituradora de rodillos: Este modelo es adecuado cuando se desea triturar materiales de media dureza, además el resultado del tamaño de trituración será medio o fino. El mecanismo consta básicamente en dos cilindros horizontales en ejes paralelos girando en sentido contrario, pero deben tener la misma velocidad de rotación, al tener este movimiento se genera una cámara de molienda con silueta de V (figura N°05) [13].

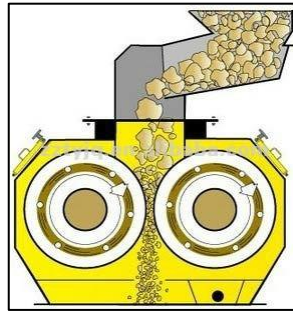


Figura 5 Trituradora de rodillos

- Trituradora de impacto o martillos: El modelo actúa dando golpes en secuencia al objeto que va a ser desmembrado, teniendo como resultado tamaños medios y finos, además presenta una tasa alta de reducción [13].

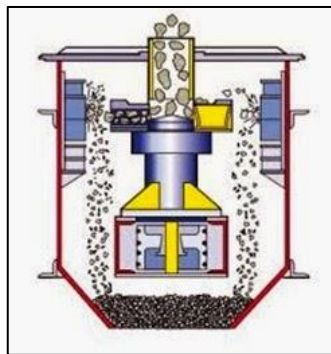


Figura 6 Trituradora de impacto o martillos

- Trituradora de cuchillas: Es modelo se caracteriza principalmente por el gran número de cuchillas que posee, además de que existen diferentes tipos de configuraciones de cuchillas, como por ejemplo tenemos circulares o triangulares [15].

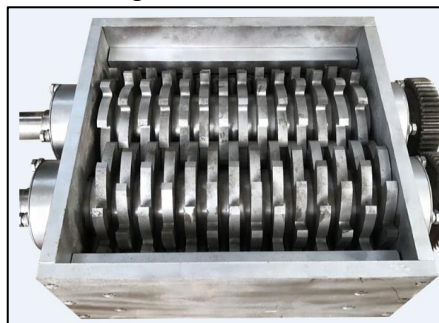


Figura 7 Trituradora de cuchillas

2.2.1.3. Parámetros para el diseño de la máquina trituradora

- **Capacidad de trituración por revolución**

Con la siguiente fórmula se podrá calcular la capacidad de trituración por revolución que tendrá la máquina trituradora:

$$C_{\frac{t}{r}} = 4A_c * N_e * N_c * t_c * \rho_{PET} \dots \dots \dots (1)$$

donde: $C_{\frac{t}{r}}$, es la capacidad de corte de la máquina por revolución;
 A_c , representa el área de corte de la cuchilla; N_e , representa el número de ejes; N_c , es la cantidad de cuchillas; t_c , representa el grosor de la cuchilla; ρ_{PET} , representa la densidad del PET [8].

- **Capacidad de trituración**

Con la siguiente fórmula se podrá calcular la capacidad de trituración que tendrá la máquina trituradora:

$$Cap = e * C_{\frac{t}{r}} * n \dots \dots \dots (2)$$

donde: Cap , representa la capacidad de trituración general de la máquina; e , es la eficiencia con la que trabajará el motor trifásico; n , es la velocidad angular [8].

- **Potencia del motor**

-La potencia requerida se obtiene con la siguiente fórmula:

$$P = F_c \times v_c \dots \dots \dots (3)$$

donde: P , es la potencia nominal del motor; F_c , representa la fuerza de cizallamiento [en N]; v_c , representa la velocidad de corte de las cuchillas [en m/s].[36]

-El torque que genera el motor es:

$$P = T * \omega \dots \dots \dots (4)$$

donde: T , representa el torque generado por el motor; ω , es la velocidad angular de las cuchillas [8].

- **Prestación base de la correa**

$$P_e = P_b * FCL * FCA \dots \dots \dots (5)$$

donde: P_e , es la potencia efectiva por correa; P_b , es la prestación base de la correa; FCL , es el factor de corrección por longitud; FCA , es el factor de corrección angular [8].

- **Número de correas**

$$N = \frac{P_d}{P_e} \dots \dots \dots (6)$$

donde: N, es el número de correas; P_d , es la potencia de diseño; P_e , es la potencia efectiva por correa [8].

- **Intervalo de distancias nominales entre centros**

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1) \dots \dots \dots (7)$$

donde: D_1 , es el diámetro de la polea motriz [en pulgadas]; D_2 , es el diámetro de la polea conducida [en pulgadas]; C, es la distancia entre centros [en pulgadas]. [37]

- **Longitud de banda necesaria**

$$L = 2C + 1.57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C} \dots \dots \dots (8)$$

donde: L, es la longitud de banda [en pulgadas]. [37]

- **Distancia entre centros**

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16} \dots \dots \dots (9)$$

donde: $B = 4L - 6.28(D_2 + D_1)$. [37]

- **Ángulo de contacto de la banda y el coeficiente de fricción efectivo**

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D_2 - D_1}{2C}\right) \dots \dots \dots (10)$$

donde: θ_1 , es el ángulo de contacto en grados sexagesimales. [37]

$$\phi = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{d_2 - d_1}{2C}\right) \dots \dots \dots (11)$$

donde: ϕ , es el ángulo de contacto en radianes. [37]

$$\exp [f\Phi] \dots \dots \dots (12)$$

donde: f , es el coeficiente de fricción efectivo y es igual a 0.5123. [37]

- **Velocidad periférica**

$$v = \frac{\pi \times d_1 \times \omega_1}{12} \dots \dots \dots (13)$$

donde: v , es la velocidad periférica [en ft/min]; ω_1 , es la velocidad angular de entrada [en RPM]. [38]

- **Longitud de paso**

$$L_p = 2C + \frac{\pi(d_2 + d_1)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4C} \dots \dots \dots (14)$$

donde: L_p , es la longitud de paso [en pulgadas]. [38]

- **Esfuerzo cortante**

$$\tau' = \frac{V}{A} \dots \dots \dots (15)$$

donde: τ' , es el esfuerzo cortante; A, es el área; V, es la fuerza cortante. [21]

- **Diámetro del eje: ED-Soderberg**

En la figura N°08 podemos observar cómo se trazó una gráfica entre la resistencia de fatiga y de fluencia, y la línea del criterio de Soderberg es más conservadora que los métodos de Goodman y Gerber [37].

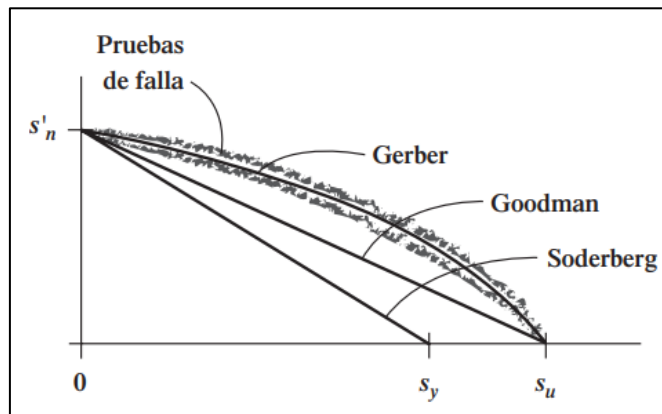


Figura 8 Diagrama de confrontación de criterios de falla [37]

Tenemos que el criterio de Soderberg se rige por medio de la siguiente ecuación [37]:

$$\frac{K_t \sigma_a}{S'_n} + \frac{\sigma_m}{S_y} = 1 \dots \dots \dots (16)$$

A continuación, procedemos a reemplazar los valores de σ_a y σ_m en la ecuación anterior, entonces tenemos lo siguiente:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \dots (17)$$

Finalmente, despejamos el diámetro de la ecuación anterior, por lo que la ecuación quedará de la siguiente manera:

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]^{1/2} \right\} \right)^{1/3} \dots (18)$$

donde: S_e , es el límite de resistencia a la fatiga; S_{yt} , es la resistencia a la tensión del material; M_a , es el momento flexionante alternante; M_m , es el momento flexionante medio; T_a , es el par de torsión alternante; T_m , es el par de torsión medio; K_f , es el factor de concentración del esfuerzo por fatiga por flexión; K_{fs} , es el factor de concentración del esfuerzo por fatiga por torsión.[21]

2.2.2. Residuos Sólidos

Se determina como residuo a toda materia o componente que subsisten posteriormente de cualquier tipo de proceso [14].

2.2.3. Tereftalato de Polietileno (PET)

Tereftalato de polietileno usualmente simplificado como PET, se define como un polímero termoplástico de resina de poliéster que usualmente se emplea en fibras sintéticas, también en envases para líquidos, alimentos y otros tipos de productos; su composición se origina principalmente a partir de dos compuestos: el Etilenglicol y el Ácido Tereftalico, este último puede reemplazar utilizando Dimetilereftalato. La principal característica del PET es que presenta un valor bajo de velocidad de cristalización, también puede encontrar en estado amorfo-transparente o cristalino. El PET también se caracteriza por tener un valor elevado de pureza, tenacidad y resistencia [15].

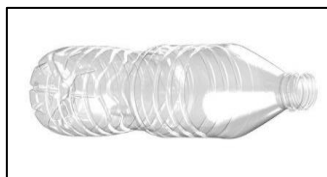


Figura 9 Botella de PET

Los objetos que se fabrican con PET se pueden identificar fácilmente, debido a que en la parte inferior de los envases debe existir un símbolo (figura N°10).



Figura 10 Símbolo que se encuentra en los envases de PET

2.2.3.1. Propiedades del PET

El PET dispone de una buena resistencia térmica y química, además de contar con una buena resistencia a la corrosión, también posee un coeficiente de deslizamiento aceptable. También sabemos que la barrea al CO₂ es muy buena, por otro lado, tenemos que la barrera a O₂ y a la humedad es aceptable; el PET tiene una alta transparencia [15].

Tabla 1 Propiedades PET

Fórmula de la Estructura	
<p>The chemical structure shows a repeating unit of polyethylene terephthalate (PET) enclosed in large square brackets with a subscript 'n'. The structure consists of a terephthalate ring (a benzene ring with two carbonyl groups at the para positions) linked to an ethylene glycol chain (-O-CH₂-CH₂-O-). The carbonyl groups are represented as C=O, and the ethylene glycol chain is represented as -CH₂-CH₂-O-.</p>	
Fórmula química	$(C_{10}H_8O_4)_n$
Densidad como Amorfo	$1.370 \frac{g}{cm^3}$
Densidad como cristalino	$1.455 \frac{g}{cm^3}$
Módulo de Young (E)	2800 – 3100 MPa
Resistencia a la tracción (σ_t)	55 – 75 MPa
Resistencia a la fractura	9.5 MPa
Coefficiente de expansión lineal (α)	$7 \times 10^{-5} /K$
Punto de fusión	250 – 260 °C
Conductividad térmica	$0.15 - 0.24 \frac{W}{mK}$
Absorción de agua (ASTM)	0.16

Fuente: Tesis de diseño de trituradora de botellas de PET [15]

2.2.4. Energía renovable

Principalmente son los recursos que se extraen de la naturaleza de forma ilimitada, generalmente se regeneran de forma natural y el impacto ambiental que generan es prácticamente nulo o reversible. Existen diferentes tipos de energías renovables, las principales son: la energía hidroeléctrica, solar, geotérmica, eólica, biomasa, mareomotriz y nuclear [16].

2.2.4.1. Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica pertenece a las energías renovable. Se puede obtener principalmente de la radiación solar a través del uso de los paneles solares, cuya principal función es transmutar la energía solar en energía eléctrica. Generalmente el panel solar contiene dos placas de silicio (tipo N y tipo P), entonces el proceso empieza cuando una de las placas de la célula fotoeléctrica recibe luz solar directa, y esto provoca que se genere una disimilitud de potencial eléctrico entre ambas placas, entonces termina haciendo que los electrones cambien de posición de un sitio a otro, lo que produce un fluido eléctrico [6].

2.2.4.1.1. Radiación solar

Es la radiación directa obtenida del ángulo sólido del disco solar y la radiación que finalmente termina dispersándose en el ambiente al traspasar la atmósfera. Principalmente está dividida en dos: la radiación difusa y la radiación solar directa [17].

2.2.4.1.2. Irradiación solar

Principalmente se considera como la densidad de flujo radiante por unidad de superficie que cae sobre un determinado instante en un espacio específico. La unidad de medid es W/m^2 [17].

$$E = \frac{d\Phi}{ds_0} \dots \dots \dots (19)$$

2.2.4.1.2.1. Hora Pico

Las horas sol pico se define como la cantidad de horas equivalentes a una irradiación de $1000 W/m^2$ al cabo de un día. Principalmente sirve para describir la cantidad de energía solar disponible al cabo de un día por metro cuadrado, además de que debe estar perpendicular con la posición del Sol [27].

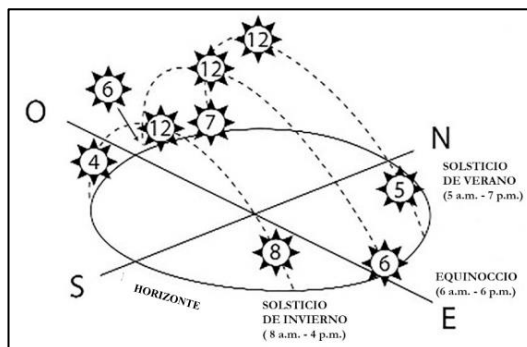


Figura 11 Trayectoria solar al cabo de un año con sus respectivas latitudes

2.2.4.1.2.2. Irradiancia el Perú

Los datos se obtuvieron por medio del Atlas de la Energía Solar del Perú preparado por el MINEM, el cual muestra que el país tiene un valor elevado de radiación solar, teniendo los siguientes valores: en la sierra se encuentra en un intervalo de 5,5 a 6,5 kWh/m²; en la costa se encuentra en un intervalo de 5,0 a 6,0 kWh/m² y finalmente en la Selva se encuentre en un intervalo de 4,5 a 5,0 kWh/m² [7].

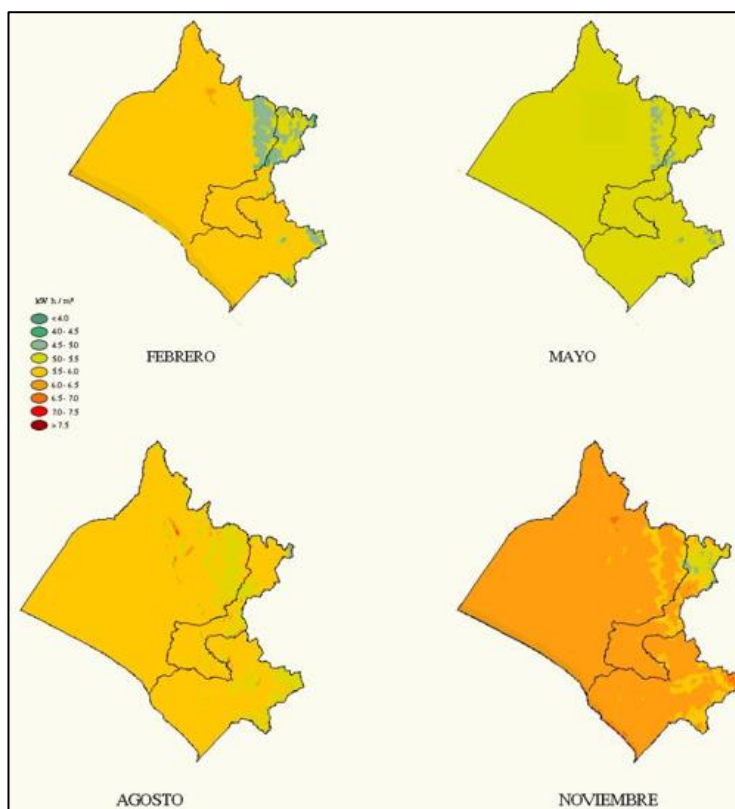


Figura 12 Irradiancia en el departamento de Lambayeque

2.2.4.1.3. Panel solar fotovoltaico

Es el componente más importante, debido a que es el elemento que consigue transmutar la energía solar en energía eléctrica. Además, está constituido por varias celdas fotovoltaicas [18].

2.2.4.1.4. Elementos de una instalación solar fotovoltaica

- Módulo fotovoltaico: Componente vital y más importante de la instalación. Tiene como finalidad convertir la energía solar en energía eléctrica. Para lograr el valor de potencia requerido para una instalación, estos paneles se pueden conectar en paralelo [18].



Figura 13 Módulo fotovoltaico

- Regulador de carga: La principal función de este elemento es unir los módulos solares con los mecanismos del consumo de la instalación. Por otro lado, tiene la función de proteger los acumuladores ante posibles sobrecargas [18].



Figura 14 Regulador de carga

- Batería: Este elemento básicamente sirve para almacenar energía y proporcionarla al sistema cuando exista días sin luz o con una luminosidad muy baja [18].



Figura 15 Batería

- Inversor 12 CC/AA: La principal función es transmutar corriente continua del sistema a corriente alterna, generalmente se considera un valor eficaz igual a 230 V y una frecuencia de 60 Hz (frecuencia que se trabaja en el Perú), igual a la de la red eléctrica. Generalmente se utiliza cuando se desea alimentar aparatos que funcionan con corriente alterna [18].



Figura 16 Inversor 12 CC/AA

2.2.4.1.5. Orientación e inclinación de los paneles solares

Básicamente la orientación del módulo se refiere al ángulo acimutal, dicho ángulo hace referencia a la posición que deben tener los paneles solares con relación a la línea ecuatorial. Debemos tener en cuenta que la posición va a depender de la ubicación geográfica donde queramos implementar el mecanismo fotovoltaico. Es decir, que básicamente el módulo deberá asestar hacia el país Ecuador [19], por ejemplo:

- Si el lugar de la instalación está situado en el hemisferio norte (lo que significa que está arriba de la línea del ecuador), entonces, los paneles deberán de ser ubicados con orientación hacia el sur.
- Si el lugar de la instalación está situado en el hemisferio sur (hace referencia a que está debajo de la línea del ecuador), entonces, los paneles deberán de ser ubicados con orientación hacia el norte.

Debemos tener en cuenta que, si deseamos alcanzar la mayor generación de energía posible, es recomendable que los módulos fotovoltaicos sean instalados con dirección al Ecuador. [19]

Como sabemos el Perú se sitúa por debajo de la línea ecuatorial, lo que genera que se encuentre muy próximo a dicha línea, teniendo en cuenta esto el panel debe estar dirigido hacia el norte y por lo general los ángulos óptimos se encuentran comprendidos en un intervalo entre 10° y 30° [19].

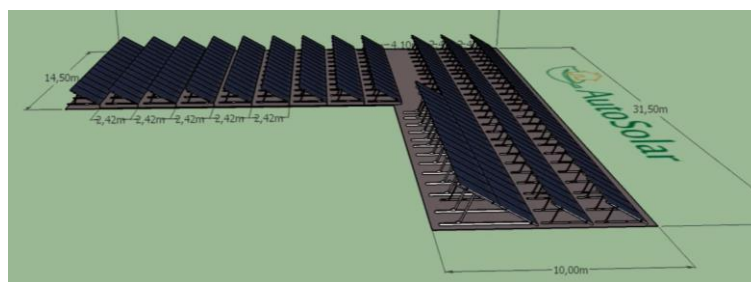


Figura 17 Inclinación en los paneles solares

2.2.5. Diagrama de Sankey

El diagrama de Sankey es empleado tradicionalmente a fin de visualizar el flujo de energía o materiales en diversas redes y procesos. Este diagrama sirve para ilustrar información cuantitativa sobre flujos, sus relaciones, y su transformación. Los diagramas de Sankey representan gráficos dirigidos con funciones de peso que satisfacen la conservación del flujo conservación del flujo: la suma de los

pesos entrantes de cada nodo es igual a sus pesos de salida. Estos diagramas a menudo son dibujados a mano o son generados por programas de dibujo. [30]

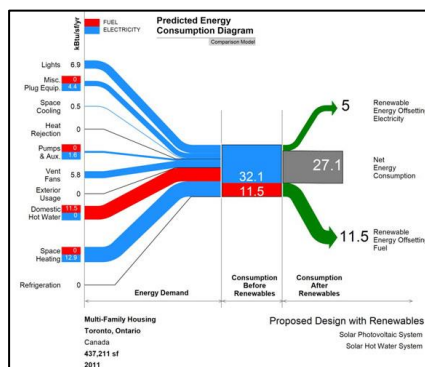


Figura 18 Ejemplo de diagrama de Sankey

2.2.6. Diseño mecánico

2.2.6.1. Análisis estructural

La principal definición de análisis estructural es básicamente un proceso sistemático, para el cual es necesario tener en cuenta cómo influyen las cargas en dicha estructura que se desea analizar. El principal objetivo de este análisis es predecir cómo será el comportamiento de una estructura bajo diferentes tipos de cargas a la que será sometido, dependiendo del trabajo que se desea realizar [20].

2.2.6.1.1. Esfuerzo

El esfuerzo se determina como la fuerza ejercida en un área específica, también tendrá dos componentes: uno en la dirección normal y otro en dirección tangencial. El esfuerzo normal tiene como símbolo la letra griega σ (sigma) y el esfuerzo cortante es representado por la letra griega τ (tau) [22]. El esfuerzo se define por medio de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{A} \dots \dots \dots (20)$$

2.2.6.1.2. Deformación unitaria

La deformación unitaria normal (ε) está dada como $\varepsilon = \delta/l$, donde: δ , es extensión total de la barra dentro de la longitud l [22].

2.2.6.1.3. Factor de seguridad

Sabemos que es una relación entre el esfuerzo ultimo con el esfuerzo permisible, básicamente sirve para saber si la estructura soportará el esfuerzo que estará sometido la estructura. Debemos tener en cuenta que el esfuerzo permisible se obtiene del material que se va a emplear y el esfuerzo ultimo será calculado por medio de las fuerzas que actúen sobre dicha estructura, para asegurar que la estructura soportará se recomienda que el valor del factor de seguridad sea mayor o igual a 2,5 [22]. Este dado con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de seguridad} = F.S. = \frac{\text{esfuerzo \u00faltimo}}{\text{esfuerzo permisible}} \dots \dots \dots (21)$$

2.2.6.2. An\u00e1lisis por fatiga

Se define como una propagaci\u00f3n y formaci\u00f3n de fisuras, que generalmente estas se crean al existir una interrupci\u00f3n en el material donde el esfuerzo c\u00edclico es m\u00e1ximo. Adem\u00e1s, de que los esfuerzos fluctuantes tendr\u00e1n una forma sinusoidal, ya que se presentan generalmente en m\u00e1quinas rotatorias. En la figura N\u00b019 tendremos gr\u00e1ficas que relaciona el esfuerzo con el tiempo [21]-

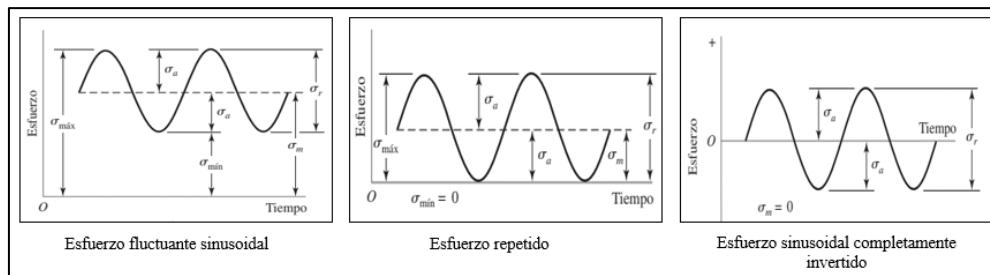


Figura 19 Relaciones esfuerzo-tiempo

El esfuerzo se divide en diferentes componentes [MPa], dichos componenetes se muestran en la figura N\u00b019, como: $\sigma_{m\u00edn}$, es el esfuerzo m\u00ednimo; $\sigma_{m\u00e1x}$, es el esfuerzo m\u00e1ximo; σ_a , es el componente de la amplitud; σ_m , es el componente de esfuerzo medio; σ_r , es el intervalo de esfuerzo; σ_s , es el esfuerzo est\u00e1tico o constante [21].

Existe una diferencia entre el esfuerzo constante y el esfuerzo medio, pero su valor est\u00e1 comprendido entre $\sigma_{m\u00edn}$ y $\sigma_{m\u00e1x}$ [21].

De la figura N\u00b019 podemos obtener las siguientes correlaciones:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\u00e1x} + \sigma_{m\u00edn}}{2} \dots \dots \dots (22)$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{m\u00e1x} - \sigma_{m\u00edn}}{2} \right| \dots \dots \dots (23)$$

La raz\u00f3n de esfuerzo se define como [21]:

$$R = \frac{\sigma_{m\u00edn}}{\sigma_{m\u00e1x}} \dots \dots \dots (24)$$

La raz\u00f3n de amplitud se define como [21]:

$$A = \frac{\sigma_a}{\sigma_m} \dots \dots \dots (25)$$

2.2.6.2.1. Curvas Esfuerzo-Vida (S-N)

En la figura N°20 podemos observar la gráfica de resistencia-vida (S-N, debido a sus iniciales en inglés) teniendo en cuenta la resistencia a la fatiga S_f contra su ciclo de vida N del material analizado. Si el valor supera los 10^6 ciclos, entonces se considera como vida infinita [21].

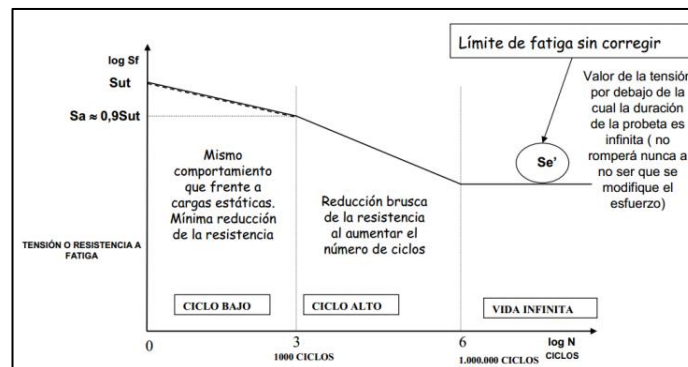


Figura 20 Gráfica Esfuerzo-Vida

2.2.7. Software Computacional

2.2.7.1. Software SolidWorks

2.2.7.1.1. Historia y evolución

SOLIDWORKS Corp. fue creada en el año 1993 por Jon Hirschtick con residencia en Masachuset. Luego de dos años de creación logró publicar su primer modelo de CAD 3D al mercado y este fue todo un éxito, ya que solo tomo dos meses para que esta nueva herramienta tecnológica tenga el reconocimiento por tener un fácil manejo. Finalmente, en el año 1997 la empresa mundial de tecnología Dassault Systèmes S.A. compró SOLIDWORKS como sucursal por un precio que ronda los trecientos diez millones de dólares [23].

2.2.7.1.2. Definición

SolidWorks ® es un software de ingeniería muy utilizado en el ámbito de diseño mecánico, ya que permite dibujar cualquier tipo de piezas mecánicas o estructuras [24]. Además, para poder dibujar en SolidWorks tenemos que empezar creando un croquis en 2D en una vista (planta, frontal, lateral) y empezar a dibujar un perfil, para luego realizar la extrusión y obtener el dibujo en 3D [25].

- CAD: Se define principalmente como diseño asistido por computadora, que básicamente hace referencia a que vamos a poder observar el dibujo de una pieza en específico en una vista isométrica. Generalmente se utiliza para visualizar prototipos de diseños, y a su vez se podrán extraer los planos de dichas piezas. También se podrán crear ensamblajes, que básicamente es la unión de varias piezas CAD para crear una nueva pieza [26].

- **CAE:** Se define principalmente como ingeniería asistida por computadora, generalmente se utiliza para simular las piezas CAD, con esta herramienta se podrán realizar diferentes tipos de análisis, y así poder observar cómo reaccionan las piezas ante diferentes tipos de cargas [26].



Figura 21 Logo del software SolidWorks

2.2.7.2. Software RETScreen

2.2.7.2.1. Historia y evolución

Desde 1998, los gobiernos, empresas e instituciones académicas de todo el mundo han utilizado el software de gestión de energía limpia RETScreen del gobierno de Canadá para el análisis e implementación de proyectos de energía limpia. Es un instrumento de apoyo al momento de tomar decisiones, generalmente se puede utilizar para comparar diferentes fuentes de energía mediante la evaluación de los costos y ahorros de energía [28].

2.2.7.2.2. Definición

RETScreen® es un software que gestiona todo lo relacionado con energía limpia, que se utiliza para el análisis de viabilidad de proyectos que tengan relación con las energías renovables, eficiencia energética y cogeneración, también tiene en cuenta el análisis de la productividad energética continua. RETScreen Expert, es una versión de pago avanzada del software, está accesible en el método Visor de forma totalmente gratuita [29].



Figura 22 Logo del software RETScreen

3. Materiales y métodos

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. Tipo

Es una investigación del tipo aplicada, debido a que se usarán conocimientos adquiridos con anterioridad, con la finalidad de dar solución al problema planteado.

3.1.2. Nivel

Esta investigación es de nivel descriptivo-correlacional.

3.2. Población y muestra

- La unidad de estudio es la máquina trituradora de residuos sólidos tipo PET alimentada por energía solar fotovoltaica.
- La población serán las máquinas trituradoras existentes.

3.3. Diseño de investigación

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo, debido a que abarca los fenómenos a través de la compilación de datos y se basa en el uso de herramientas matemáticas e informáticas para medirlos.

3.4. Metodología de diseño

Exceso de residuos sólidos tipo PET en el Perú

- La utilidad de residuos sólidos ha incrementado extremadamente a nivel global, particularmente en la utilización de botellas de PET, este incremento se ve reflejado en los últimos treinta y cinco años, de acuerdo con la ONU.
- El Perú registra un valor de 6.93 millones de toneladas por año de remantes sólidos, y solo 683991 toneladas son de plástico, teniendo en cuenta que solo se recicla el 1.9% del total.

- Evaluar la irradiación solar en el norte del Perú.
- Diseñar una máquina trituradora 10 TON/DÍA de residuos sólidos tipo PET alimentada por energía solar fotovoltaica.
- Seleccionar los materiales de los diferentes tipos de componentes y elementos de la máquina trituradora.
- Analizar y escoger la mejor configuración de cuchillas, las cuales se utilizarán en la máquina para mejorar el proceso de trituración.
- Diseñar el esquema del sistema fotovoltaico que estará conectado con la máquina trituradora.

Reducción de los residuos sólidos tipo PET mediante la máquina trituradora alimentada por energía solar fotovoltaica.

- Evaluar la irradiación solar en el norte del Perú con el software RETScreen.
- Utilizar el software SolidWorks para hacer el CAD y CAE de la máquina de trituradora.
- Realizar el análisis estático-estructural y de fatiga de la máquina trituradora de PET.

3.5. Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
INDEPENDIENTE: Diseño de trituradora de 10 ton/día de alimentada por energía solar fotovoltaica	Una máquina trituradora o chancadora realiza el proceso de trituración mediante componentes que ejercen fuerzas sobre los objetos para poder quebrantarlos y reducirlos al tamaño deseado. Para el diseño de la máquina trituradora es necesario realizar una matriz morfológica. Este mecanismo estará sometido a cargas estáticas y dinámicas, por ello es necesario realizar un análisis estático estructural y un análisis de fatiga . [13] El mecanismo será alimentado con energía solar fotovoltaica, que es una fuente de energía renovable [6].	Para realizar el CAD y CAE del diseño se utilizará el software SolidWorks y para la evaluación de la irradiación en el norte del Perú se usará el software RETScreen.	Diseño de máquina trituradora	Matriz morfológica	Solución más adecuada técnica y económicamente
			Análisis estático estructural	Esfuerzo	Pa
				Desplazamiento	mm
				Deformación	adimensional
				Factor de seguridad	adimensional
			Análisis de fatiga	Esfuerzo-Vida	Ciclos
				Daño	Porcentaje
			Energía Solar	Irradiación solar	W/m^2
				Hora solar pico	kWh/m^2
Diagrama de Sankey	kW				
DEPENDIENTE: Reducción del tamaño de los residuos sólidos de PET	Los residuos sólidos son uno de los principales contaminantes que existen en el ambiente. De la contaminación ambiental que existe en el Perú el 10 % se debe por residuos sólidos plásticos. Por ello es necesario la reducción del tamaño de residuos sólidos de PET . [14]	El diseño de trituradora de 10 ton/día permitirá la reducción del tamaño de los residuos sólidos de PET	Reducción del tamaño de residuos sólidos de PET	Flakes de PET	unidad

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En este proyecto de investigación se usará la observación para la extracción de los datos sobre la irradiación solar y hora pico mediante el uso del software RETScreen. Para el diseño se tendrá en cuenta la matriz morfológica.

3.7. Procesamiento y análisis de datos

Se utilizará el software RETScreen para obtener los datos de la irradiación solar de Chiclayo, también se usará el software SolidWorks para realizar el CAD y CAE de la máquina trituradora, y finalmente para poder procesar los datos se usará Microsoft Excel.

3.8. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Será factible diseñar una máquina trituradora de 10 TON/DÍA alimentada por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET?	GENERAL	GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE Diseño de trituradora de 100 TON/DÍA de residuos sólidos tipo PET alimentada por energía solar fotovoltaica INDICADORES: Matriz morfológica Esfuerzo Desplazamiento Deformación Factor de seguridad Esfuerzo-Vida Daño	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Tipo aplicada-correlacional con utilización del software CAD-CAE SolidWorks. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS En este proyecto de investigación se usará la observación para la extracción de los datos sobre la irradiación solar y hora pico mediante el uso del software RETScreen.
	Diseño de una trituradora de 10 TON/DÍA alimentada por energía solar fotovoltaica para reducir el tamaño de residuos sólidos de PET	Si se diseña una trituradora de 10 TON/DÍA alimentada por energía solar fotovoltaica, entonces, se logrará la reducción del tamaño de los residuos sólidos de PET.		
	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS		
	1- Evaluar la irradiación solar en el norte del Perú utilizando el software RETScreen.	1- Si se evalúa la irradiación solar en el norte del Perú, entonces, se podrá verificar si la zona es la adecuada para implementar los paneles solares.		
	2- Realizar la matriz morfológica, los cálculos de diseño de la máquina trituradora de 10 TON/DÍA de residuos sólidos tipo PET y seleccionar los materiales de los componentes.	2- Si se realiza la matriz morfológica, los cálculos de diseño de los componentes y elementos de la máquina trituradora con su respectivo material, entonces, se tendrá el diseño completo.		

	<p>3- Realizar el CAD y CAE de los componentes de la máquina trituradora en el software SolidWorks, mediante la simulación de un análisis estático estructural y análisis de fatiga.</p>	<p>3- Si se realiza el CAD y CAE de la máquina trituradora en el software SolidWorks, entonces, se podrá analizar los resultados de la simulación del análisis estático estructural y análisis de fatiga.</p>	<p>Diagrama de Sankey Irradiación solar Hora solar pico</p> <p>VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Reducción del tamaño de residuos sólidos de PET</p> <p>INDICADORES:</p> <p>Flakes de PET</p>	<p>Para el diseño se tendrá en cuenta la matriz morfológica.</p> <p>POBLACIÓN Y MUESTRA</p> <p>La unidad de estudio es la máquina trituradora de residuos sólidos tipo PET alimentada por energía solar fotovoltaica.</p> <p>La población serán las máquinas trituradoras existentes.</p>
<p>4- Dimensionar el sistema fotovoltaico que estará conectado con la máquina trituradora.</p>	<p>4- Si se dimensiona el sistema fotovoltaico que estará conectado a la máquina trituradora, entonces, la máquina podrá funcionar con energía renovable.</p>			
<p>5- Determinar el tamaño adecuado del producto triturado de PET para su procesamiento de reciclado.</p>	<p>5- Si se determina el tamaño adecuado del producto triturado de PET, entonces, se podrá reciclar de manera adecuada.</p>			

4. Resultados y discusión

4.1. Cantidad de residuos sólidos de PET en Chiclayo

En esta sección determinaremos la cantidad aproximada de residuos sólidos de PET en Chiclayo. En primer lugar, calcularemos el total de residuos sólidos en Chiclayo, para ello tomaremos en cuenta los datos que se encuentran en los documentos [43] y [44] para poder multiplicar el número de habitantes en la ciudad por el coeficiente de generación.

$$N^{\circ} \text{ de residuos} = \text{habitantes} \times \text{coeficiente}$$

$$N^{\circ} \text{ de residuos} = 916\,000 \text{ hab.} \times 0,55 \times 10^{-3} \frac{\text{ton}}{\text{hab/día}}$$

$$N^{\circ} \text{ de residuos} = 503,8 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

$$N^{\circ} \text{ de residuos} = 183\,887 \frac{\text{ton}}{\text{año}}$$

Según [44] solo el 4,73% corresponde a plásticos, entonces se obtiene lo siguiente:

$$N^{\circ} \text{ de residuos plásticos} = 503,8 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \times 4,73 \%$$

$$N^{\circ} \text{ de residuos plásticos} = 23,79 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

Finalmente, según [44] del total de residuos plásticos el 70% está conformado por PET, entonces tenemos lo siguiente:

$$N^{\circ} \text{ de residuos sólidos de PET} = 23,79 \frac{\text{ton}}{\text{día}} \times 70\%$$

$$N^{\circ} \text{ de residuos sólidos de PET} = 16,65 \frac{\text{ton}}{\text{día}}$$

4.2. Evaluación de la Irradiación solar en Chiclayo

En esta sección se empezó evaluando la irradiación solar en Chiclayo utilizando el software RETScreen.

The screenshot shows the RETScreen Expert software interface. The main workspace displays a map of the Chiclayo region in Peru. Below the map, there is a table with the following data:

	Ubicación de datos meteorológicos	Ubicación de la instalación	Fuente
Latitud	-6.8	-6.9	Suelo+NASA
Longitud	-79.8	-79.8	Suelo - Mapa
Zona climática	2B - Caliente - Seca		Suelo
Elevación	30	19	Suelo
Temperatura de diseño de la calefacción	15.6		Suelo
Temperatura de diseño del aire acondicionado	31.8		Suelo
Amplitud de la temperatura del suelo	16.1		NASA

Figura 23 Condiciones climáticas de Chiclayo

Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción	Grados-días de refrigeración
	°C	%	mm	kWh/m ² /d	kPa	m/s	°C	18 °C °C-d	10 °C °C-d
Enero	24.2	73.2%	17.98	5.70	96.2	4.7	24.3	0	440
Febrero	25.6	71.7%	26.88	5.55	96.2	4.0	25.2	0	437
Marzo	25.5	72.8%	26.97	5.84	96.1	4.0	25.1	0	481
Abril	23.5	75.0%	18.00	5.38	96.2	4.6	23.9	0	405
Mayo	21.7	76.0%	5.58	4.89	96.2	5.1	22.7	0	363
Junio	20.5	77.2%	1.80	4.47	96.3	4.8	21.8	0	315
Julio	19.6	78.0%	0.93	4.48	96.3	4.4	21.4	0	298
Agosto	19.2	78.4%	1.24	4.91	96.3	4.6	21.6	0	285
Setiembre	19.3	77.3%	3.90	5.59	96.3	5.2	21.7	0	279
Octubre	19.9	76.0%	11.16	5.95	96.3	5.3	21.6	0	307
Noviembre	20.9	74.9%	10.50	5.98	96.3	5.2	22.0	0	327
Diciembre	22.6	74.2%	12.40	5.86	96.2	5.1	23.1	0	391
Anual	21.9	75.4%	137.34	5.38	96.2	4.8	22.9	0	4,327
Fuente	Suelo	Suelo	NASA	NASA	NASA	Suelo	NASA	Suelo	Suelo
Medido a						m	10	0	

Figura 24 Resultados del software RETScreen

Recopilando los resultados obtenidos del software RETScreen, los cuales se muestran en la figura 24, podemos calcular la irradiación solar anual. Estos cálculos se encuentran en la tabla 2.

Tabla 2 Resultados extraídos por el software RETScreen

Mes	Número de Días	Irradiación solar diaria (kWh/m ²)	Irradiación solar anual (kWh/m ²)
Enero	31	5,70	176,70
Febrero	28	5,55	155,40
Marzo	31	5,84	181,04
Abril	30	5,38	161,40
Mayo	31	4,89	151,59
Junio	30	4,47	134,10
Julio	31	4,48	138,88
Agosto	31	4,91	152,21
Setiembre	30	5,59	167,70
Octubre	31	5,95	184,45
Noviembre	30	5,98	179,40
Diciembre	31	5,86	181,66
Irradiación solar total anual (kWh/m²)			1 964,53

Con la ayuda de la tabla 2 se obtienen las siguientes gráficas:

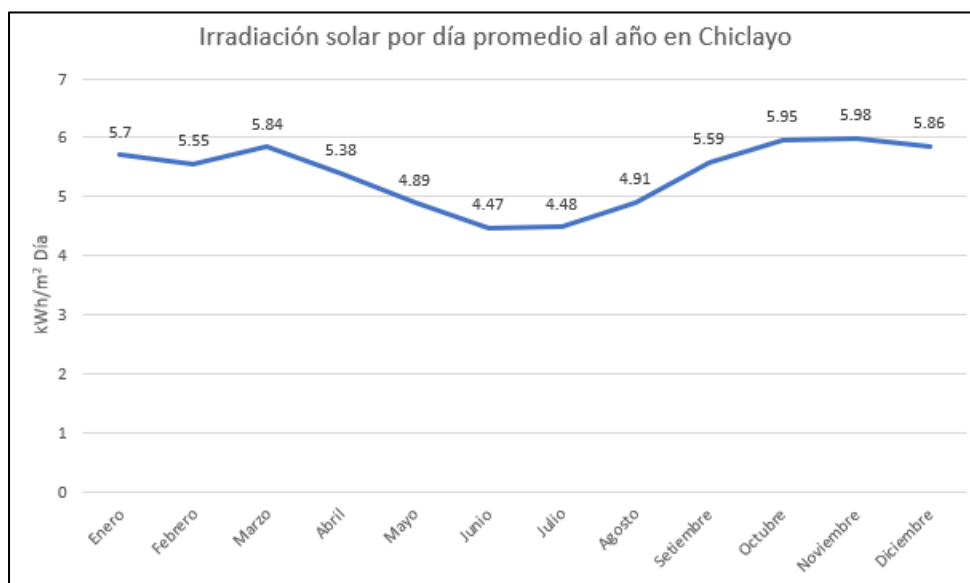


Figura 25 Irradiación solar por día promedio al año en Chiclayo

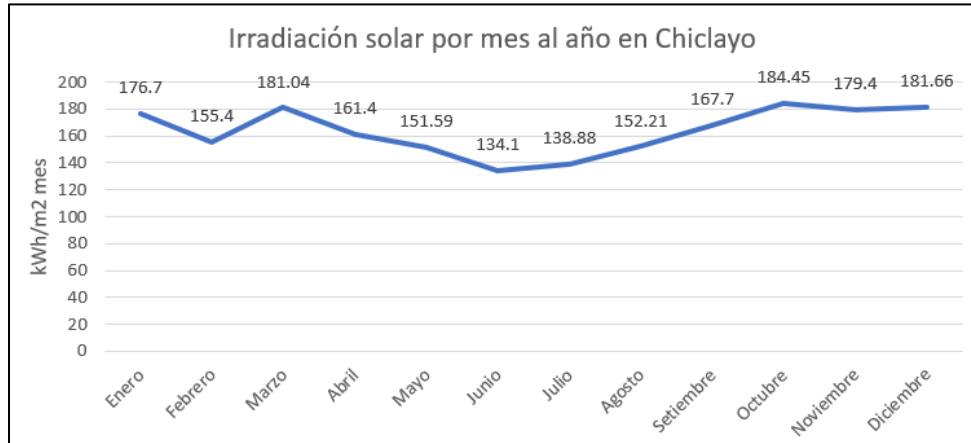


Figura 26 Irradiación solar por mes al año en Chiclayo

Como podemos observar en la figura 26 la menor irradiación solar se encuentra entre el mes de junio y julio, con unos valores de $4,47 \frac{kWh}{m^2}$ y $4,48 \frac{kWh}{m^2}$ respectivamente. Teniendo en cuenta que la máquina trituradora funcionará con una potencia de 4 hp (2 982,8 W) y trabajará 8 horas por día, entonces tenemos que el consumo diario será de 23 862,4 Wh. También conocemos el valor de la irradiación solar anual, que es igual a $1 964,53 \frac{kWh}{m^2}$.

A continuación, se analiza para los peores meses que son junio y julio, teniendo como resultado un HPS igual a 4,475, conociendo este valor procedemos a utilizar la siguiente ecuación:

$$P_{mg} \times HPS = E_p \dots \dots (26)$$

donde: P_{mg} , es la potencia pico del generador; E_p , es la energía consumida por las cargas en un día.[32]

$$P_{mg} = \frac{23\,862,4 \text{ Wh}}{4,475}$$

$$P_{mg} = 5\,332,38 \text{ W}$$

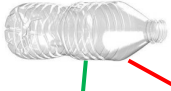



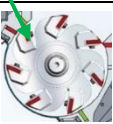
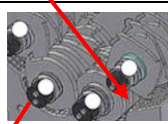
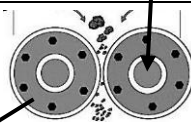

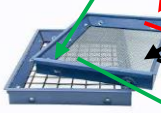




Finalmente, después de realizar el cálculo de la potencia pico del generador nos damos cuenta de que dicho valor es mayor a la potencia del motor de la máquina, por lo que, esto asegura de que se producirá la potencia necesaria.

4.3. Matriz morfológica de la máquina trituradora

Antes de poder realizar la matriz morfológica debemos tener en cuenta que las botellas que ingresarán a la máquina deberán estar completamente lavadas, sin etiqueta y sin tapa.




En la tabla 3 se observa la matriz morfológica que se realizó para definir el diseño conceptual de la máquina trituradora.

Tabla 3 Matriz morfológica

Matriz Morfológica				
Función	Portadores de función			
	1	2	3	4
Preparación				
	Botella sin tapa			
Alimentación				
	Faja transportadora	Manual	Rodillos	
Trituración				
	Cuchillas planas acopladas a paletas	Cuchillas de discos desmontables	Rodillos de trituración del tipo fresas	Cuchillas de discos fijos del tipo fresas
Clasificación				
	Cribas			
Evacuación				
	Succión	Faja transportadora	Caída libre	Recolección manual

Analizando la matriz morfológica en la tabla N°03, tenemos las siguientes soluciones (tabla 4):

Tabla 4 Soluciones de la matriz morfológica

	Color de línea	Tipo
Solución N°01		Trituradora de paletas y chuchillas planas
Solución N°02		Trituradora de cuchillas de discos desmontables
Solución N°03		Trituradora de rodillos del tipo fresas

4.4. Matriz de ponderados de la máquina trituradora

- Sistema de calificación

Una vez analizadas las alternativas se obtiene un concepto aproximado de los desafíos que enfrentará la ejecución del proyecto, para ello se usa un sistema de calificación (Tabla 5).

Tabla 5 Sistema de calificación

Puntaje	Valoración
1	Mala
2	Regular
3	Buena
4	Muy buena
5	Excelente

- Criterios de selección

Los parámetros analizados para determinar la calificación que se ubicarán en la matriz de ponderación son los siguientes:

- Criterios técnicos y económicos
- Estabilidad
- Costo de tecnología
- Seguridad
- Factibilidad de mantenimiento y montaje
- Número de operaciones
- Facilidad de manejo
- Rapidez de trabajo

- Peso de los criterios de selección

Los criterios seleccionados tienen diferentes pesos. Para el número de operaciones se consideró un peso de 9%. Para los criterios técnicos y económicos, facilidad de manejo y rapidez de manejo se consideró un peso de 10%. Para la factibilidad de mantenimiento y montaje se consideró un peso de 13%. Para el costo de tecnología y estabilidad se consideró un peso de 15%. Y finalmente para el parámetro de seguridad se consideró un peso de 18%.

- Matriz de ponderación

En la tabla 6 se observa la matriz de ponderación de la máquina trituradora.

Tabla 6 Matriz de ponderación

Criterios de selección	Peso	Calificación					
		Solución N°01		Solución N°02		Solución N°03	
		Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada	Calificación	Evaluación ponderada
Criterios técnicos y económicos	10 %	2	0,2	3	0,3	4	0,4
Estabilidad	15 %	4	0,6	5	0,75	4	0,6
Costo de tecnología	15 %	2	0,3	4	0,6	3	0,45
Seguridad	18 %	4	0,72	5	0,9	3	0,54
Factibilidad de mantenimiento y montaje	13 %	2	0,26	4	0,52	2	0,26
Número de operaciones	9 %	3	0,27	3	0,27	3	0,27
Facilidad de manejo	10 %	3	0,3	4	0,4	2	0,2
Rapidez de manejo	10 %	4	0,4	3	0,3	4	0,4
Total	100 %		3,05		4,04		3,12

Luego de realizar la matriz de ponderación se puede observar que la solución N°02 fue la que obtuvo mayor puntuación con un total de 4,04.

4.5. Diagrama de flujo del proceso de trituración

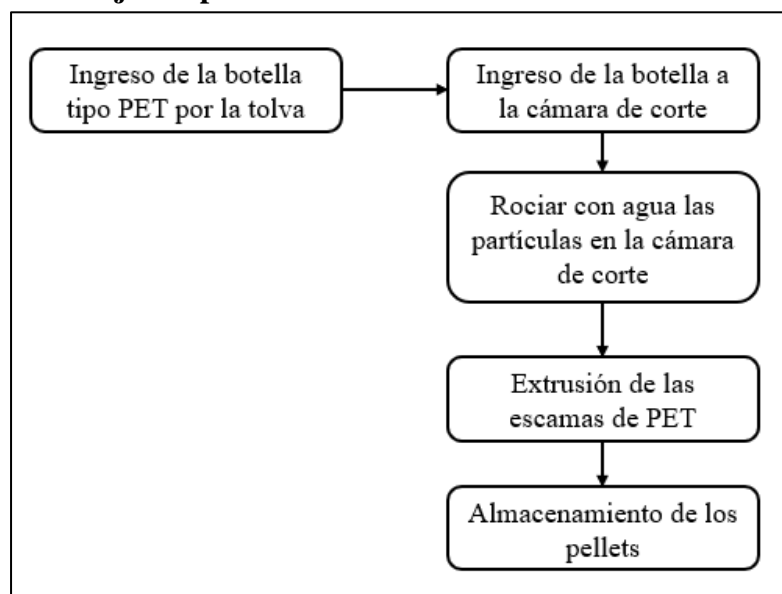


Figura 27 Diagrama de flujo del proceso de trituración

4.6. Componentes y materiales de la máquina trituradora

En la tabla N°07 podemos observar con detalle los componentes de la máquina trituradora con sus respectivos materiales que se van a usar para elaborar el diseño. Los planos de los componentes se pueden encontrar en el anexo N°01 hasta el anexo N°12, además, el costo de la máquina trituradora se encuentra en el anexo N° 23.

Tabla 7 Componentes y materiales de la trituradora

Componente	Cantidad	Material
Eje	2	AISI 1045 Acero
Cuchillas	22	AISI 1035 Acero
Paredes de la cámara de trituración	4	Hierro dúctil
Soporte	1	Acero al carbono fundido
Motor eléctrico	1	-----
Buje separador	22	AISI 1035 Acero
Poleas	2	Aleación de Aluminio 1060
Chumacera	4	Fundición maleable de Hierro
Engranajes	2	Fundición gris de Hierro

4.7. Dimensión máxima de botellas tipo PET

Para realizar el diseño es necesario conocer las medidas de las botellas que serán trituradas, por lo que se consideró la botella más grande que se encontró en el mercado, de la cual se extrajeron los resultados (Tabla 8).

Tabla 8 Dimensiones de la botella PET

Botella de PET	Valor	Unidad
Capacidad	3	litros
Altura	350	mm
Diámetro	110	mm
Espesor de pared	0,25	mm
Espesor del pico	2,0	mm



Figura 28 Botella de PET para obtener las medidas



Figura 29 Medición del espesor de la botella de PET utilizando un vernier



Figura 30 Medición del espesor del pico de la botella de PET utilizando un vernier

4.8. Cálculos de diseño

4.8.1. Cálculo de fuerza de corte para las botellas tipo PET

Para determinar la fuerza de cizallamiento de las cuchillas se consideró dos botellas ingresando al mismo tiempo, por lo que el espesor de la pared de la botella se tendrá que multiplicar por dos, además necesitaremos el valor de la resistencia a la fractura del PET, el cual se muestra en la tabla 1. Teniendo en cuenta esto procedemos a despejar la ecuación (15) y obtenemos lo siguiente:

$$F_{cn} = \tau' \times A$$

$$F_{cn} = (9,5 \text{ MPa}) \times [(2 \times 0,25\text{mm})(350\text{mm})]$$

$$F_c = \left(9,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}\right) \times (175 \text{ mm}^2)$$

$$F_{cn} = 1\ 662,50 \text{ N}$$

Después de realizar el cálculo tenemos que la fuerza mínima para cortar el PET es 1 662,50 N.

4.8.2. Cálculo de las cuchillas

Este elemento comprende una parte importante del mecanismo, ya que es el elemento fundamental para obtener los flakes de PET. Para escoger cual es la mejor configuración de cuchillas debemos conocer que tipos de configuraciones existen, para ello tomaremos diferentes tipos de cuchillas que le pertenecen a la compañía SSI Shredder Systems [35], como se muestra en la figura 33.

Un detalle importante que debemos tener en cuenta es que estas configuraciones de cuchillas tienen el orificio en forma hexagonal, ya que de esta forma se evita el resbalamiento referente a sí mismo. Pero en este diseño se eligió trabajar el agujero de forma circular para que sea más fácil de acoplar al eje principal y para evitar el deslizamiento se implementará una chaveta, la cual tendrá un área de $1/4 \text{ in}^2$.

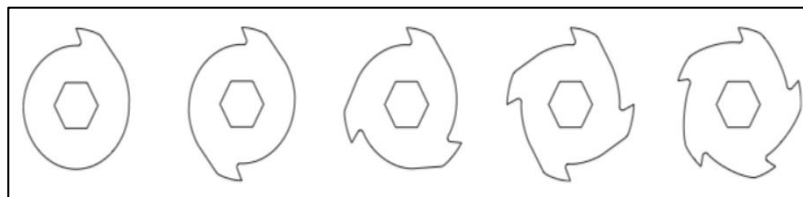


Figura 31 Configuraciones de cuchillas utilizadas por SSI Shredder Systems

Teniendo en cuenta los diseños mostrados con anterioridad, se eligió una configuración de una cuchilla con tres puntas a 60 grados de apertura, con

la finalidad de tener múltiples cortes por cada revolución de la cuchilla y con un espesor de 3/4 de pulgada (figura 32).

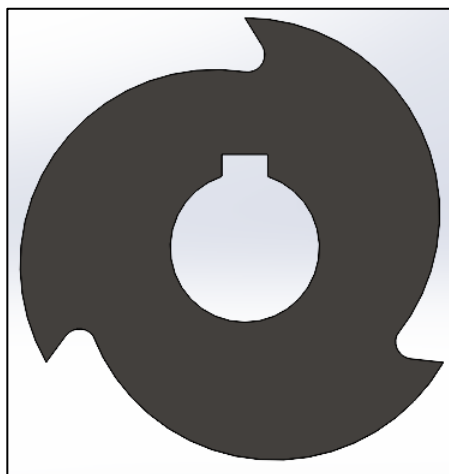


Figura 32 Vista frontal de cuchilla en SolidWorks

4.8.3. Cálculo de los bujes separadores

Es necesario que entre cuchillas exista un espacio para que los del eje opuesto puedan introducirse en el mismo, por lo que se requiere de un elemento que garantice dicho espacio y que no genere interferencias. Para ello se diseñará los bujes separadores los cuales tienen el mismo sistema de ranura y chaveta de las cuchillas.

El espesor del buje se determinó teniendo en cuenta el espacio deseado entre los elementos de corte, por lo que se optó que el espesor sea mayor que el espesor de las cuchillas. Entonces tenemos que el espesor de buje será igual a 19,45 mm, debido que el espesor de las cuchillas es 19,05 mm, esto se observa en la figura 33.

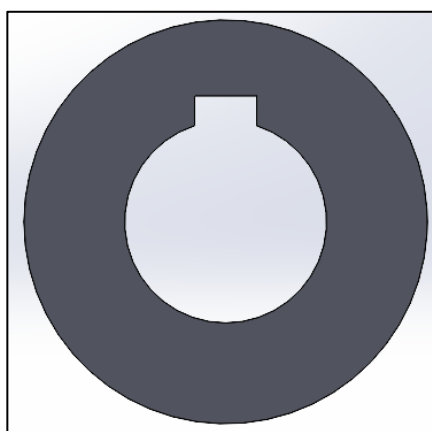


Figura 33 Vista frontal del buje separador en SolidWorks

4.8.4. Cálculo de la velocidad de corte

Para calcular la velocidad de corte se utilizará la siguiente fórmula:

$$v_c = \sqrt{(v_t)^2 + (v_{alm})^2} \dots \dots \dots (27)$$

donde: v_c , es la velocidad de corte [en m/s]; v_t , es la velocidad tangencial [en m/s]; v_{alm} , es la velocidad de alimentación [en m/s]. [36]

Primeo debemos calcular el valor de la velocidad tangencial. Para ello debemos tener en cuenta la velocidad angular, está debe ser considerablemente baja para que no exista un incremento en la temperatura de la molienda, ya que esto desfavorece considerablemente la obtención de los pallets de plástico, también debemos tener en cuenta que se requiere que no sea muy baja porque los elementos de corte realizan su trabajo de cortar por principio de velocidad [35]. Como resultado de la relación de reducción de la caja se tendrá una velocidad de salida de 80 rpm, teniendo en cuenta esto, utilizaremos la siguiente ecuación:

$$v_t = \omega \times r \dots \dots \dots (28)$$

dónde: ω , es la velocidad angular [en rad/s]; r , es el radio total de la cuchilla [en m]. [36]

$$v_t = \left(80 \frac{rev}{min} \times \frac{1 min}{60 s} \times \frac{2\pi rad}{rev} \right) \times (0,15 m)$$

$$v_t = 1,257 m/s$$

En segundo lugar, procedemos a calcular la velocidad de alimentación, para ello se consideró como flujo másico, el cual está dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{m} = \rho_{PET} \times A \times v_{alm} \dots \dots \dots (29)$$

donde: \dot{m} , es el flujo másico [en kg/s]; ρ_{PET} , es la densidad del PET [en kg/m³]; A , es el área [en m²]. [36] La densidad del PET se obtiene de la tabla 1. Además, tenemos que realizar la conversión de 10 ton/día a kg/s.

$$\dot{m} = 10 \frac{ton}{día} \times \frac{1 día}{10 horas} \times \frac{1 hora}{3600 s} \times \frac{1000 kg}{1 ton}$$

$$\dot{m} = 0,2778 kg/s$$

$$v_{alm} = \frac{\left(0,2778 \frac{kg}{s} \right)}{\left(1370 \frac{kg}{m^3} \right) \times (0,35 m \times 0,11 m)}$$

$$v_{alm} = (5,267 \times 10^{-3}) m/s$$

A continuación, procedemos a calcular la velocidad de corte:

$$v_c = \sqrt{\left(1,257 \frac{m}{s}\right)^2 + \left(5,267 \times 10^{-3} \frac{m}{s}\right)^2}$$

$$v_c = 1,257 \text{ m/s}$$

4.8.5. Cálculo de la potencia del motor

Para realizar el cálculo debemos utilizar la fórmula (3), entonces tenemos que:

$$P = F_{cn} \times v_c$$

$$P = (1\,662,5 \text{ N}) \left(1,257 \frac{m}{s}\right)$$

$$P = 2\,089,76 \text{ W}$$

Posteriormente tenemos que calcular la potencia de diseño, tenemos que multiplicar la potencia obtenida por un factor de servicio, el cual lo podemos obtener de la figura 34, con la finalidad de prevenir alguna sobrecarga en el sistema.

Tipo de máquina impulsada	Tipo de impulsor					
	Motores de CA: par torsional normal ^a Motores de CD: bobinado en derivación Motores de combustión: múltiples cilindros			Motores de CA: Alto par torsional ^b Motores de CD: bobinado en serie, bobinado compuesto Motores de combustión: 4 cilindros o menos		
	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día	<6 h por día	6-15 h por día	>15 h por día
Agitadores, sopladores, ventiladores, bombas centrífugas, transportadores ligeros	1.0	1.1	1.2	1.1	1.2	1.3
Generadores, máquinas herramienta, mezcladores, transportadores de grava	1.1	1.2	1.3	1.2	1.3	1.4
Elevadores de cangilones, máquinas textiles, molinos de martillos, transportadores pesados	1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	1.6
Trituradoras, molinos de bolas, malacates, extrusoras de hule	1.3	1.4	1.5	1.5	1.6	1.8
Toda máquina que se pueda ahogar	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

Figura 34 Factores de servicio para bandas V [36]

$$P_{\text{diseño}} = P_{\text{nominal}} \times FS \dots \dots \dots (30)$$

$$P_{\text{diseño}} = (2\,089,76 \text{ W})(1,4)$$

$$P_{\text{diseño}} = 2\,925,66 \text{ W} = 3,92 \text{ hp}$$

El cálculo de la potencia de diseño resultó 3,92 hp, como en el mercado no existe un motor con esa capacidad tomaremos el motor más cercano a dicho valor, seleccionando uno de 4 hp con una celeridad angular de 900

rpm. Posteriormente tendremos que reducir la velocidad inicial por le medio de bandas.

4.8.6. Cálculo y selección de bandas y correas

Utilizaremos la potencia de diseño para poder seleccionar la sección de la banda, con ayuda de la figura 35.

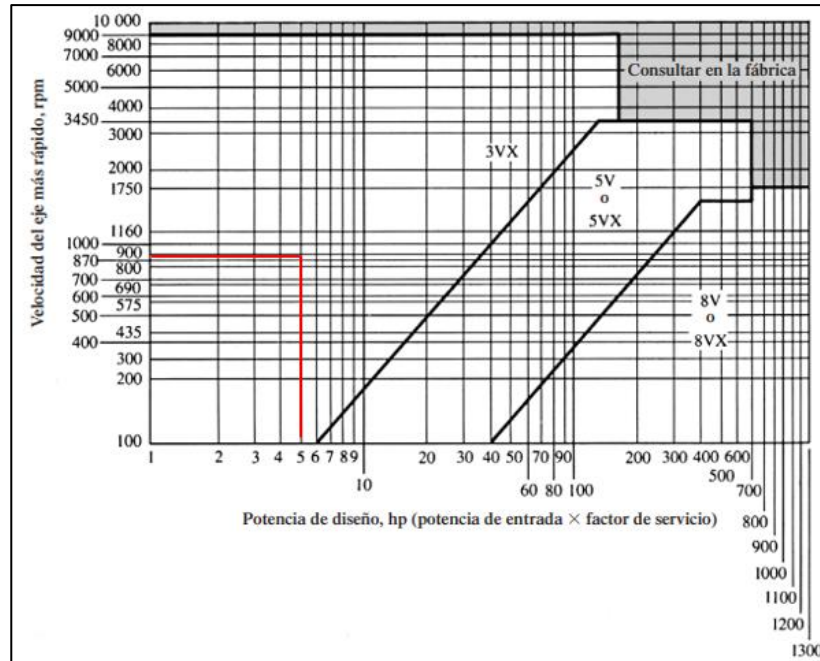


Figura 35 Gráfica para la selección de bandas en V [36]

A continuación, calcularemos la relación de velocidades nominales, utilizando la velocidad de entrada y de salida.

$$Relación = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{900 \text{ rpm}}{300 \text{ rpm}} = 3$$

Posteriormente escogeremos un diámetro mínimo de la polea que estará conectada al motor con la ayuda de la figura 36, entonces tenemos que $D_1 = 100 \text{ mm}$.

Diámetros mínimos en mm				
Caballos de fuerza (HP)	RPM de Motor			
	900	1200	1800	3600
0.50	65	-	-	-
0.75	65	65	-	-
1.00	65	65	60	-
1.50	75	65	65	60
2.00	75	65	65	65
3.00	75	75	65	65
5.00	100	75	75	65
7.50	115	100	75	75
10.00	115	115	100	75

Figura 36 Diámetro mínimo recomendado para la polea del motor [38]

Conociendo el diámetro mínimo de la polea motriz, podemos calcular el diámetro de la polea conducida utilizando la relación de velocidades, utilizando la siguiente ecuación:

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$3 \times D_1 = D_2$$

$$3 \times (100 \text{ mm}) = D_2$$

$$D_2 = 300 \text{ mm}$$

A continuación, tendremos que definir una distancia entre centros tentativa, para ello es necesario que los diámetros se encuentren en pulgadas, realizando la conversión de unidades tenemos que $D_1 = 3.94 \text{ in}$ y $D_2 = 11.81 \text{ in}$ aproximadamente. Entonces procedemos a utilizar la ecuación (7).

$$D_2 < C < 3(D_2 + D_1)$$

$$11,81 < C < 3(11,81 + 3,94)$$

$$11,81 < C < 47,25$$

Con intención de mantener un poco de espacio, se probará $C = 20 \text{ in}$. Teniendo en cuenta esto procedemos a calcular la longitud de la banda requerida, con la ecuación (8).

$$L = 2C + 1,57(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4C}$$

$$L = 2(20) + 1,57(11,81 + 3,94) + \frac{(11,81 - 3,94)^2}{4(20)}$$

$$L = 65,50 \text{ in}$$

Ahora que conocemos el valor de L, procedemos a seleccionar una longitud estándar de la figura 37.

Sólo 3V	3V y 5V	3V, 5V y 8V	5V y 8V	Sólo 8V
25	50	100	150	375
26.5	53	106	160	400
28	56	112	170	425
30	60	118	180	450
31.5	63	125	190	475
33.5	67	132	200	500
35.5	71	140	212	
37.5	75		224	
40	80		236	
42.5	85		250	
45	90		265	
47.5	95		280	
			300	
165			315	
			335	

Figura 37 Longitudes de bandas estándar 3V, 5V y 8V (unidad: in) [37]

Al no encontrar el valor exacto se considera el valor más cercano, entonces $L = 67 \text{ in}$. Entonces, de acuerdo con la ecuación (9) tenemos:

$$B = 4L - 6,28(D_2 + D_1)$$

$$B = 4(67) - 6,28(11,81 + 3,94)$$

$$B = 169,09 \text{ in}$$

$$C = \frac{B + \sqrt{B^2 - 32(D_2 - D_1)^2}}{16}$$

$$C = \frac{169,09 + \sqrt{(169,09)^2 - 32(11,81 - 3,94)^2}}{16}$$

$$C = 20,76 \text{ in}$$

A continuación, procedemos a calcular el ángulo de contacto de la banda en la polea menor, utilizando la ecuación (10).

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{D_2 - D_1}{2C}\right)$$

$$\theta_1 = 180^\circ - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{11,81 - 3,94}{2 \times 20,76}\right)$$

$$\theta_1 = 158^\circ$$

Con la ayuda de las figuras 38 y 39 vamos a determinar los factores de corrección. Entonces tenemos que los factores de corrección por ángulo de contacto y por longitud de banda son $C_\theta = 0,94$ y $C_L = 1,00$ respectivamente.

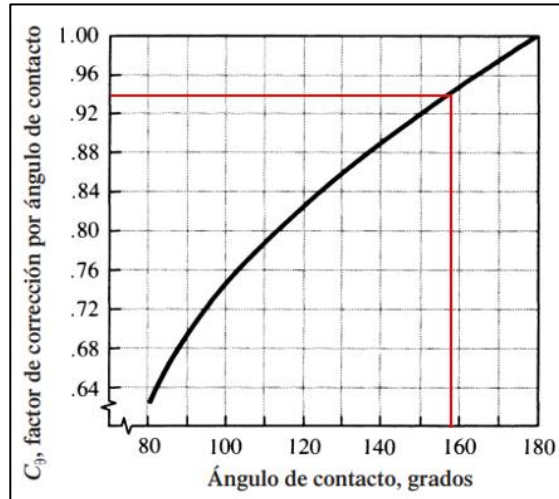


Figura 38 Factor de corrección por ángulo de contacto, C_θ [37]

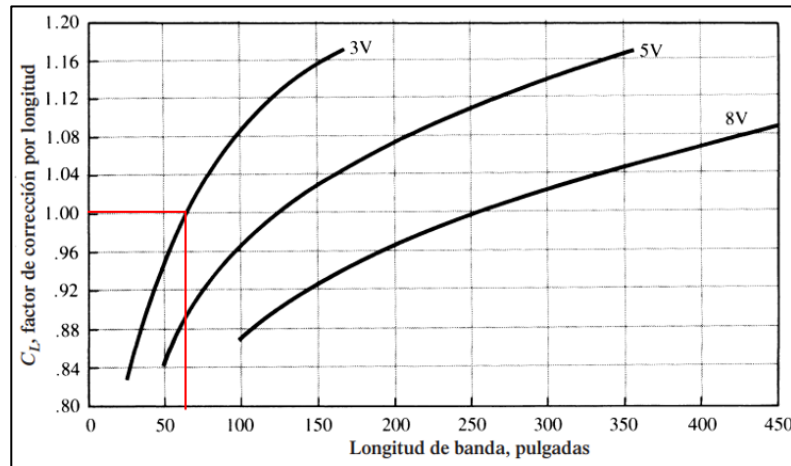


Figura 39 Factor de corrección por longitud de banda, C_L [37]

Posteriormente calcularemos la potencia nominal corregida por banda y el número de bandas necesarios para manejar la potencia de diseño. Para ello primero debemos calcular la potencia nominal por banda y utilizaremos la figura 40 para definir dicho valor, y también usaremos la ecuación (6).

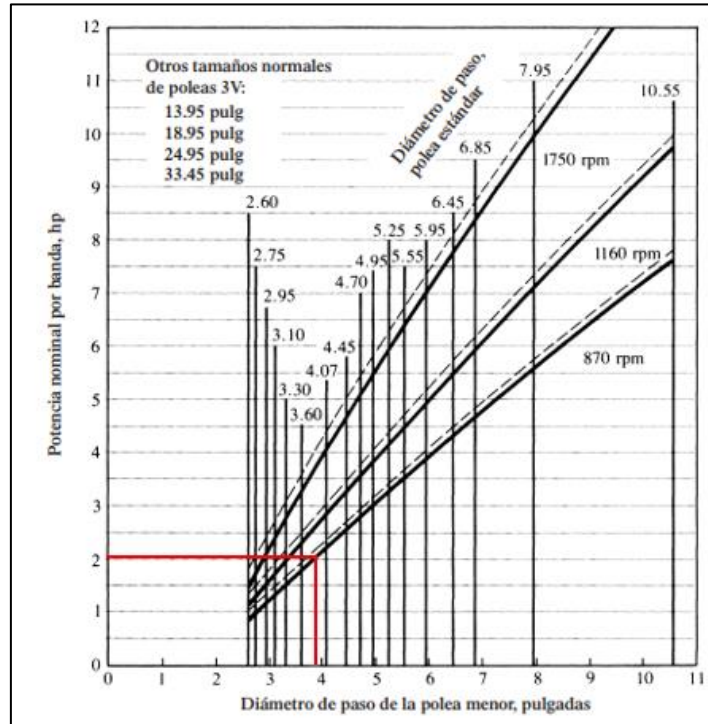


Figura 40 Potencia nominal por banda [37]

$$Potencia\ corregida = C_{\theta} \times C_L \times P_{nominal\ por\ banda}$$

$$Potencia\ corregida = (0,94)(1,00)(2\ hp)$$

$$Potencia\ corregida = 1,88\ hp$$

$$Número\ de\ bandas = \frac{P_{diseño}}{P_{corregida}}$$

$$Número\ de\ bandas = \frac{3,92\ hp}{1,88\ hp}$$

$$Número\ de\ bandas = 2,09$$

$$N_b = 2\ bandas$$

Finalmente debemos redondear el número obtenido a un número entero, entonces tenemos que se deben usar 2 bandas.

4.8.7. Cálculo de tensiones inducidas por la banda

Teniendo en cuenta los cálculos anteriores, se realizará los cálculos de las tensiones inducidas por banda, ya que estas también serán utilizadas en el cálculo del diseño del eje.

En primer lugar, vamos a calcular la velocidad periférica, la longitud de paso, el coeficiente de fricción efectivo y el ángulo de contacto de la banda utilizando las ecuaciones (13), (14) y (11).

$$v = \frac{\pi \times d_1 \times \omega_1}{12}$$

$$v = \frac{\pi \times (3,94 \text{ in}) \times (900 \text{ rpm})}{12}$$

$$v = 928,34 \text{ ft}/\text{min}$$

$$L_p = 2C + \frac{\pi(d_2 + d_1)}{2} + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4C}$$

$$L_p = 2(20,76 \text{ in}) + \frac{\pi(11,81 \text{ in} + 3,94 \text{ in})}{2} + \frac{(11,81 \text{ in} - 3,94 \text{ in})^2}{4(20,76 \text{ in})}$$

$$L_p = 67,0 \text{ in}$$

$$\phi = \pi - 2\text{sen}^{-1}\left(\frac{11,81 \text{ in} - 3,94 \text{ in}}{2(20,76 \text{ in})}\right)$$

$$\phi = 2,76 \text{ rad}$$

$$\exp[0,5123 \times 2,76] = 4,11$$

A continuación, podemos observar en la figura 41 se representan las fuerzas inducidas por banda, y teniendo en cuenta las siguientes ecuaciones y la figura 42 podremos calcular la tensión centrífuga.

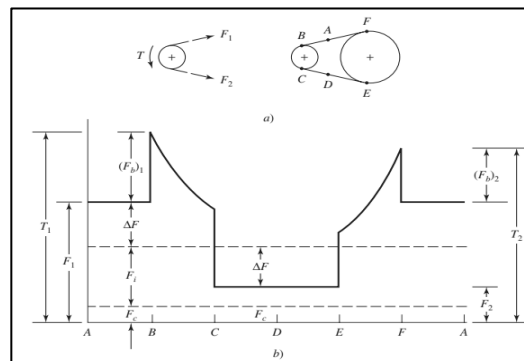


Figura 41 Tensiones en la banda en V [21]

Sección de la banda	K_b	K_c
A	220	0.561
B	576	0.965
C	1 600	1.716
D	5 680	3.498
E	10 850	5.041
3V	230	0.425
5V	1 098	1.217
8V	4 830	3.288

*Datos cortesía de Gates Rubber Co., Denver, Colo.

Figura 42 Parámetros de bandas en V [21]

$$F_c = K_c \left(\frac{v}{1000} \right)^2$$

$$F_c = (0,425) \left(\frac{928,34 \text{ ft}/\text{min}}{1\ 000} \right)^2$$

$$F_c = 0,3663 \text{ lbf}$$

$$\Delta F = \frac{63\ 025 \times (P_{\text{diseño}}/N_b)}{\omega_1 \times (d_1/2)}$$

$$\Delta F = \frac{63\ 025 \times (4,90/3)}{900 \times (3,94/2)}$$

$$\Delta F = 58,06 \text{ lbf}$$

$$F_1 = F_c + \frac{\Delta F \times \exp[f\Phi]}{\exp[f\Phi] - 1}$$

$$F_1 = 0,3663 + \frac{58,06 \times 4,11}{4,11 - 1}$$

$$F_1 = 77,10 \text{ lbf}$$

$$F_2 = F_1 - \Delta F$$

$$F_2 = (77,10 - 58,06) \text{ lbf}$$

$$F_2 = 19,04 \text{ lbf}$$

$$(F_b)_1 = \frac{K_b}{d_1} = \frac{230}{3,94 \text{ in}}$$

$$(F_b)_1 = 58,376 \text{ lbf}$$

$$(F_b)_2 = \frac{K_b}{d_2} = \frac{230}{11,81 \text{ in}}$$

$$(F_b)_2 = 19,475 \text{ lbf}$$

$$T_1 = F_1 + (F_b)_1$$

$$T_1 = (77,10 + 58,376) \text{ lbf}$$

$$\mathbf{T_1 = 135,476 \text{ lbf}}$$

$$T_2 = F_1 + (F_b)_2$$

$$T_2 = (77,10 + 19,475) \text{ lbf}$$

$$\mathbf{T_2 = 96,575 \text{ lbf}}$$

$$T_T = T_1 + T_2$$

$$T_T = (135,476 + 96,575) \text{ lbf}$$

$$T_T = 232,051 \text{ lbf}$$

$$\mathbf{T_T = 1\ 032,21 \text{ N}}$$

4.8.8. Cálculo del diámetro del eje

En esta sección se comenzará con los cálculos para el diseño del eje, que estará doblgado a cargas de torsión y flexión generadas por la transmisión

de potencia de la polea, las fuerzas de corte y el peso ejercido por las cuchillas.

El DCL del eje con las once cuchillas acopladas se puede observar en la figura 43, donde podemos apreciar cómo actúan las fuerzas de corte, el peso de los elementos y las tensiones generadas por las poleas, y las reacciones de los rodamientos.

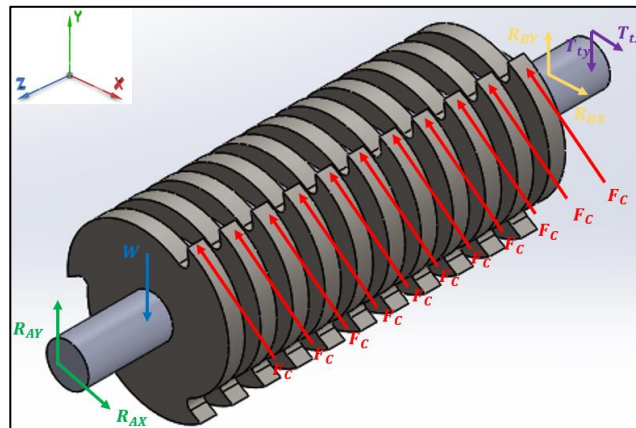


Figura 43 Diagrama de cuerpo libre del eje

Donde: R_{AY} , R_{AX} , son las reacciones del rodamiento A; R_{BY} , R_{BX} , son las reacciones del rodamiento B; F_c , es la fuerza de corte real de las cuchillas; W , es el peso de las cuchillas; T_{tx} , es la suma de T_1 y T_2 descompuesta en el eje x; T_{ty} , es la suma de T_1 y T_2 descompuesta en el eje y. Todas las fuerzas, tensiones y reacciones serán trabajadas en Newton.

Antes de calcular las reacciones de los rodamientos, debemos descomponer la fuerza producida por la polea en el eje principal, esto lo podemos observar en la figura 44. Además, se utilizará el ángulo de 11° , que resulta de la diferencia de 180° con el ángulo de contacto y finalmente el resultado se divide entre dos.

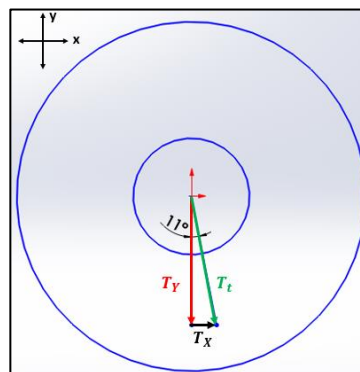


Figura 44 Diagrama de cuerpo libre de la polea

Considerando la tensión por banda calculada anteriormente solo es para una banda, entonces debemos multiplicar dicho valor por el número de bandas, en este caso se usarán 3 bandas, entonces tenemos lo siguiente:

$$T_{ty} = (1\,032,21 \times 3) \times (\text{sen}(11^\circ))$$

$$\mathbf{T_{ty} = 590,86\ N}$$

$$T_{tx} = (1\,032,21 \times 3) \times (\text{cos}(11^\circ))$$

$$\mathbf{T_{tx} = 3\,039,74\ N}$$

También debemos tener en cuenta la fuerza de corte real de la cuchilla, la cual obtenemos despejando la fórmula de la potencia para hallar el torque, y posteriormente hallar la fuerza de corte, con la ayuda del radio de la cuchilla, entonces queda de la siguiente manera:

$$T = \frac{P}{\omega}$$

$$T = \frac{4\ \text{hp} \times \left(\frac{746\ \text{W}}{1\ \text{hp}}\right)}{300\ \text{rpm} \times \left(\frac{2\pi}{60}\right)}$$

$$T = 94,98\ \text{N.m}$$

$$F_c = \frac{T}{r}$$

$$F_c = \frac{94,98\ \text{N.m}}{0,20\ \text{m}}$$

$$\mathbf{F_c = 474,90\ N}$$

Conociendo los valores de T_{ty} , T_{tx} y F_c procedemos a calcular las reacciones de los rodamientos, para ello utilizaremos el software MDSolid, y se realizará el análisis en los planos XZ y YZ.

A continuación, podemos observar en la figura N°46 el DCL del eje en un plano XZ, donde: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{11} = F_c$; y $P_{12} = T_{tx}$.

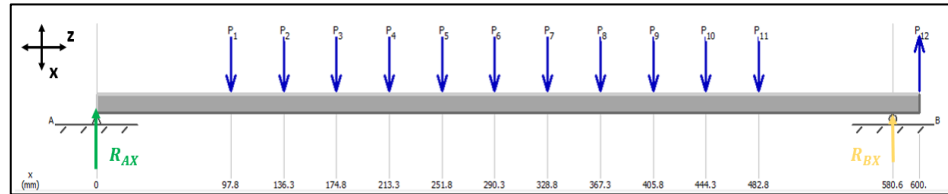


Figura 45 Diagrama de cuerpo libre del eje plano XZ

Luego se ingresan las fuerzas al eje respetando las distancias de los bujes separadores, el software nos arroja las reacciones de los rodamientos, entonces tenemos que $R_{AX} = 3\,366,88\text{ N}$ y $R_{BX} = 124,03\text{ N}$. En la figura 46 y 47 podemos observar el diagrama de fuerza cortante y el diagrama de momento flector con respecto al plano XZ.

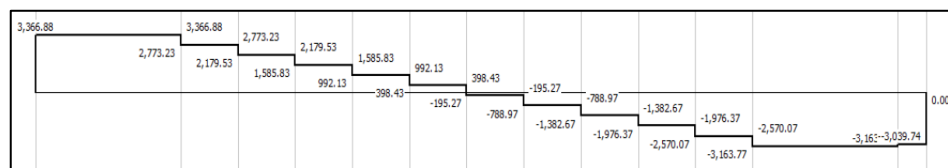


Figura 46 Diagrama de fuerza cortante en el plano XZ (unidades en N)

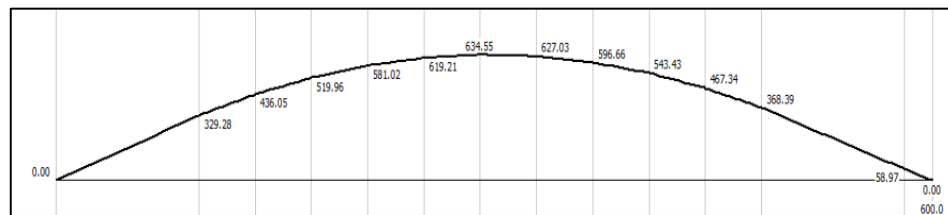


Figura 47 Diagrama de momento flector en el plano XZ (unidades en N.m)

Posteriormente procedemos a realizar el diagrama de cuerpo libre del eje en el plano YZ, esto se muestra en la figura 48, donde: $P_1, P_2, P_3, \dots, P_{11} = W$; y $P_{12} = T_{ty}$. La letra W se refiere al peso de las cuchillas, el cual se puede calcular multiplicando la masa con la gravedad, entonces con la ayuda del software SolidWorks podemos obtener dicha masa, la cual resultó ser igual a 3,16 kilogramos.

$$W = m \times g$$

$$W = 3,16\text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 31,0\text{ N}$$

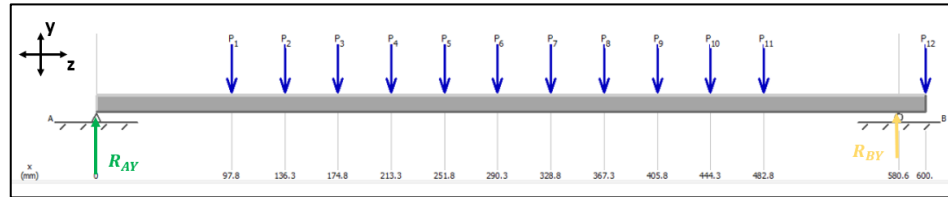


Figura 48 Diagrama de cuerpo libre del eje en el plano YZ

Luego de colocar las fuerzas en el eje respetando las distancias de los bujes separadores, el software nos arroja las reacciones de los rodamientos, entonces tenemos que $R_{Ay} = 150,76 \text{ N}$ y $R_{By} = 781,10 \text{ N}$. En la figura 49 y 50 podemos observar el diagrama de fuerza cortante y el diagrama de momento flector con respecto al plano YZ.

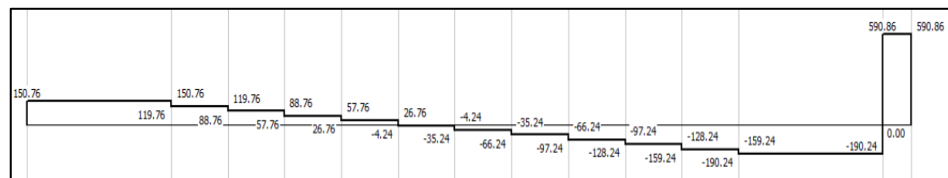


Figura 49 Diagrama de fuerza cortante en el plano YZ (unidades en N)

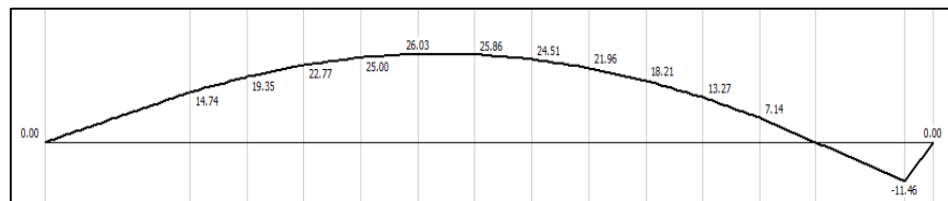


Figura 50 Diagrama de momento flector en el plano YZ (unidades en N.m)

Una vez hecho el análisis en los dos planos, procedemos a identificar el momento máximo de cada gráfica, entonces tenemos que para el plano XZ el momento máximo es igual a 634,55 N.m, y para el plano YZ el momento máximo es igual a 26,03 N.m. Teniendo en cuenta los valores procedemos a hallar el momento máximo total, con la siguiente ecuación:

$$M_{TOT} = \sqrt{(M_{XZ})^2 + (M_{YZ})^2}$$

$$M_{TOT} = \sqrt{(634,55 \text{ N.m})^2 + (26,03 \text{ N.m})^2}$$

$$M_{TOT} = 635,08 \text{ N.m}$$

- **Cálculo del diámetro tentativo**

Considerando que el material que se usará para el diseño del eje es acero AISI 1045 como se puede observar en la tabla 7, entonces tenemos que la resistencia última y la resistencia a la fluencia igual a: [21]

$$S_{ult} = 630 \text{ MPa} ; S_y = 530 \text{ MPa}$$

A continuación, se procederá a calcular el diámetro tentativo por fatiga mediante el criterio de falla ED-Soderberg por medio de la ecuación (18), asumiendo los factores de concentración de esfuerzo K_f y K_{fs} con los siguientes valores: $K_f = K_t = 2,2$, $K_{fs} = K_{ts} = 3$. [21]

Por otro lado, también debemos considerar los valores que modifican el límite de resistencia a la fatiga como: $K_b = 0,9$, $K_c = K_d = K_e = 1$ y $S'_e = S_{ult} = 630 \text{ MPa}$.

$$K_a = a \times S_{ult}^b$$

$$K_a = 4,51 \times 630^{-0,265}$$

$$K_a = 0,817$$

$$S_e = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times K_f \times S'_e$$

$$S_e = 0,817 \times 0,9 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1 \times 630$$

$$S_e = 463,239 \text{ MPa}$$

Vamos a simplificar la ecuación (18), ya que $T_a = 0$ y $M_m = 0$, entonces la ecuación nos quedará de la siguiente forma:

$$D_t = \left[\frac{16 \times \eta}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [4(K_f \times M_a)^2]^{1/2} + \frac{1}{S_{yt}} [3(K_{fs} \times T_m)^2]^{1/2} \right\} \right]^{1/3}$$

$$D_t = \left[\frac{16 \times \eta}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [2(K_f \times M_a)] + \frac{1}{S_{yt}} [3(K_{fs} \times T_m)^2]^{1/2} \right\} \right]^{1/3}$$

$$D_t = \left[\frac{16 \times 2}{\pi} \left\{ \frac{1}{463,239 \times 10^6} [2(2,2 \times 635,08)] + \frac{1}{530 \times 10^6} [3(3 \times 118,73)^2]^{1/2} \right\} \right]^{1/3}$$

$$D_t = 0,040289 \text{ m} \approx 40 \text{ mm}$$

Después de realizar el cálculo obtuvimos el valor del diámetro tentativo, se debe comprobar los valores que modifican el límite de la resistencia a la fatiga y los factores de concentración de esfuerzo donde se instalan los diferentes elementos de montaje del eje.

- Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

- Factor de superficie (K_a)

Consideramos el eje de la máquina maquinado, por ende se extrae los factores a y b de la figura 51, y teniendo en cuenta que la resistencia última es 630 MPa, procedemos a calcular el factor de superficie.

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ult} kpsi	S_{ult} MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

Figura 51 Parámetros en el factor de la condición superficial [21]

$$K_a = a \times S_{ult}^b$$

$$K_a = 4,51 \times 630^{-0,265}$$

$$K_a = 0,817$$

- Factor de tamaño (K_b)

Teniendo en cuenta el valor del diámetro tentativo utilizaremos la ecuación número 3 (figura 52).

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d < 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases}$$

Figura 52 Ecuaciones para el factor de tamaño de acuerdo con el diámetro [21]

$$K_b = \left(\frac{d}{7,62} \right)^{-0,107}$$

$$K_b = \left(\frac{40}{7,62} \right)^{-0,107}$$

$$K_b = 0,837$$

- Factor de carga (K_c)

$$K_c = 1 ; \text{flexión [21]}$$

- Factor de temperatura (K_d)

Debemos considerar que el eje trabajará a una temperatura menor a 50 °C, es por ello que el factor de temperatura lo podemos obtener de la figura 53.

Temperatura, °C	S_T/S_{RT}
20	1.000
50	1.010
100	1.020
150	1.025
200	1.020

Figura 53 Efecto de la temperatura de operación en la resistencia a la tensión [21]

$$K_d = 1,010$$

- Factor de confiabilidad (K_e)

Para este caso vamos a trabajar con una confiabilidad del 90 %, de la figura 54 podemos obtener el factor de confiabilidad.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_α
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Figura 54 Factores de confiabilidad [21]

$$K_e = 0,897$$

- Factor de efectos varios (K_f)

$$K_f = 1$$

- Límite de resistencia a la fatiga (S'_e)

$$S'_e = 0,5 \times S_{ult}$$

$$S'_e = 0,5 \times (630 \text{ MPa})$$

$$S'_e = 315 \text{ MPa}$$

$$S_e = K_a \times K_b \times K_c \times K_d \times K_e \times K_f \times S'_e$$

$$S_e = 0,817 \times 0,837 \times 1 \times 1,010 \times 0,897 \times 1 \times 315$$

$$S_e = 195,151 \text{ MPa}$$

- **Factores de concentración de esfuerzo**

$$K_t = 2,12 \text{ [39]}; \quad q = 0,82 \text{ [21]}$$

$$K_f = 1 + q(K_t - 1)$$

$$K_f = 1 + 0,82(2,12 - 1)$$

$$K_f = 1,9184$$

$$K_{ts} = 2,12 \text{ [39]}; \quad q = 0,99 \text{ [21]}$$

$$K_{fs} = 1 + q(K_{ts} - 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0,99(2,12 - 1)$$

$$K_{fs} = 2,1088$$

- **Cálculo del diámetro por fatiga**

A continuación, procedemos a calcular el diámetro por fatiga utilizando el mismo criterio aplicado anteriormente, con los nuevos valores de los factores que modifican el límite de fatiga y concentradores de esfuerzos.

$$D_t = \left[\frac{16 \times \eta}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} [2(K_f \times M_a)] + \frac{1}{S_{yt}} [3(K_{fs} \times T_m)^2]^{1/2} \right\} \right]^{1/3}$$

$$D_t = \left[\frac{16 \times 4}{\pi} \left\{ \frac{1}{195,151 \times 10^6} [2(1,9184 \times 635,08)] + \frac{1}{530 \times 10^6} [3(2,1088 \times 118,73)^2]^{1/2} \right\} \right]^{1/3}$$

$$D_t = 0,06472 \text{ m}$$

$$D_t = 65 \text{ mm}$$

Después de calcular el diámetro por fatiga del eje, procedemos a calcular los esfuerzos de flexión y torsión combinados que actúan con

respecto al eje, a fin de hallar el esfuerzo de von Mises de los estados de esfuerzo alternante y medio.

$$\sigma'_a = \frac{32 \times K_f \times M_a}{\pi \times d^3}$$

$$\sigma'_a = \frac{32 \times 1,9184 \times 635,08}{\pi \times 0,06472^3}$$

$$\sigma'_a = 45,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma'_m = \left(3 \times \left(\frac{16 \times K_{fs} \times T_m}{\pi \times d^3} \right) \right)^{1/2}$$

$$\sigma'_m = \left(3 \times \left(\frac{16 \times 2,1088 \times 118,73}{\pi \times 0,06472^3} \right)^2 \right)^{1/2}$$

$$\sigma'_m = 8,15 \text{ MPa}$$

Posteriormente se calculará el factor de seguridad con la ecuación (), entonces tenemos lo siguiente:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{\sigma'_a}{S_e} + \frac{\sigma'_m}{S_y}$$

$$\frac{1}{\eta} = \frac{45,78 \text{ MPa}}{195,151 \text{ MPa}} + \frac{8,15 \text{ MPa}}{530 \text{ MPa}}$$

$$\eta = 4,00$$

El factor de seguridad es mayor que los parámetros establecidos, por ende, podemos confirmar que el material predestinado del eje es el adecuado.

4.8.9. Selección de rodamientos

Para seleccionar los rodamientos su utilizara el catálogo de rodamientos, el cual realiza una clasificación de sus productos respecto al diámetro y carga estática que este soporta. Para ello usaremos las reacciones calculadas anteriormente, entonces tenemos lo siguiente:

$$R_A = \sqrt{(R_{AX})^2 + (R_{AY})^2}$$

$$R_A = \sqrt{(3\,366,88 \text{ N})^2 + (150,76 \text{ N})^2}$$

$$R_A = 3\,370,25 \text{ N}$$

$$R_B = \sqrt{(R_{BX})^2 + (R_{BY})^2}$$

$$R_B = \sqrt{(124,03 \text{ N})^2 + (781,10 \text{ N})^2}$$

$$R_B = 790,89 \text{ N}$$

A continuación, se calculará la vida de diseño adimensional mediante la siguiente ecuación (31), donde: L_D , es la vida deseada en horas; n_D , es la velocidad deseada en rpm.

$$x_D = \frac{60 \times L_D \times n_D}{10^6} \dots \dots (31)$$

$$x_D = \frac{60 \times 25\,000 \times 300}{10^6}$$

$$x_D = 450$$

Mediante la ecuación 32 determinaremos la carga, donde: α_f , es el factor de aplicación; F_D , es la carga radial deseada; x_D , es la vida de diseño adimensional; x_0, θ, b , representan los parámetros de Weibull, los cuales son $x_0 = 0,02$; $(\theta - x_0) = 4,439$; $b = 1,483$; con una confiabilidad igual a 0,99 y $a = 10/3$ para cojinetes de rodillos, entonces tenemos lo siguiente:

$$C_{10} = \alpha_f \times F_D \left[\frac{x_D}{x_0 + (\theta - x_0)(1 - R_D)^{1/b}} \right]^{1/a} \dots (32)$$

$$C_{10} = 1,2 \times (3\,370,25 \text{ N}) \left[\frac{450}{0,02 + 4,439(1 - 0,99)^{1/1,483}} \right]^{3/10}$$

$$C_{10} = 39,877 \text{ kN}$$

Finalmente, con el resultado de la carga procedemos a buscar en un catálogo de rodamientos SKF [39], donde se escogió un rodamiento UN 1013 ML.

4.8.10. Cálculo de la capacidad de trituración por revolución

Para realizar este cálculo se utilizará la ecuación 1, además necesitaremos la densidad del PET, la cual la podemos obtener de la tabla 1.

$$C_{\frac{t}{r}} = 4A_c \times N_e \times N_c \times t_c \times \rho_{PET}$$

$$C_{\frac{t}{r}} = 4(1,905 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm}) * (2) * (11) * (1,905 \text{ cm}) * \left(1,37 \times 10^{-3} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3}\right)$$

$$C_{\frac{t}{r}} = 0,656 \frac{\text{kg}}{\text{rev}}$$

4.8.11. Cálculo de la capacidad de trituración

Para realizar este cálculo es necesario conocer el rendimiento del motor de la máquina, el cual tiene un valor de 80%, entonces utilizando la ecuación 2, tenemos lo siguiente:

$$Cap = e \times C_{\frac{t}{r}} \times n$$

$$Cap = (0,80) \times \left(0,656 \frac{\text{kg}}{\text{rev}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1\,000 \text{ kg}}\right) \times \left(100 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}}\right)$$

$$Cap = 3,15 \frac{\text{ton}}{\text{h}}$$

4.9. CAD y CAE de los componentes de la máquina trituradora

4.9.1. CAD de los componentes de la máquina trituradora

En esta sección se mostrará los CAD de los componentes de la máquina trituradora.

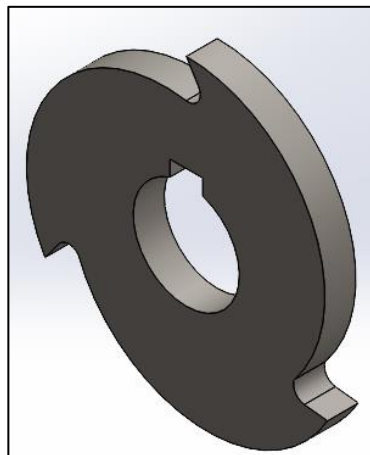


Figura 55 Vista isométrica de la cuchilla en SolidWorks

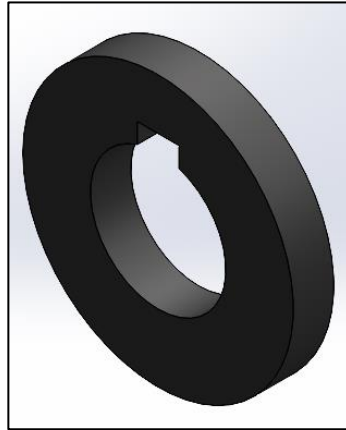


Figura 56 Vista isométrica del buje separador en SolidWorks

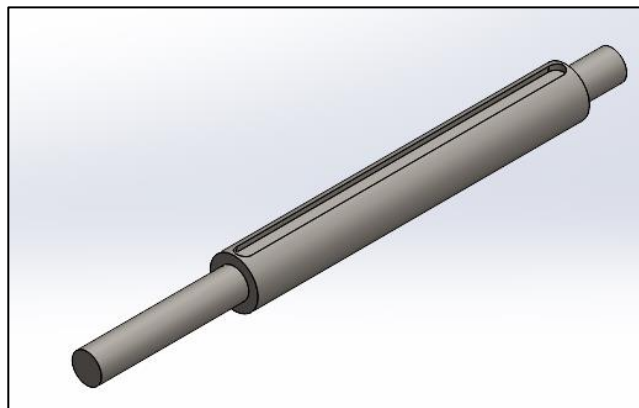


Figura 57 Vista isométrica del eje de la máquina trituradora en SolidWorks

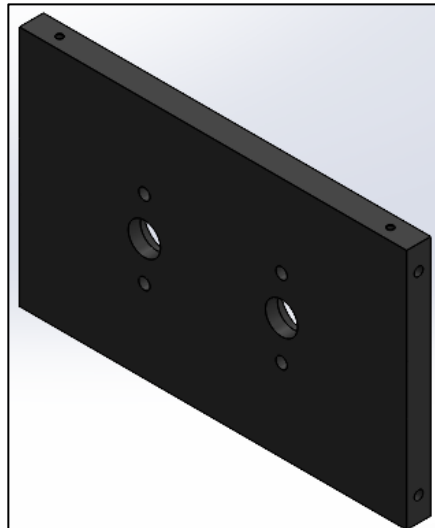


Figura 58 Vista isométrica de la pared frontal de la cámara de trituración en SolidWorks

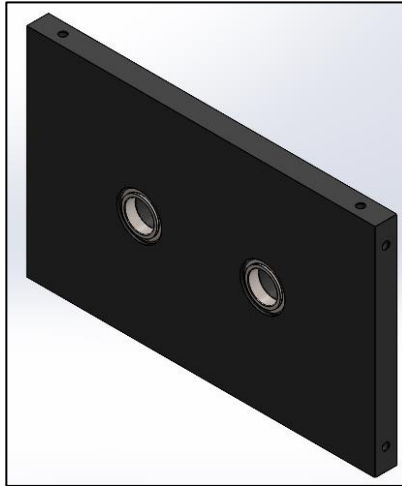


Figura 59 Vista isométrica de la pared frontal de la cámara de trituración con rodamientos en SolidWorks

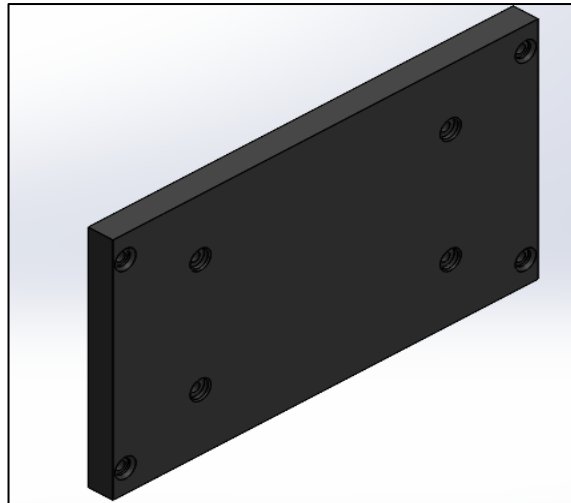


Figura 60 Vista isométrica de la pared lateral de la cámara de trituración en SolidWorks

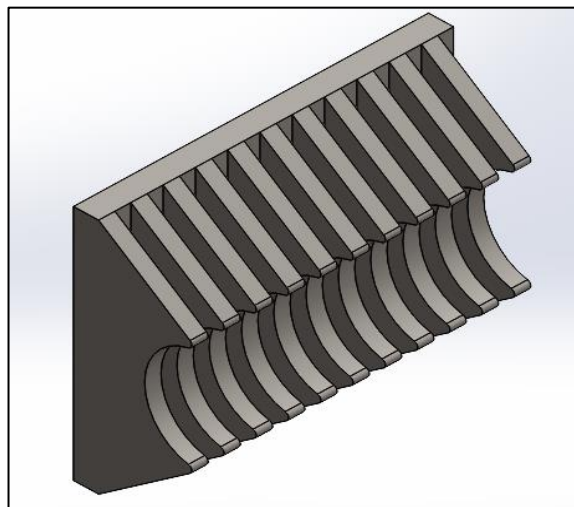


Figura 61 Vista isométrica del complemento de la pared lateral de la cámara de trituración en SolidWorks

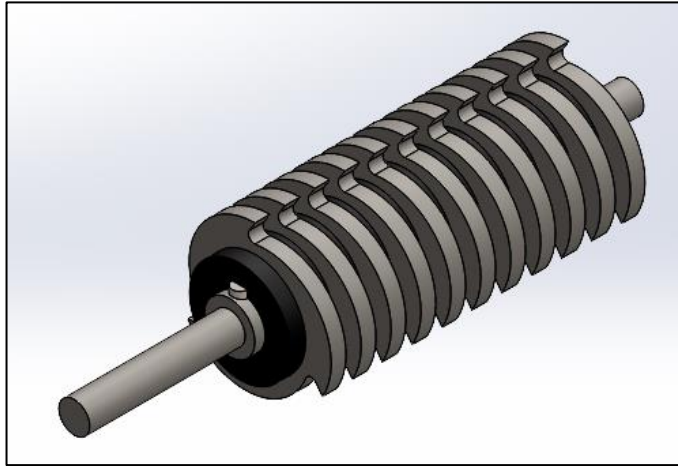


Figura 62 Vista isométrica del ensamblaje del eje con las cuchillas en SolidWorks

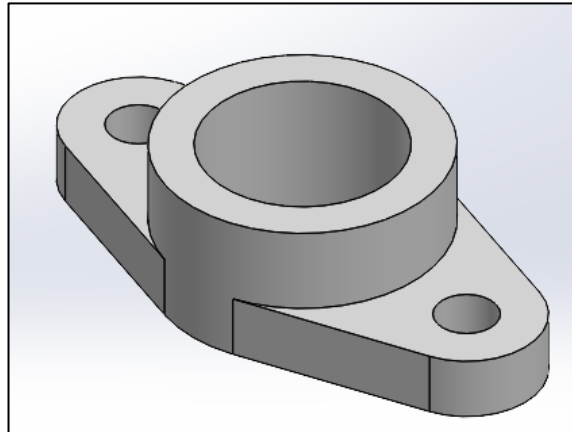


Figura 63 Vista isométrica de la chumacera en SolidWorks

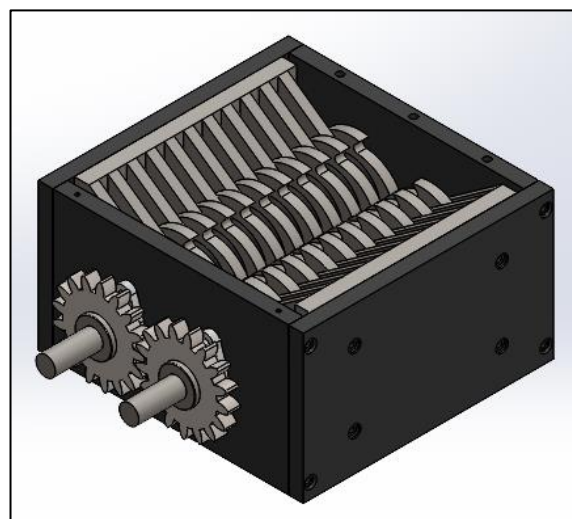


Figura 64 Vista isométrica del ensamblaje final de la cámara de trituración en SolidWorks

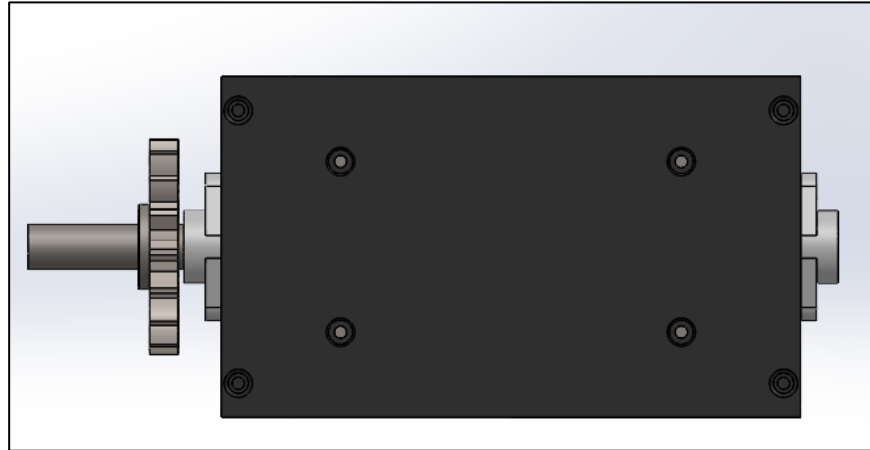


Figura 65 Vista lateral del ensamblaje final de la cámara de trituración en SolidWorks

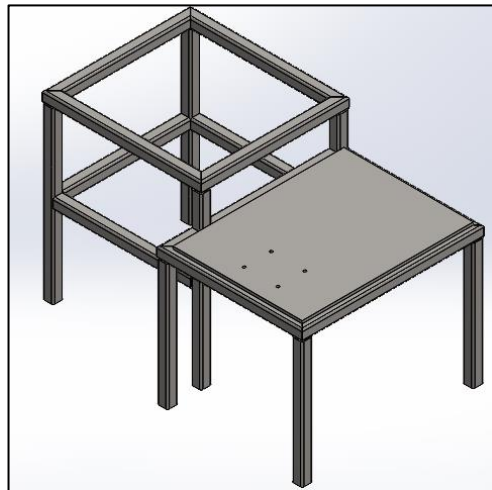


Figura 66 Vista isométrica de la estructura en SolidWorks

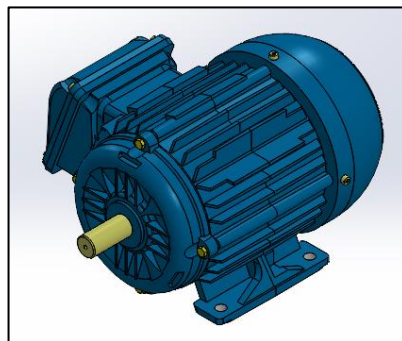


Figura 67 Vista isométrica del motor eléctrico en SolidWorks

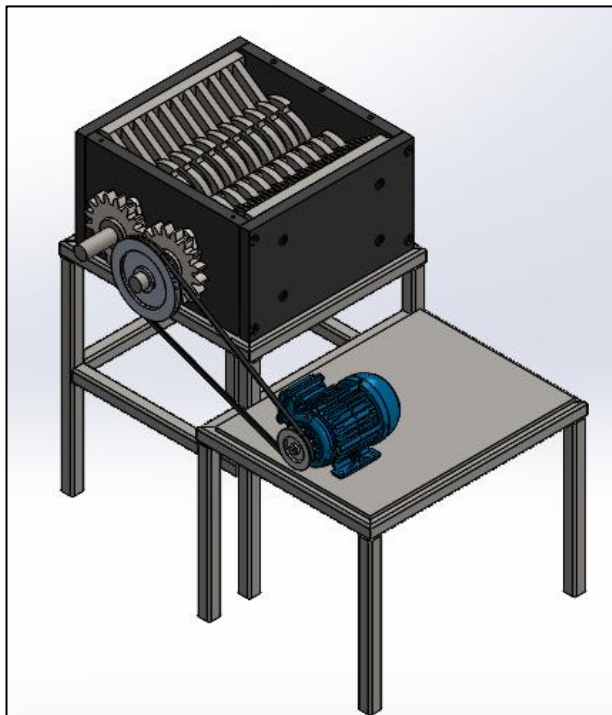


Figura 68 Vista isométrica del ensamblaje final de la máquina trituradora en SolidWorks

4.9.2. CAE de los componentes de la máquina trituradora

En esta sección se mostrará los CAE de los componentes de la máquina trituradora.

- **CAE de las cuchillas**

El mallado que se utilizó en la cuchilla fue un mallado solido con elementos cuadráticos (Figura 69) y en la tabla 9 se muestra la información de la malla.

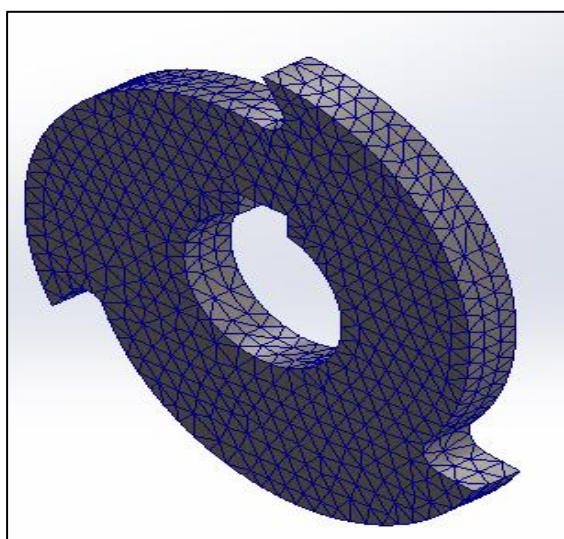


Figura 69 Mallado de la cuchilla

Tabla 9 Información de malla de la cuchilla

Parámetros	Resultados
Puntos jacobianos	16 puntos
Tamaño de elementos	7,49096 mm
Tolerancia	0,374548 mm
Número total de nodos	12734
Número total de elementos	7729
Coefficiente máximo de aspecto	4,2169
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es >10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

Fuente: SolidWorks 2020

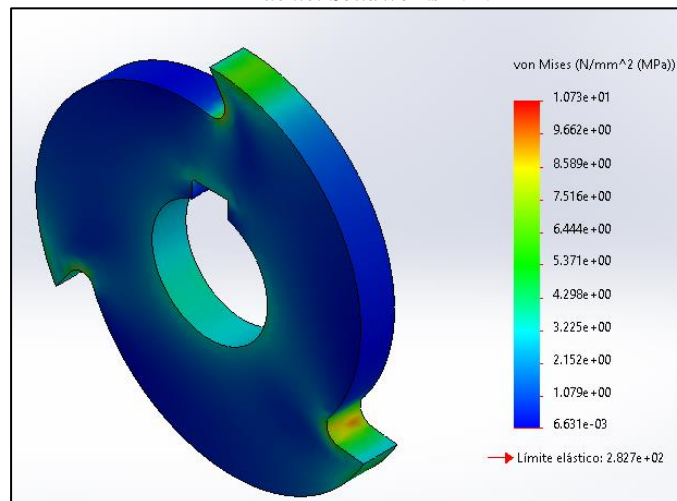


Figura 70 Resultados de von Mises de la cuchilla

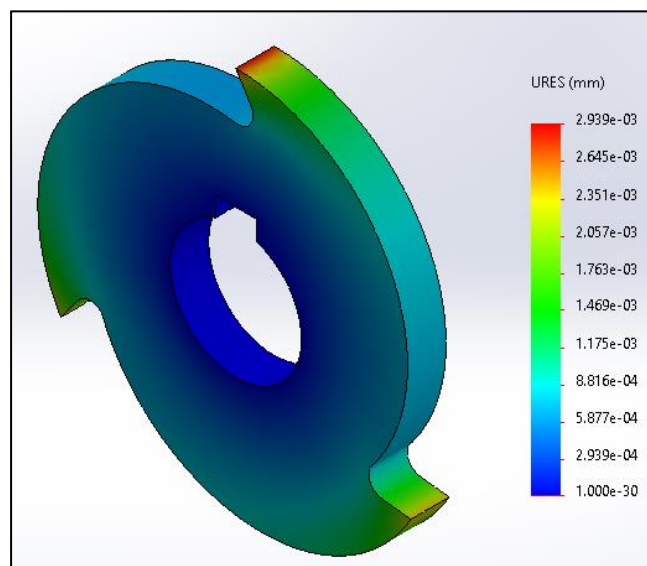


Figura 71 Resultados de desplazamiento de la cuchilla

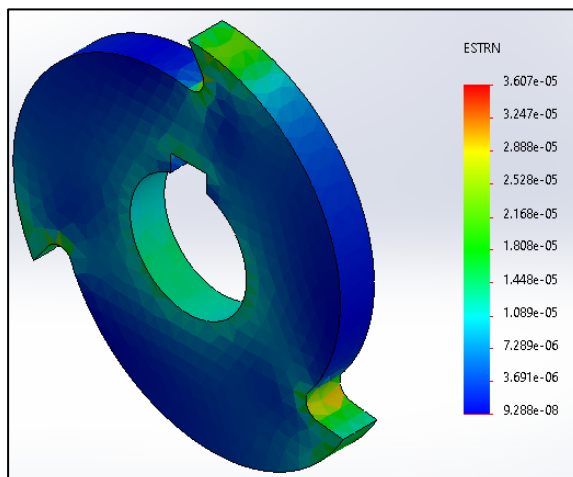


Figura 72 Resultados de deformación unitaria de la cuchilla

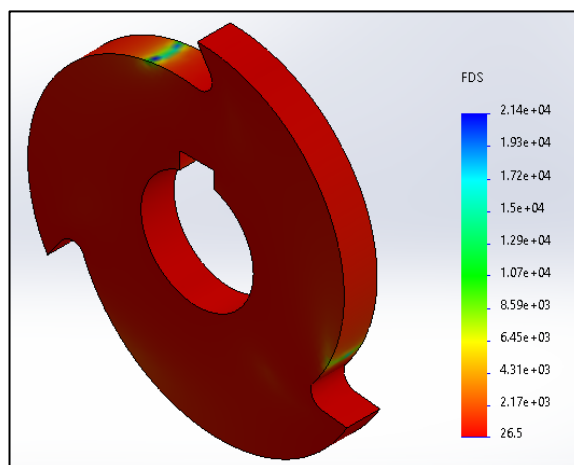


Figura 73 Resultados de factor de seguridad de la cuchilla

Los resultados obtenidos por el software se recopilan en la tabla 10.

Tabla 10 Resultados del CAE de la cuchilla

Magnitud	Unidad	Valor mínimo	Valor máximo
Von Mises	MPa	6,631 e-03	1,073 e+01
Desplazamiento	mm	1,000 e-30	2,939 e-03
Deformación	Adimensional	9,288 e-08	3,607 e-05
Factor de seguridad	Adimensional	26,5	---

Con respecto a los esfuerzos nos damos cuenta de que la mayor concentración se encuentra en las puntas de las cuchillas, como se puede apreciar en la figura 70. El desplazamiento y la deformación es mínima en la mayor parte de la cuchilla como podemos observar en la figura 71 y 72 respectivamente. Además, tenemos un factor de seguridad bastante bueno ya que está por encima del valor recomendado. Finalmente, al realizar el análisis de fatiga el

software no arrojó resultados debido a que a las tensiones están por debajo del valor mínimo de la curva S-N, por lo que no provoca daños.

- **CAE del eje de la máquina trituradora**

El mallado que se utilizó en la cuchilla fue un mallado sólido con elementos cuadráticos (Figura 74) y en la tabla 11 se muestra la información de la malla.

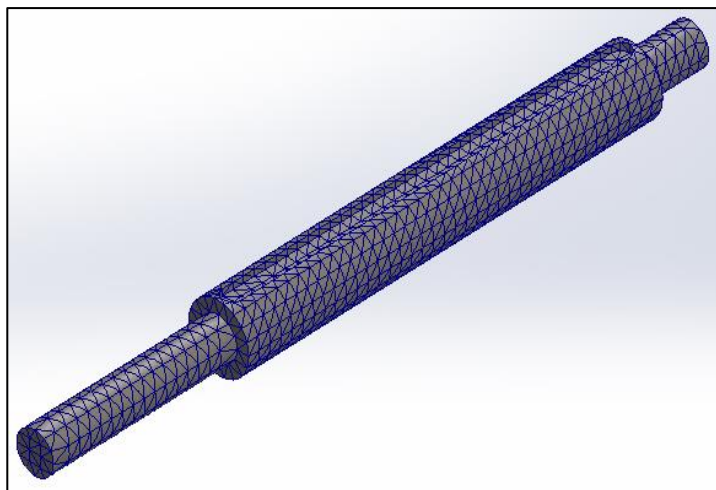


Figura 74 Mallado del eje

Tabla 11 Información de la malla del eje

Parámetros	Resultados
Puntos jacobianos	16 puntos
Tamaño de elementos	12,0717 mm
Tolerancia	0,603583
Número total de nodos	12503
Número total de elementos	7744
Coeficiente máximo de aspecto	3,3444
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es >10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

Fuente: SolidWorks 2020

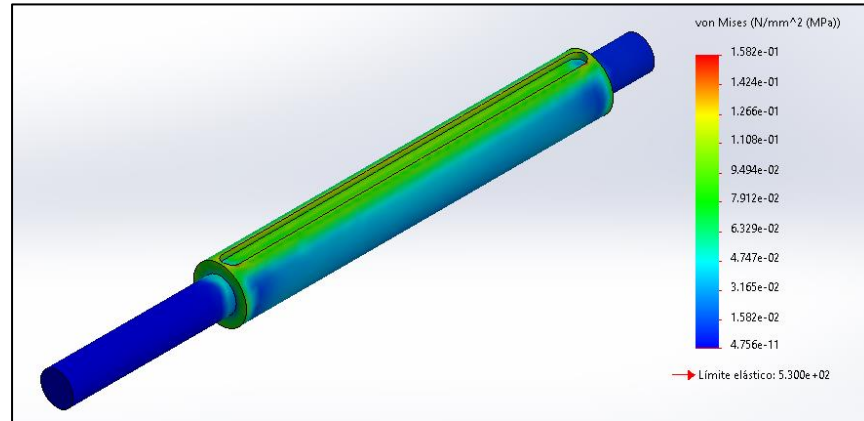


Figura 75 Resultados de von Mises del eje

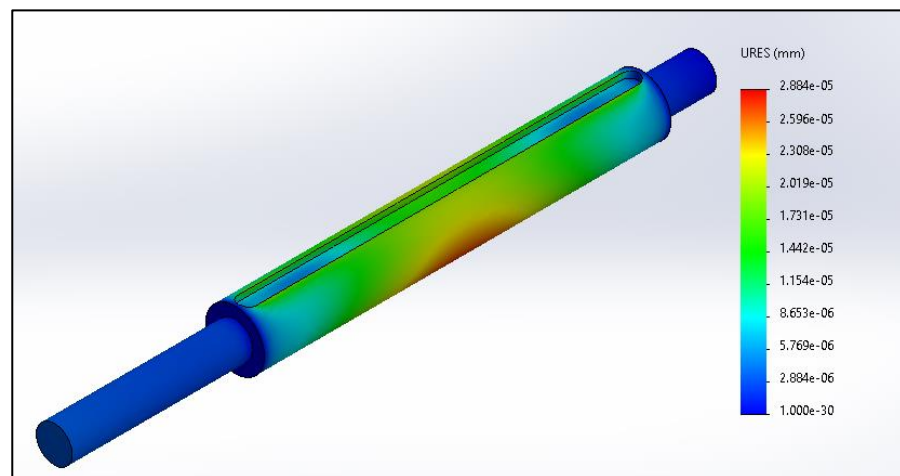


Figura 76 Resultados de desplazamiento del eje

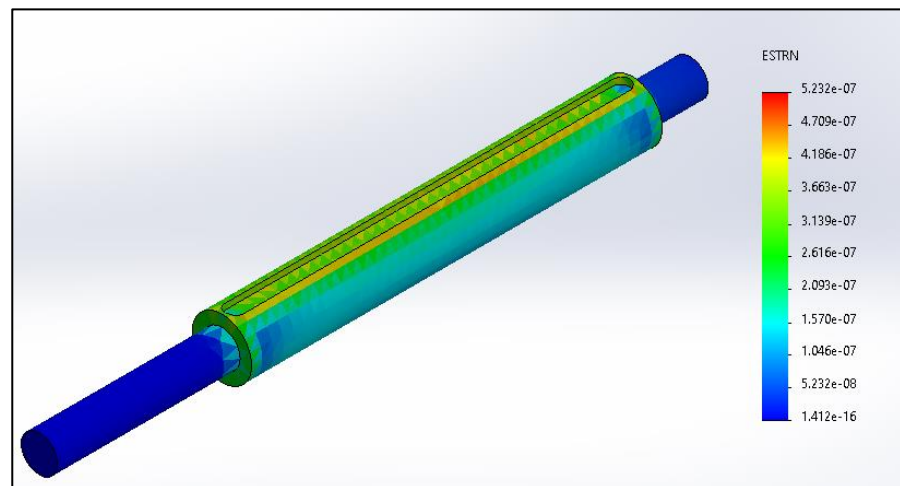


Figura 77 Resultados de deformación unitaria del eje

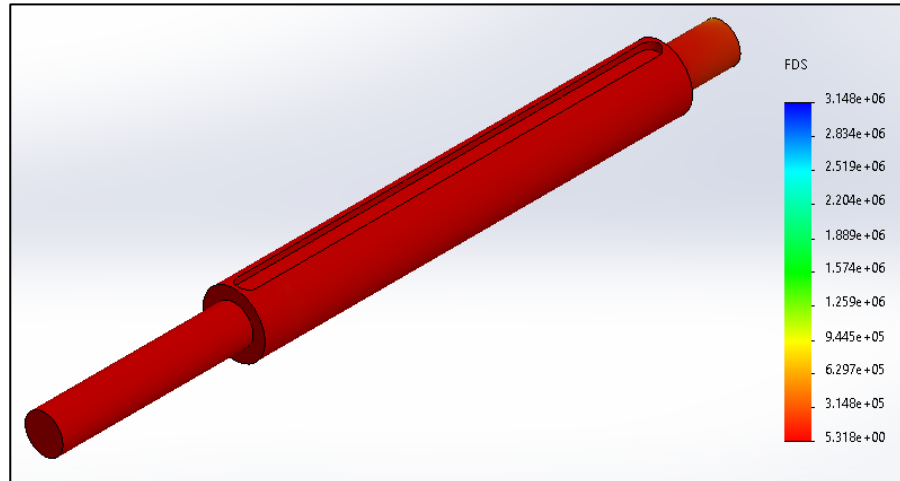


Figura 78 Resultados de factor de seguridad del eje

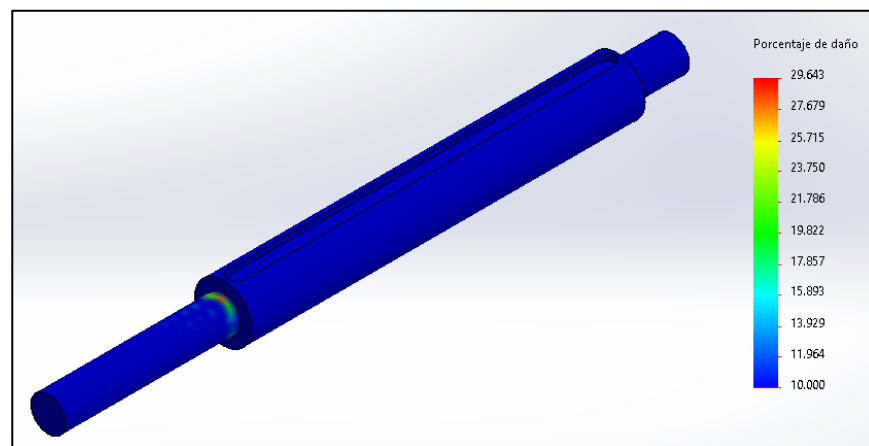


Figura 79 Resultados del porcentaje de daño del eje

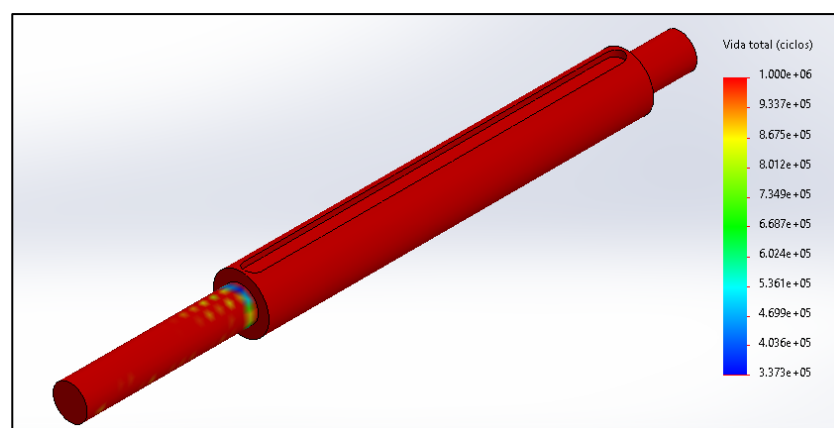


Figura 80 Resultados de vida útil del eje

Los resultados obtenidos por el software se recopilan en la tabla 12.

Tabla 12 Resultados del CAE del eje

Magnitud	Unidad	Valor mínimo	Valor máximo
Von Mises	MPa	4,756 e-11	1,582 e-01
Desplazamiento	mm	1,000 e-30	2,884 e-05
Deformación	Adimensional	1,412 e-16	5,232 e-07
Factor de seguridad	Adimensional	5,318	---
Porcentaje de daño	%	10,000	29,643
Vida útil	Ciclos	3,373 e+05	1,000 e+06

Con respecto a los esfuerzos nos damos cuenta de que la mayor concentración se encuentra en el cambio de sección del eje en la parte del centro, como se puede observar en la figura 75. El desplazamiento y la deformación es mínima en la mayor parte de la cuchilla como podemos observar en la figura 76 y 77 respectivamente. También, obtuvimos un factor de seguridad igual a 5,32, que es superior al valor recomendado. Finalmente, para realizar el análisis de fatiga se consideró un número de ciclos igual a 100 000, y como podemos observar en la figura 79 el porcentaje de daño será igual al 10 por ciento en la mayor parte del eje, y con respecto a los resultados de vida útil nos damos cuenta de que en cambio de sección del eje es donde posiblemente haya una falla por fatiga, pero en el resto del eje se obtuvo un valor de 1×10^6 ciclos, lo que significa que tiene vida infinita.

- **CAE de la estructura**

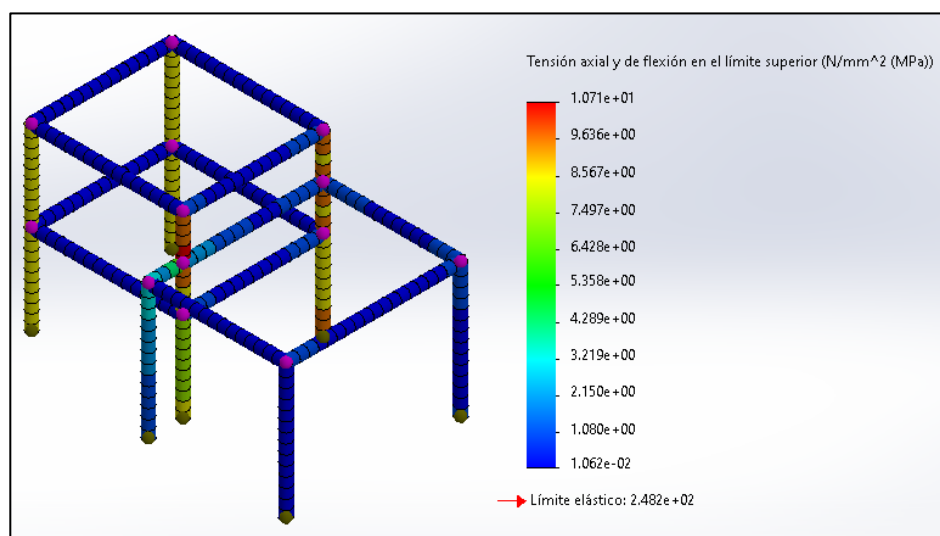


Figura 81 Resultados de la tensión axial y flexión en el límite superior de la estructura

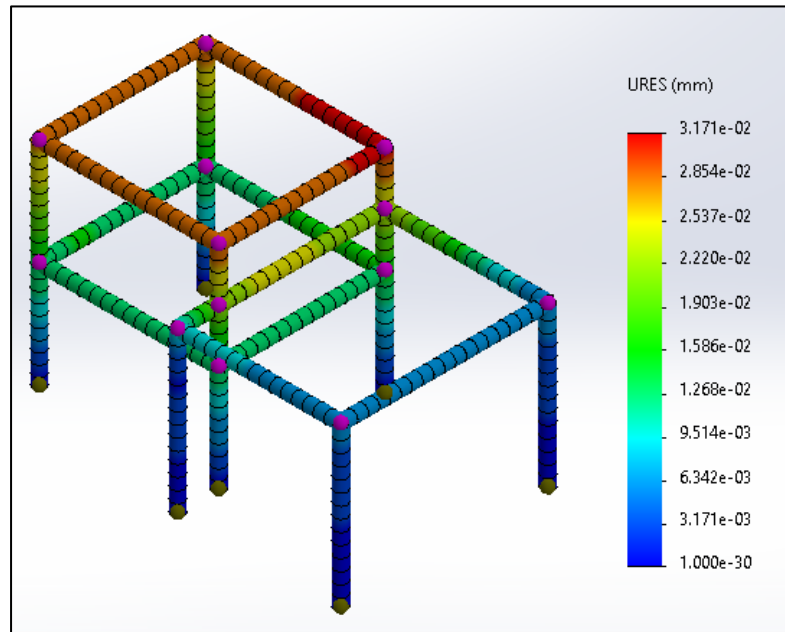


Figura 82 Resultados de desplazamiento de la estructura

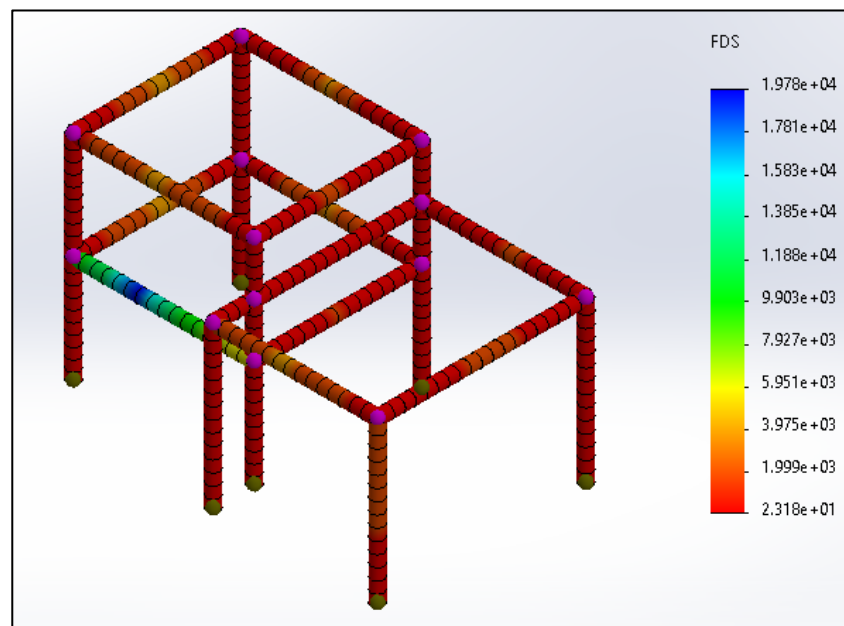


Figura 83 Resultados de factor de seguridad de la estructura

Los resultados obtenidos por el software se recopilan en la tabla 13.

Tabla 13 Resultados del CAE de la estructura

Magnitud	Unidad	Valor mínimo	Valor máximo
Von Mises	MPa	$1,062 e-02$	$1,071 e+01$
Desplazamiento	mm	$1,000 e-30$	$3,171 e-02$
Deformación	Adimensional	23,18	---

Analizando los resultados de la tabla 13, tenemos que el esfuerzo mínimo se encuentra en la parte inferior de la estructura como se observa en la figura N°81, el desplazamiento está comprendido en un intervalo de 1×10^{-30} y $3,17 \times 10^{-2}$ mm, y un factor de seguridad igual a 23,818, que es un valor muy bueno ya que es superior al valor recomendado.

- **CAE del ensamblaje**

El mallado que se utilizó en la cuchilla fue un mallado solido con elementos cuadráticos (Figura 84) y en la tabla 14 se muestra la información de la malla.

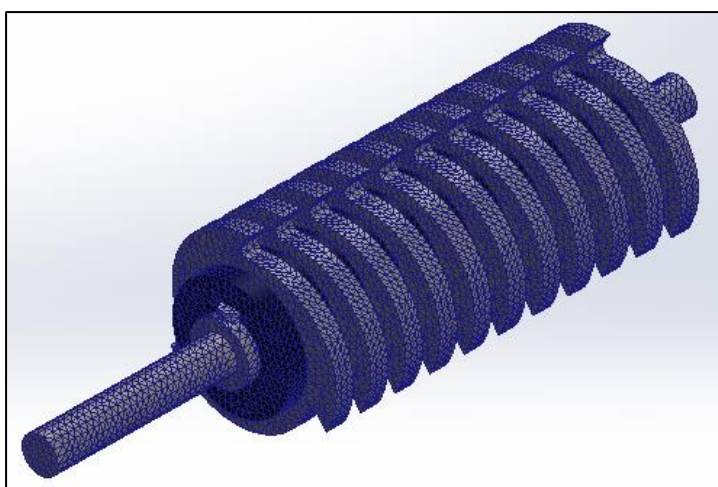


Figura 84 Mallado del eje

Tabla 14 Información de malla del ensamblaje

Parámetros	Resultados
Puntos jacobianos	16 puntos
Tamaño de elementos	21,8177 mm
Tolerancia	1,09089 mm
Número total de nodos	298927
Número total de elementos	184462
Coficiente máximo de aspecto	4,6403
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es >10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0

Fuente: SolidWorks 2020

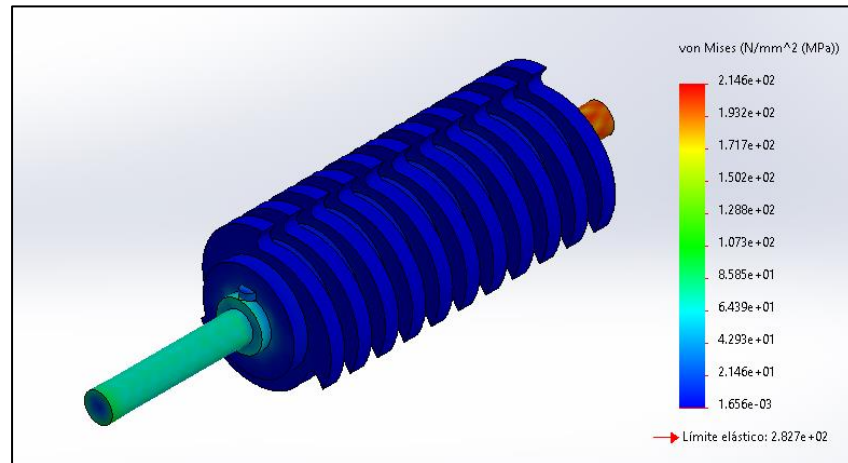


Figura 85 Resultados de von Mises del ensamblaje

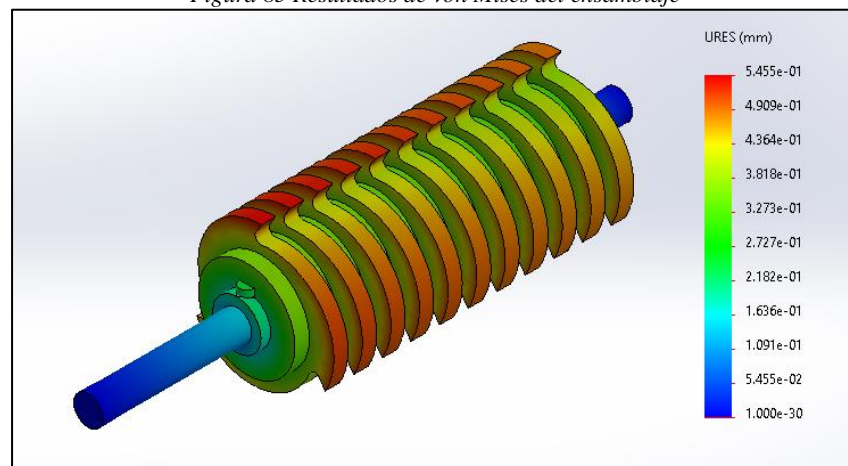


Figura 86 Resultados del desplazamiento del ensamblaje

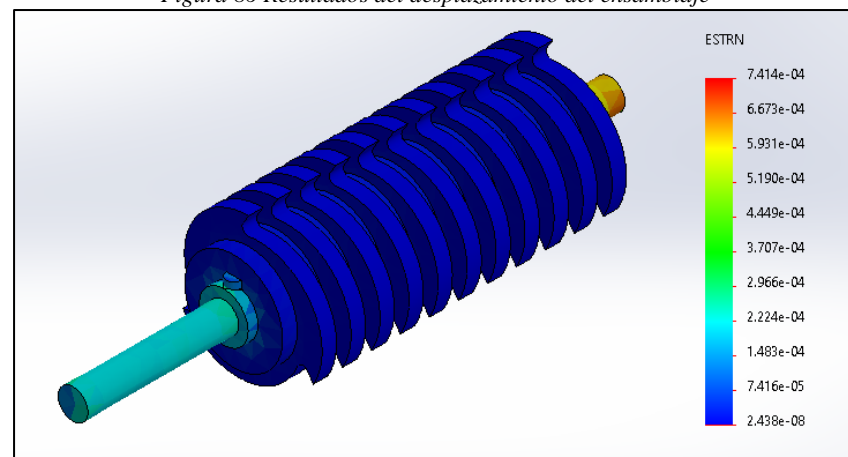


Figura 87 Resultados de la deformación del ensamblaje

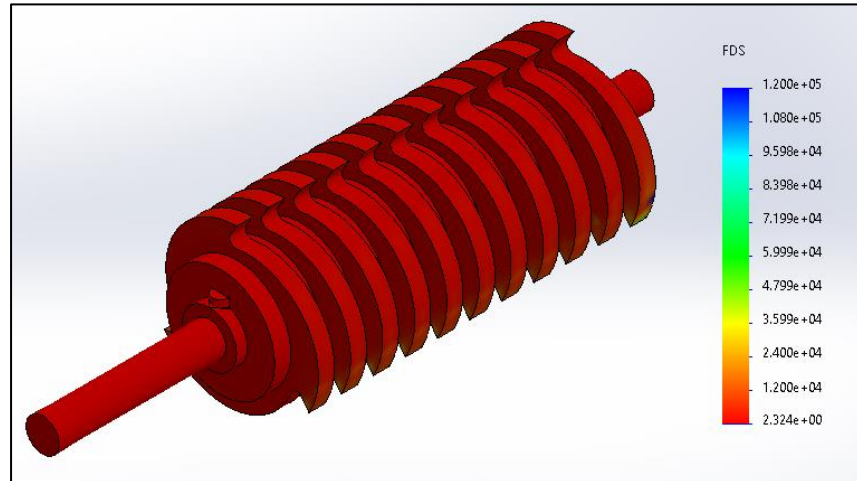


Figura 88 Resultados del factor de seguridad del ensamblaje

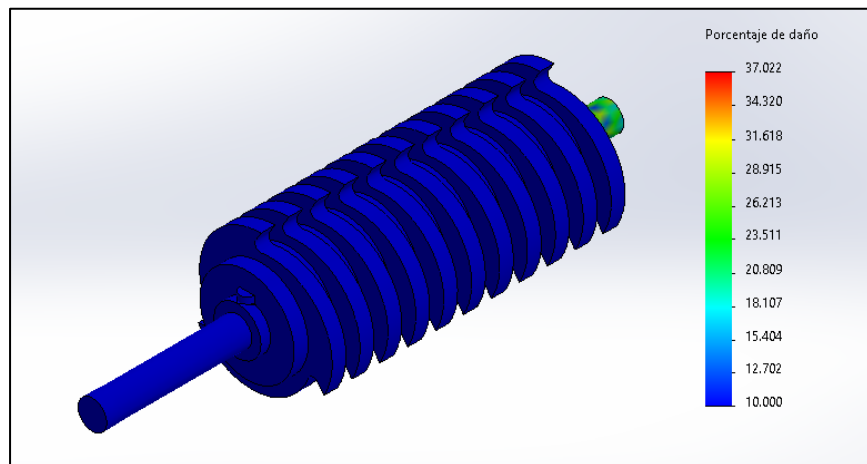


Figura 89 Resultados del porcentaje de daño del ensamblaje

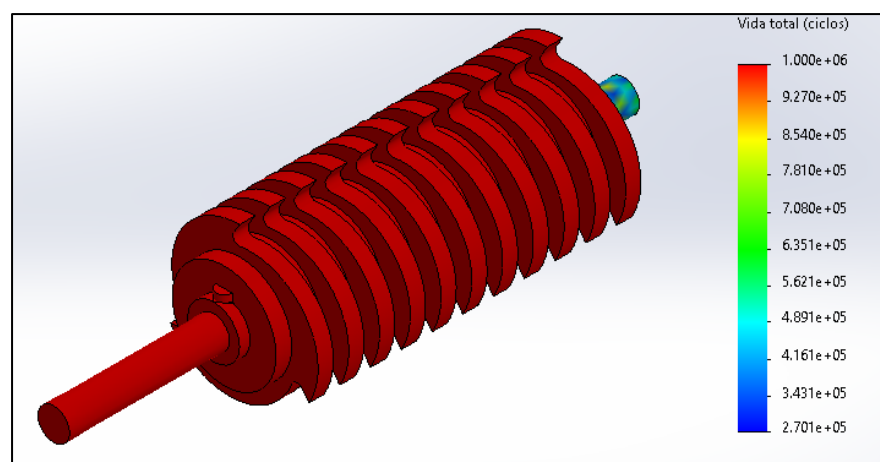


Figura 90 Resultados de vida útil del ensamblaje

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 15.

Tabla 15 Resultados del CAE del ensamblaje

Magnitud	Unidad	Valor mínimo	Valor máximo
Von Mises	MPa	1,656 e-03	2,146 e+02
Desplazamiento	mm	1,000 e-30	5,455 e-01
Deformación	Adimensional	2,438 e-08	7,414 e-04
Factor de seguridad	Adimensional	2,324	---
Porcentaje de daño	%	10,000	37,022
Vida útil	Ciclos	2,701 e+05	1,000 e+06

Como podemos observar en la figura 85 el esfuerzo en las todas las cuchillas es el mismo, y solo hay una variación en el cambio de sección del eje, el valor del desplazamiento es insignificante debido a que es igual a 1×10^{-30} , la deformación está comprendida en un intervalo de $2,438 \times 10^{-8}$ y $7,414 \times 10^{-4}$, y el factor de seguridad igual a 2,324, dando un valor admisible. Finalmente, se consideró un número de ciclos igual a 100 000 para el análisis de fatiga, y cómo podemos observar en la figura 89 el porcentaje de daño está comprendido en un intervalo entre 10 y 37,02 por ciento, y con respecto a los resultados de vida útil nos damos cuenta de que el ensamblaje presenta un valor de 1×10^6 ciclos en la mayor parte, lo que significa que tiene vida infinita.

4.10. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Para empezar con los cálculos del dimensionamiento es necesario tener en cuenta los valores que fueron calculados en el punto 4.1 (tabla 13).

Tabla 16 Resultados de los cálculos del punto 4.1

Magnitud	Valor	Unidad
L = Consumo diario de la trituradora	23 862,4	Wh
HPS del mes menos favorable	4,475	Adimensional
P_{mg} = (potencia pico del generador)	5,327	kW

El diseño del sistema se realizará con un conjunto de baterías que suministren un voltaje de 48 voltios, ya que es un valor adecuado para el

abastecimiento de energía para la máquina trituradora con dicha demanda energética. Generalmente los voltajes empleados en instalaciones fotovoltaicas son de: 48V, 24V y 12V. Para este caso se trabajará con un voltaje de 48V, puesto que, al incrementar la tensión genera una reducción en la corriente de los conductores que están acoplados al generador FV, con el regulador y la batería, y por esta razón pueden utilizarse cables de sección más pequeña trabajando dentro de los límites aceptables de tensión. Una gran ventaja que se consigue al trabajar con 48V es que se pueden instalar más paneles en serie y esto logra disminuir la corriente del generador FV, también disminuye la corriente de cortocircuito, y por ende también se reduce la corriente máxima que debe manejar el regulador [32].

4.10.1. Módulos fotovoltaicos

En este punto vamos a calcular el número de módulos que se van a enlazar en paralelo y en serie. Seleccionamos los módulos fotovoltaicos SUNTECH 330W Monocristalino, con una tensión máxima de alimentación $V_{mpp} = 34,7 V$, con una corriente en el punto máximo de potencia $I_{mpp} = 9,52 A$, corriente de cortocircuito $I_{SC} = 10,13 A$, voltaje en circuito abierto $V_{OC} = 40,7 V$, y la eficiencia del módulo es del 19,5%. Los valores mencionados anteriormente se obtuvieron de la ficha técnica del módulo fotovoltaico, la cual se encuentra en el anexo N°13 y N°14.

Teniendo en cuenta los valores del módulo fotovoltaico y los valores del consumo diario total procedemos a calcular el total de paneles que se van a utilizar con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$N_T \geq \frac{E_p}{P \times HSP} \dots \dots \dots (34)$$

donde: N_T , es el número total de paneles; E_p , es la energía necesaria; P , es la potencia del panel elegido; HSP, es la hora solar pico del mes menos favorable (Junio y Julio). [40]

$$N_T \geq \frac{23\ 862,4\ Wh}{330\ W \times 4,475}$$

$$N_T \geq 16,16$$

Para tener uniformidad se redondea el número total de paneles, entonces quedará de la siguiente manera:

$$N_T = 18$$

A continuación, se calcula el número de paneles en serie con ayuda de la siguiente ecuación:

$$N_s \geq \frac{V_{bat}}{V_{mpp}} \dots \dots \dots (35)$$

donde: N_s , es el número de módulos en serie; V_{bat} , es el voltaje de la batería; V_{mpp} , es el voltaje máximo. [32]

$$N_s \geq \frac{48 V}{34,7 V}$$

$$N_s \geq 1,38$$

$$N_s = 2$$

Ahora calculamos el número de paneles en paralelo, con ayuda de la siguiente ecuación:

$$N_p \geq \frac{N_T}{N_s} \dots \dots \dots (36)$$

donde: N_p , es el número de módulos en paralelo; N_T , es el número total de paneles; N_s , es el número de módulos en serie [42]

$$N_p \geq \frac{18}{2}$$

$$N_p \geq 9,00$$

$$N_p = 9$$

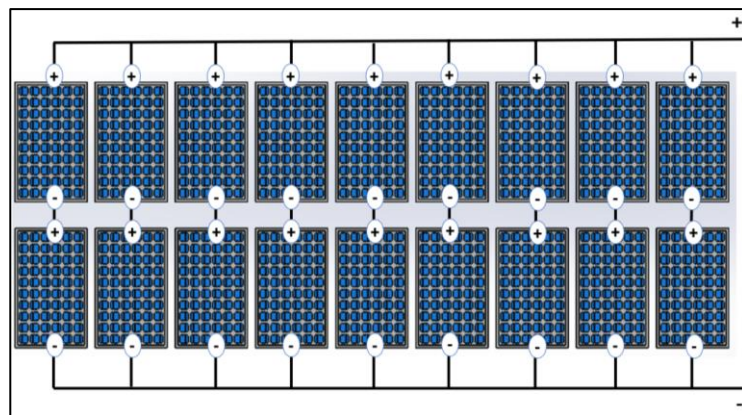


Figura 91 Conexión paralelo-serie de paneles fotovoltaicos

Teniendo en cuenta los valores N_s y N_p , procedemos a calcular el factor de seguridad con la ecuación N°36. [32]

$$FS = \frac{N_s \times V_{mpp} \times N_p \times I_{mpp} \times HPS}{L} \dots \dots \dots (36)$$

$$FS = \frac{2 \times 34,7V \times 9 \times 9,52A \times 4,475}{23\ 862,4\ Wh}$$

$$FS = 1,11$$

Finalmente procedemos a calcular el área por módulo fotovoltaico y el área total con las especificaciones de la ficha técnica, la cual se muestra en el anexo N°13.

$$A_{por\ un\ módulo} = largo \times ancho$$

$$A_{por\ un\ módulo} = (1,684\ m) \times (1,002\ m)$$

$$A_{por\ un\ módulo} = 1,687\ m^2$$

$$A_{total} = A_{por\ un\ módulo} \times N_s \times N_p$$

$$A_{total} = (1,687\ m^2) \times (2) \times (9)$$

$$A_{total} = 30,366\ m^2$$

4.10.2. Inclinación de los paneles solares

Para definir el ángulo es necesario identificar en que parte se encuentra el país con respecto a la línea ecuatorial, para ello utilizaremos la figura 92.

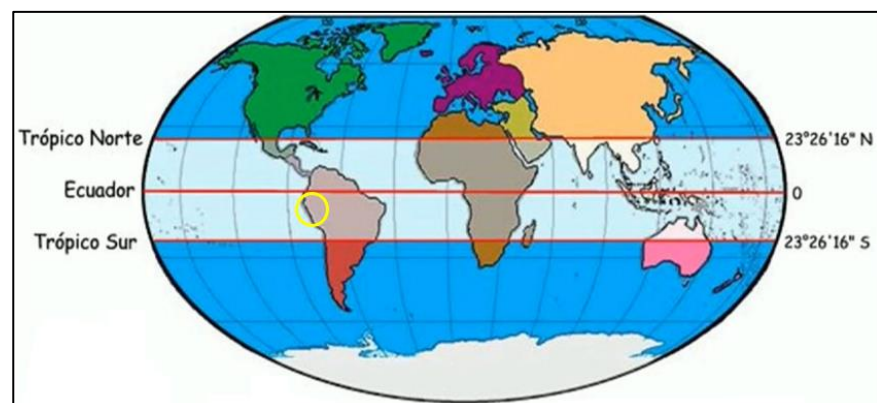


Figura 92 Posición de los Trópicos en el mapa de la Tierra

Como podemos observar en la figura 92 el Perú se encuentra en el trópico sur, por ende, está por debajo de la línea ecuatorial, lo que significa que la posición de los paneles solares se debe colocar apuntando hacia el norte, ya que los paneles siempre deberán apuntar hacia la línea ecuatorial [27].

Con respecto a la inclinación de los paneles, esto dependerá del valor de la latitud de la zona, en este caso la latitud para Chiclayo es de $6,8^\circ$, entonces, cuando la latitud está comprendida en un intervalo de 0° a 15° , se recomienda usar un ángulo de 15 grados [19].

4.10.3. Distancia mínima entre paneles

Entre paneles es necesario que exista una distancia mínima, ya que de esta forma evitamos que un panel le haga sombra a otro, esto lo podemos observar en la figura 93. Y para realizar el cálculo utilizaremos la ecuación (37) y (38). [41]

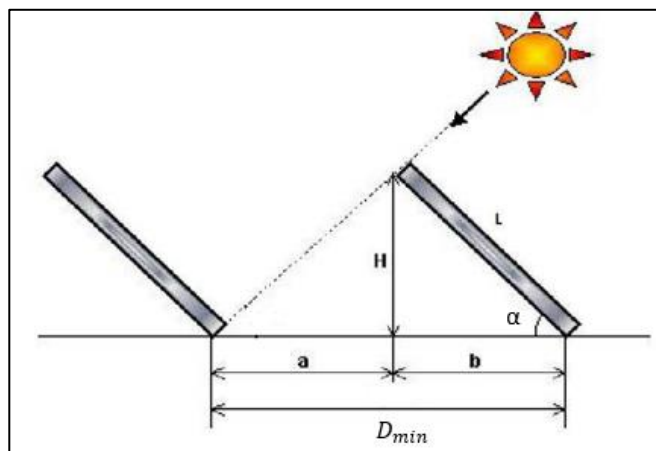


Figura 93 Distancia mínima entre filas de paneles

$$H = (90^\circ - \text{Latitud del lugar}) - 23,5^\circ \dots \dots \dots (37)$$

$$H = (90^\circ - 6,8^\circ) - 23,5^\circ$$

$$H = 59,7^\circ$$

$$D_{min} = L \times \left(\cos(\alpha) + \frac{\text{sen}(\alpha)}{\text{Tg}(H)} \right) \dots \dots \dots (38)$$

$$D_{min} = 1,640 \text{ m} \times \left(\cos(15) + \frac{\text{sen}(15)}{\text{Tg}(59,7)} \right)$$

$$\mathbf{D_{min} = 1,83 \text{ m}}$$

Ahora que conocemos la distancia mínima que es igual a 1,83 metros, es recomendable aumentar un 20% de esta forma se evitara por completo las sombras. Entonces tendríamos que la distancia mínima será de 2,20 metros.

4.10.4. Estructura de sujeción del panel fotovoltaico

Para seleccionar la estructura soporte de la instalación debemos tener en consideración el ángulo de inclinación óptimo, según el cálculo previo el ángulo será igual a 15° , por ende, se procede a buscar una estructura en el mercado con dichas características. La estructura soporte seleccionada fue: “Estructura cubierta plana 1 ud CVE915 15° ”, las características se pueden observar en el anexo N°16.

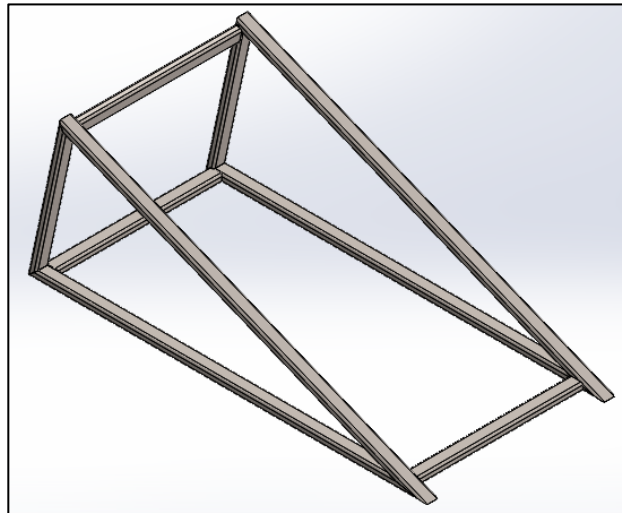


Figura 94 Estructura para panel solar

4.10.5. Capacidad de la batería

Primero se calculará la energía de la que se debe disponer diariamente, con la ayuda de la siguiente ecuación:

$$C_{nb} = \frac{E_{ct} \times (D_{out} + 1)}{V_{nom} \times P_{Dmax} \times \eta_D}$$

donde: C_{nb} , es la capacidad nominal del banco de baterías [en Ah/día]; E_{ct} , es el consumo de energía diario; D_{out} , son los días de autonomía; V_{nom} , es el voltaje nominal del sistema; η_D , es la eficiencia de la descarga; P_{Dmax} , es la profundidad máxima de descarga de la batería. [42].

$$C_{nb} = \frac{23\,862,4 \text{ Wh} \times (2 \text{ dias})}{48\text{V} \times 0,80 \times 0,90}$$

$$C_{nb} = 1\,380,93 \text{ Ah}$$

Teniendo el valor de C_t se busca una batería con un valor aproximado en el mercado, pero como no es un valor estandarizado se realizará un banco de baterías tomando en cuenta que el modelo seleccionado, el cual es una Batería R12-300LFP de la marca Rolls (anexo N°17 y N°18). A

continuación, se determina el número de baterías en serie utilizando la siguiente ecuación:

$$N_{BS} = \frac{V_{CC}}{V_{bat}}$$

$$N_{BS} = \frac{48 V}{12 V}$$

$$N_{BS} = 4$$

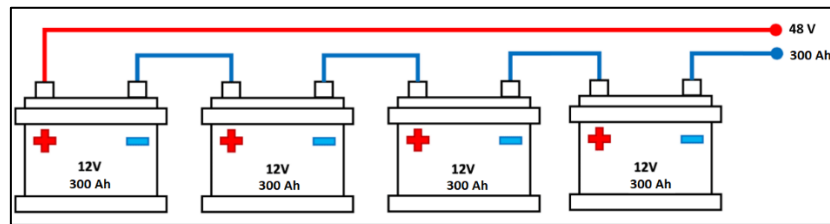


Figura 95 Conexión de baterías en serie

Posteriormente, se calcula el número de batería en paralelo con la siguiente ecuación:

$$N_{BP} = \frac{C_t}{C_{nom}}$$

$$N_{BP} = \frac{1\ 380,93\ Ah}{300\ Ah}$$

$$N_{BP} = 4,60$$

$$N_{BP} = 5$$

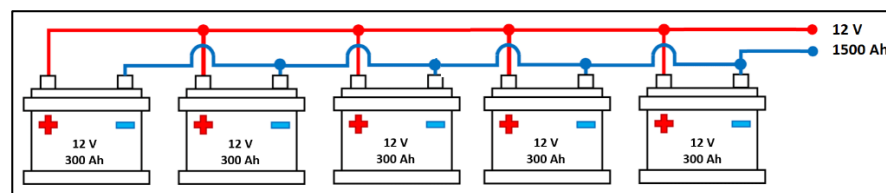


Figura 96 Conexión de baterías en paralelo

A continuación, debemos multiplicar el número de baterías en serie con el número de baterías en paralelo para obtener el número total de baterías, entonces tenemos lo siguiente:

$$N_{BT} = N_{BS} \times N_{BP}$$

$$N_{BT} = 4 \times 5$$

$$N_{BT} = 20$$

Finalmente, se tiene que realizar un esquema total con la conexión en serie-paralelo que unifique el esquema de la figura 95 y la figura 96, entonces como resultado tenemos la figura 97.

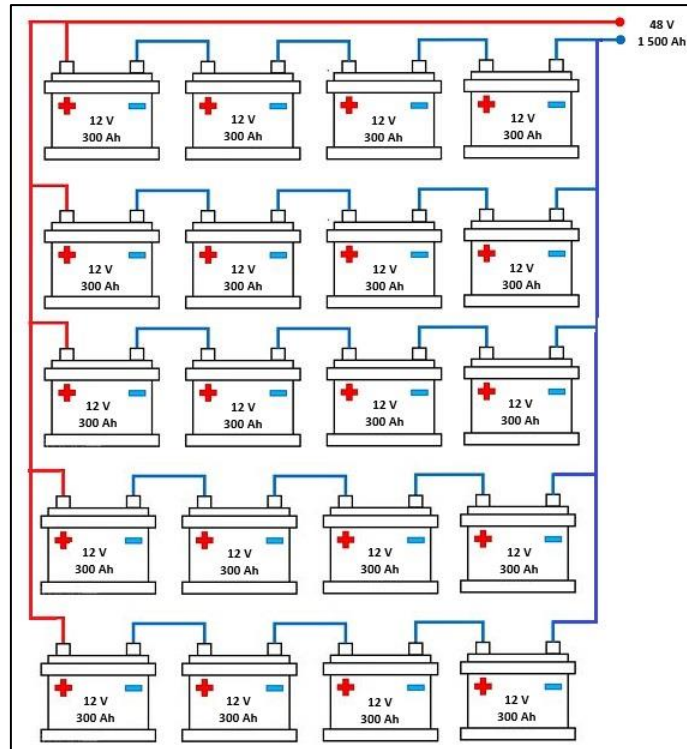


Figura 97 Conexión de baterías en paralelo-serie

4.10.6. Regulador

Es necesario que el regulador sea capaz de aguantar hasta un veinticinco por ciento más de la intensidad de corriente en corto circuito del generador, para ello utilizaremos la siguiente ecuación [40]:

$$I_{regulador} = 1,10 \times N_p \times I_{SC}$$

$$I_{regulador} = 1,10 \times 9 \times 9,82 A$$

$$I_{regulador} = 97,22 A$$

Por ende, se escoge un regulador que soporte 97,22 A, entonces, se seleccionó: “SmartSolar Charge Controller MPPT 250/100 48V”, las especificaciones técnicas se observan en el Anexo N°19 y N°20.

4.10.7. Inversor

Para poder realizar este cálculo es necesario conocer la potencia requerida por el sistema y el rendimiento del inversor, con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$P_s = \frac{P_e}{\mu}$$

donde: P_s , es la potencia de salida del inversor; P_e , es la potencia de entrada del inversor; μ , es el rendimiento del inversor (debido a los modelos en el mercado se considera un valor igual de 90%). [40].

$$P_s = \frac{2\,982,8\text{ W}}{0,9}$$

$$P_s = 3\,314,22\text{ W}$$

Ahora, que conocemos el valor de la potencia de salida del inversor, seleccionamos el inversor: “EasySolar 48/5000/70-50 GX”, las especificaciones técnicas se observan en el anexo N°21 y N°22.

4.10.8. CAD del sistema fotovoltaico

En la figura 98 podemos apreciar la distribución de los módulos fotovoltaicos en la estructura y con la conexión

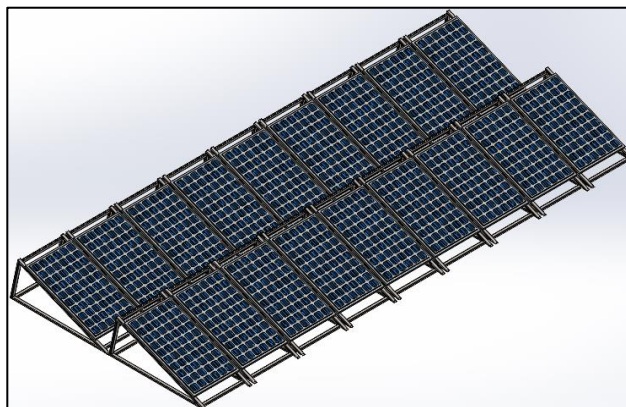


Figura 98 CAD del sistema fotovoltaico

4.11. Validación del dimensionamiento fotovoltaico con el software PVsyst

En esta sección se utilizará el software PVsyst para validar los cálculos teóricos. Primero tendremos que definir la ubicación en el software, con la finalidad de registrar los datos de irradiación solar, esto se muestra en la figura 99 y 100, además, se muestra más detallado en el Anexo N°24.

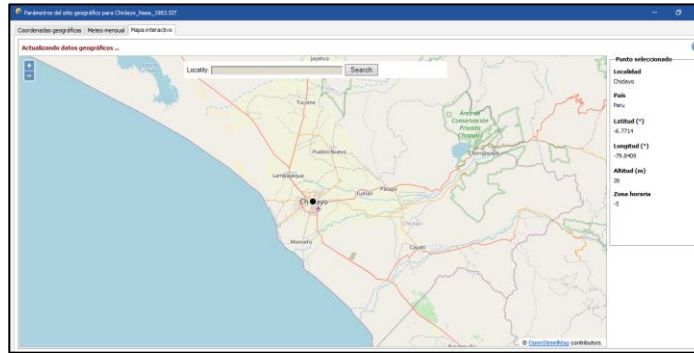


Figura 99 Ubicación geográfica de Chiclayo en el software PVsyst

Parámetros del sitio geográfico para Chiclayo_Nasa_1983.SIT

Coordenadas geográficas | Meteo mensual | Mapa interactivo

Sitio: **Chiclayo (Perú)**

Fuente de datos: Chiclayo_Nasa_1983.SIT -- NASA-SSE satellite data 1983-2005

	Irradiación horizontal global kWh/m ² /día	Irradiación difusa horizontal kWh/m ² /día	Temperatura °C	Turbidez Linke [-]	Humedad relativa %
Enero	5.70	2.19	22.4	3.726	81.9
Febrero	5.55	2.28	22.7	3.651	85.9
Marzo	5.84	2.16	23.0	3.735	83.6
Abril	5.38	1.95	23.2	4.096	77.1
Mayo	4.89	1.75	23.0	4.122	71.2
Junio	4.47	1.67	22.4	3.906	70.4
Julio	4.48	1.74	22.0	3.793	67.4
Agosto	4.91	1.90	22.3	4.132	64.9
Septiembre	5.59	2.07	22.6	4.565	63.8
Octubre	5.95	2.18	22.4	4.013	64.4
Noviembre	5.98	2.13	21.9	3.987	71.1
Diciembre	5.86	2.12	22.1	3.889	75.4
Año	5.38	2.01	22.5	3.968	73.1

Figura 100 Irradiación solar de Chiclayo del software PVsyst

A continuación, se define la orientación que tendrán los paneles solares, esto se muestra en la figura 101. Adicionalmente se debe definir las cargas que están presentes y la distribución de horas que trabajara la máquina, esto se muestra en la figura 102 y 103 respectivamente.

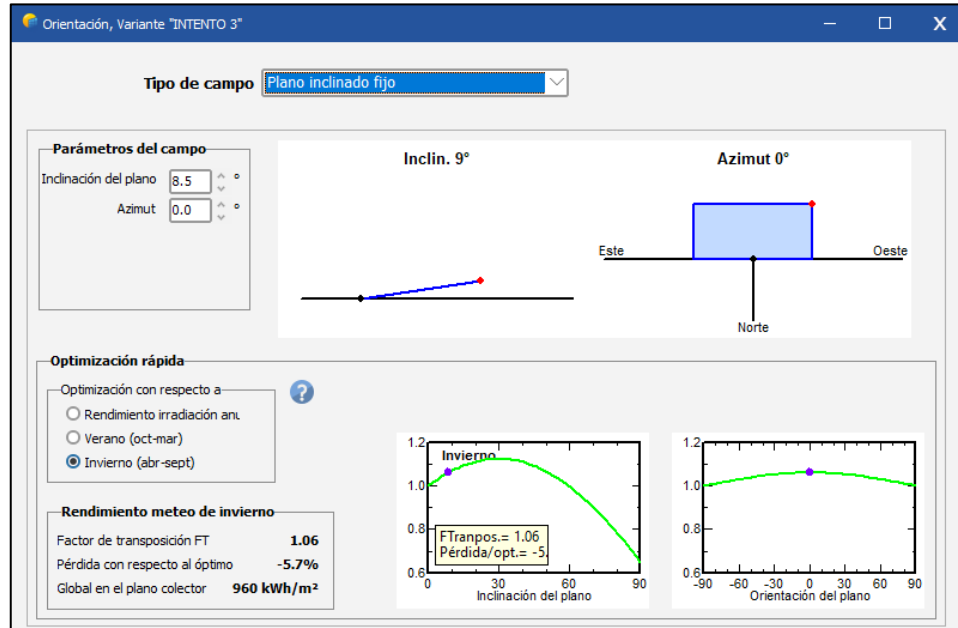


Figura 101 Orientación de los paneles en el software PVsyst

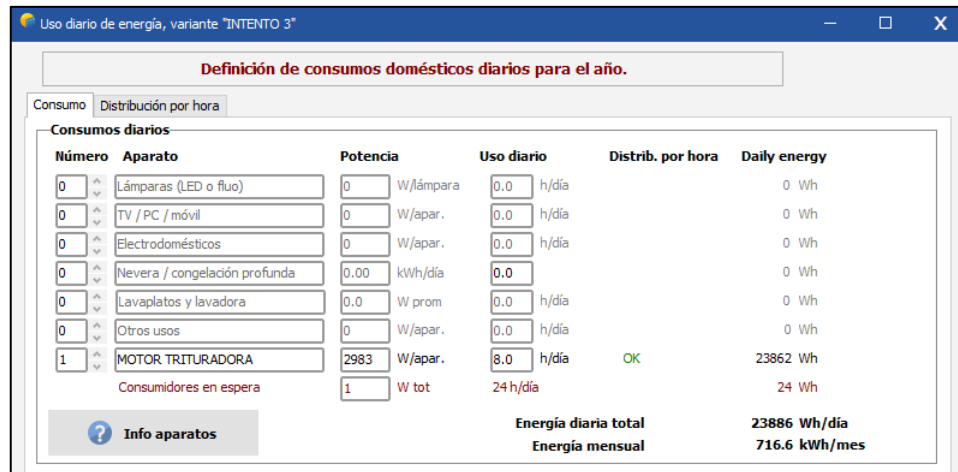


Figura 102 Consumo de energía diario en el software PVsyst

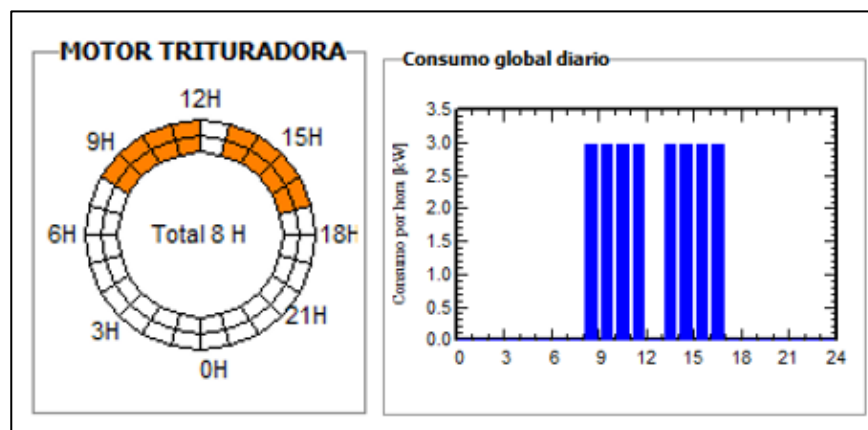


Figura 103 Distribución de horas de trabajo de la máquina trituradora

A continuación, se define los parámetros iniciales, esto se muestra en la figura 104 con estos datos podremos dimensionar el almacenamiento y el conjunto FV del sistema fotovoltaico, esto se muestra en la figura 105 y 106 respectivamente.

Necesidades diarias prom.	Ingrese PLOL aceptado	5.0 %	Voltaje de la batería (usuario)	48 V
23.9 kWh/día	Ingrese autonomía solicitada	2.5 día(s)	Capacidad sugerida	1464 Ah
Pre-dimens. detallado			Potencia FV sugerida	6045 Wp (nom.)

Figura 104 Parámetros iniciales del sistema fotovoltaico

Almacenamiento	Conjunto FV	Respaldo	Esquema Simplificado
Procedimiento			
Las sugerencias de pre-dimensionamiento se basan en el meteo mensual y la definición de necesidades del usuario			
1. - Pre-dimensionamiento	Defina las condiciones de pre-dimensionamiento deseadas (PLOL, autonomía, voltaje de la batería)		
2. - Almacenamiento	Defina la batería (las casillas de verificación predeterminadas se acercarán al pre-dimensionamiento)		
3. - Diseño del conjunto FV	Diseñe el conjunto FV (módulo FV) y el modo de control. Se recomienda comenzar con un controlador universal.		
4. - Respaldo	Defina un grupo electrógeno eventual		
Especifique el conjunto de batería			
Ordenar baterías por	<input checked="" type="radio"/> voltaje <input type="radio"/> capacidad <input type="radio"/> fabricante		
Rolls	12 V	296 Ah	Pb Sealed Plates 12-CS-11PS
Plomo-ácido			
4	<input checked="" type="checkbox"/> baterías en serie	Número de baterías	20
5	<input checked="" type="checkbox"/> baterías en paralelo	Número de elementos	120
100.0	% Estado inicial de desgaste (núm. de ciclos)	Energía total almacenada durante la vida útil de la batería	
100.0	% Estado inicial de desgaste (estático)	125 MWh	
		Voltaje paquete de baterías	48 V
		Capacidad global	1480 Ah
		Energía almacenada (80% DOD)	56.8 kWh
		Peso total	2680 kg
		Núm. de ciclos a 80% DOD	1984

Figura 105 Dimensionamiento del almacenamiento del sistema fotovoltaico

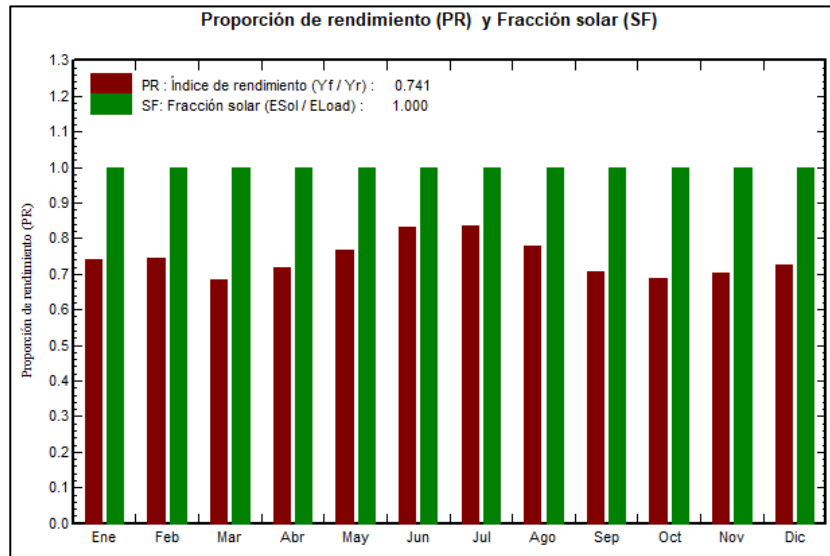


Figura 108 Gráfico de la proporción de rendimiento y fracción solar

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac proporción
Enero	176.7	162.4	825.9	26.7	0.000	740.5	740.5	1.000
Febrero	155.4	147.0	742.9	56.1	0.000	668.9	668.9	1.000
Marzo	181.0	177.0	894.5	113.8	0.000	740.5	740.5	1.000
Abril	161.4	163.3	825.1	95.3	0.000	716.6	716.6	1.000
Mayo	151.6	158.0	805.4	32.2	0.000	740.5	740.5	1.000
Junio	134.1	141.1	724.8	18.2	0.000	716.6	716.6	1.000
Julio	138.9	145.1	744.6	0.0	0.000	740.5	740.5	1.000
Agosto	152.2	156.0	798.3	30.0	0.000	740.5	740.5	1.000
Septiembre	167.7	166.4	841.4	45.6	0.000	716.6	716.6	1.000
Octubre	184.4	176.5	894.8	120.4	0.000	740.5	740.5	1.000
Noviembre	179.4	165.6	840.2	91.9	0.000	716.6	716.6	1.000
Diciembre	181.7	165.7	841.8	77.0	0.000	740.5	740.5	1.000
Año	1964.5	1924.1	9779.7	707.2	0.000	8719.1	8719.1	1.000

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E_Load	Necesidad energética del usuario (Carga)
E_Avail	Energía solar disponible	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada / ECarga)
EUnused	Energía no utilizada (batería llena)		
E_Miss	Energía faltante		

Figura 109 Tabla de balances y resultados principales

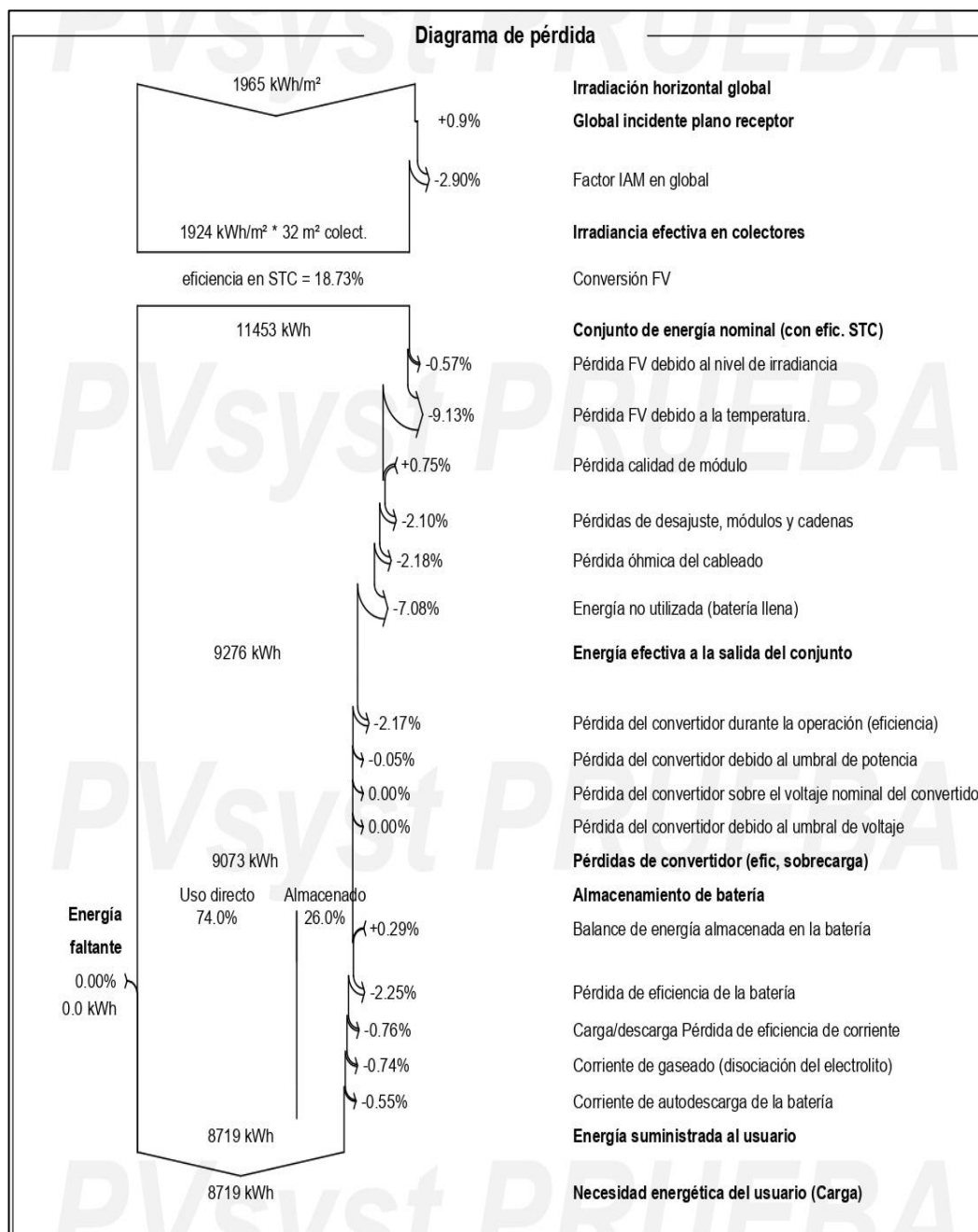


Figura 110 Diagrama de pérdidas del sistema fotovoltaico

4.12. Tamaño adecuado del producto triturado de PET

Debemos tener en cuenta que el proceso de trituración pertenece al tipo de reciclado mecánico, consta en el tratamiento de remanentes plásticos a través de métodos físicos de purificación y la simplificación del material a escamas, y finalmente consiguen ser extruidos y granulados en forma de pellets [33].

Teniendo en cuenta lo anterior, tenemos que el tamaño de los flakes se encuentra comprendidos en un intervalo de dos a treinta milímetros. Una granulometría más fina significa un decrecimiento en el tiempo del proceso, ya que, si existe un crecimiento en la celeridad, entonces, incrementara la reacción en la superficie de contacto [33].

Es recomendable esparcir las botellas con una cantidad prudente de agua en la cámara de corte constantemente para que las escamas de PET se vayan desinfectando parcialmente, además sirve para aminorar la frecuencia de afilado de las cuchillas, y también el agua sirve parcialmente como un lubricante aminorando la fricción y como un refrigerante quitando el calor [34].



Figura 111 Flakes de PET



Figura 112 Tipos de Flakes de PET

5. Conclusiones

- Se evaluó la irradiación solar en el norte del Perú mediante el software RETScreen, el cual arrojó un valor promedio de irradiación solar igual a 5,38 kWh/m², lo que significa que es una buena zona para implementar un sistema fotovoltaico.
- Se realizó correctamente la matriz morfológica y de ponderados, la cual nos mostró que la mejor solución es una trituradora de cuchillas desmontables, la cual tendrá una capacidad de trituración de 3,15 ton/h, lo que significa que la trituradora podrá procesar 10 ton/día sin ningún problema.
- Se elaboró el CAD y CAE de los componentes de la máquina trituradora en el software de SolidWorks, además, por medio del análisis estructural se determinó un buen factor de seguridad, lo que significa que los elementos de la máquina soportarán los esfuerzos a los cuales serán sometidos.
- Se dimensionó el sistema fotovoltaico que estará conectado con la máquina trituradora por medio de fórmulas matemáticas, adicionalmente a ello se validaron los datos con ayuda del software PVsyst, determinando que el 74% de la energía será para uso directo y el 26% será almacenado en el banco de baterías.
- Se determinó el tamaño adecuado del producto triturado de PET, el cual está comprendido en un intervalo de dos a treinta milímetros, lo que significa el valor deseado pertenece a un proceso de trituración fina.

6. Recomendaciones

- Es recomendable diseñar un sistema de automatización que ayude a la máquina trituradora a detectar el ingreso de un material diferente al PET.
- Es recomendable acoplar al diseño un sistema de transportación del material hacia la máquina.
- Es recomendable dimensionar el área de la planta para el funcionamiento del sistema de trituración.
- En el caso que se requiera aumentar la capacidad de trituración de la máquina trituradora es recomendable realizar un nuevo cálculo para el sistema fotovoltaico.

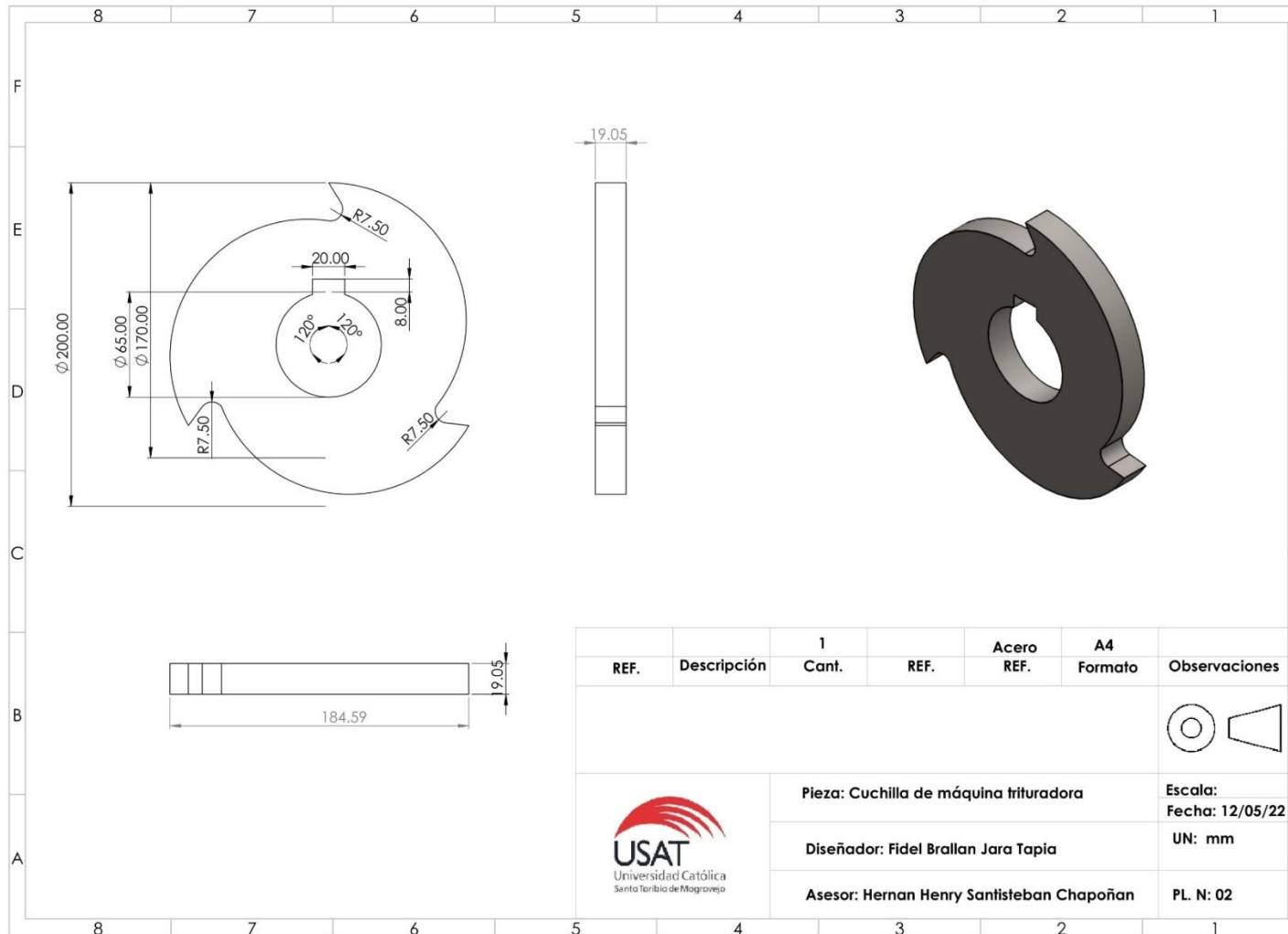
7. Referencias

- [1] «PET Resin Association,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.petresin.org/>.
- [2] C. C. Vela Rojas , E. J. Rey Romero y A. N. Jaimes Rada, *Diseño y construcción de prototipo de trituración para PET análisis sistemático de literatura*. Universidad Cooperativa de Colombia, 2018.
- [3] L. M. Freire Cárdenas y C. J. Gonzáles Mosquera , *Diseño y Construcción de un equipo triturador de botellas plásticas tipo PET*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013.
- [4] J. M. Buendía Rojas, «Indicadores de Gerenciamiento de los Residuos Sólidos,» de *Industrialización de los residuos sólidos para la generación de eléctrica y derivados*, Lima , 2019.
- [5] Y. M. Sonkhaskar, «Design and Development of a Plastic Bottle Crusher,» *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 2014.
- [6] «Enel Perú,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar-y-como-funciona.html>.
- [7] «PUCP,» 1 Marzo 2017. [En línea]. Available: <https://gruporural.pucp.edu.pe/nota/el-desarrollo-de-la-energia-solar-en-el-peru/>.
- [8] J. L. Hernández Moyano y D. Fonseca La Rotta, *Diseño de una trituradora de residuos sólidos tipo PET para la fundación Alianza Forestal de Colombia E.S.P.*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2017.
- [9] D. N. Dubey, N. A. Dable, S. S. Kumare, A. Sanjay, H. R. Padole, M. G. Patankar y R. S. Gajbhiye, «Waste Management by Solar Powered Mechanical Shredder Machine,» *International Journal of Innovative Research in Technology*, 2020.
- [10] A. Vijay , T. Sureshkumar, Dhanasekaran y K. Aravinth , «Design and Fabrication of Plastic Shredder Machine for Clean Environment,» *International Journal of Management, Technology and Engineering*, 2018.
- [11] Seella Charan, P. Nithin , P. Robinson y M. Ashwini , «Design of Automatic Organic Waste Shredder for Composting,» *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 2020.
- [12] A. K. O. O. S. H. M. Raji, «Desarrollo del diseño y evaluación del rendimiento de la trituradora de residuos de plástico,» *Journal of Production Engineering*, 2020.
- [13] F. Ramos Peña y K. Vega Fiallos , *Diseño y construcción de una máquina trituradora de hojas secas de Guayusa con una capacidad de 6.5 quintales por hora*. Escuela Politécnica Nacional, 2015.

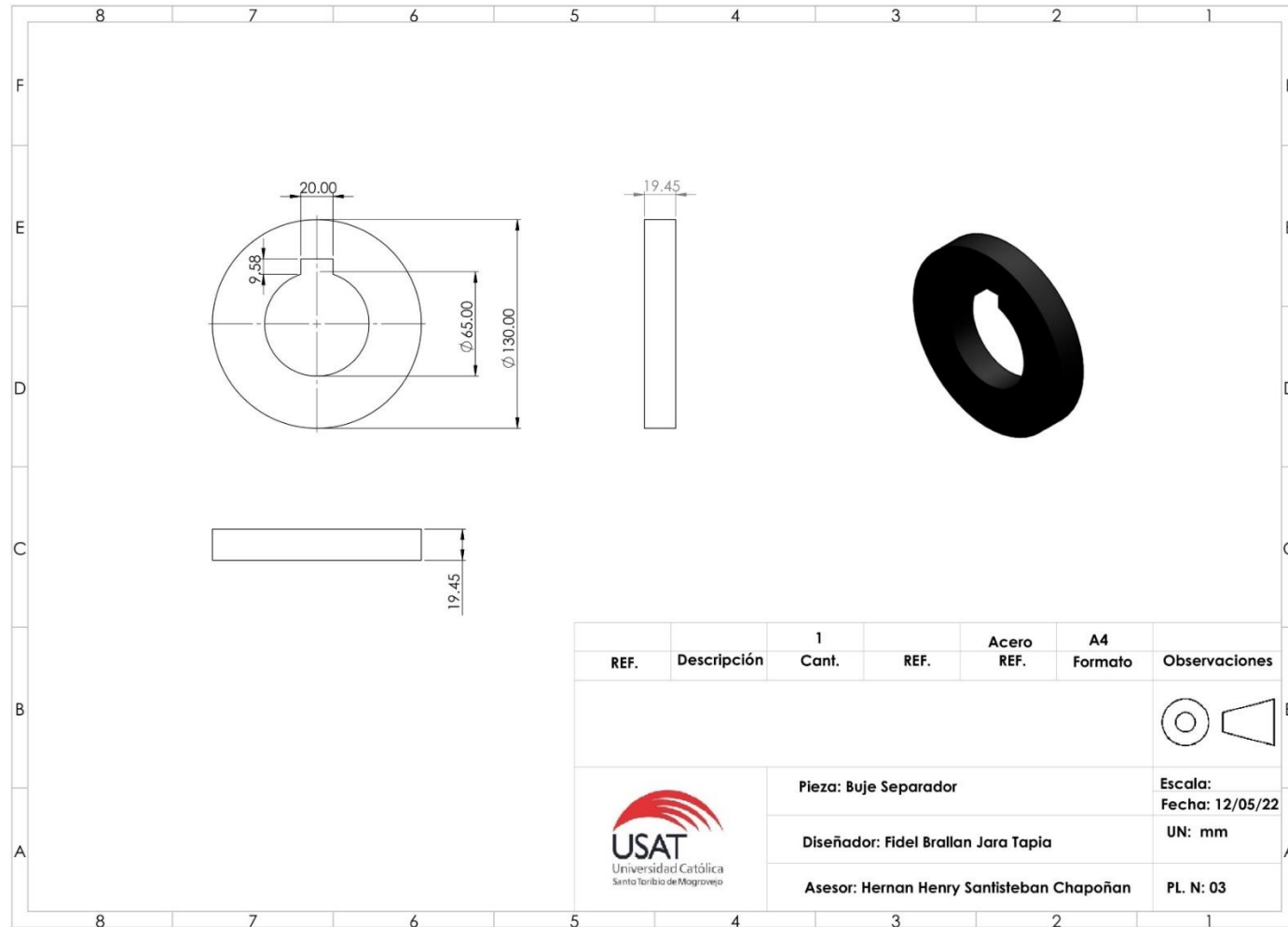
- [14] M. Gómez Delgado, *El estudio de los residuos: definiciones, tipologías, gestión y tratamiento*. Universidad de Alcalá de Henares, 1995.
- [15] R. Bruna Tapia y J. Suárez Coca, *Diseño de trituradora PET*. Universidad Técnica Federico Santa María, 2016.
- [16] «Enel Perú,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.enel.pe/es/sostenibilidad/que-son-las-energias-renovables-y-porque-son-importantes.html>.
- [17] J. J. Hermosillo Villalobos, *Energía Solar*. Instituto Tecnológico y de estudios superiores de Occidente, 1995.
- [18] P. EnDev/GIZ, Artist, *Instalación de sistemas fotovoltaicos*. 2013.
- [19] «Auto Solar,» 28 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://autosolar.pe/blog/aspectos-tecnicos/que-orientacion-e-inclinacion-han-de-tener-los-paneles-solares-en-el-peru>.
- [20] D. Domínguez Santos, «Introducción al análisis estructural».
- [21] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*, Mexico: McGraw-Hill, 2008.
- [22] F. P. Beer, E. R. Johnston Jr., J. T. DeWolf y D. F. Mazurek, *Mecánica de materiales*, Mexico: McGraw-Hill, 2010.
- [23] «SOLIDBI,» [En línea]. Available: <https://solid-bi.es/solidworks/#:~:text=Definici%C3%B3n,3D%20y%20planos%20en%20D.&text=Sus%20productos%20ofrecen%20la%20posibilidad,datos%20del%20proceso%20de%20dise%C3%B1o>.
- [24] C. J. G. Grado, «SolidWorks para Dibujo y Diseño Mecánico,» *I.T.C.J.*.
- [25] *Introducción a SolidWorks*, EE.UU: Dassault Systemes, 2015.
- [26] O. Rojas Lazo y J. Salas Bacalla, *Producción Automatizada Sistemas CAD/CAE/CAM*, Industrial Data.
- [27] *FOTOVOLTAICA Manual de diseño e instalación*, Solar Energy International.
- [28] «Canada.ca,» [En línea]. Available: <https://www.canada.ca/en/natural-resources-canada/news/2016/06/retscreen-clean-energy-management-software.html>.
- [29] «Canaca.ca,» [En línea]. Available: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>.
- [30] P. Riehmann, M. Hanfler y B. Froehlich , «Interactive Sankey Diagrams,» *ResearchGate*, Noviembre 2005.


- [31] E. Marco Esteban, Metodología para el análisis a fatiga mediante el código pro engineer: aplicación a un eje ferroviario. Universidad Carlos III de Madrid, 2010.
- [32] J. R. Haro Ortuño , Diseño de un sistema de generación fotovoltaica para una vivienda familiar ubicada en la ciudad de Quito, Ecuador: Universidad Internacional de Andalucía, 2012.
- [33] J. D. Caviedes Aguirre , Diseño de una máquina trituradora para plástico PET, Bogotá: Universidad de América, 2020.
- [34] C. P. C. E. J. M. L. J. L. Luz Angélica García Villalba, «Diseño y prototipo de una máquina trituradora de PET,» *CULCyT*, 2014.
- [35] J. F. B. Santana, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO INDUSTRIAL DE UNA MAQUINA, Bogotá: Universidad de los Andes, 2017.
- [36] D. F. G. Hernández, DISEÑO DE UN MOLINO TRITURADOR PARA POLÍMEROS, Colombia: Universidad Libre.
- [37] R. L. Mott, Diseño de elementos de máquinas, México: Pearson Prentice Hall, 2006.
- [38] «Poleas en "V",» Intermec- Productos mecánicos para transmisión de potencia , [En línea]. Available: www.intermec.com.
- [39] «Rodamientos SKF,» 2019. [En línea]. Available: https://www.skf.com/binaries/pub201/Images/0901d19680416953-Rolling-bearings---17000_1-ES_tcm_201-121486.pdf.
- [40] P. Lopez Ruiz, Diseño de una instalación solar fotovoltaica para el suministro de energía eléctrica de una vivienda aislada, Cataluña: Universitat Rovira I Virgili, 2015.
- [41] H. A. Cornejo Lalupú, SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED EN EL CENTRO MATERNO INFANTIL DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA, Piura: Universidad de Piura, 2013.
- [42] S. Salamanca-Ávila, «Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá,» *Revista Científica*, 2017.
- [43] M. Alegre Chang, ANÁLISIS SECTORIAL DE RESIDUOS SÓLIDOS, 1998.
- [44] «CPI Perú población,» Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://cpi.pe/images/upload/paginaweb/archivo/23/poblacion%202022.pdf>.

Anexo N°02



Anexo N°03

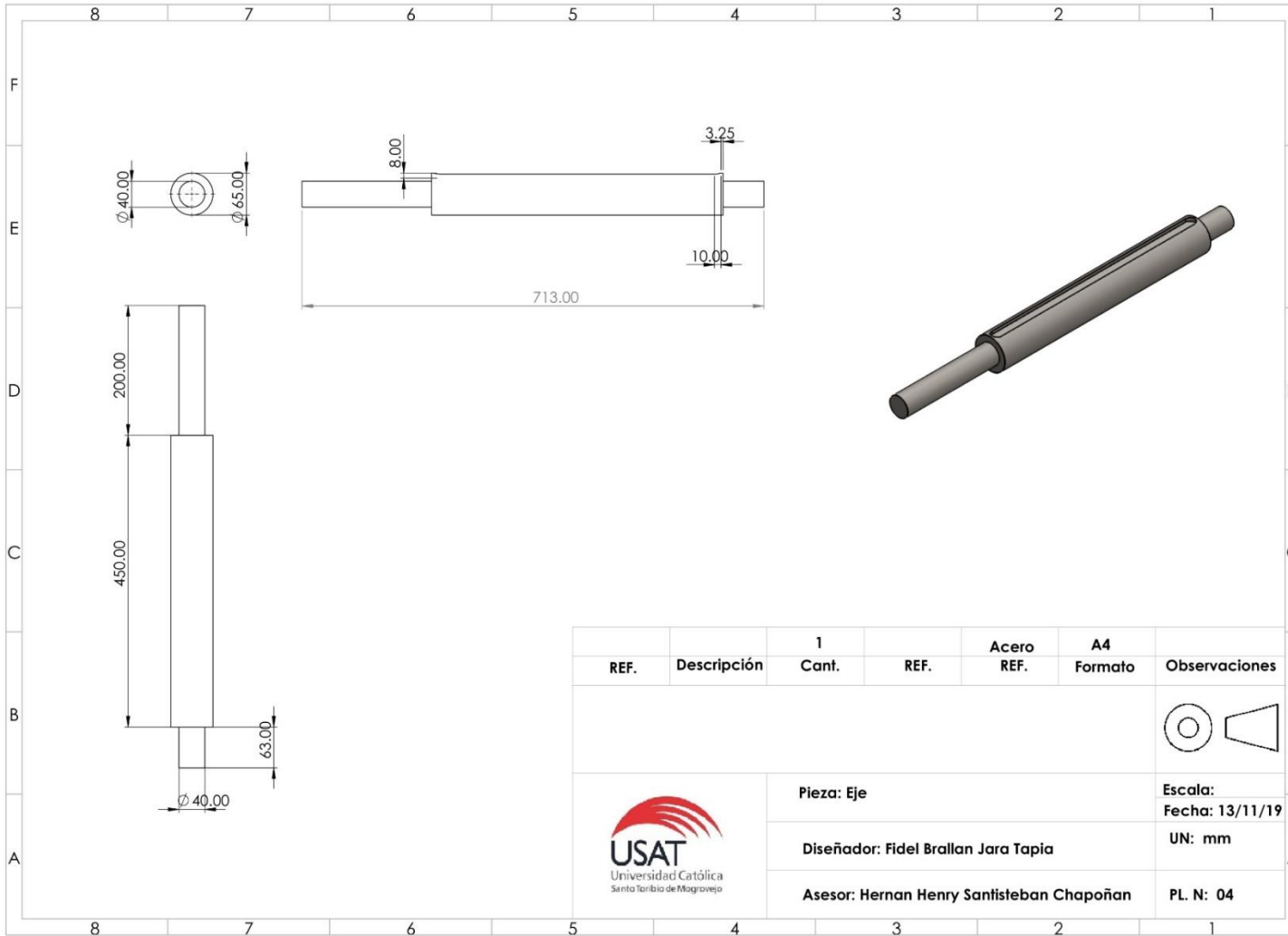


REF.	Descripción	1 Cant.	REF.	Acero REF.	A4 Formato	Observaciones
						
						Escala: Fecha: 12/05/22 UN: mm
						PL. N: 03

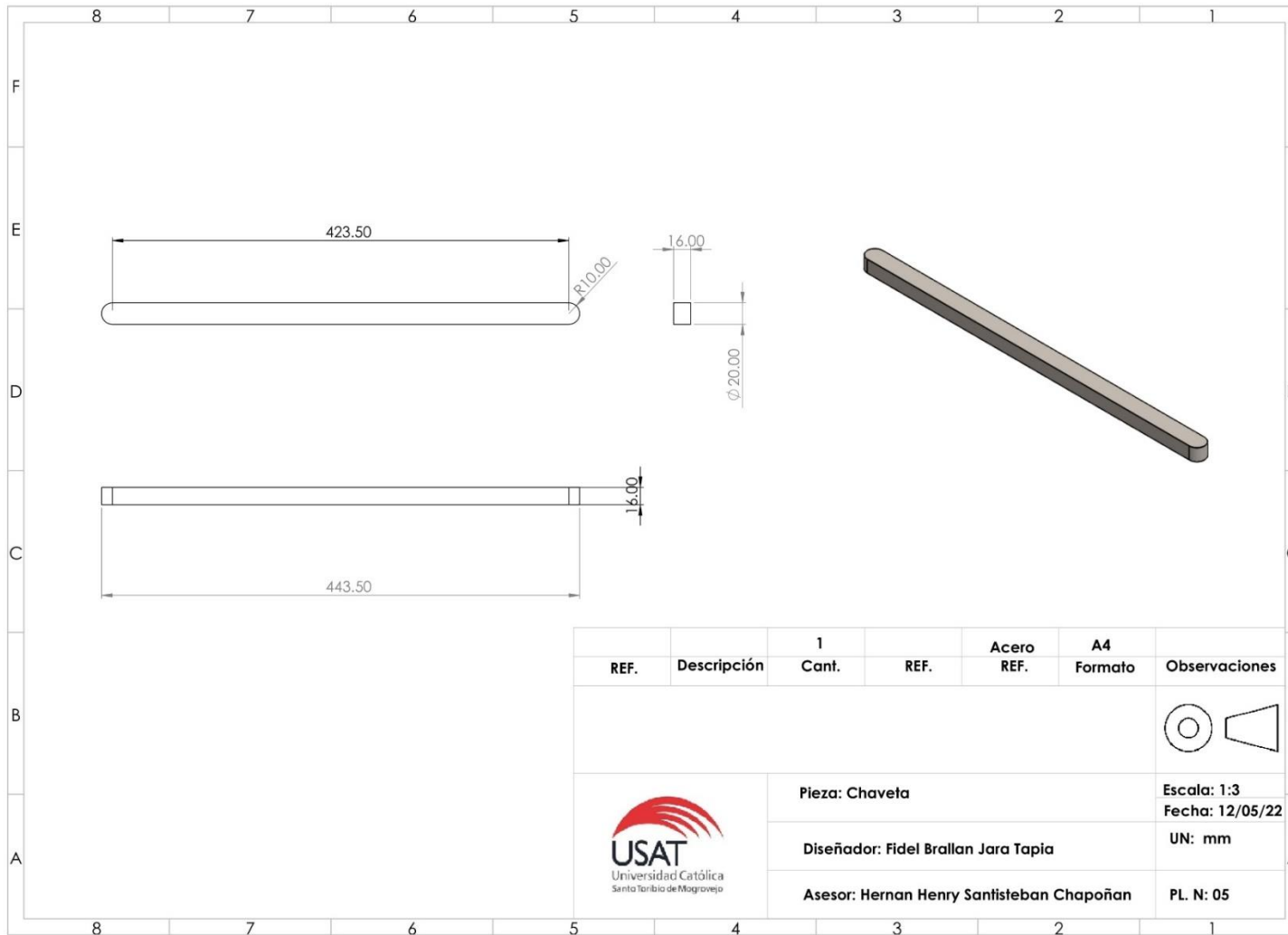


Pieza: Buje Separador
Diseñador: Fidel Brallan Jara Tapia
Asesor: Hernan Henry Santisteban Chapoñan

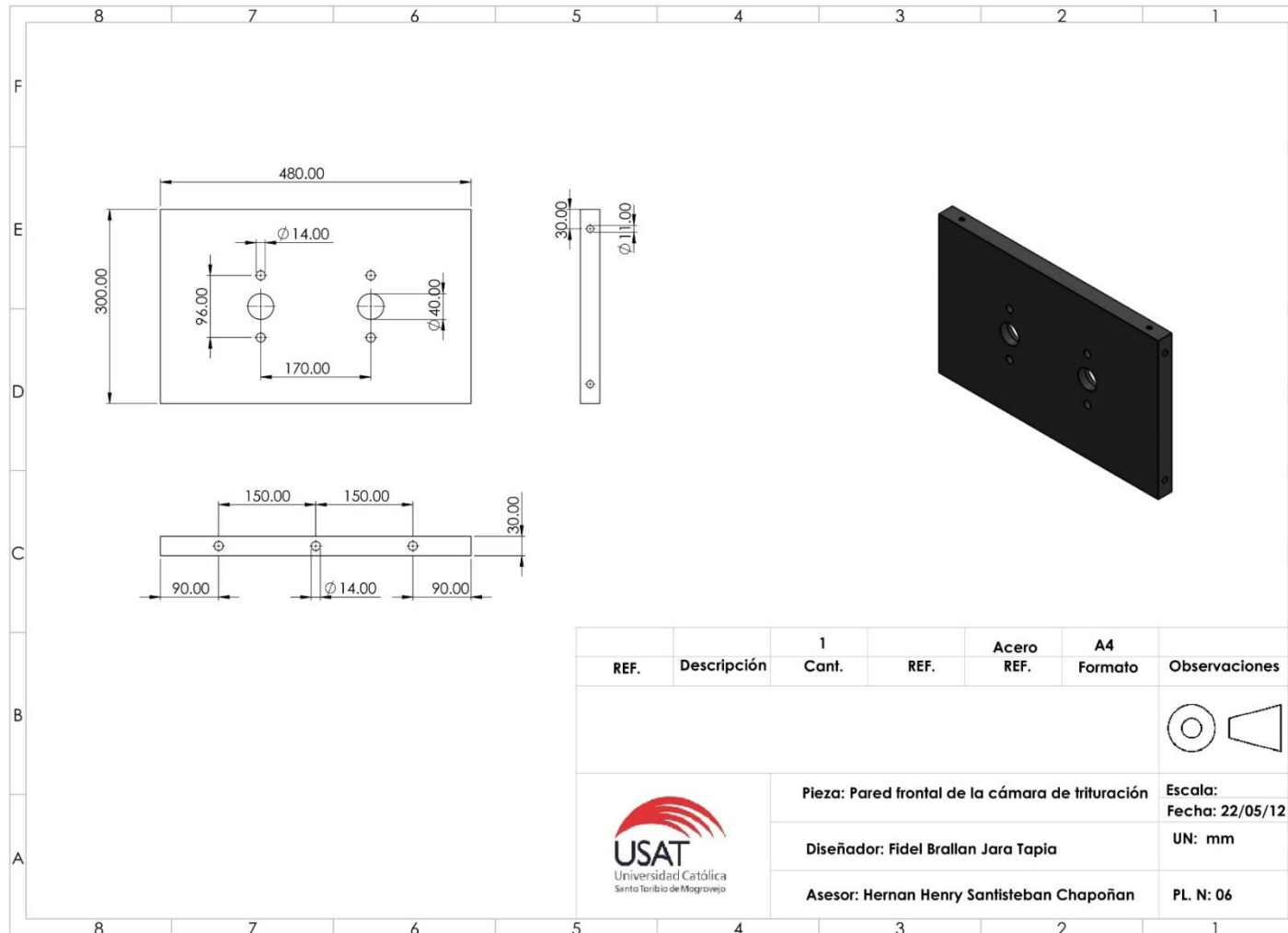
Anexo N°04



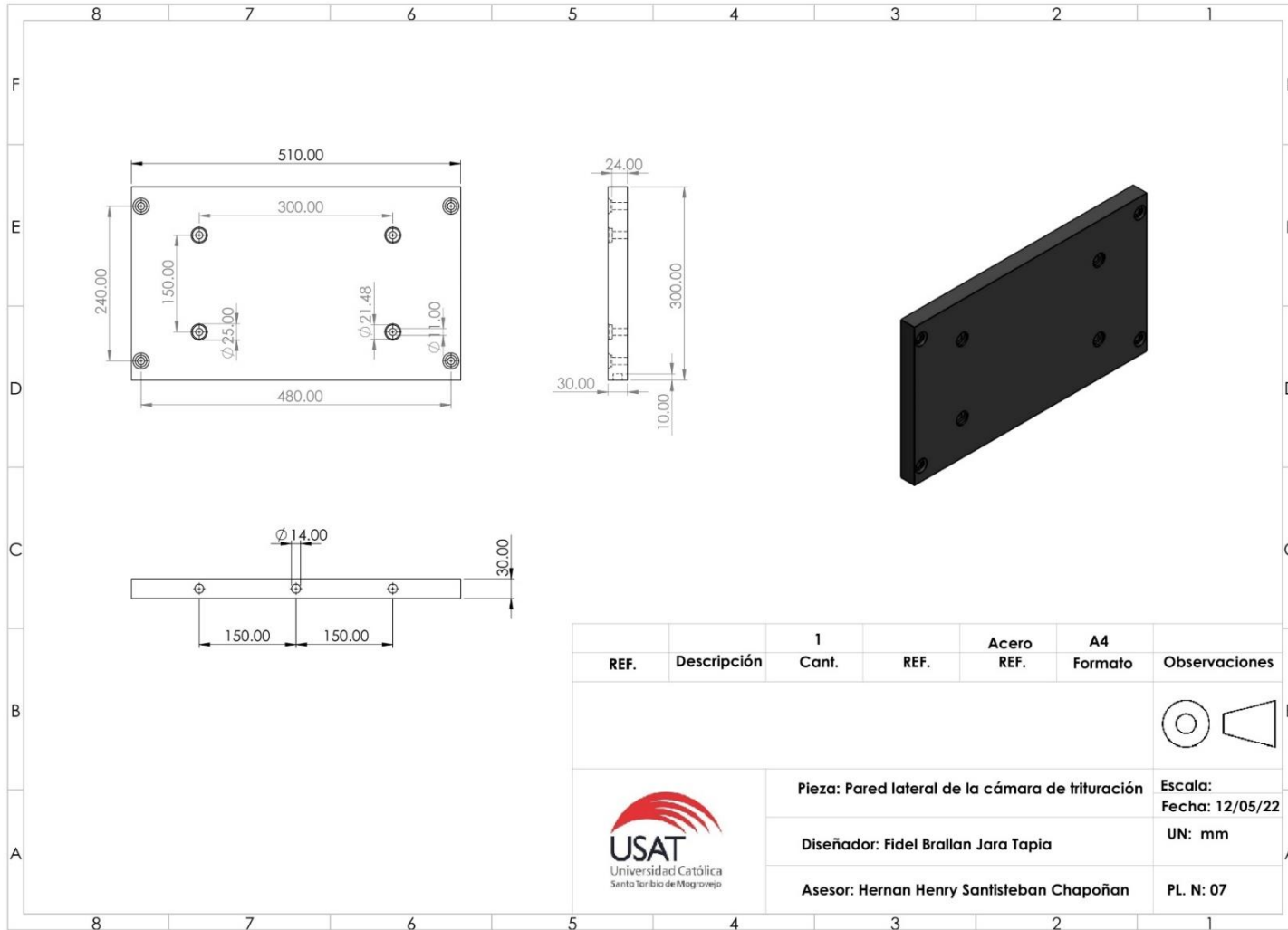
Anexo N°05



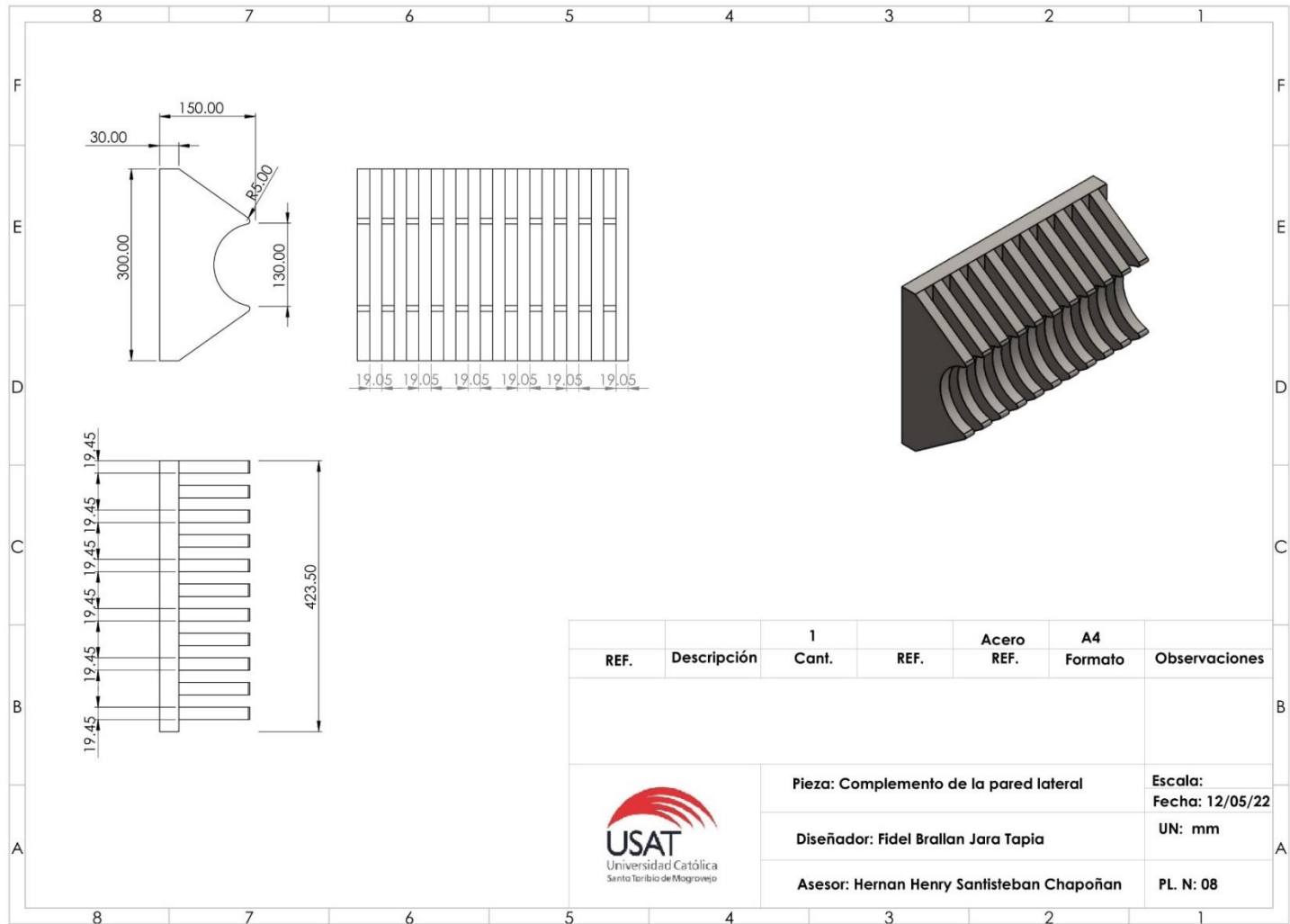
Anexo N°06



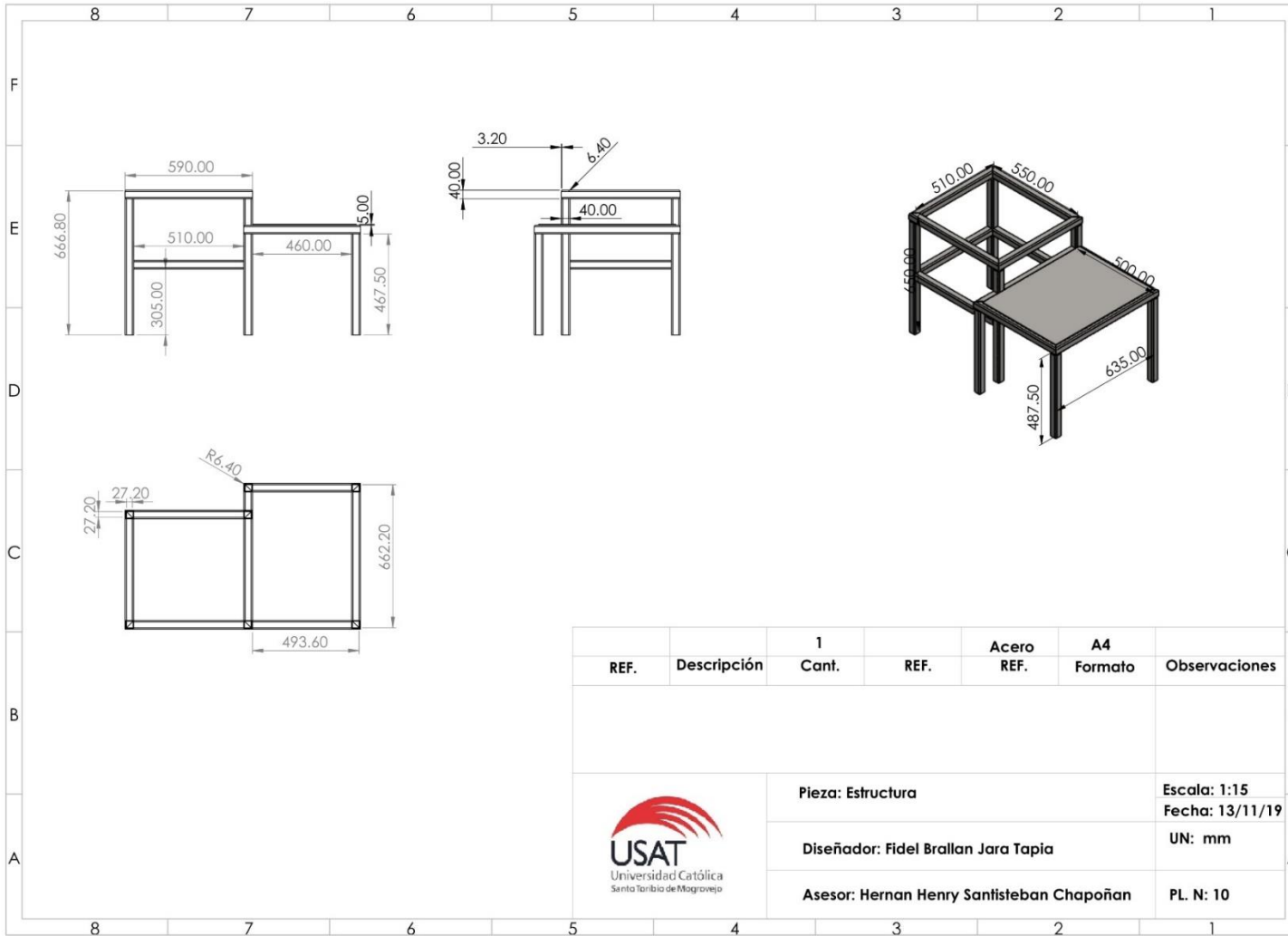
Anexo N°07




Anexo N°08

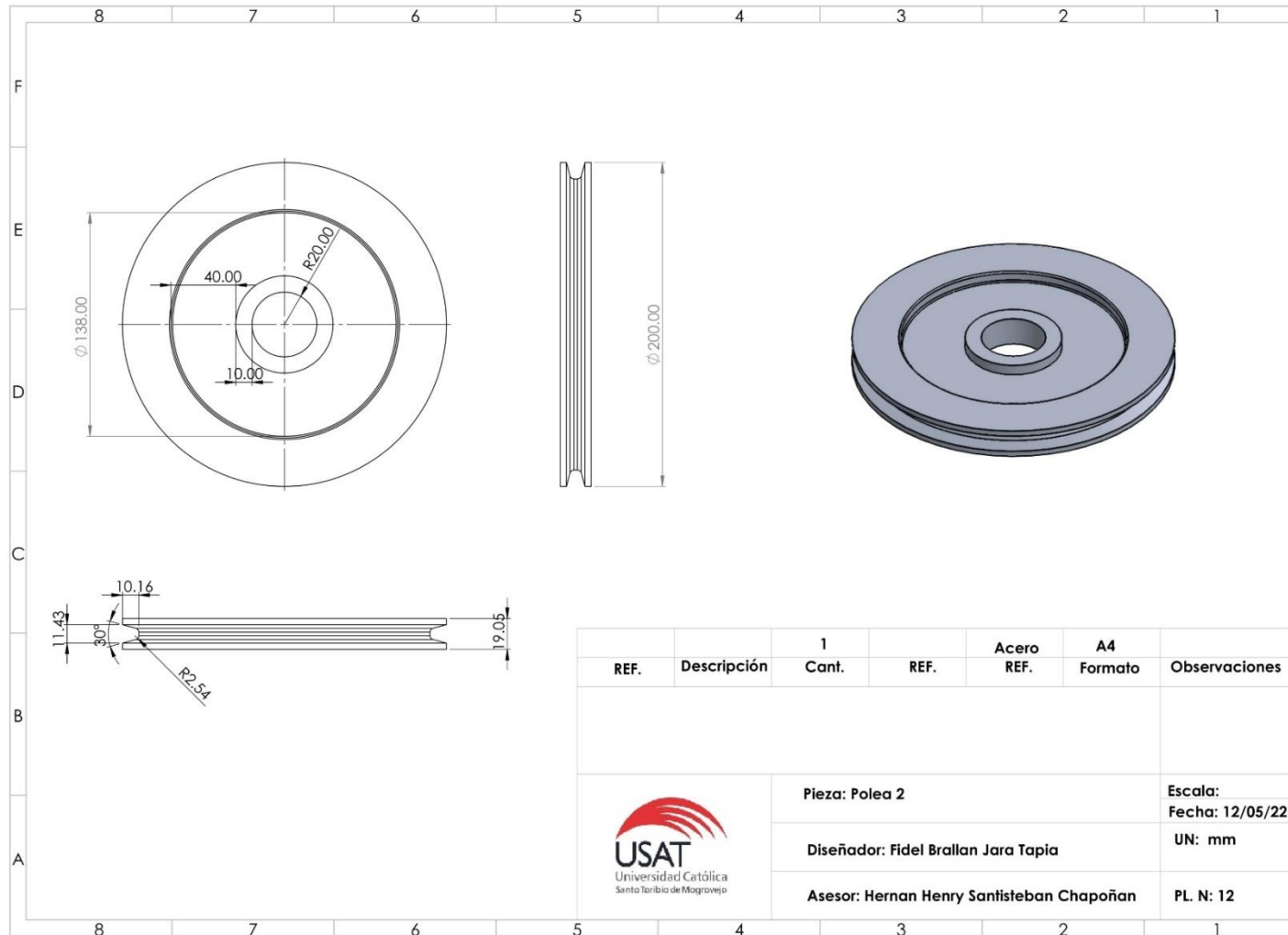


Anexo N°10



REF.	Descripción	1 Cant.	REF.	Acero REF.	A4 Formato	Observaciones
		Pieza: Estructura			Escala: 1:15	
		Diseñador: Fidel Brallan Jara Tapia			Fecha: 13/11/19	
		Asesor: Hernan Henry Santisteban Chapoñan			UN: mm	
						PL. N: 10

Anexo N°12



Anexo N°13



HIPro Series

120-CELL HALF CUT MONOCRYSTALLINE SOLAR MODULE

325-345 Watt

STPXXXS - A60/Wnh
STPXXXS - A60/Wfh



Features



High power output
Compared to normal module, the power output can increase 5W-10W



High PID resistant
Advanced cell technology and qualified materials lead to high resistance to PID



Excellent weak light performance
More power output in weak light condition, such as haze, cloudy, and morning



Lower operating temperature
Lower operating temperature and temperature coefficient increases the power output



Extended load tests
Module certified to withstand front side maximum static test load (5400 Pascal) and rear side maximum static test loads (3800 Pascal) *



Withstanding harsh environment
Reliable quality leads to a better sustainability even in harsh environment like desert, farm and coastline

Certifications and standards:
IEC 61215, IEC 61730, conformity to CE



Trust Suntech to Deliver Reliable Performance Over Time

- World-class manufacturer of crystalline silicon photovoltaic modules
- Unrivaled manufacturing capacity and world-class technology
- Rigorous quality control meeting the highest international standards: ISO 9001, ISO 14001 and ISO 17025
- Regular independently checked production process from international accredited institute/company
- Tested for harsh environments (salt mist, ammonia corrosion and sand blowing testing: IEC 61701, IEC 62716, DIN EN 60068-2-68)***
- Long-term reliability tests
- 2 x 100% EL inspection ensuring defect-free modules

Special Cell Design

The unique cell design leads to reduced electrodes resistance and smaller current, thus enables higher fill factor. Meanwhile, it can reduce losses of mismatch and cell wear, and increase total reflection.

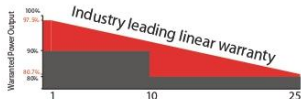


5 BB



9 BB

Industry-leading Warranty based on nominal power



- 97.5% in the first year, thereafter, for years two (2) through twenty-five (25), 0.7% maximum decrease from MODULE's nominal power output per year, ending with the 80.7% in the 25th year after the defined WARRANTY STARTING DATE.****
- 12-year product warranty
- 25-year linear performance warranty

IP68 Rated Junction Box



The Suntech IP68 rated junction box ensures an outstanding waterproof level, supports installations in all orientations and reduces stress on the cables. High reliable performance, low resistance connectors ensure maximum output for the highest energy production.

* Please refer to Suntech Standard Module Installation Manual for details. **WEEE only for EU market.
*** Please refer to Suntech Product Near-coast Installation Manual for details. **** Please refer to Suntech Product Warranty for details.

Anexo N°14



Electrical Characteristics

STC	STPXXXS-A60/Wnh & STPXXXS-A60/Wfh				
Maximum Power at STC (Pmax)	345 W	340 W	335 W	330 W	325 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	35.3 V	35.1 V	34.9 V	34.7 V	34.5 V
Optimum Operating Current (Imp)	9.78 A	9.68 A	9.60 A	9.52 A	9.43 A
Open Circuit Voltage (Voc)	41.3 V	41.1 V	40.9 V	40.7 V	40.5 V
Short Circuit Current (Isc)	10.37 A	10.29 A	10.21 A	10.13 A	10.04 A
Module Efficiency	20.4%	20.1%	19.8%	19.5%	19.2%
Operating Module Temperature	-40 °C to +85 °C				
Maximum System Voltage	1000/1500 V DC (IEC)				
Maximum Series Fuse Rating	20 A				
Power Tolerance	0/+5 W				

STC: Irradiance 1000 W/m², module temperature 25 °C, AM=1.5;
Tolerance of Pmax is within +/- 3% and tolerances of Voc and Isc are within +/- 5%.

NMOT	STPXXXS-A60/Wnh & STPXXXS-A60/Wfh				
Maximum Power at NMOT (Pmax)	259.3 W	255.5 W	252.1 W	248.6 W	244.9 W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	32.5 V	32.3 V	32.1 V	31.9 V	31.7 V
Optimum Operating Current (Imp)	7.98 A	7.92 A	7.85 A	7.79 A	7.72 A
Open Circuit Voltage (Voc)	38.7 V	38.5 V	38.3 V	38.1 V	37.9 V
Short Circuit Current (Isc)	8.37 A	8.31 A	8.24 A	8.18 A	8.11 A

NMOT: Irradiance 800 W/m², ambient temperature 20 °C, AM=1.5, wind speed 1 m/s.

Temperature Characteristics

Nominal Module Operating Temperature (NMOT)	42 ± 2 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.37%/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.304%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.050%/°C

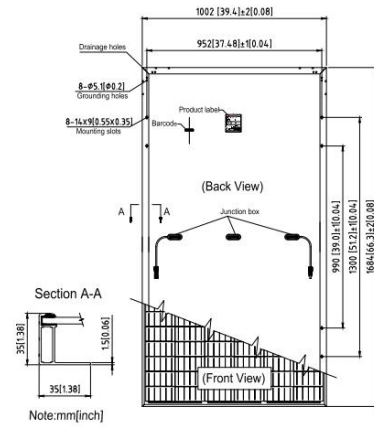
Mechanical Characteristics

Solar Cell	Monocrystalline silicon 158.75 mm
No. of Cells	120 (6 × 20)
Dimensions	1684 × 1002 × 35 mm (66.3 × 39.4 × 1.4 inches)
Weight	19.0 kgs (41.9 lbs)
Front Glass	3.2 mm (0.13 inches) tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction Box	IP68 rated (3 bypass diodes)
Output Cables	4.0 mm ² (0.006 inches ²), symmetrical lengths (-) 1200 mm (47.2 inches), (+) 1200 mm (47.2 inches)
Connectors	1000 V: MC4 compatible 1500 V: MC4 EVO2, Cable 01S

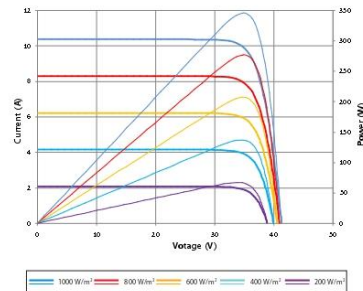
Packing Configuration

Container	20' GP	40' HC
Pieces per pallet	30	30
Pallets per container	6	26
Pieces per container	180	780
Packaging box dimensions	1736 × 1109 × 1166 mm	
Packaging box weight	605 kg	

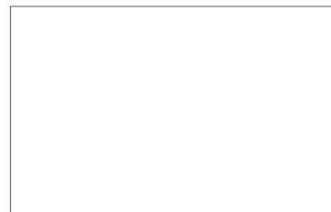
Information on how to install and operate this product is available in the installation instruction. All values indicated in this data sheet are subject to change without prior announcement. The specifications may vary slightly. All specifications are in accordance with standard EN 50380. Color differences of the modules relative to the figures as well as discolorations of/in the modules which do not impair their proper functioning are possible and do not constitute a deviation from the specification.



Current-Voltage & Power-Voltage Curve (345S)



Dealer information



Anexo N°17



Safety

- Cylindrical LiFePO₄ cells (UL1642)
- IEC62133 (cell), IEC62619(cell), UN38.3 (cell/pack)
- ROHS (cell), CE system certification, IP65 Rating

Design

- Standard-size (BCI) ABS container for easy VRLA replacement
- Fast charge/discharge performance
- Maintenance-free operation

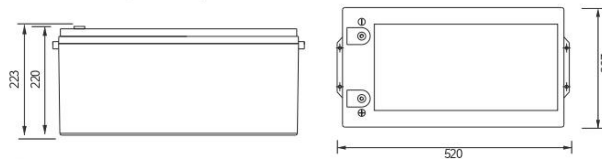
Battery Management System (BMS)

- Integrated hardware BMS inside
- Independent charge & discharge protection
- Short-Circuit Protection, Over-Voltage Protection, Low-Voltage Protection, Over-Current Protection, Low-Temperature Protection, Over-Temperature Protection

R12-300LFP
LiFePO₄ BATTERY



Rolls high performance LiFePO₄ batteries offer exceptional cycle life and are up to 50% lighter than equivalent lead-acid models..



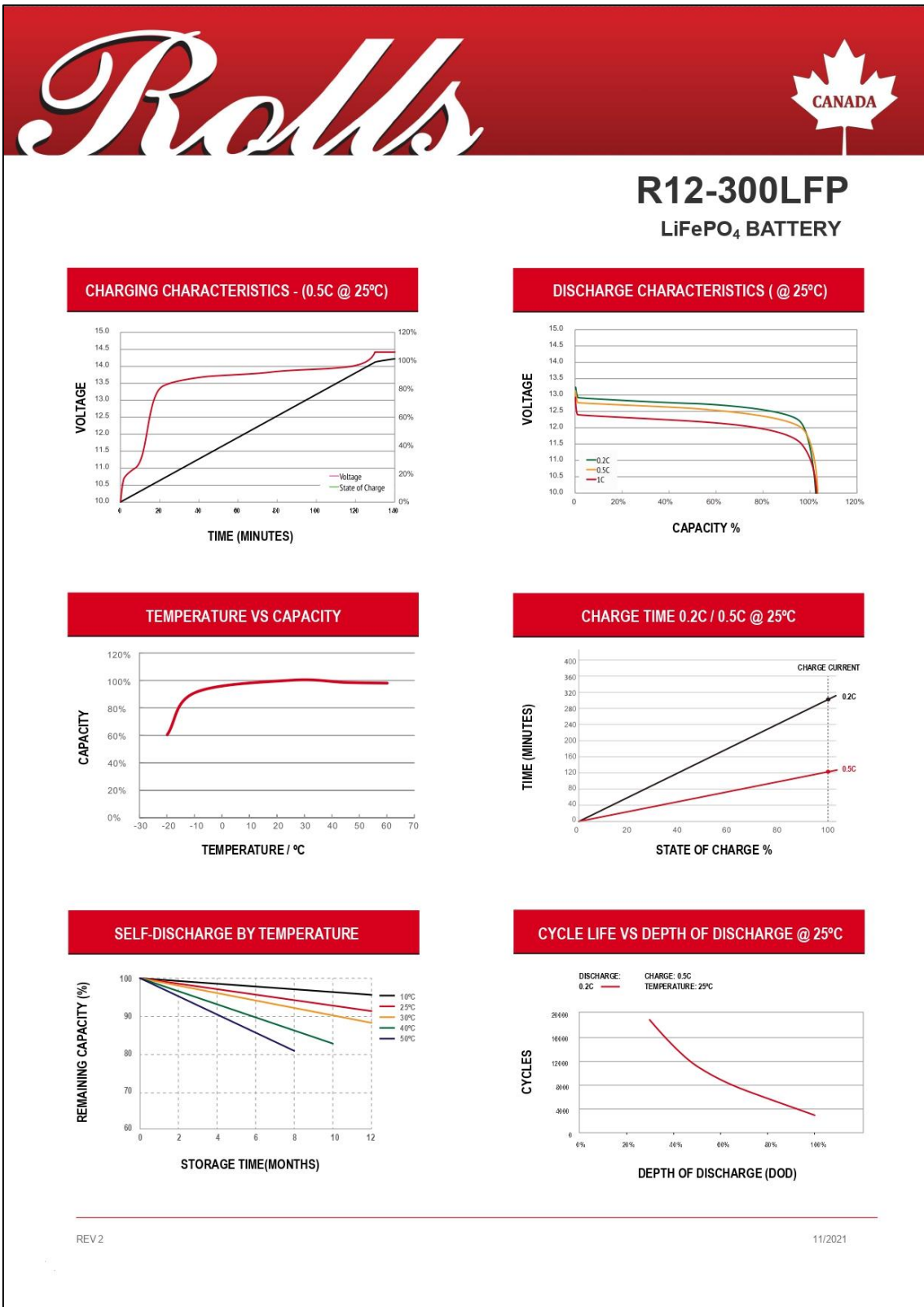
SPECIFICATIONS **R12-300LFP**

PRODUCT DIMENSIONS: (LxWxH incl terminal)	521mm (20.5") x 267mm (10.51") x 223mm (8.78")	
PRODUCT WEIGHT:	33 Kg / 72.8 Lbs	
NOMINAL VOLTAGE: (V)	12.8V	
NOMINAL CAPACITY: (AH)	300 AH	
TOTAL ENERGY: (KWh)	3.84 KWh	
RECOMMENDED END OF DISCHARGE VOLTAGE: (V)	12.0V	
END OF DISCHARGE PROTECTION VOLTAGE: (V)	10.0V	
INTERNAL BMS MODEL:	4S200A	
TERMINAL:	F12 (M8)	
CYCLE LIFE:	>6000 @ 80% DOD, >3000 @ 100% DOD	
SERIES CONNECTION:	4 UNITS MAX	
PARALLEL CONNECTION:	4 UNITS MAX	

CHARGING

CHARGE VOLTAGE RANGE: (V)	14.0 - 14.6V	*DO NOT USE TEMPERATURE COMPENSATION (BTS)
RECOMMENDED CHARGE VOLTAGE: (V)	14.4V	
RECOMMENDED CHARGE CURRENT: (AMPS)		
0~5°C (32~41°F)	≤0.1C	30 A
5~10°C (41~50°F)	≤0.2C	60 A
10~35°C (50~95°F)	≤0.5C	150 A
35~50°C (95~122°F)	≤0.2C	60 A
CHARGE MODE:	CHARGE AT RECOMMENDED VOLTAGE & CURRENT BY TEMPERATURE UNTIL CHARGE CURRENT DROPS TO ≤ 0.05C (CC,CV)	
MAX CONTINUOUS CHARGE CURRENT: (AMPS)	150 A	
MAX CONTINUOUS DISCHARGE CURRENT: (AMPS)	200 A	
SURGE CURRENT LIMIT: (AMPS)	800 A (300ms)	
CHARGE TEMPERATURE RANGE:	0°C~55°C (32~131°F)	
DISCHARGE TEMPERATURE RANGE:	-20°~60°C (-4~140°F)	
STORAGE TEMPERATURE RANGE:	-5°~45°C (23~113°F)	

Anexo N°18



Anexo N°19



SmartSolar Charge Controllers with VE.Can interface

MPPT 250/70 VE.Can up to MPPT 250/100 VE.Can



SmartSolar Charge Controller
MPPT 250/100-Tr VE.Can
with optional pluggable display



SmartSolar Charge Controller
MPPT 250/100-Tr VE.Can
without display



Bluetooth sensing:
Smart Battery Sense



Bluetooth sensing:
BMV-712 Smart Battery Monitor



Bluetooth sensing: SmartShunt

Ultra-fast Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Especially in case of a clouded sky, when light intensity is changing continuously, an ultra-fast MPPT controller will improve energy harvest by up to 30 % compared to PWM charge controllers and by up to 10 % compared to slower MPPT controllers.

Advanced Maximum Power Point Detection in case of partial shading conditions

If partial shading occurs, two or more maximum power (MPP) points may be present on the power-voltage curve.

Conventional MPPTs tend to lock to a local MPP, which may not be the optimum MPP.

The innovative SmartSolar algorithm will always maximize energy harvest by locking to the optimum MPP.

Outstanding conversion efficiency

No cooling fan. Maximum efficiency exceeds 99 %.

Flexible charge algorithm

Fully programmable charge algorithm, and eight pre-programmed algorithms, selectable with a rotary switch (see manual for details).

Extensive electronic protection

Over-temperature protection and power derating when temperature is high.

PV short circuit and PV reverse polarity protection.

PV reverse current protection.

Bluetooth Smart built-in

The wireless solution to set-up, monitor, update and synchronise SmartSolar Charge Controllers.

Internal temperature sensor and optional external battery voltage, temperature and current sensing via Bluetooth

A Smart Battery Sense, a BMV-712 Smart Battery Monitor or a SmartShunt can be used to communicate battery voltage and temperature (and current, in case of a BMV 712 or a SmartShunt) to one or more SmartSolar Charge Controllers.

VE.Direct or VE.Can

For a wired data connection to a Color Control GX, other GX products, PC or other devices.

Synchronized parallel charging with VE.Can or Bluetooth

Up to 25 units can be synchronized with VE.Can, and up to 10 units with Bluetooth.

Fully discharged battery recovery function

Will initiate charging even if the battery has been discharged to zero volts.

Will reconnect to a fully discharged Li-ion battery with integrated disconnect function.

VE.Can: the multiple controller solution

Up to 25 units can be synchronised with VE.Can.

Remote on-off

To connect for example to a VE.BUS BMS.

Programmable relay

Can be programmed to trip on an alarm, or other events.

Optional: SmartSolar pluggable LCD display

Simply remove the rubber seal that protects the plug on the front of the controller, and plug-in the display.



SmartSolar pluggable display



Anexo N°20

SmartSolar Charge Controller with VE.Can interface	250/70	250/85	250/100
Battery voltage	12/24/48 V Auto Select (36 V: manual)		
Rated charge current	70 A	85 A	100 A
Nominal PV power, 12 V 1a,b)	1000 W	1200 W	1450 W
Nominal PV power, 24 V 1a,b)	2000 W	2400 W	2900 W
Nominal PV power, 36 V 1a,b)	3000 W	3600 W	4350 W
Nominal PV power, 48 V 1a,b)	4000 W	4900 W	5800 W
Max. PV short circuit current 2)	35 A (max 30 A per MC4 conn.)	70 A (max 30 A per MC4 conn.)	
Maximum PV open circuit voltage	250 V absolute maximum coldest conditions 245 V start-up and operating maximum		
Maximum efficiency	99 %		
Self-consumption	Less than 35 mA @ 12 V / 20 mA @ 48 V		
Charge voltage 'absorption'	Default setting: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6 V (adjustable with: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)		
Charge voltage 'float'	Default setting: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2 V (adjustable: rotary switch, display, VE.Direct or Bluetooth)		
Charge voltage 'equalization'	Default setting: 16,2 V / 32,4 V / 48,6 V / 64,8 V (adjustable)		
Charge algorithm	multi-stage adaptive (eight pre-programmed algorithms) or user defined algorithm		
Temperature compensation	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C		
Protection	PV reverse polarity / Output short circuit / Over temperature		
Operating temperature	-30 to +60 °C (full rated output up to 40 °C)		
Humidity	95 %, non-condensing		
Maximum altitude	5000m (full rated output up to 2000m)		
Environmental condition	Indoor, unconditioned		
Pollution degree	PD3		
Data communication	VE.Can, VE.Direct and Bluetooth		
Remote on/off	Yes (2 pole connector)		
Programmable relay	DPST AC rating: 240 VAC / 4 A DC rating: 4 A up to 35 VDC, 1 A up to 60 VDC		
Parallel operation	Yes, parallel synchronised operation with VE.Can (max. 25 units) or Bluetooth (max. 10 units)		
ENCLOSURE			
Colour	Blue (RAL 5012)		
PV terminals 3)	35 mm ² / AWG2 (Tr models) Two pairs of MC4 connectors (MC4 models)	35 mm ² / AWG2 (Tr models) Three pairs of MC4 connectors (MC4 models)	
Battery terminals	35mm ² / AWG2		
Protection category	IP43 (electronic components), IP22 (connection area)		
Weight	3 kg	4,5 kg	
Dimensions (h x w x d) in mm	Tr models: 185 x 250 x 95 mm MC4 models: 215 x 250 x 95 mm	Tr models: 216 x 295 x 103 MC4 models: 246 x 295 x 103	
STANDARDS			
Safety	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2		
1a) If more PV power is connected, the controller will limit input power.			
1b) The PV voltage must exceed Vbat + 5 V for the controller to start. Thereafter the minimum PV voltage is Vbat + 1 V.			
2) A PV array with a higher short circuit current may damage the controller.			
3) MC4 models: several splitter pairs may be needed to parallel the strings of solar panels			
Maximum current per MC4 connector: 30 A (the MC4 connectors are parallel connected to one MPPT tracker)			



With VE.Can up to 25 Charge Controllers can be daisy-chained and connected to a Color Control GX or other GX device
Each Controller can be monitored individually, for example on a Color Control GX and on the VRM website

Anexo N°21



EasySolar-II 3kVA MPPT 250/70 GX, 5kVA MPPT 250/100 GX

The all-in-one solar power solution

www.victronenergy.com



EasySolar-II GX 3 kVA



VRM app for Wi-Fi
Monitor and manage your Victron Energy system from your smart phone and tablet. Available for both iOS and Android.

**VRM Portal**

Our free remote monitoring website (VRM) will display all your system data in a comprehensive graphical format. System settings can be changed remotely via the portal. Alarms can be received by e-mail.

The all-in-one solar power solution

The Victron EasySolar-II GX integrates the following elements:

- A MultiPlus-II inverter/charger
- A SmartSolar MPPT-Tr solar charge controller
- A GX device with a 2 x 16-character display.

These elements come prewired together inside a single unit. This greatly simplifies most installations, saving time and money.

Display and Wi-Fi

The display reads battery, inverter and solar charge controller parameters.

The same parameters can be accessed with a smartphone or other Wi-Fi enabled device.

In addition, Wi-Fi can be used to set up the system and to change settings.

Solar charge controller

The DC output of the SmartSolar MPPT is parallel wired with the DC connection of the MultiPlus-II inverter/charger.

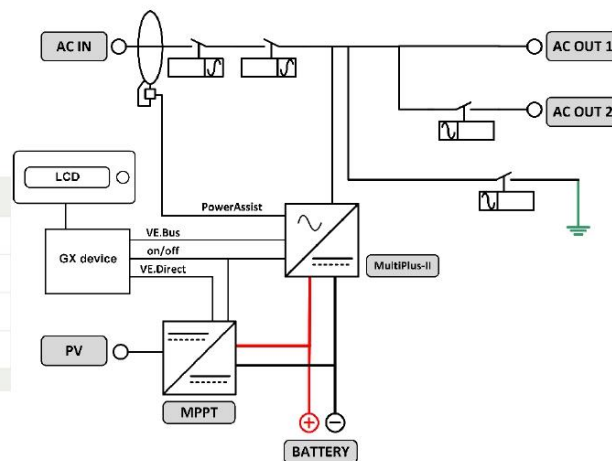
The on/off mechanism of the MultiPlus-II also controls the SmartSolar MPPT.

GX device

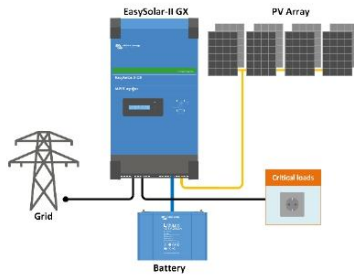
The integrated GX device includes:

- A BMS-Can interface. This can be used to connect to a compatible CAN-bus managed battery. Note that this not a VE.Can compatible port.
- A USB port
- An Ethernet port
- A VE.Direct port

The GX device controls the MultiPlus-II and the SmartSolar MPPT with respectively a VE.Bus and a VE.Direct connection.



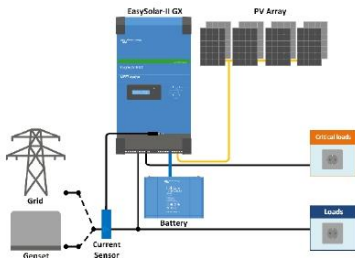
Anexo N°22



Grid-in-line topology

The EasySolar-II GX will use excess PV power to charge the batteries or to feed power back into the grid and will discharge the battery or use power from the grid to supplement a shortage of PV power. In case of a power outage, the EasySolar-II GX will disconnect the grid and continue to supply the loads.

Loads that should shut down when AC input power is not available can be connected to a second output (not shown). These loads will be taken into account by the PowerControl and PowerAssist function in order to limit AC input current to a safe value.



Grid parallel topology

The EasySolar-II GX will use data from the external AC current sensor (must be ordered separately) or power meter to optimise self-consumption and, if required, to prevent grid feed. In case of a power outage, the EasySolar-II GX will continue to supply the critical loads



Current sensor 100A/50mA

To implement PowerControl and PowerAssist and to optimise self-consumption with external current sensing.
Maximum current: 50 A resp. 100 A.
Length of connection cable: 1 m.



Connection area

EasySolar-II	24/3000/70-32 MPPT 250/70 GX	48/3000/35-32 MPPT 250/70 GX	48/5000/70-50 MPPT 250/100 GX
INVERTER/CHARGER			
PowerControl & PowerAssist	Yes		
Transfer switch	32 A	50 A	
Maximum AC input current	32 A	50 A	
Auxiliary output	32 A	50 A	
INVERTER			
Input voltage range	19 – 33 V	38 – 66 V	38 – 66 V
Output	Output voltage: 230 VAC ± 2 % Frequency: 50 Hz ± 0,1 % (1)		
Cont. output power at 25 °C (3)	3000 VA / 2400 W	3000 VA / 2400 W	5000 VA / 4000 W
Cont. output power at 40 °C / 55 °C	2200 W / 1700 W	2200 W / 1700 W	3700 W / 3000 W
Maximum apparent feed-in power	2470W / 3000 VA	2470W / 3000 VA	4400 W / 5000 VA
Peak power	5500 W	5500 W	9000 W
Maximum efficiency	94 %	95 %	96%
Zero load power	13 W	11 W	18 W
Zero load power in AES mode	9 W	7 W	12 W
Zero load power in Search mode	3 W	2 W	2 W
CHARGER			
AC Input	Input voltage range: 187-265 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz		
Charge voltage 'absorption'	28.8 V	57,6 V	
Charge voltage 'float'	27.6 V	55,2 V	
Storage mode	26.4 V	52,8 V	
Maximum battery charge current	70 A	35 A	70 A
Battery temperature sensor	Yes		
Programmable relay (5)	Yes		
Protection (2)	a - g		
VE.Bus communication port	For parallel and three phase operation, remote monitoring and system integration		
General purpose com. port	Yes, 2x		
SMARTSOLAR CHARGE CONTROLLER			
Model	MPPT 250/70-Tr	MPPT 250/100-Tr	
Maximum output current	70 A	100 A	
Maximum PV power	2000 W	4000 W	5800 W
Maximum PV open circuit voltage	250 V		
Maximum efficiency	99%		
Self-consumption	20 mA		
Charge voltage 'absorption', default	57,6 V		
Charge voltage 'float', default	55,2 V		
Protection (2)	a – e		
GENERAL			
Interfaces	BMS-Can, USB, Ethernet, VE.Direct, Wi-Fi		
Remote on-off	Yes		
Operating temp. range	-20 to +45 °C (fan assisted cooling) Max. altitude 2000 m		
Humidity (non-condensing):	max 95 %		
ENCLOSURE			
Material & Colour	aluminium (blue RAL 5012)		
Protection category	IP21		
Battery-connection	M8 bolts		
PV connection	M6 bolts		
230 VAC-connection	Screw terminals 16 mm ² (6 AWG)		
Weight	26 kg	26 kg	38,6 kg
Dimensions (h x w x d) mm	499 x 268 x 237	604 x 323 x 253	
STANDARDS			
Safety	EN-IEC 60335-1, EN-IEC 60335-2-29, EN-IEC 62109-1, EN-IEC 62109-2		
Emission / Immunity	EN 55014-1, EN 55014-2, EN-IEC 61000-3-2, EN-IEC 61000-3-3 IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-2, IEC 61000-6-3		
Anti-islanding	See our website		
1) Can be adjusted to 60 Hz 2) Protection key: a) output short circuit b) overload c) battery voltage too high d) battery voltage too low e) temperature too high f) 230 VAC on inverter output g) input voltage ripple too high	3) Non-linear load, crest factor 3:1 4) At 25 °C ambient 5) Programmable relay which can be set for general alarm, DC under voltage or genset start/stop function. AC rating: 230 V / 4 A, DC rating: 4 A up to 35 VDC and 1 A up to 60 VDC		

Anexo N°23

MÁQUINA TRITURADORA			
Descripción del componente	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Cuchilla	22	S/ 112.78	S/ 2,481.16
Buje Separador	22	S/ 66.74	S/ 1,468.28
Eje	2	S/ 440.35	S/ 880.70
Chaveta	2	S/ 24.94	S/ 49.88
Pared frontal	2	S/ 528.89	S/ 1,057.78
Pared lateral	2	S/ 778.56	S/ 1,557.12
Complemento de pared	2	S/ 528.30	S/ 1,056.60
Chumacera	4	S/ 76.75	S/ 307.00
Estructura	1	S/ 444.18	S/ 444.18
Motor 4 hp	1	S/ 735.00	S/ 735.00
Polea	1	S/ 49.69	S/ 49.69
Polea 2	1	S/ 119.85	S/ 119.85
TOTAL			S/ 10,207.24
SISTEMA FOTOVOLTAICO			
Descripción del componente	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Panel solar	18	S/ 625.40	S/ 11,257.20
Bateria	20	S/ 1,021.74	S/ 20,434.80
Inversor	1	S/ 1,183.29	S/ 1,183.29
Regulador	1	S/ 1,239.79	S/ 1,239.79
Estructura	6	S/ 531.24	S/ 3,187.44
Puesta a tierra	1	S/ 580.50	S/ 580.50
Medidor de electricidad	1	S/ 705.00	S/ 705.00
Tablero de control	1	S/ 470.00	S/ 470.00
TOTAL			S/ 39,058.02
COSTO TOTAL			S/ 49,265.26

Anexo N°24



PVsyst V7.2.16

Geographical Site

Chiclayo
Perú

Situation

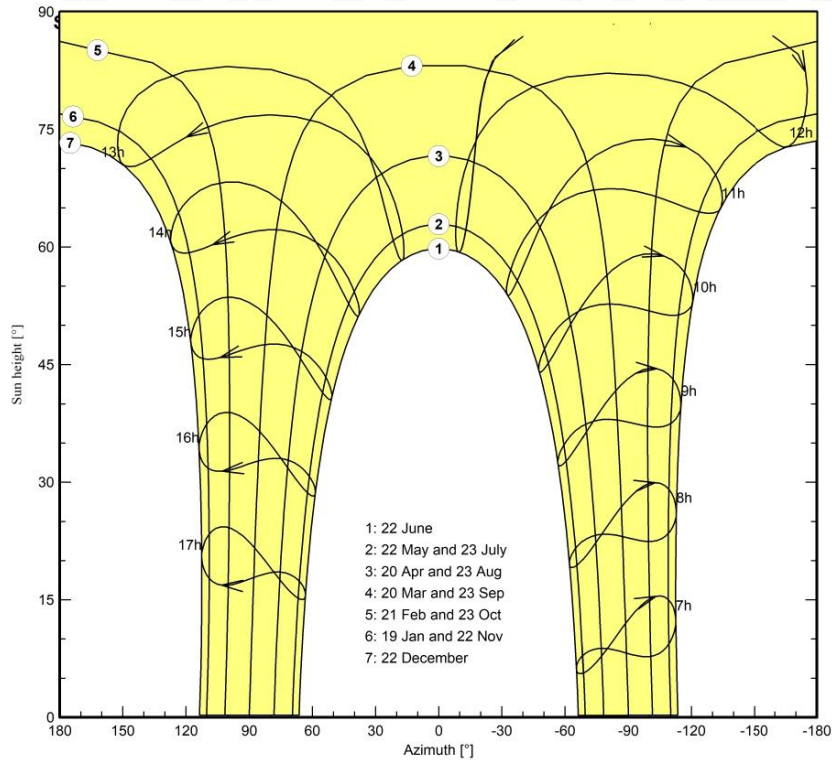
Latitude -6.77 °S
Longitude -79.84 °W
Altitude 26 m
Time zone UTC-5

Monthly Meteo Values

Source NASA-SSE satellite data 1983-2005

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year	
Horizontal global	5.70	5.55	5.84	5.38	4.89	4.47	4.48	4.91	5.59	5.95	5.98	5.86	5.38	kWh/m ² /day
Horizontal diffuse	2.19	2.28	2.16	1.95	1.75	1.67	1.74	1.90	2.07	2.18	2.13	2.12	2.01	kWh/m ² /day
Extraterrestrial	10.72	10.78	10.52	9.81	8.99	8.51	8.66	9.36	10.15	10.61	10.69	10.64	9.95	kWh/m ² /day
Clearness Index	0.532	0.515	0.555	0.548	0.544	0.525	0.517	0.525	0.551	0.561	0.559	0.551	0.541	ratio
Ambient Temper.	22.4	22.7	23.0	23.2	23.0	22.4	22.0	22.3	22.6	22.4	21.9	22.2	22.5	°C

Sun paths



Anexo N°25



Versión 7.2.16

PVsyst - Informe de simulación

Sistema independiente

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina trituradora de 10 ton/día

Variante: INTENTO 3

Sistema independiente con baterías

Potencia del sistema: 5.94 kWp

Chiclayo - Perú

Autor(a)

Anexo N°26



PVsyst V7.2.16

VC4, Fecha de simulación:
11/07/22 12:55
con v7.2.16

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
trituradora de 10 ton/día

Variante: INTENTO 3

Resumen del proyecto

Sitio geográfico	Situación	Configuración del proyecto
Chiclayo	Latitud -6.77 °S	Albedo 0.20
Perú	Longitud -79.84 °W	
	Altitud 26 m	
	Zona horaria UTC-5	
Datos meteo		
Chiclayo		
NASA-SSE satellite data 1983-2005 - Sintético		

Resumen del sistema

Sistema independiente	Sistema independiente con baterías
Orientación campo FV	Necesidades del usuario
Plano fijo	Consumidores domésticos diarios
Inclinación/Azimut 9 / 0 °	Constante durante el año
	Promedio 23.9 kWh/Día
Información del sistema	Paquete de baterías
Conjunto FV	Tecnología Plomo-ácido, sellado, placas
Núm. de módulos 18 unidades	Núm. de unidades 20 unidades
Pnom total 5.94 kWp	Voltaje 48 V
	Capacidad 1480 Ah

Resumen de resultados

Energía disponible	9780 kWh/año	Producción específica	1646 kWh/kWp/año	Proporción rend. PR	74.07 %
Energía usada	8719 kWh/año			Fracción solar (SF)	100.00 %

Tabla de contenido

Resumen de proyectos y resultados	2
Parámetros generales, Características del conjunto FV, Pérdidas del sistema.	3
Necesidades detalladas del usuario	4
Resultados principales	5
Diagrama de pérdida	6
Gráficos especiales	7
Gráficos predefinidos	8
Costo del sistema	12

Anexo N°27



PVsyst V7.2.16

VC4, Fecha de simulación:
11/07/22 12:55
con v7.2.16

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
trituradora de 10 ton/día

Variante: INTENTO 3

Parámetros generales

Sistema independiente		Sistema independiente con baterías	
Orientación campo FV			
Orientación			
Plano fijo		Configuración de cobertizos	
Inclinación/Azimut		Sin escena 3D definida	
9 / 0 °		Modelos usados	
		Transposición Perez	
		Difuso Perez, Meteonorm	
		Circunsolar separado	
Necesidades del usuario			
Consumidores domésticos diarios			
Constante durante el año			
Promedio		23.9 kWh/Día	

Características del conjunto FV

Módulo FV		Batería	
Fabricante	Generic	Fabricante	Generic
Modelo	STP-330-A21-Wnhb	Modelo	12-CS-11PS
(Definición de parámetros personalizados)			
Unidad Nom. Potencia	330 Wp	Tecnología	Plomo-ácido, sellado, placas
Número de módulos FV	18 unidades	Núm. de unidades	5 en paralelo x 4 en series
Nominal (STC)	5.94 kWp	Descarga mín. SOC	17.7 %
Módulos	9 Cadenas x 2 En series	Energía almacenada	58.5 kWh
Características del paquete de baterías			
En cond. de funcionam. (50°C)		Voltaje	48 V
Pmpp	5.40 kWp	Capacidad nominal	1480 Ah (C10)
U mpp	64 V	Temperatura	Temperatura ambiente exterior
I mpp	85 A		
Controlador		Control de gestión de la batería	
Fabricante	Generic	Comandos de umbral como	Voltaje de batería
Modelo	SmartSolar MPPT 250/100 48V	Cargando	53.6 / 50.1 V
Tecnología	Convertidor MPPT	SOC corresp.	0.90 / 0.75
Coef. temp.	-2.7 mV/°C/Elem.	Descarga	46.6 / 48.9 V
Convertidor		SOC corresp.	0.18 / 0.45
Eficiencias máxi y EURO	99.0 / 97.0 %		
Potencia FV total			
Nominal (STC)	6 kWp		
Total	18 módulos		
Área del módulo	31.8 m²		
Área celular	27.4 m²		

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica		Pérdidas de cableado CC		Pérdida diodos serie				
Temperatura módulo según irradiancia		Res. conjunto global	13 mΩ	Caída de voltaje	0.7 V			
Uc (const)	20.0 W/m²K	Frac. de pérdida	1.5 % en STC	Frac. de pérdida	1.0 % en STC			
Uv (viento)	0.0 W/m²K/m/s							
Pérdida de calidad módulo		Pérdidas de desajuste de módulo		Pérdidas de desajuste de cadenas				
Frac. de pérdida	-0.8 %	Frac. de pérdida	2.0 % en MPP	Frac. de pérdida	0.1 %			
Factor de pérdida IAM								
Efecto de incidencia (IAM): Vidrio liso Fresnel, n = 1.526								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000

Anexo N°28



PVsyst V7.2.16

VC4, Fecha de simulación:
11/07/22 12:55
con v7.2.16

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
trituradora de 10 ton/día

Variante: INTENTO 3

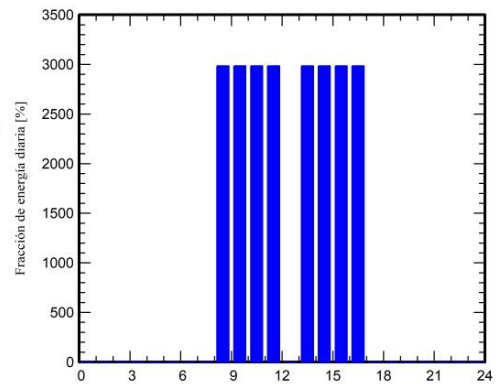
Necesidades detalladas del usuario

Consumidores domésticos diarios, Constante durante el año, promedio = 23.9 kWh/día

Valores anuales

	Número	Potencia W	Uso Hora/día	Energía Wh/día
MOTOR TRITURADORA	1	2983W tot	8.0	23862
Consumidores en espera			24.0	24
Energía diaria total				23886Wh/día

Distribución por hora



Anexo N°29


 Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
 trituradora de 10 ton/día

Variante: INTENTO 3

PVsyst V7.2.16

 VC4, Fecha de simulación:
 11/07/22 12:55
 con v7.2.16

Resultados principales

Producción del sistema

 Energía disponible 9780 kWh/año
 Energía usada 8719 kWh/año
 Exceso (sin usar) 707 kWh/año

Pérdida de carga

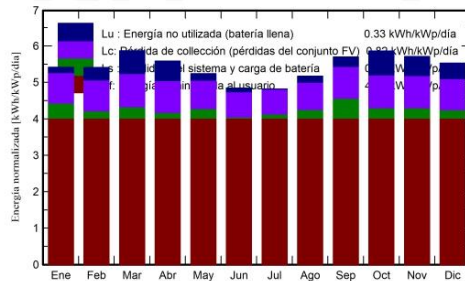
 Fracción de tiempo 0.0 %
 Energía faltante 0 kWh/año

 Producción específica 1646 kWh/kWp/año
 Proporción de rendimiento (PR) 74.07 %
 Fracción solar (SF) 100.00 %

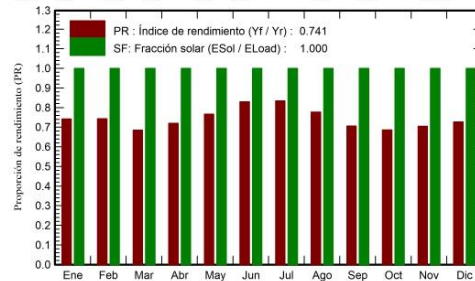
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)

 Ciclos SOW 98.2 %
 SOW estático 93.7 %
 Duración de vida de batería 15.8 años

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac proporción
Enero	176.7	162.4	825.9	26.7	0.000	740.5	740.5	1.000
Febrero	155.4	147.0	742.9	56.1	0.000	668.9	668.9	1.000
Marzo	181.0	177.0	894.5	113.8	0.000	740.5	740.5	1.000
Abril	161.4	163.3	825.1	95.3	0.000	716.6	716.6	1.000
Mayo	151.6	158.0	805.4	32.2	0.000	740.5	740.5	1.000
Junio	134.1	141.1	724.8	18.2	0.000	716.6	716.6	1.000
Julio	138.9	145.1	744.6	0.0	0.000	740.5	740.5	1.000
Agosto	152.2	156.0	798.3	30.0	0.000	740.5	740.5	1.000
Septiembre	167.7	166.4	841.4	45.6	0.000	716.6	716.6	1.000
Octubre	184.4	176.5	894.8	120.4	0.000	740.5	740.5	1.000
Noviembre	179.4	165.6	840.2	91.9	0.000	716.6	716.6	1.000
Diciembre	181.7	165.7	841.8	77.0	0.000	740.5	740.5	1.000
Año	1964.5	1924.1	9779.7	707.2	0.000	8719.1	8719.1	1.000

Leyendas

 GlobHor Irradiación horizontal global
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
 E_Avail Energía solar disponible
 EUnused Energía no utilizada (batería llena)
 E_Miss Energía faltante

 E_User Energía suministrada al usuario
 E_Load Necesidad energética del usuario (Carga)
 SolFrac Fracción solar (EUtilizada / ECarga)

Anexo N°30



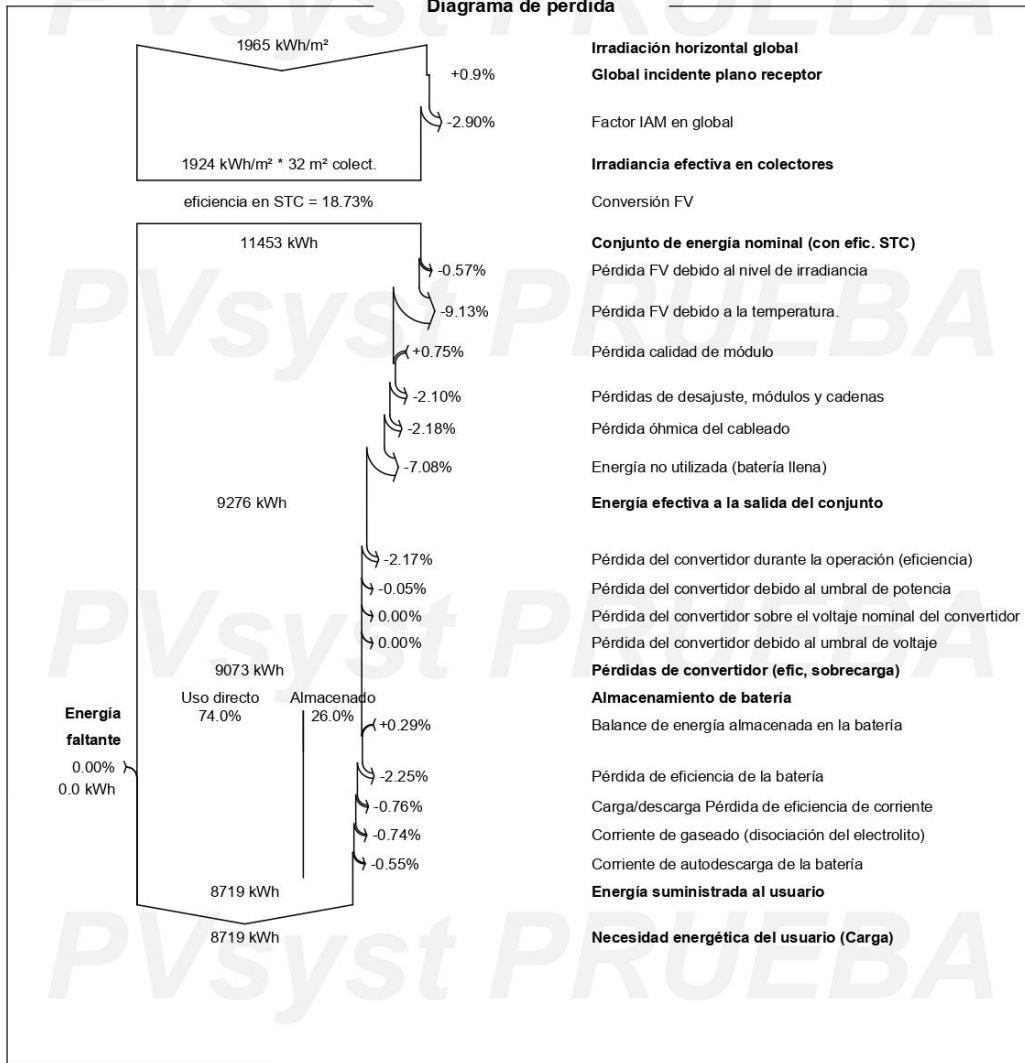
PVsyst V7.2.16

VC4, Fecha de simulación:
11/07/22 12:55
con v7.2.16

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
trituradora de 10 ton/día

Variante: INTENTO 3

Diagrama de pérdida



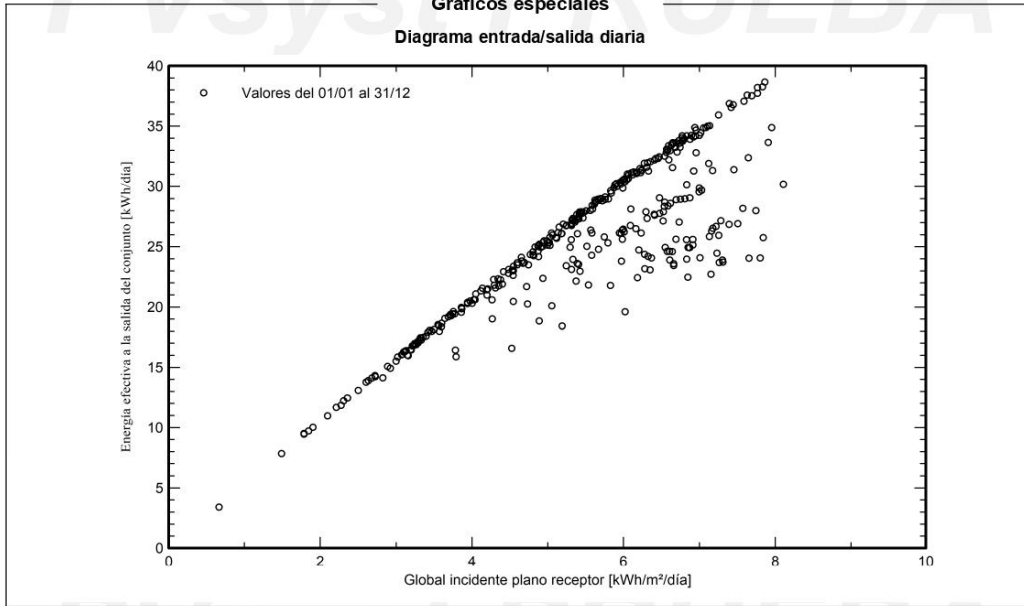
Anexo N°31



PVsyst V7.2.16

VC4, Fecha de simulación:
11/07/22 12:55
con v7.2.16Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
trituradora de 10 ton/día

Variante: INTENTO 3

Gráficos especiales
Diagrama entrada/salida diaria

Anexo N°32



PVsyst V7.2.16

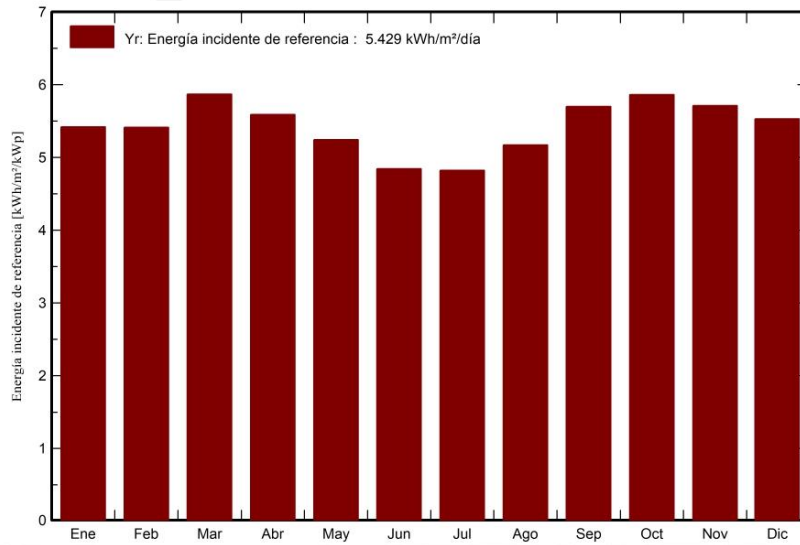
VC4, Fecha de simulación:
11/07/22 12:55
con v7.2.16

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
trituradora de 10 ton/día

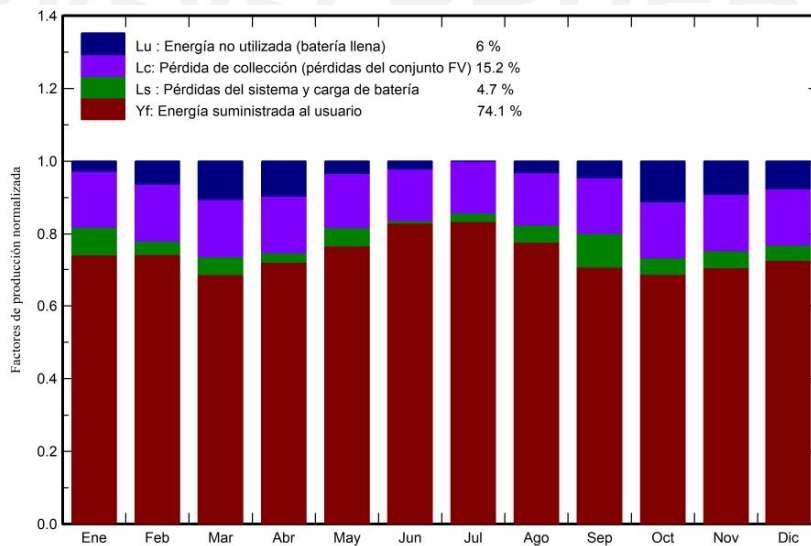
Variante: INTENTO 3

Gráficos predefinidos

Energía incidente de referencia en el plano colector



Producción normalizada y factores de pérdida



Anexo N°33



PVsyst V7.2.16

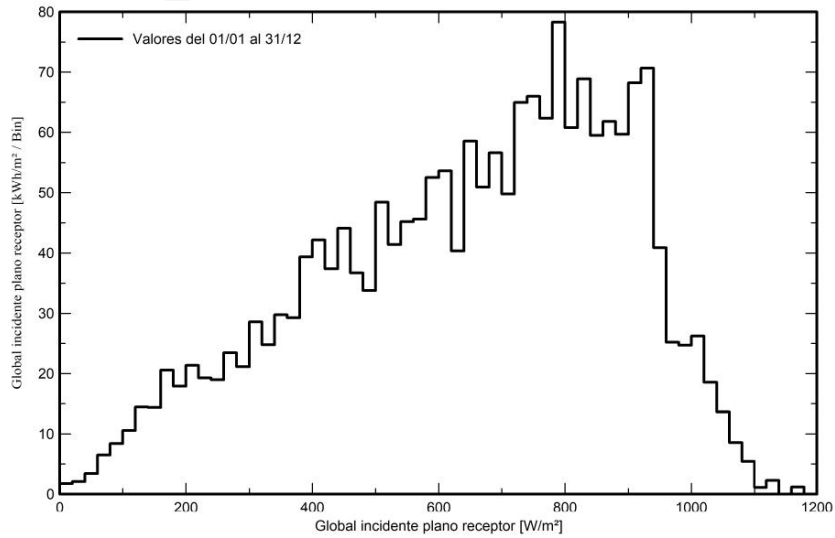
VC4, Fecha de simulación:
11/07/22 12:55
con v7.2.16

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
trituradora de 10 ton/día

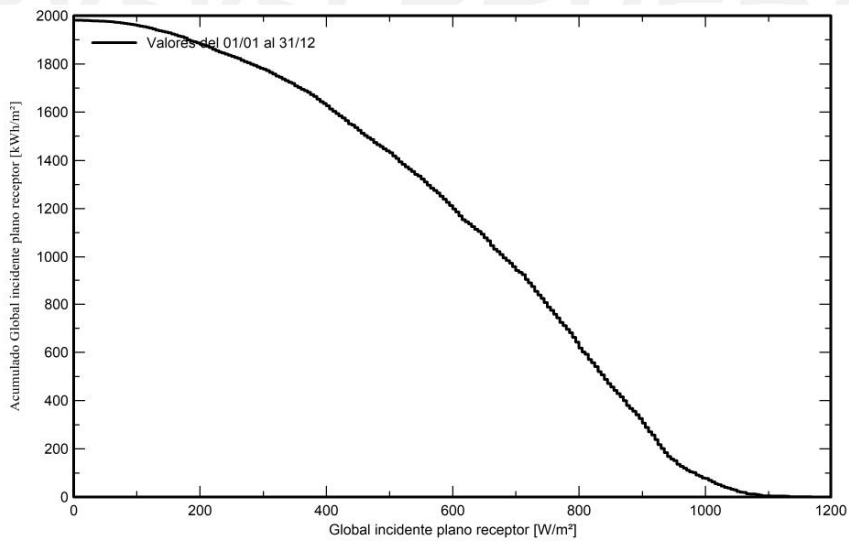
Variante: INTENTO 3

Gráficos predefinidos

Distribución de irradiación incidente



Cola de distribución de irradiación incidente



Anexo N°34



PVsyst V7.2.16

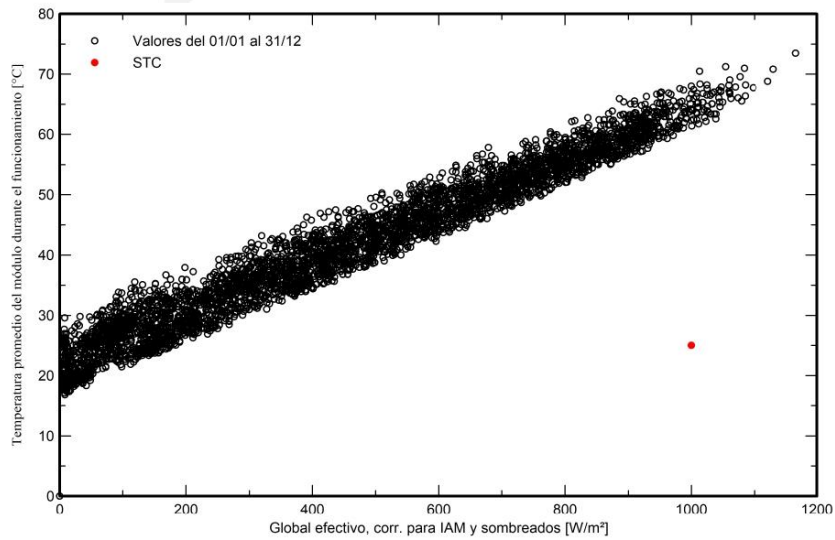
VC4, Fecha de simulación:
11/07/22 12:55
con v7.2.16

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
trituradora de 10 ton/día

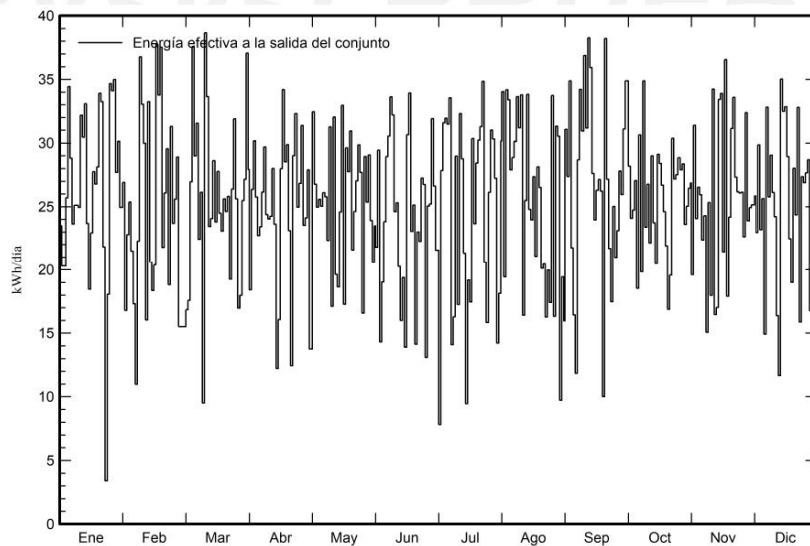
Variante: INTENTO 3

Gráficos predefinidos

Temperatura del conjunto vs irradiancia efectiva



Energía diaria a la salida del conjunto



Anexo N°35



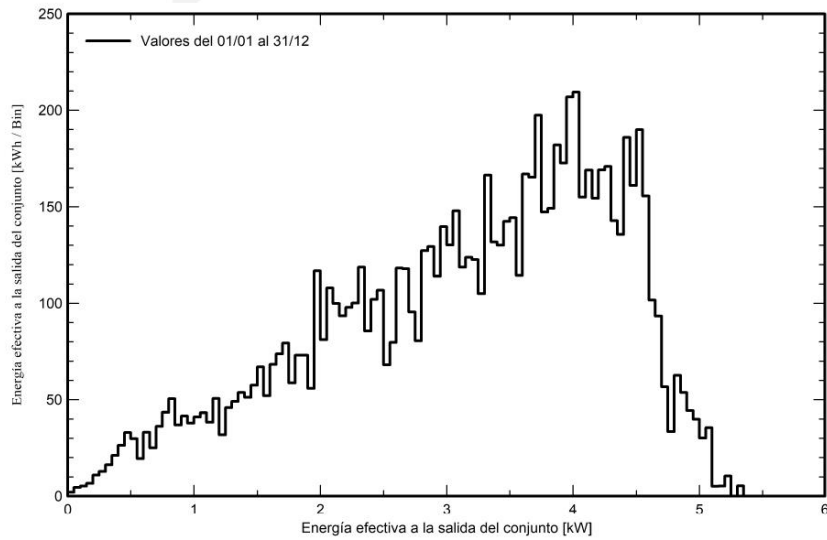
PVsyst V7.2.16
 VC4, Fecha de simulación:
 11/07/22 12:55
 con v7.2.16

Proyecto: Dimensionamiento fotovoltaico para máquina
 trituradora de 10 ton/día

Variante: INTENTO 3

Gráficos predefinidos

Distribución de la potencia del conjunto



Distribución diaria del estado de carga

