



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
MECÁNICA ELÉCTRICA**

**Estudio teórico de un riogenerador para la generación de energía  
eléctrica en el sector Sausicucho – Distrito de Cachachi**

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

**AUTORES**

Cueva Calderon, Pedro (0000-0001-6210-1956)  
Quiñones Lucio, Breidy Boris (0000-0001-9305-3467)

**ASESOR**

Mg. Luis Alberto Julca Verástegui (0000-0003-1208-1242)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

Modelamiento y simulación de sistemas electromecánicos

TRUJILLO – PERÚ

2019

## **DEDICATORIA**

Esta tesis la dedico a mi Padres Feliciano Cueva Cruz y Melania Julia Calderón Rodríguez, por su apoyo incondicional en el transcurso de la tesis y también a nuestro asesor asignado en el cual nos orientó para poder lograrlo realizar.

La presente tesis la dedico a toda mi familia especialmente a mis Padres Víctor Renee Quiñones Rosales y Rosario Isabel Lucio Escobedo que fueron mi fuerza y mi motivación para culminar mi carrera profesional satisfactoriamente

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias a mi universidad por haberme permitido formarme, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos ustedes, fueron ustedes los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se vería reflejado en la culminación de mi paso por la universidad. Gracias a mis padres, que fueron mis mayores promotores durante este proceso, gracias a Dios, que fue mi principal apoyo y motivador para cada día continuar sin tirar la toalla.

Este es un momento muy especial que espero, perdurará en el tiempo, no solo en la mente de las personas a quienes agradecí, sino también a quienes invirtieron su tiempo para echarle una mirada a mi proyecto de tesis; a ellos asimismo les agradezco con todo mi ser.

## Índice de contenidos

DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	viii
Abstract .....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	5
III. MÉTODO.....	24
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	24
3.2. Variables y operacionalización .....	24
3.3. Población y muestra.....	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	25
3.5. Procedimientos .....	25
3.6. Método de análisis de datos.....	26
3.7. Aspectos éticos .....	26
IV. RESULTADOS .....	27
V. DISCUSIÓN .....	37
VI. CONCLUSIONES.....	39
VII. RECOMENDACIONES.....	41
REFERENCIAS .....	42
ANEXOS.....	45

## Índice de tablas

Tabla 1. Técnicas e instrumentos de la investigación.....	25
Tabla 2. Número de viviendas 1940 – 2019 – Sector Sausicucho.....	27
Tabla 3. Potencia eléctrica consumida por cada familia .....	28
Tabla 4. Energía eléctrica consumida por cada familia .....	28
Tabla 5. Parámetros de operación del riogenerador seleccionado.....	30
Tabla 6. Análisis comparativo del riogenerador con turbinas hidráulicas Pelton y Michell - Banki.....	31
Tabla 7. Inversión de los activos fijos del proyecto.....	33
Tabla 8. Análisis financiero VAN y TIR del proyecto .....	35
Tabla 9. Balance hídrico del río Sausicucho (m <sup>3</sup> /s) .....	50
Tabla 10. Demanda Agrícola en la Cuenca del río Sausicucho (m <sup>3</sup> /s) .....	50
Tabla 11. Caudales máximos y mínimos del río Sausicucho (m <sup>3</sup> /s) .....	50
Tabla 12. Análisis de parámetros de diseño del riogenerador .....	53
Tabla 13. Consideraciones de diseño .....	53
Tabla 14. Datos operativos del río de Sausicucho.....	53
Tabla 15. Datos de operación del riogenerador.....	54
Tabla 16. Iteración de datos de operación para la rueda hidráulica.....	58
Tabla 17. Presupuesto con subestación eléctrica .....	62
Tabla 18. Presupuesto del sistema por carga de baterías y distribución de energía alterna.....	68
Tabla 19. Presupuesto con distribución de energía continua .....	70
Tabla 20. Comparación económica y de vida útil de las propuestas .....	70
Tabla 21. Parámetros nominales principales del generador eléctrico.....	71
Tabla 22. Número de torones, potencia tabulada, número de cadenas y tipo de lubricación para la velocidad de entrada de 100.98 RPM.....	82

## Índice de figuras

Figura 1. Tipos de ruedas hidráulicas .....	5
Figura 2. Área proyectada sumergida de la rueda hidráulica.....	6
Figura 3. Dimensiones de la rueda hidráulica .....	7
Figura 4. Componentes principales de una turbina Pelton .....	9
Figura 5. Componentes principales de una turbina Michell – Banki.....	12
Figura 6. Sección transversal de un conductor.....	17
Figura 7. Número de familias del sector Sausicucho 1940-2019.....	49
Figura 8. Ubicación geográfica del rio Sausicucho .....	51
Figura 9. Proyección de ubicación del riogenerador – Rio Sausicucho .....	52
Figura 10. Medición de la profundidad media – Rio Sausicucho .....	52
Figura 11. Caudal VS Potencia .....	56
Figura 12. Caudal VS Velocidad .....	56
Figura 13. Variación del caudal en función de la fuerza, torque y rotación de la rueda hidráulica. ....	59
Figura 14. Propuesta de subestación eléctrica para la conducción de energía eléctrica al sector de Sausicucho .....	60
Figura 15. Centro de carga y distribución de energía alterna. ....	63
Figura 16. Distribución de electricidad continúa. ....	69
Figura 17. Generador eléctrico con reductor de velocidad .....	71
Figura 18. Generación, almacenamiento y distribución de energía eléctrica con riogenerador.....	72
Figura 19. Sistema de reducción de velocidad .....	80
Figura 20. Perfil de la rueda hidráulica .....	88
Figura 21. Pala de la rueda hidráulica .....	88
Figura 22. Diagrama de cuerpo libre DCL del eje de movimiento de la rueda hidráulica .....	91
Figura 23. Diagrama de Fuerza cortante $V_y - X$ .....	92
Figura 24. Diagrama de Fuerza cortante $V_z - X$ .....	92
Figura 25. Diagrama de Momento flexionante $M_z - X$ .....	93
Figura 26. Diagrama de Momento flexionante $M_y - X$ .....	93
Figura 27. Diagrama de Momento resultante $M_R - X$ .....	94
Figura 28. Diagrama de Momento torsor $T - X$ .....	94

Figura 29. Área del eje transmitido.....	95
Figura 30. Fuerzas aplicadas al rodamiento localizado en el punto de apoyo “A” .....	101
Figura 31. Fuerzas aplicadas al rodamiento localizado en el punto de apoyo “D” .....	105
Figura 32. Fuerzas tangenciales aplicada en superficie de chaveta.....	110

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo realizar un estudio teórico para generar energía eléctrica a partir del potencial hidráulico en un riogenerador para el Sector Sausicucho – Distrito de Cachachi. La investigación fue de tipo aplicada, descriptivo, diseño pre experimental. La población a los sectores rurales con potencial de fuente hidráulica, sin conexión al SEIN y como muestra al Sector Poblado Sausicucho con fuente hidráulica del río Sausicucho. El generador eléctrico seleccionado fue de característica monofásico con una potencia nominal de 48.40 KVA con un voltaje de 220V y velocidad de rotación de 1800 RPM, con reductor de 100.98 RPM. Asimismo, se comparó los datos de operación del riogenerador con los de las turbinas Pelton y Michell – Banki, donde se necesita una altura geodésica de 0m y 18 palas con un riogenerador, 16m y 21 cucharas con turbina Pelton y 22m y 1 inyector con turbina Michell – Banki. El presente proyecto tiene un beneficio útil de 41897.10 US\$/año, con una inversión de 28605.20 US\$ y un retorno de inversión de 8 meses. Desde el criterio financiero el proyecto es viable con una TIR del 146% y un VAN de 290067.47 US\$ en 15 años con una tasa de interés del 10%.

**Palabras clave:** Riogenerador, generación de energía eléctrica, rueda hidráulica



## **Abstract**

The objective of this research was to carry out a theoretical study to generate electrical energy from the hydraulic potential in a river generator for the Sausicucho Sector - Cachachi District. The research was of an applied, descriptive type, pre-experimental design. The population to the rural sectors with potential of hydraulic source, without connection to the SEIN and as it shows to the Sector Poblado Sausicucho with hydraulic source of the Sausicucho river. The electric generator selected was of a single-phase characteristic with a nominal power of 48.40 KVA with a voltage of 220V and a rotation speed of 1800 RPM, with a reducer of 100.98 RPM. Likewise, the operating data of the river generator was compared with those of the Pelton and Michell - Banki turbines, where a geodesic height of 0m and 18 blades with a river generator, 16m and 21 scoops with a Pelton turbine and 22m and 1 injector with a turbine is needed. Michell - Banki. This project has a useful benefit of 41897.10 US \$ / year, with an investment of 28,605.20 US \$ and a return on investment of 8 months. From the financial criteria, the project is viable with an IRR of 146% and a NPV of US \$ 2,90067.47 in 15 years with an interest rate of 10%.

**Keywords:** Riogenerador, electric power generation, hydraulic wheel

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad mundial, la producción de energía eléctrica ha logrado un coeficiente de electrificación del 75%, Pero parte de este porcentaje, el 13% es suministrado por energías renovables, tales como: ruedas hidráulicas portátiles (riogeneradores), paneles fotovoltaicos y aerogeneradores, lo que significa el poco interés en la producción de energía eléctrica mediante fuentes limpias, sobre todo si consideramos a América Latina con un uso del 17% de esta energía (Rosales, 2016).

A nivel nacional, el estado peruano ha logrado un porcentaje de electrificación del 81%, lo cual genera problemas de desigualdad entre áreas urbanas y rurales. Donde las zonas urbanas han alcanzado un 88% de coeficiente de electrificación, mientras las áreas rurales solo han llegado a un 30%, donde vive aproximadamente la tercera parte de la población del Perú (Castañeda, 2018).

Asimismo, en el Perú el grupo de Apoyo al Sector Rural desde el año 2012 de la Pontificia Universidad Católica con el financiamiento de la Unión Europea, viene generando 2.6 MW de energía eléctrica mediante riogeneradores y riobombas para las zonas rurales, beneficiando en promedio a 8000 personas, combatiendo de esta manera la pobreza y avanzar en su desarrollo del país (GASR, 2019).

En la actualidad, apostar a las energías renovables o limpias, una de las alternativas es la energía hidráulica, la cual es generada a través de turbinas hidráulicas, que, a pesar del bajo costo de mantenimiento, bajo impacto al ambiente, su largo ciclo de vida, tiene la limitante en los costos de inicio para la fabricación de las centrales hidroeléctricas y como requerimiento principal, las caídas de agua. De acuerdo a lo antes expuesto, una alternativa a evaluar es la micro generación con el uso de varias ruedas hidráulicas, aprovechando los recursos hídricos que en las poblaciones existan, sin necesidad que tengan caídas de agua, y sólo requiriéndose de una corriente de agua durante todo el año. En el Perú, existen ríos sin caídas de agua, donde podría funcionar la microgeneración en las zonas rurales (Torres, 2015).

El Sector poblado de Sausicucho, perteneciente al distrito de Cachaqui en la provincia de Cajabamba, departamento de Cajamarca, cuenta con una población hasta la actualidad de 215 personas distribuidas en 41 viviendas, las cuales no cuentan con el SEIN (servicio eléctrico interconectado nacional), existiendo

abandono por parte las autoridades respecto al tema ya que el sector poblado fue fundado el año 1940, donde los pobladores no pueden acceder al uso de tecnologías, alumbrándose con velas que ellos mismos fabrican artesanalmente, por tal razón se propone la generación de energía eléctrica para suministrarla al Sector de Sausicucho mejorando la calidad de vida de sus pobladores, haciendo uso de la fuente hidráulica del río Sausicucho el cual representa un caudal o flujo volumétrico constante todo el año.

Para dar sustento a la presente investigación, el estudio cuenta con los siguientes antecedentes nacionales e internacionales:

Heredia (2015) en su trabajo de investigación, titulado “Construcción y ensayo de una rueda hidráulica de corriente libre de 2 M de diámetro”, realizada en la Universidad Pontificia Católica del Perú, explica que para la generación de energía eléctrica en zonas rurales que tienen como fuente un río con flujo constante, sin altura geodésica significativa es beneficio la instalación de ruedas hidráulica, el estudio aplico la metodología experimental, a una ruda hidráulica de 2 metros de diámetro con 0.50 metros de ancho. Donde se obtuvo como resultado para la rueda hidráulica, una potencia eléctrica de 30 W, con un caudal de 75 lt/s, velocidad de rotación 6.5 rpm, sumergido 198 mm y una velocidad del agua de 1.012 m/s. Concluyendo que el aumento de la producción de energía eléctrica depende la profundidad de las paletas las cuales deben estas inclinadas  $28^\circ$  respecto al radio de la armadura de la rueda.

De la misma manera, Vaca (2014) en su tesis “Diseño y construcción de un sistema de bombeo mediante rueda hidráulica de alimentación inferior, para la granja de pollos Avícola Serrano” Tesis para optar el grado de Especialista en Ingeniero Electromecánico, Universidad Nacional de Loja, Ecuador. Llego a la siguiente conclusión: La rueda hidráulica se configura con un diámetro de 1.80m, una amplitud de 0.81m, y cuenta con 9 álabes curvos; con lo cual se ha logrado mejorar su eficiencia, asegurando la rotación uniforme de la misma cuando el sistema está operando a plena carga.

Asimismo, Solórzano (2014) en sus tesis “Diseño, construcción e implementación de un sistema de bombeo a través de una rueda hidráulica de alimentación superior y bomba de desplazamiento positivo, para el centro de investigaciones de energías renovables y eficiencia energética” Tesis para optar el grado de Especialista en

Ingeniero Electromecánico, Universidad Nacional de Loja, Ecuador. Llego a la siguiente conclusión: Con el diseño de la rueda hidráulica de alimentación superior se logró establecer parámetros de funcionamiento que servirán para próximas investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de energías alternativas y indica se realice constantemente el mantenimiento preventivo de las partes móviles del sistema de bombeo con la finalidad de obtener estados normales de funcionamiento.

También, Córdova (2016), en su tesis “Diseño y construcción de un sistema rueda hidráulica – bomba” Tesis para optar el grado de Especialista en Ingeniero Mecánico, en la escuela Politécnica Nacional de Ingeniería, Quito. Llego a la siguiente conclusión: El coeficiente de velocidad se mantiene más o menos constante para un rendimiento sobre el 20%, con un Valor Promedio de:  $\phi = 0.48$ . Este valor nos sirve para pasar al prototipo en base a los experimentos hechos en nuestro modelo, asegurando un rendimiento del sistema superior de 25%. Este factor de velocidad de 0.48 nos permitirá encontrar el número de revoluciones que tendrá prototipo, de acuerdo a la velocidad de la corriente de agua en el lugar.

Finalmente, en la investigación de Vásquez (2016), en su estudio denominado “Diseño de un sistema hidráulico para suministrar agua al sistema de riego fundo el papayal, Bagua” Tesis para optar el grado de Especialista en Ingeniero Mecánico Electricista en la Universidad Privada Cesar Vallejo, Perú. Llego a la siguiente conclusión: Que la rueda hidráulica de un radio de 1m y 15 alabes es suficiente para generar la potencia de 22,671 KW que requiere la bomba para cumplir con su caudal de bombeo. 12.73 l/s. La evaluación económica salió positiva arrojando valores del 18% TIR (Tasa Interna de Retorno) y S/ 202.23 VAN (Valor Actual Neto). Por lo anteriormente expresado, la formulación del problema de la investigación es el siguiente: ¿Es factible generar energía eléctrica a partir del potencial hidráulico en un riogenerador para el Sector Sausicucho – Distrito de Cachachi?

El presente informe de tesis, se justifica desde el punto de vista económico porque permitirá que los pobladores del Sector Sausicucho consuman energía eléctrica con un costo de generación relativamente bajo, reduciendo el costo del KWh, frente a la utilización de energía eléctrica con el SEIN. Asimismo, se justifica de manera social porque beneficiará a todos pobladores del Sector Sausicucho, mediante la inclusión a tener energía eléctrica mediante un riogenerador, la cual es una energía

limpia y económica con un proyecto que espera una vida útil de 25 años. Desde el carácter de la justificación institucional la implementación de tecnologías hidráulicas hace que estudiantes de la Universidad Cesar Vallejo aprenda y extiendan su conocimiento al campo laboral contribuyendo al desarrollo de un país mediante la generación de proyectos de inclusión social para quienes más lo necesitan y finalmente se justifica de manera ambiental disminuyendo el nivel de contaminación frente a las fuentes que utilizan combustibles para la producción de electricidad, cumpliendo con las normas de impacto medio ambiental que promueven la generación de energía eléctrica mediante la utilización de energías limpias.

Basándose en la formulación del problema, la investigación plantea la siguiente hipótesis:

Es factible generar energía eléctrica a partir del potencial hidráulico en un riogenerador para el Sector Sausicucho – Distrito de Cachachi.

Para dar respuesta al problema, se ha planteado el siguiente objetivo general:

Realizar un estudio teórico para generar energía eléctrica a partir del potencial hidráulico en un riogenerador para el Sector Sausicucho – Distrito de Cachachi.

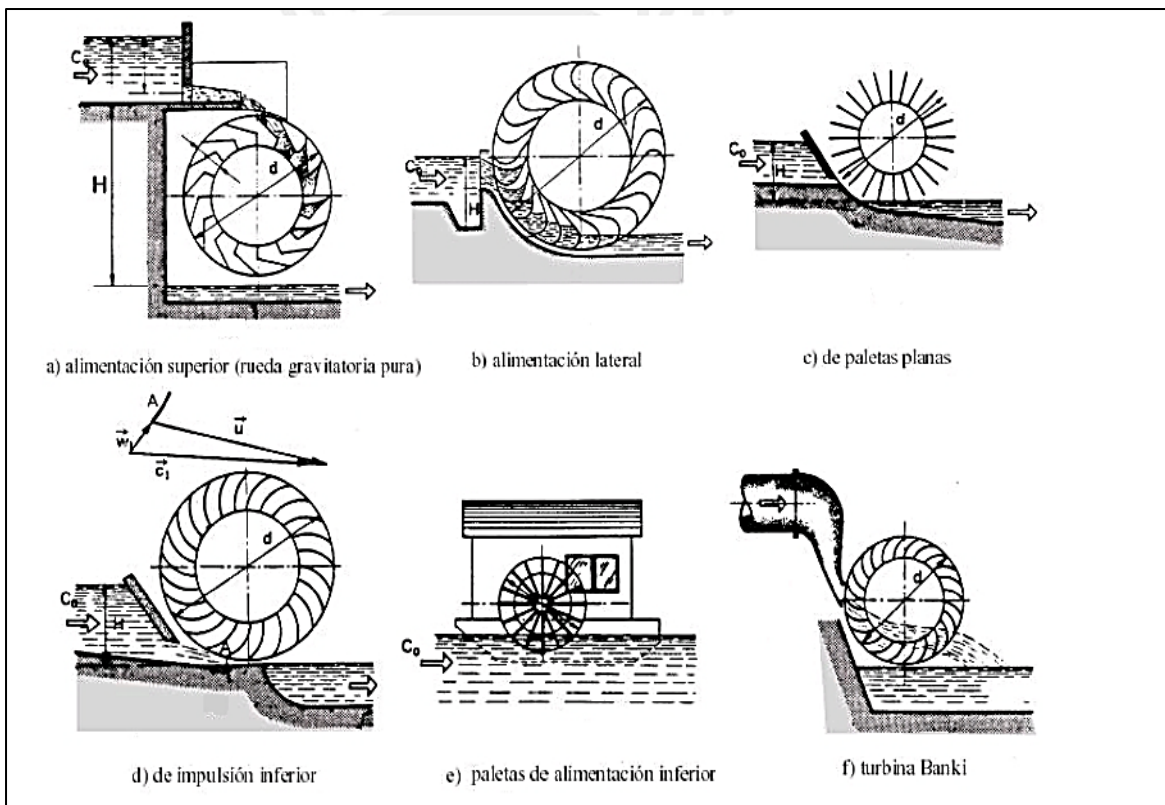
Para poder conseguir el objetivo general, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar la situación actual y proyección del número de familias del Sector Poblado de Sausicucho, para el diseño de la rueda hidráulica.
2. Determinar la demanda de potencia y energía eléctrica requerida por familias del Sector Poblado de Sausicucho.
3. Evaluar el potencial hidráulico según el caudal máximo y mínimo, mediante el estudio hidrológico del río Sausicucho.
4. Diseño del riogenerador, propuestas de almacenamiento y distribución y análisis comparativo con turbinas hidráulicas Pelton y Michel – Banki.
5. Elaborar un análisis económico y financiero del estudio.
6. Elaborar los planos de fabricación de la rueda hidráulica, con el uso del Solidworks

## II. MARCO TEÓRICO

La presente investigación busca demostrar la viabilidad de generación de energía eléctrica mediante el aprovechamiento del potencial hidráulico en un riogenerador, para el Centro Poblado de Sausicucho, demostrando que según las condiciones de la zona, río, valoración técnica y económica es una mejor opción una rueda hidráulica, frente a una turbina hidráulica Pelton y Michell Banki, con tal finalidad se presentan las siguientes teorías relacionadas al tema, fundamentadas en artículos científicos, tesis, revistas seriadas y libros de turbomáquinas:

El Riogenerador Es un mecanismo que aprovecha el flujo de un río, ocasionando un movimiento rotacional de una rueda hidráulica. La potencia mecánica adquirida por la rueda es transferida a un generador eléctrico a través de un eje, el cual está acoplado mediante una cadena a un mecanismo multiplicador. Este mecanismo equipara el régimen de giro del eje con el rango nominal de funcionamiento del generador, el cual requiere altas revoluciones para operar eficientemente (Palco, 2018).



**Figura 1.** Tipos de ruedas hidráulicas  
Fuente: (Córdova, 2000).

De las mencionadas 6 ruedas hidráulicas, las ruedas de admisión inferior funcionan aprovechando el golpe o choque del agua que pasa por la parte inferior, el canal dentro del cual se halla instalada la rueda es un poco más ancho que la rueda, de modo que casi toda el agua choca contra los álabes, existe dos tipos las de álabes rectos y curvos, el agua puede llegar pasando bajo una compuerta (Córdova, 2000). La potencia de una rueda hidráulica, se determina:

$$P_h = 0.41 * \rho * A * V^3 \quad (01)$$

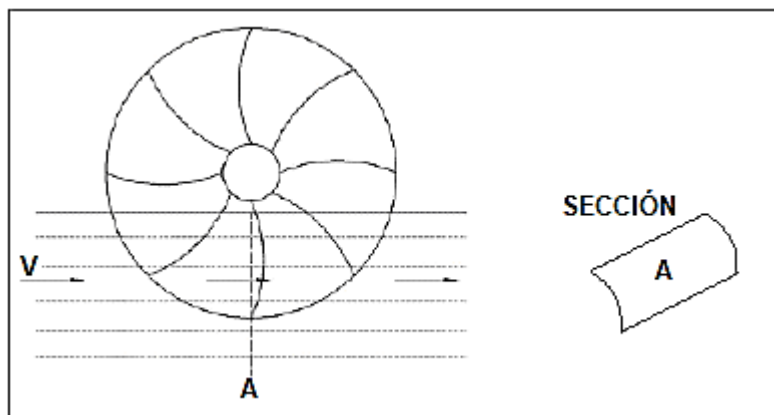
Dónde:

$P_h$ : Potencia hidráulica del riogenerador (W).

$\rho$ : Densidad del fluido (agua) (Kg/m<sup>3</sup>).

$V$ : Velocidad lineal del agua (valor superficial) (m/s).

$A$ : Área sumergida proyectada (m<sup>2</sup>)



**Figura 2.** Área proyectada sumergida de la rueda hidráulica  
Fuente: (Tokashiki, 2013)

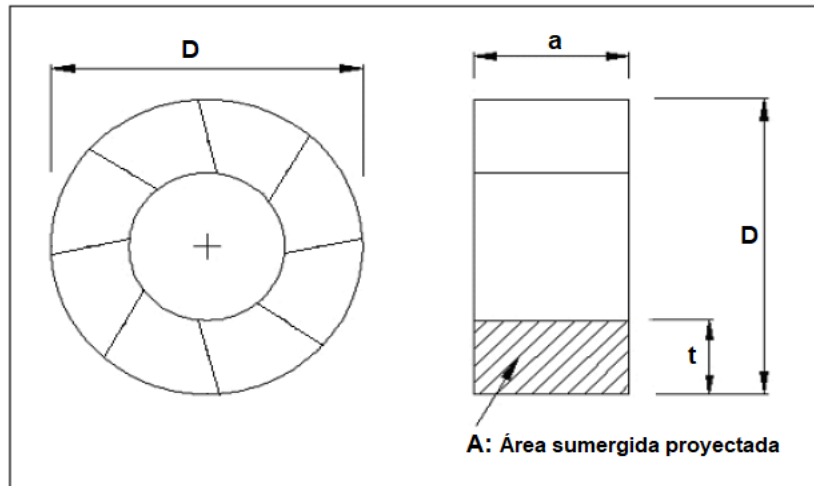
Se tiene:

$$A = a * t \quad (02)$$

Dónde:

$a$ : Es el ancho de la rueda hidráulica (m).

$t$ : La profundidad sumergida de la rueda (m).



**Figura 3.** Dimensiones de la rueda hidráulica

Fuente: (Tokashiki, 2013)

Donde se recomienda que el ancho de la rueda hidráulica, no sea superior a la mitad del diámetro exterior, para evitar problemas estructurales con ruedas muy anchas (Tokashiki, 2013).

$$a < \frac{D}{2} \quad (03)$$

Asimismo, razón entre la profundidad y el diámetro presenta un rango empírico adoptado históricamente por los fabricantes de ruedas hidráulicas, asociado a condiciones de estabilidad (Tokashiki, 2013).

$$0.025 < t/D < 0.125 \quad (04)$$

El caudal debe depender del área proyectada y del flujo de velocidad

$$Q = V * A \quad (05)$$

Dónde:

Q: Caudal o flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/s)

V: Velocidad lineal superficial del agua (m/s).

A: Es el área transversal proyectada sumergida (m<sup>2</sup>)

Momento torsor o torque, depende la fuerza del agua sobre las paletas de la rueda hidráulica y del diámetro exterior (Shigley, 2012):



$$T = F * \frac{D}{2} \quad (06)$$

Dónde:

T: Torque (N.m)

D: Diámetro (m)

F: Fuerza tangencial (N)

$$F = \frac{P_h}{T} \quad (07)$$

P<sub>h</sub>: Potencia (W)

La velocidad angular, se determinaría:

$$\omega = \frac{P_h}{T} \quad (08)$$

$\omega$ : Velocidad angular (rad/s).

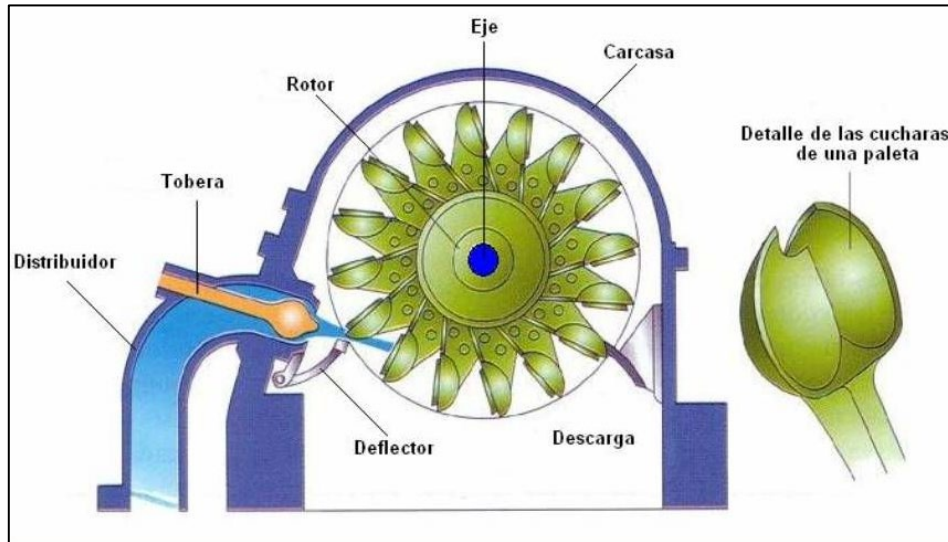
La velocidad angular, se puede expresar en RPM, mediante la siguiente expresión:

$$n = \frac{30 * \omega}{\pi} \quad (09)$$

n: Velocidad de rotación (RPM).

Las turbinas hidráulicas o también denominadas turbomáquinas motoras hidráulicas, tienen como principio transformar la energía cinética de un fluido generalmente agua, en energía mecánica de rotación para dar movimiento a un generador para la obtención de energía eléctrica (Agüero, 2012), en el análisis general tenemos dos tipos de turbinas hidráulicas que van de acuerdo al estudio de la presente investigación.

Las turbinas Pelton, es la turbina hidráulica más común y eficiente, se fundamenta en una rueda llamada rodete con cucharas en su periferia, las cuales tienen la finalidad de convertir la energía de un chorro de agua de flujo tangencial, admisión parcial y acción, en movimiento rotacional mecánico, para su posterior transformación en energía eléctrica en un generador, asimismo estas turbinas están diseñadas para trabajar con grandes saltos hidráulicos (diferencia de altura geodésica) y bajos caudales (Polo, 2015).



**Figura 4.** Componentes principales de una turbina Pelton  
Fuente: (Polo, 2015).

El análisis de ingeniería de diseño de una turbina hidráulica Pelton el cual es un algoritmo correlativo, se muestra a continuación (Mataix, 2014)

Potencia hidráulica, o potencial hidráulico depende del caudal mínimo y del salto hidráulico disponible de un río, además del peso específico del agua.

$$N = \frac{\gamma * Q * H}{75} \quad (10)$$

Dónde:

N: Potencia hidráulica (CV)

Q: Caudal mínimo (m<sup>3</sup>/s)

H: Altura geodésica (m)

$\gamma$ : Peso específico del agua ( $\frac{\text{Kg-f}}{\text{m}^3}$ )

Número específico de vueltas, es un parámetro de diseño de una turbina Pelton el cual varía entre 0 y 40, y está en función de la velocidad de rotación de la rueda, potencia hidráulica y altura geodésica.

$$(n_s)_i = \frac{n * N^{1/2}}{H^{5/4}} \quad (11)$$

Dónde:

$(n_s)_i$ : Número específico de vueltas en una turbina pelton.

n: Velocidad de rotación (RPM)

N: Potencia hidráulica (CV)

H: Altura geodésica (m)

Número de chorro, es relevante determinar la cantidad de chorros necesarios, ya que determinan la cantidad de inyectores que impulsaran agua para el movimiento de la rueda hidráulica. Y depende de los coeficientes de velocidad absoluta y velocidad periférica, asimismo del número específico de vueltas y de la relación de diámetros de chorro y rueda.

$$(n_s)_i = 576 * (\varphi)^{\frac{1}{2}} * (Z)^{\frac{1}{2}} * K_p * \left(\frac{d}{D}\right) \quad (12)$$

Dónde:

$(n_s)_i$ : Número específico de vueltas

$\varphi$ : Coeficiente de velocidad absoluta, varía entre 0.97 y 0.98

Z: Número de chorros

$K_p$ : Coeficiente de velocidad periférica, varía entre 0.44 y 0.46.

$d/D$ : Relación entre diámetro de chorro y diámetro de rueda, debe cumplirse por diseño la relación:  $\frac{d}{D} \leq \frac{1}{10}$

Diámetro de chorro, es una característica necesaria en el diseño de las cucharas y su valor establece el diámetro de la rueda hidráulica. Para su análisis requiere del caudal mínimo, altura geodésica, aceleración de la gravedad, cantidad de chorros y del coeficiente de velocidad absoluta.

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * Z} * \left(\frac{1}{\varphi * \sqrt{2 * g * H}}\right)} \quad (13)$$

Dónde:

Q: Caudal mínimo ( $m^3/s$ )

Z: Número de chorros

g: Aceleración de la gravedad,  $g=9.81 m/s^2$

$\varphi$ : Coeficiente de velocidad absoluta, varía entre 0.97 y 0.98,  $\varphi = 0.975$

H: altura geodésica

Diámetros interior y exterior, dependen del diámetro de la rueda y diámetro de chorro, y se calculan mediante las siguientes expresiones:

$$D_{\text{ext}} = D + 2 * d \quad (14)$$

$$D_{\text{int}} = D - 2 * d \quad (15)$$

Número de cucharas, son aquellas que van distribuidas en el perímetro del diámetro del rodete y existen dos ecuaciones, donde se tomara el mayor número de cucharas que resulte de ambas ecuaciones, tenemos:

Ecuación (a): El número de cucharas depende únicamente del diámetro del chorro y diámetro de la rueda.

$$N_{\text{cu}} = 12 + 0.74 * \frac{D}{d} \quad (16)$$

Dónde:

D: Diámetro de la rueda (m)

d: Diámetro del chorro (m)

Ecuación (b): Depende del diámetro exterior del rodete y de la longitud de arco de separación entre cucharas

$$N_{\text{cu}} = \frac{\pi * D_{\text{ext}}}{S} \quad (17)$$

Dónde, "S" es la longitud de arco de separación entre cucharas (m):

$$S = 0.8 * \left[ \Delta\theta * D - \frac{Kp}{\varphi} * \frac{D_{\text{ext}}^2}{D} * \text{sen} \left( \frac{\Delta\theta}{2} \right) \right] \quad (18)$$

$\Delta\theta$ , es ángulo del sector circular entre cucharas y el centro del eje de la turbina.

$$\Delta\theta = 2 * \cos^{-1} \left( \frac{D + d}{D_{\text{ext}}} \right) \quad (19)$$

$\varphi$ : Coeficiente de velocidad absoluta, varía entre 0.97 y 0.98,  $\varphi = 0.975$

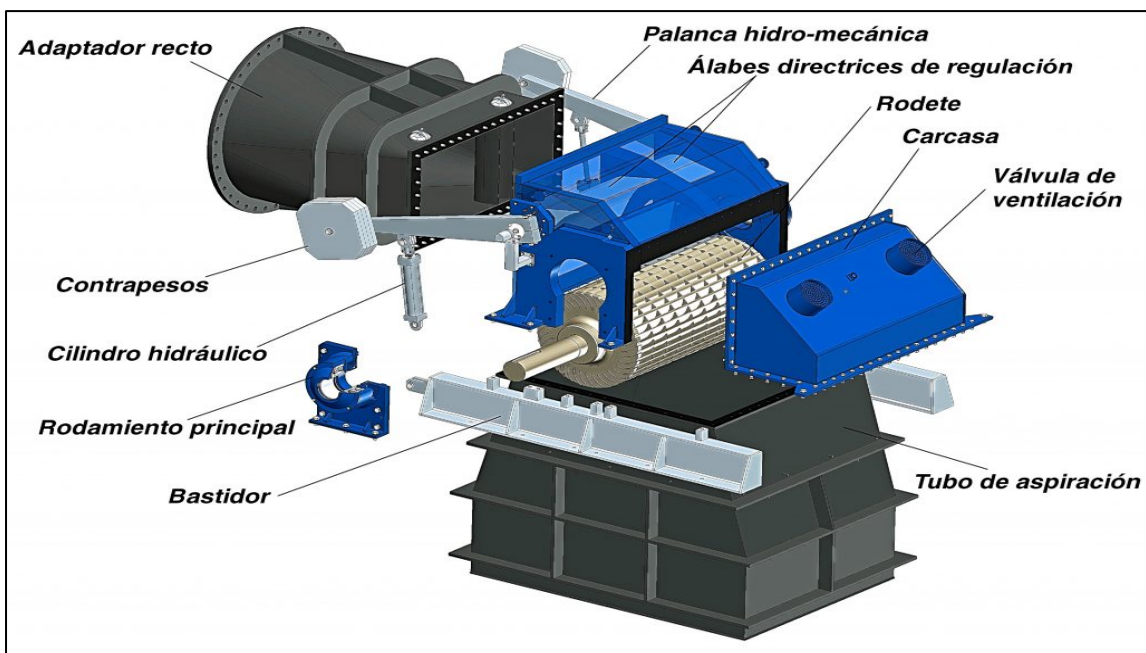
$Kp$ : Coeficiente de velocidad periférica, varía entre 0.44 y 0.46.

D: Diámetro de la rueda (m)

d: Diámetro del chorro (m)

$D_{ext}$ : Diámetro exterior (m)

Las turbinas Michell - Banki, son turbinas hidráulicas de flujo transversal o flujo cruzado, que atraviesan los álabes de forma diagonal, donde el fluido (agua) entra por el borde de la turbina y sale por el interior, atravesando el vano central sale por el lado opuesto, dónde al pasar 2 veces de obtienen una gran eficiencia para flujos de característica variada, es tipo de turbinas es de baja velocidad, diseñada para trabajar con alturas pequeñas, pero con caudales volumétricos de agua elevados (Jara, 2013).



**Figura 5.** Componentes principales de una turbina Michell – Banki.  
Fuente: (Terrones, 2016)

El análisis de ingeniería de diseño de una turbina hidráulica Michell - Banki el cual es un algoritmo correlativo, se muestra a continuación (Mataix, 2014):

Altura geodésica, depende de la potencia hidráulica, caudal, aceleración de la gravedad y del rendimiento total comprendido por las pérdidas internas, mecánicas y volumétricas.

$$H = \frac{N}{\rho * g * Q * \eta_t} \quad (20)$$

Dónde:

N: Potencia hidráulica (W)

$\rho$ : Densidad del fluido ( $\frac{Kg}{m^3}$ )

g: Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

Q: Flujo volumétrico o caudal ( $m^3/s$ )

$\eta_t$ : Rendimiento total

Rendimiento interno teórico, en una turbina Michell – Banki, depende del coeficiente de pérdidas y del ángulo de ataque del inyector.

$$\eta_{it} = \theta^2 * (1 - (\tan\alpha)^2) \quad (21)$$

Dónde:

$\theta$ : Coeficiente de pérdidas, por diseño varia:  $\theta = 0.96 \dots \dots 0.98$

$\alpha$ : Ángulo de ataque del inyector, por diseño varia:  $\alpha = 14^\circ \dots \dots 18^\circ$

Rendimiento real interno, depende de las condiciones de las pérdidas internas teóricas y del coeficiente de fuga de caudal.

$$\eta_i = \eta_{it} * a \quad (22)$$

a: Coeficiente de fuga de caudal, para turbinas Michell - Banki, tenemos:  $a = 0.95$

Rendimiento mecánico, depende de las pérdidas mecánicas debido a la lubricación de los componentes móviles, su valor está comprendido:  $\eta_m = 0.85 \dots \dots 0.92 = 0.885$

Rendimiento volumétrico, esta referenciado a las fugas de caudal, en una turbina Michell – Banki debido a su diseño, tiene un rendimiento volumétrico del 100% con pérdidas insignificantes.

Rendimiento total, es la agrupación de los rendimientos interno real, mecánico y volumétrico

$$\eta_t = \eta_i * \eta_m * \eta_v \quad (23)$$

Dónde:

$\eta_t$ : Rendimiento total

$\eta_i$ : Rendimiento interno

$\eta_m$ : Rendimiento mecánico

$\eta_v$ : Rendimiento volumétrico

Velocidad absoluta de entrada, es la velocidad inicial del flujo de agua producida en el inyector, depende de la altura geodésica y del coeficiente de pérdidas.

$$C = 4.43 * \theta * \sqrt{H} \quad (24)$$

Dónde:

$\theta$ : Coeficiente de pérdidas

H: Altura geodésica (m)

Velocidad tangencial, es la velocidad que involucra la rotación del rodete y la producción de la energía mecánica en eléctrica.

$$U = \frac{C}{2 * \cos\alpha} \quad (25)$$

Dónde:

C: Velocidad absoluta de entrada

$\alpha$ : Ángulo de ataque del inyector (°)

Velocidad específica de caudal, es uno de los parámetros de diseño de las turbinas Michell – Banki, más relevantes, su valor varía entre 40 a 180, está relacionado al caudal, velocidad de rotación y altura geodésica.

$$n_q = 3 * n * Q^{\frac{1}{2}} * H^{-\frac{3}{4}} \quad (26)$$

Dónde:

$n_q$ : Es la velocidad específica de caudal

n: Velocidad de rotación (RPM)

Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

H: Altura geodésica (m)

Diámetro del rotor, su evaluación en este tipo de turbinas depende de la velocidad tangencial y de la velocidad de rotación.

$$D = 19.08 * \frac{U}{n} \quad (27)$$

Dónde:

U: Velocidad tangencial (m/s)

n: Velocidad de rotación (RPM)

Diámetro interno del rotor, en el diseño de turbinas hidráulicas Michell – Banki, es equivalente al 58% del diámetro del rotor.

Número de álabes, están colocados a lo largo del diámetro del rotor y están en función del espesor de pared, el cual se recomienda como máximo 10 mm.

$$Z = 0.10 * \pi * \frac{D}{e_p} \quad (28)$$

Dónde:

D: Diámetro del rotor (m)

$e_p$ : Espesor de pared de los álabes (m)

En los sistemas eléctricos, el dimensionamiento de los conductores eléctricos es el principal parámetro de operación para que un sistema eléctrico trabaje correctamente, sin pérdidas excesivas de voltaje y sin sobrecalentamientos (Sanz, 2012).

Para evaluar un conductor eléctrico con flujo de corriente trifásica, se procede mediante las siguientes formulaciones (Sanjuro, 2014):

Potencia aparente, es la potencia máxima soportada por el conductor eléctrico y depende de la potencia útil y factor de potencia del equipo desde donde inicia el cable.

$$S = \frac{P}{\cos\phi} \quad (29)$$

Dónde:

S: Potencia aparente (KVA)

P: Potencia útil (KW)

$\cos\phi$ : Factor de potencia

Caída de voltaje permitida máxima en conductores, según el reglamento del CNE (Código Nacional de Electrificación), especifica que las pérdidas de voltaje deben



variar porcentualmente entre 3.5 a 7.5% del voltaje inicial o nominal del sistema, donde las longitudes del cable van desde 1 m a 1000 m.

$$\Delta U_{cd} = 3.5 - 7.5 \% U_n \quad (30)$$

$\Delta U_{cd}$ : Caída de voltaje en el conductor (V)

$U_n$ : Voltaje nominal (V)

Corriente nominal, está en función de la potencia aparente máxima de un sistema eléctrico y del voltaje nominal.

$$I_n = \frac{S}{U_n} \quad (31)$$

Dónde:

$I_n$ : Corriente nominal (A)

S: Potencia aparente (KVA)

$U_n$ : Voltaje nominal (KV)

Resistencia eléctrica en los conductores, es el valor crítico que se basa en la razón de la caída de voltaje respecto a la corriente nominal del sistema eléctrico.

$$R_{cd} = \frac{\Delta U_{cd}}{I_n} \quad (32)$$

Dónde:

$R_{cd}$ : Resistencia del conductor ( $\Omega$ )

$\Delta U_{cd}$ : Caída de voltaje en el conductor (V)

$I_n$ : Corriente nominal (A)

La sección transversal de un conductor correctamente dimensionada, tienen relación con el tipo de material del cable, de su resistencia, resistividad y longitud del conductor.

$$S = \frac{\rho * L}{R_{cd}} \quad (33)$$

Dónde:

S: Sección transversal del conductor en corriente trifásica ( $\text{mm}^2$ )

$\rho$ : Resistividad del conductor de cobre ( $\frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$ )

L: Longitud del conductor máxima (m)

$R_{cd}$ : Resistencia del conductor ( $\Omega$ )

Pero a diferencia de un sistema eléctrico en energía continua, la sección del conductor esta expresada por la siguiente expresión (Fraile, 2015):

$$S = \frac{2 * \rho * I * L}{\delta} \quad (34)$$

Dónde:

S: Sección transversal del conductor en corriente continua ( $\text{mm}^2$ )

I: Corriente del sistema eléctrico (A)

L: Longitud del conductor máxima (m)

$\rho$ : Resistividad del conductor de cobre ( $\frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$ )

$$\rho = \rho_{20^\circ\text{C}} * (1 + \alpha * \Delta T) \quad (35)$$

$\rho_{20^\circ\text{C}}$ : Resistividad del cobre duro a la temperatura ambiental ( $\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$ )

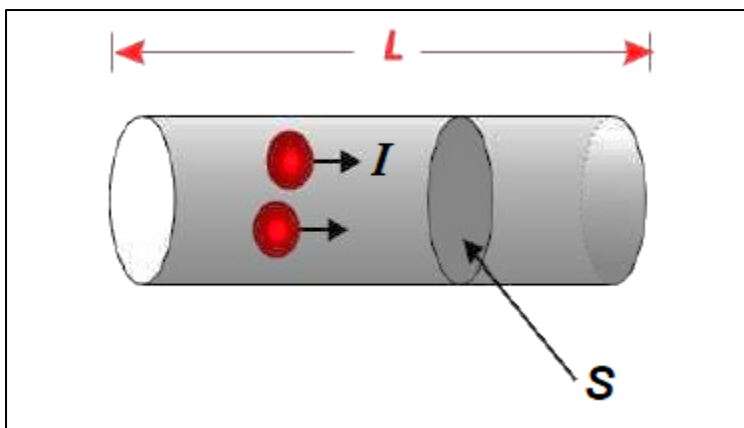
$\Delta T$ : Variación de la temperatura del conductor ( $^\circ\text{C}$ )

$\alpha$ : Coeficiente térmico de resistencia, ( $^\circ\text{C}^{-1}$ )

$\delta$ : Caída de voltaje máxima permitida (V)

$$\delta = \%V * U_{DC} \quad (36)$$

Dónde: %V es el porcentaje de caída de voltaje de 3.5% y  $U_{DC}$  es el voltaje de corriente continua



**Figura 6.** Sección transversal de un conductor  
Fuente: (Fraile, 2015)

Sistema de transmisión por cadenas, las cadenas de rodillos son mecanismos de reducción de velocidad de rotación, dónde existen fuerzas o cargas variables y dónde se requiere una mayor fuerza tangencial (Juvinal, 2013).

Para el análisis del sistema de transmisión por cadenas, utilizaremos la ingeniería de diseño (Shigley, 2012):

Relación de transmisión por catarinas:

$$n_1 * d_1 = n_2 * d_2 \quad (37)$$

Dónde:

$n_1$ : Velocidad de catarina motriz (rpm)

$n_2$ : Velocidad de catarina conducida (rpm)

$d_1$ : Diámetro de catarina motriz (pulg)

$d_2$ : Diámetro de catarina conducida (pulg)

Longitud de paso de la catarina:

$$\frac{L}{p} = \frac{2 * C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{\frac{4 * \pi^2 * C}{p}} \quad (38)$$

Dónde:

$\frac{L}{p}$ : Relación entre longitud y paso de la catarina (pulg)

C: Longitud entre centros de las catarinas (pul)

$N_1$ : Número de dientes de la catarina motriz.

$N_2$ : Número de dientes de la catarina conducida.

p: Paso referencial de la catarina (pulg)

Longitud entre centros de las catarinas:

$$C = \frac{p}{4} \left[ -A + \sqrt{A^2 - 8 * \left( \frac{N_2 - N_1}{2 * \pi} \right)^2} \right] \quad (39)$$

El factor A, expresa:

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{L}{p} \quad (40)$$

Potencia permitida por la cadena:

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{tab} \quad (41)$$

Dónde:

K1: Factor de corrección por número de dientes

K2: Factor de corrección por número de torones

$H_{tab}$  : Potencia tabulada (HP)

Potencia de diseño máxima:

$$H_d = K_s * n_d * H_n \quad (42)$$

Dónde:

$K_s$ : Factor por tipo de impacto

$n_d$ : Factor característico de diseño

$H_n$ : Potencia nominal (HP)

Fundamento de diseño de la distancia entre centros de las cadenas:

$$D < C < 3(D + d) \quad (43)$$

Donde:

D: Diámetro de la catarina conducida (m)

d: Diámetro de la catarina conductora (m)

C: Es la distancia entre centros (m)

Diseño de ejes, el análisis de ejes de rotación se realiza desde el criterio de carga estática (donde influyen las fuerzas externas y el peso) y carga dinámica (donde influyen las cargas estáticas afectadas por concentradores de esfuerzos o fatiga) (Hall y Holowenco, 2012).

Para el análisis se utilizarán las siguientes ecuaciones, tanto para carga estática y dinámica (Hall y Holowenco, 2012):

Diseño por carga estática: Según el criterio de la energía de distorsión de Von Mises

$$\sqrt{4 \left( \frac{16M}{\pi d^3} + \frac{2P}{\pi d^2} \right)^2 + 3 \left( \frac{16T}{\pi d^3} \right)^2} \geq \frac{S_y}{n_s} \quad (44)$$

Dónde:

d: Calibre o diámetro del eje de transmisión de potencia (m)

M: Carga de momento flector (N.m)

P: Carga normal (N)

T: Carga de momento torsor (N.m)

$S_y$ : Resistencia a la fluencia del material del eje (Pa)

$n_s$ : Criterio de factor de seguridad.

Diseño por fatiga:

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * S'_e \quad (45)$$

Dónde:

$S_e$ : Limite de resistencia a la fatiga real (Mpa).

$k_a$ : Factor de acabado superficial.

$k_b$ : Factor de forma.

$k_c$ : Factor de tipo de carga.

$k_d$ : Factor de condiciones de temperatura.

$k_e$ : Factor por condiciones diversas.

$S'_e$ : Limite de resistencia a la fatiga teórico (Mpa).

Dónde el límite de resistencia a la fatiga teórico, se expresa:

$$\begin{array}{ll} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ Kpsi } (S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa}) \\ 100 \text{ Kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ Kpsi} \\ 700 \text{ Mpa} & S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{array}$$

Esfuerzos medios y alternos, un eje sometido a fatiga depende del esfuerzo medio y alterno

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} ; \sigma_a = \frac{|\sigma_{\max} - \sigma_{\min}|}{2} \quad (46)$$

Dónde:

$\sigma_m$ : Esfuerzo promedio (Mpa).

$\sigma_a$ : Esfuerzo alterno (Mpa).

$\sigma_{max}$ : Esfuerzo máximo de trabajo del eje (Mpa).

$\sigma_{min}$ : Esfuerzo mínimo de trabajo del eje (Mpa).

Según el criterio de falla “Goodman – modificado” que es los más relevantes en el diseño de ejes de transmisión, que relaciona los esfuerzos de trabajo y los esfuerzos máximos soportados por el material, están expresados en la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{N} \quad (47)$$

Dónde:

$\sigma_m$ : Esfuerzo promedio (Mpa)

$\sigma_a$ : Esfuerzo alterno (Mpa)

$S_e$ : Limite de resistencia a la fatiga real (Mpa).

$S_{ut}$ : Esfuerzo ultimo a la tracción (Mpa).

N: Factor de seguridad requerido por el eje

El análisis de rodamientos, permiten equilibrar las cargas externas de un elemento de máquina, ya que están diseñados para absorber cargas axiales y radiales. Los rodamientos tienen que ser diseñados con una carga superior a la del sistema externo, dicha carga es denominada carga dinámica y debe ser la óptima para que el rodamiento tenga la máxima vida (Besa y Valero, 2016).

Para calcular la vida de un rodamiento, se utiliza la siguiente expresión general (Besa y Valero, 2016):

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (48)$$

Dónde:

$L_{10h}$ : Vida máxima del rodamiento (h)

p: Parámetro de tipo de rodamiento, es 3 para bolas y 10/3 para rodillos

C: Carga dinámica (N)

n: Velocidad de rotación a la que está expuesta el eje (RPM)

P: Carga dinámica de trabajo (N)

La cimentación, es fundamental para soportar y transmitir las cargas al suelo, de manera que no superen el esfuerzo admisible del terreno, ni produzcan cargas zonales (Juárez, 2016).

$$b = \left( \frac{W_n}{(\sigma_{adm})_t - \gamma_c * e} \right)^{0.5} \quad (49)$$

Dónde:

b: Ancho y largo de la cimentación (m)

e: Altura del cimiento (m)

$W_n$ : Carga neta soportada por la cimentación (KN)

$(\sigma_{adm})_t$ : Esfuerzo admisible del suelo (Mpa)

$\gamma_t$ : Peso específico del suelo  $\left(\frac{KN}{m^3}\right)$

Periodo de retorno de la inversión, es el tiempo de la recuperación inicial de un proyecto y depende del beneficio útil y de la inversión de los activos fijos (materiales/equipos) (Sowell, 2013).

$$PRI = \frac{I}{B} \quad (50)$$

Dónde:

ROI: Retorno operacional de la inversión inicial (años)

I: Inversión en activos fijos (S/.)

B: Beneficio útil (S/. /Año)

Valor actual neto, es una herramienta financiera que se fundamenta en la diferencia del valor económico actual de los cobros y los pagados generados por una inversión, (Sowell, 2013).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (51)$$

Dónde:

VAN : Valor actual neto (S/.)

$V_t$ : Beneficios útiles de caja (S/.)

r: Valor porcentual de interés (%)

t: Periodo del préstamo (Años)

$I_0$ : Inversión inicial del proyecto (S/.)

Tasa interna de retorno, es una herramienta financiera de viabilidad de un proyecto, para lo cual todos los valores actuales de un proyecto de inversión económica se asemejan al valor de cero (Sowell, 2013).

$$\sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I_0 = 0 \quad (52)$$

Dónde:

TIR: Tasa interna de retorno (%)

$V_t$ : Beneficios útiles de caja (S/.)

t: Periodo del préstamo (Años)

$I_0$ : Inversión inicial del proyecto (S/.)



### III. MÉTODO

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es de tipo aplicada, según Hernández (2014) explica: “Son investigaciones que se fundamentan en dar solución a una problemática a un entorno específico, contribuyendo a la generación de nuevos estudios”, la presente investigación es aplicada porque se busca solucionar un problema social en el Sector Sausicucho – Distrito de Cachachi, buscando la mejor alternativa de generación de energía eléctrica.

Por lo consiguiente el nivel de investigación es descriptiva, según Hernández (2014) explica: “Son estudios que describen un fenómeno, con la finalidad de darle la mejor solución en particular”, la presente investigación busca describir los diferentes tipos de ruedas hidráulicas, donde se busca justificar que la mejor opción para generar energía eléctrica en el Sector Sausicucho es mediante un riogenerador.

Asimismo, corresponde al estudio el método deductivo, según Legrá (2018) explica: “Es aquel método que se fundamenta en la utilización de las leyes matemáticas, físicas y normas técnicas para dar solución a un problema desde lo general hasta lo particular”, la presente investigación hace uso del método deductivo porque hace uso de las leyes matemáticas de máquinas hidráulicas para determinar las características de diseño de la rueda hidráulica y ecuaciones eléctricas.

La presente tesis es de diseño pre-experimental (O1 X O2), según Legrá (2018) explica: “Los diseños pre-experimentales, son la primera aproximación como solución a un problema, y buscan en la variable independiente repercuta en la variable dependiente totalitariamente”, en el presente estudio buscamos el impacto de la variable independiente “Potencial hidráulico” repercuta en la variable dependiente “generación de energía eléctrica” para obtener un estudio viable.

#### 3.2. Variables y operacionalización

**Variable independiente:** Potencial hidráulico

**Variable dependiente:** Generación de energía eléctrica.

[Ver anexo 01.](#)

### 3.3. Población y muestra

**Población:** Según Legrá (2018), explica: “Es el universo o el conjunto global de elementos sobre los que se hace un estudio”, el presente estudio tiene como población a los sectores rurales con potencial de fuente hidráulica, sin conexión al SEIN.

**Muestra:** Según Legrá (2018), explica: “Es una fracción de elementos que se seleccionan de una determinada población para realizar una investigación”, la presente tesis tiene como muestra al Sector Poblado Sausicucho con fuente hidráulica del río Sausicucho.

### 3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

**Tabla 1.** *Técnicas e instrumentos de la investigación*

<b>Técnica</b>	<b>Instrumento</b>
Análisis Documental	Fichas de registros
Guía de Observación	Ficha de Observación

Fuente: Elaborado por los autores

### 3.5. Procedimientos

El análisis documental mediante fichas de registro, nos permitió determinar las condiciones del Sector Sausicucho (Número de familias y potencia eléctrica requerida), condiciones del río mediante estudio hidrológico (caudal, alturas geodésicas y temperatura del agua). Permitiendo proyectar el número de familias en 10 años, potencia eléctrica y consumo de energía eléctrica total. La guía de observación mediante la ficha de observación, permitió conocer las condiciones geográficas reales del río Sausicucho como diferencias de alturas, ancho y profundidad para la ubicación del riogenerador y distancia desde el punto de ubicación del riogenerador hasta la vivienda más alejada del Sector Sausicucho, para el cálculo de los conductores eléctricos. Asimismo, se evaluó la potencia hidráulica con riogenerador en comparación a las turbinas hidráulicas Pelton y Michell – Banki, para determinar su viabilidad técnica y económica.

### **3.6. Método de análisis de datos**

El procesamiento del análisis de datos del estudio teórico de un riogenerador, se expresaron en tablas y gráficos, respecto, a la potencia, caudal, velocidad lineal, torque, velocidad de rotación, fuerza de choque, otros. Permitiendo determinar el diseño óptimo de la rueda hidráulica, para el Sector Poblado de Sausicucho

### **3.7. Aspectos éticos**

Los autores del presente estudio se comprometen a salvaguardar la propiedad intelectual y legitimidad de los resultados obtenidos, así como la confiabilidad de los datos ofrecidos por los pobladores del Sector Sausicucho, con la única finalidad de utilizarlos para la presente investigación.

#### IV. RESULTADOS

##### 4.1. Situación actual y proyección del número de familias del sector poblado de Sausicucho 2019 – 2029.

##### 4.1.1. Población actual del número de familias del centro poblado de Sausicucho 2019.

El sector poblado de Sausicucho fue fundado en el año 1940, integrado por 5 familias, pero en el transcurso del tiempo dicha población de familias ha ido en aumento, siendo hasta la actualidad un sector conformado por 41 familias.

**Tabla 2.** *Número de viviendas 1940 – 2019 – Sector Sausicucho*

Periodo	Nº Familias (viviendas)
1940	4
1980	17
2000	28
2005	33
2010	35
2019	41

Fuente: Comité del sector Sausicucho.

##### 4.1.2. Proyección del número de familias del centro poblado de Sausicucho 2019 – 2029.

El estudio teórico del riogenerador para la generación de energía eléctrica, se proyectó para un periodo de 10 años, por lo cual es relevante determinar la proyección del número de familias para el año 2029.

En el [anexo 05](#), se muestra la dispersión puntos del crecimiento del número de familias del sector Sausicucho hasta el periodo 2019, con la finalidad de obtener la ecuación o formulación que gobierna tal crecimiento poblacional. Donde se determino que el numero de familias proyectas hasta el 2029 son de 56.

## 4.2. Determinación de la demanda de potencia y energía eléctrica requerida para el sector de Sausicucho.

### 4.2.1. Potencias de artefactos eléctricos

Se estimará la potencia máxima que consumiría cada familia o vivienda, con los artefactos eléctricos de uso básico o primario.

**Tabla 3.** *Potencia eléctrica consumida por cada familia*

Artefacto eléctrico	Cantidad	Potencia eléctrica unitaria (W)	Potencia eléctrica máxima (W)
Televisor	1	120	120
Computadora	1	300	300
Equipo de sonido	1	80	80
Celular	3	10	30
Licuada	1	300	300
Refrigeradora	1	350	350
Plancha	1	600	600
Iluminación	4	100	400
<b>Potencia eléctrica total</b>			<b>2180</b>

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería Osinergmin, 2019.

### 4.2.2. Energía eléctrica por artefactos eléctricos

Se proyectará el consumo de energía eléctrica, según los tiempos máximos de uso por cada artefacto eléctrico.

**Tabla 4.** *Energía eléctrica consumida por cada familia*

Artefacto eléctrico	Potencia eléctrica máxima (W)	Tiempo de consumo (h/día)	Energía eléctrica máxima (Wh) $E = P \cdot t$
Televisor	120	5	600
Computadora	300	4	1200
Equipo de sonido	80	2	160
Celular	30	2	60
Licuada	300	0.25	75
Refrigeradora	350	24	8400
Plancha	600	0.5	300
Iluminación	400	4	1600
<b>Energía eléctrica total</b>			<b>12395</b>

Fuente: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería Osinergmin, 2019.

La potencia eléctrica requerida por el sector de Sausicucho, sería:

$$P_{ss} = P_{ae} * NF$$

Dónde:  $P_{ss}$  es la potencia eléctrica del sector Sausicucho,  $P_{ae}$  referida a la potencia de los artefactos eléctricos por cada familia y  $NF$  es el número de familias proyectada hasta el año 2029.

$$P_{ss} = 2180 \text{ W} * 56$$

$$P_{ss} = 122080 \text{ W} = 122.08 \text{ KW}$$

La energía eléctrica requerida por el sector de Sausicucho, sería:

$$E_{ss} = E_{ae} * NF$$

Dónde:  $E_{ss}$  es la energía eléctrica del sector Sausicucho,  $E_{ae}$  referida a la energía de los artefactos eléctricos por cada familia y  $NF$  es el número de familias proyectada hasta el año 2029.

$$E_{ss} = 12395 \text{ Wh/día} * 56$$

$$E_{ss} = 694120 \text{ Wh/día}$$

$$E_{ss} = 694.12 \text{ KWh/día}$$

### **4.3. Evaluación del potencial hidráulico**

#### **4.3.1. Estudios del caudal máximos y mínimos del rio de Sausicucho**

Podemos identificar que el caudal máximo del rio Sausicucho es  $5.146 \text{ m}^3/\text{s}$  y el caudal mínimo es  $1.829 \text{ m}^3/\text{s}$ , pero sin la demanda agrícola el caudal del rio varía entre  $1.045 \text{ m}^3/\text{s}$  y  $5.036 \text{ m}^3/\text{s}$ .. ([Ver anexo 06](#)).

#### **4.4. Diseño del riogenerador, propuestas de almacenamiento y distribución y análisis comparativo con turbinas hidráulicas**

##### **4.4.1. Parámetros hidráulicos del riogenerador**

Podemos definir, que el riogenerador trabajará bajo las siguientes condiciones, que se muestran en la tabla 5. ([Ver anexo 7](#))

**Tabla 5. Parámetros de operación del riogenerador seleccionado**

<b>Profundidad (t)</b>	0.3	m	
<b>Diámetro (D)</b>	2.5	m	
<b>Ancho (a)</b>	0.25	m	
<b>Área proyectada (A)</b>	0.075	m <sup>2</sup>	
<b>Densidad (15°C)</b>	999.19	Kg/m <sup>3</sup>	
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>	<b>Potencia (KW)</b>	
0.78375	10.45	35.06	
<b>Fuerza (F), KN</b>	<b>Torque (T), KN.m</b>	<b>Velocidad angular (<math>\omega</math>), rad/s</b>	<b>Velocidad de rotación (n), RPM</b>
3.36	4.19	8.36 rad/s	79.83

#### 4.4.2. Propuestas para el almacenamiento de la energía eléctrica

El presente estudio de un riogenerador, busca determinar la mejor opción para la distribución de energía eléctrica al sector poblado de Sausicucho, desde el criterio económico, mantenimiento y vida útil (durabilidad). Tenemos las siguientes propuestas:

- Subestación de energía eléctrica. ([Ver anexo 8](#))
- Centro de carga y distribución de energía alterna. ([Ver anexo 9](#))
- Distribución de energía continua. ([Ver anexo 10](#))

#### 4.4.3. Análisis comparativo entre el riogenerador y las turbinas hidráulicas Pelton y Michell – Banki.

##### a. Análisis con Turbina Pelton

Con un número de cucharas de 9, están serían muy grandes por lo tanto elegimos 21 cucharas para disminuir su tamaño mejorando de esta manera la inercia de movimiento de la turbina hidráulica. ([Ver anexo 11](#)).

##### b. Análisis con Turbina Michell – Banki

[Ver anexo 12.](#)

**Tabla 6.** Análisis comparativo del riogenerador con turbinas hidráulicas Pelton y Michell - Banki.

Parámetros de operación	Riogenerador	Turbina pelton	Turbina michell banki
Potencia máxima eléctrica	35.06 KW	122.08 KW	122.08 KW
Altura geodésica	0 m	16 m	22 m
Caudal de operación	0.78375 m <sup>3</sup> /s	0.78375 m <sup>3</sup> /s	0.78375 m <sup>3</sup> /s
Diámetro de la rueda hidráulica	2.50 m	1.5422 m	1.30 m
Número de álabes/cucharas	18	21	41
Velocidad de rotación	79.83 RPM	100 RPM	153 RPM
Número de inyectores	0	3	1

Fuente: Elaborado por los autores

#### 4.4.4. Análisis del sistema de reducción de velocidad

Debido a que la velocidad requerida de la rueda hidráulica es 79.83 RPM y la velocidad de rotación a la salida del reductor del generador es 100.98 RPM, se colocará un sistema de reducción de velocidad por cadenas. ([Ver anexo 13](#)).

#### 4.4.5. Estructura de la rueda hidráulica

Para determinar la rueda hidráulica se establecieron lo siguientes cálculos en el cual se detalla en el [Anexo 14](#).

#### 4.4.6. Diseño del eje de transmisión de potencia de la rueda hidráulica

Los cálculos del diseño se detallan en el [anexo 15](#).

#### 4.4.7. Análisis de soldadura para la unión de estructuras

Este análisis se realiza debido a la soldadura aplicada entre las palas y las estructuras de perfil diametral, con una longitud de soldadura de 50 mm (espesor de las estructuras o tubos rectangulares). La sección para la soldadura será de filete, y el tamaño de la soldadura para espesores más de 1/4pulg hasta 1/2pulg, debe ser de 3/16 (4.8 mm).



La norma AWS (Sociedad Americana de Soldadura), establece que el factor de seguridad para soldaduras sometidas a flexión y torsión es 1.44, por lo tanto, el factor de seguridad de 2.5 es un valor aceptable. ([Ver anexo 16](#)).

#### 4.4.8. Chaveta

Los cálculos refieren que solo se necesitaría una longitud máxima para la chaveta de 20 mm debido a la resistencia del material, por lo cual lo recomendable sería tener la mitad de la longitud del ancho de la rueda, es decir: 125 mm para una mejor ergonomía del diseño. ([Ver anexo 17](#)).

#### 4.4.9. Cimientos

La rueda hidráulica a los extremos estará sostenida por rodamientos que permitirán su libre giro y estos a la vez estarán sobre cimientos que soportarán el peso de todo el conjunto, el peso total sería:

$$W_{\text{neto}} = 5103 \text{ N}$$

**Dimensiones:** El largo y ancho del cimiento es representado con la letra “b” y la altura con la letra “h”, donde:  $h=b/2$ . El peso específico del concreto es  $\gamma_c = 22 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$  y el esfuerzo admisible del terreno es 380 KPa

$$b^2 = \frac{W_{\text{neto}}}{(\sigma_{\text{adm}})_t - \gamma_c * e} = \frac{W_{\text{neto}}}{(\sigma_{\text{adm}})_t - \gamma_t * \frac{b}{2}}$$

Remplazando:

$$b^2 = \frac{5103 \text{ N}}{(380 * 10^3 \text{ Pa}) - (22 * 10^3) * \frac{b}{2}}$$

Resolviendo, el ancho o largo mínimo, sería:

$$b = 0.116 \text{ m} \approx 500 \text{ mm}$$

Por lo consiguiente, las dimensiones requeridas para el cimiento, serían:

- ✓ Ancho máximo: 500 mm
- ✓ Largo máximo: 500 m
- ✓ Altura:  $b/2 = 500/2 = 250 \text{ mm}$

## 4.5. Análisis económico y financiero

### 4.5.1. Análisis económico

#### Beneficio económico:

Se basa en el beneficio de no comprar energía eléctrica al SEIN (Servicio Eléctrico Interconectado Nacional), el cual tiene un costo impuesto de 0.5424 S/. /KWh, 24 horas/día (8760 horas/año).

$$B_{\text{util}} = C_u * E_{SS}$$

Dónde:

$C_u$ : Costo unitario de la energía eléctrica, 0.5424 S/. /KWh

$E_{SS}$ : Energía eléctrica requerida por el Sector de Sausicucho, 694.12 KWh/día

$$B_{\text{util}} = 0.5424 \frac{\text{S/}}{\text{KWh}} * 694.12 \frac{\text{KWh}}{\text{día}}$$

$$B_{\text{util}} = 376.50 \frac{\text{S/}}{\text{día}}$$

El beneficio útil anual sería:

$$B_{\text{util}} = 376.50 \frac{\text{S/}}{\text{día}} * \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ Año}}$$

$$B_{\text{util}} = 137422.50 \frac{\text{S/}}{\text{Año}} = 41897.10 \frac{\text{US\$}}{\text{Año}}$$

#### - Inversión en activos fijos:

En la tabla 7, se muestran todos los costos económicos que incluye la construcción del riogenerador, almacenamiento y distribución a las viviendas del Sector Sausicucho.

**Tabla 7.** *Inversión de los activos fijos del proyecto*

Activos fijos	Unidad	Costo unitario S/.	Total S/.
Estructura de perímetro de rueda AISI 304, D=2.5 m, 150x50x4mm	4	117.50	470.00
Estructuras de soporte AISI 304, D=2.5m, 150x50x4mm	8	145.00	1160.00
Palas AISI 304, t=0.3m, a=0.25m, A=0.075m <sup>2</sup>	18	42.222	760.00

Soldadura TIG, electrodo E7018, h=1/8 in, Sy=331 MPa	1	550.00	550.00
Conjunto rodamiento rígido de bolas SKF 61834, d=170mm, C=61,80 KN; 6030, C=168KN	1	670.00	670.00
Eje de transmisión de potencia AISI 1018 CD, Sy=370 Mpa, Sut=440Mpa, dint=150mm, dext=175.40 mm, L=2m, incluye chaveta AISI 1010 CD, Sy=300Mpa, 40x22x125mm	1	890.00	890.00
Cadena ANSI 200, p=2.5 pulg, L=107.50 pulg.	1	290.00	290.00
Conjunto catarinas N1=17, N2=22, d1=13.60 in, d2=17.60 in	1	340.00	340.00
Generador eléctrico monofásico modelo GTA 201AIHE, Sn=48.40 KVA, V=220V, f=60Hz, n=1800RPM, F.P=0.80. Acoplado reductor Coaxial C13227 con velocidad de salida n=100.98RPM	1	29040.00	29040.00
Baterías 48V, denominación TROJAN IND33 de electrólito líquido con capacidad de 2405Ah	5	1050.00	5250.00
Controlador 48V, Prostar PS-15	1	580.00	580.00
Inversor 48V/240V DC/AC, denominación BLUESUN 50000MTLP-US, con una potencia nominal de 50KW	1	1740.00	1740.00
Interruptor Termomagnético, SICA denominación 782101 unipolar, diferencia de amperaje I= 1ª	1	110.00	110.00
Interruptor automático diferencial, Riel DIN 35mm, I=30mA, V=220V	1	80.00	80.00
Fusibles cilíndricos, PV10A10F, amperaje nominal I=10ª	1	10.00	10.00
Conductor eléctrico, superficie S=33.63 mm <sup>2</sup> , I=199A, L=20m, con denominación 2AWG	1	250.00	250.00
Conductor eléctrico calibre NYY 3-1*240 mm <sup>2</sup> , corriente nominal de 562 A.	700 m	31.00	21700.00

Poste de hormigón H = 8m pastoral y accesorios, base 0.267m, cima 0.140m (Incluye accesorios y cimientos), S=500 Kg/cm2	7	1510.00	10570.00
Cimientos del riogenerador: hormigón A=500mm, L=500mm, P=250 mm, S=500 Kg/cm2	1	600.00	600.00
Obras civiles (25%)	1	18765.00	18765.00
<b>Total del presupuesto N°2</b>			<b>93825.00</b>

**- Retorno operacional de la inversión:**

$$ROI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Beneficio}}$$

$$ROI = \frac{93825.00 \text{ S/.}}{137422.50 \frac{\text{S/.}}{\text{Año}}}$$

$$ROI = 0.68 \text{ años} = 8 \text{ meses}$$

**4.5.2. Análisis financiero**

Para la evaluación financiera, se necesitan los siguientes datos principales:

Beneficio útil del proyecto:  $137422.50 \frac{\text{S/.}}{\text{Año}} = 41897.10 \frac{\text{US\$}}{\text{Año}}$

Inversión en activos fijos:  $93825.00 \text{ S/.} = 28605.20 \text{ US\$}$

Tasa de interés: 10% (Valor promedio de las entidades bancarias del Perú, con un tiempo de préstamo de 15 años)

En la tabla 8, se hace uso de las ecuaciones (51) y (52) para evaluar las herramientas financieras VAN y TIR respectivamente, resultando un TIR de 146% y un VAN de 290067.47 US\$, como valores viables para la generación de energía eléctrica mediante un riogenerador para el Sector de Sausicucho.

**Tabla 8. Análisis financiero VAN y TIR del proyecto**

Años	Flujo de Fondos	de Movimientos en el Periodo - Año
<b>Inversión</b>	<b>-\$28,605.20</b>	Costo Inicial del Proyecto
<b>1</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>2</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>3</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>4</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año

<b>5</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>6</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>7</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>8</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>9</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>10</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>11</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>12</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>13</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>14</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>15</b>	\$41,897.10	Beneficios útiles/año
<b>Total Ingresos</b>	\$628,456.50	
<b>Tasa de Interés:</b>	10.00%	
<b>TIR</b>	<b>146%</b>	<b>Tasa interna de Retorno</b>
<b>VAN</b>	<b>\$ 290,067.47</b>	<b>Valor Actual Neto</b>

## V. DISCUSIÓN

- 5.1. Se proyectó el número de familias de 41 en el año 2019 a 56 familias para el año 2029, con una proyección en el tiempo de 10 años, porque nos ofrece realizar un diseño óptimo del riogenerador, evitando de esta manera la sobrecarga por consumo eléctrico. Asimismo, el número de familias en la actualidad fue determinado mediante una visita técnica al Sector Sausicucho por los autores de la presente tesis.
- 5.2. Para evaluar el consumo de potencia y energía de las viviendas del sector Sausicucho fue necesario recurrir a los sectores y centros poblados más cercanos, para determinar el número de artefactos eléctricos y el tiempo que los utilizan, bajo estas circunstancias se evaluó la potencia y energía requerida por cada vivienda y por todo el sector de Sausicucho, donde la potencia nominal de cada artefacto fue obtenida de Osinergmin.
- 5.3. El estudio hidrológico del río Sausicucho, define que existe un caudal mínimo de  $1.045 \text{ m}^3/\text{s}$  y un máximo de  $5.036 \text{ m}^3/\text{s}$ , pero para la generación constante de energía eléctrica se realizaron los cálculos con el valor mínimo, pero dicho estudio del río indica que el caudal mínimo está expuesto a una eficiencia operativa del 75%, por lo consiguiente todos los cálculos se efectuaron con el valor de  $0.78375 \text{ m}^3/\text{s}$ . Asimismo los autores de la presente investigación realizaron un recorrido por el río indicando que la mejor ubicación para la instalación del riogenerador se encuentra ubicada a 700 m del centro poblado, donde en dicho lugar del río se tiene una profundidad de 1.70 m y un ancho de 10 m.
- 5.4. Para el análisis de la rueda hidráulica, se tomaron 2 consideraciones importantes por fabricantes, la primera establece que la razón entre la profundidad y el diámetro de la rueda debe estar en el rango de 0.012 y 0.125, y la segunda consideración indica que el ancho de la rueda no debe ser superior al radio de la misma. Estas consideraciones nos permitieron determinar el diámetro de la rueda hidráulica y número de palas.  
Para el transporte de la energía eléctrica, mediante conductores se aplicaron las ecuaciones definidas por el CNE (Código Nacional de Electrificación) del Perú, quien establece caídas de voltaje en el rango de 3.5 a 7.5% del voltaje nominal, para distancias entre 1m a 1000 m. Donde dicha normativa 140-400

establece que deben utilizarse conductores de cobre duro AWG (Calibre de alambre estadounidense) o calibres del proveedor Indeco.

El riogenerador con el caudal mínimo de  $0.78375 \text{ m}^3/\text{s}$ , solo llega a producir 35.06 KW, pero el sector poblado de Sausicucho necesita una potencia máxima de 122.08 KW, para cumplir tal requerimiento se instaló un sistema de almacenamiento por baterías de electrólito líquido con un tiempo de descarga en uso de 13 horas (baterías estacionarias para almacenamiento de grandes cargas de energía eléctrica) para no afectar la potencia demandada por las familias de Sausicucho.

Se seleccionó un transformador monofásico, porque el sistema de almacenamiento está constituido por baterías con voltaje de 48 V en corriente continua, la cual es rectificadora por un controlador para ser entregada a un inversor que transforma la energía continua en energía alterna a 240V, para reducir el diámetro de los conductores y con ello los costos de transporte de energía, además que la energía alterna puede ser consumida directamente por los artefactos eléctricos de las familias del sector Sausicucho.

Debido a las condiciones climáticas del sector Sausicucho respecto a la húmeda y dureza del agua del río, los materiales seleccionados para el diseño riogenerador, tales como: estructura y eje, serán de acero inoxidable 304, el cual es un material comercial en el sector industrial del diseño de máquinas.

- 5.5. El análisis económico se realizó bajo el comparativo de los costos que implicaría comprar energía eléctrica al SEIN, donde los costos de los activos fijos fueron extraídos según valores promedios en el mercado local y nacional. De la misma manera para el análisis financiero, se trabajó con la tasa promedio de interés de distintas entidades bancarias la cual es 10%, donde dichas entidades disponen de un tiempo de préstamo de hasta 15 años para proyectos donde se utilicen energías renovables.

## VI. CONCLUSIONES

- 6.1. El análisis del diseño del riogenerador se realizó con una proyección de 10 años con 56 familias para el año 2029, para lo cual fue necesario tabular los datos del número de familias desde el año 1940 con 5 familias hasta el año 2019 con 56 familias, valores que fueron sometidos a una gráfica de correlación de puntos para obtener la ecuación de crecimiento para poder proyectar el número de familias.
- 6.2. La potencia eléctrica requerida por cada vivienda del sector Sausicucho es de 2.18 KW con una energía de 12.395 KWh/día, necesitando una potencia y energía total de 122.08 KW y 694 KWh/día respectivamente.
- 6.3. Se evaluó el potencial hidráulico del río Sausicucho, el cual cuenta con un caudal mínimo  $1.045 \text{ m}^3/\text{s}$  y un máximo de  $5.036 \text{ m}^3/\text{s}$ , donde el estudio hidrológico del río detalla que dichos caudales están expuestos a una ganancia constante del 75%, por lo que el caudal mínimo se redujo a  $0.78375 \text{ m}^3/\text{s}$ , el cual se utilizó para el diseño de la rueda hidráulica.
- 6.4. Se realizó el diseño del riogenerador con una potencia de 35.06 KW, donde la rueda hidráulica tiene un diámetro de 2.5m con velocidad de rotación de 79.83 RPM, con 18 paletas de  $0.3\text{m} \times 0.25\text{m} \times 12.70\text{mm}$ , inclinadas  $25^\circ$  respecto al eje de la rueda, con un ancho de 25cm, con una profundidad de sumergimiento de 30 cm, estructuras de tubo rectangular AISI 304 de  $150 \times 50 \times 4\text{mm}$ , eje AISI 1018 CD con diámetro de 175.40 mm y chaveta de  $40 \times 22 \times 125\text{mm}$ , rodamientos rígidos de bolas SKF 61834 y 6034, cadenas ANSI 200, para las uniones estructurales se requiere soldadura TIG con electrodo E7018 y cimientos de  $500 \times 500 \times 250\text{mm}$ . El generador eléctrico seleccionado fue de característica monofásico con una potencia nominal de 48.40 KVA modelo GTA 201AIHE con un voltaje de 220V y velocidad de rotación de 1800 RPM, con reductor de velocidad de 100.98 RPM. El sistema de carga y distribución de energía alterna fue el más viable desde el criterio técnico y económico, el cual está constituido por 5 baterías de electrolito líquido modelo Trojan IND 33-2V con una capacidad de 2405 A y 48V, fusibles cilíndricos Bussmann PV10A10F con un exceso de amperaje de 10A, controlador Morningstar PS-15 de 220V/48V, inversor DC/AC Bluesun GRO50000MTLP-US 48V/240V, interruptor automático termomagnético SICA



Limit 782101 unipolar con un exceso de 1A, interruptor automático diferencial SICA bipolar de 10-30mA, los conductores eléctricos en los quipos de almacenamiento tienen una sección  $33.63 \text{ mm}^2$  (2 AWG). Para el transporte de la energía alterna al sector Sausicucho se utilizó cables NYY 3-1\* $240 \text{ mm}^2$  con una longitud de 700 m, con 7 postes de hormigón de 8m de altura distanciados 100 m entre cada uno. Asimismo se comparó los datos de operación del riogenerador con los de las turbinas Pelton y Michell – Banki, donde se necesita una altura geodésica de 0m y 18 palas con un riogenerador, 16m y 21 cucharas con turbina Pelton y 22m y 1 inyector con turbina Michell – Banki, no resultando viable la selección de turbinas hidráulicas porque no existen diferencias de alturas significativas en el río Sausicucho.

- 6.5. Se concluye que bajo carga estática el eje no falla pues su factor de seguridad mínimo es de 10.1, en la sección crítica del hombro de la catarina motriz.
- 6.6. El análisis de fatiga nos muestra que el eje no fallara ante una carga fluctuante, teniendo una vida infinita de  $10 \times 10^9$  ciclos de trabajo.
- 6.7. El presente proyecto tiene un beneficio útil de 41897.10 US\$/año, con una inversión de 28605.20 US\$ y un retorno operacional de la inversión de 8 meses. Desde el criterio financiero el proyecto es viable con una tasa interna de rentabilidad del 146% y un valor actual neto de 290067.47 US\$ en 15 años con una tasa de interés del 10%.
- 6.8. Se concluye que el diseño propuesto no fallará pues el factor de seguridad mínimo alcanzado es de 3.56. Además no es necesario un análisis de fatiga debido a las cargas pequeñas y dimensiones de la rueda.

## **VII. RECOMENDACIONES**

- 7.1. Se recomienda realizar un plan de mantenimiento preventivo a todos los componentes que involucran el estudio del riogenerador, para la programación de paradas técnicas y de esta manera no perjudicar a las familias del sector de Sausicucho, obteniendo un flujo eléctrico seguro y confiable.
- 7.2. Se recomienda elaborar un diagrama de Gantt, para establecer las diferentes tareas y tiempos de ejecución para el diseño del riogenerador, almacenamiento y distribución de energía eléctrica.
- 7.3. Se recomienda expandir el uso del riogenerador a zonas cercanas al sector Sausicucho que están excluidas del SEIN, para contribuir al impacto ambiental mediante la utilización de energías renovables, lograr beneficios económicos y mejorar la calidad de vida.
- 7.4. Se recomienda realizar mediciones de caudal periódicas para asegurar siempre el caudal mínimo y con ello la potencia hidráulica necesaria para el almacenamiento en baterías, las cuales tienen que ser de electrolito líquido debido a que almacenan grandes cantidades de energía sin evitar pérdidas.

## REFERENCIAS

- AGÜERA, S. Mecánica de fluidos incomprensibles y turbomáquinas. Bogotá: Junta de Andalucía, 2012. 9010448045231.
- ARMIJO, J. Balance de materia y energía. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2006.
- BELTRÁN, RAFAEL. Conversión Térmica de Energía. Bogotá: Uniandes, 2008. 9789586953856.
- BESA, J Y VALERO, F. Diseño de máquinas. Madrid: McGraw-Hill, 2016. 4628913067451.
- BOHÓRQUEZ, ROBERTO. Auditoría energética al circuito de vapor y condensado de una planta de elaboración de café liofilizado. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2013. 123456789/21705.
- CANTABRIA, E. Rendimiento energético de una caldera. [En línea] 1 de enero de 2016. [Citado el: 25 de abril de 2016.] [http://www.scalofrios.es/eficiencia/EE\\_calor/EEI%20-Tema%203.%20Rendimiento%20de%20una%20caldera.pdf](http://www.scalofrios.es/eficiencia/EE_calor/EEI%20-Tema%203.%20Rendimiento%20de%20una%20caldera.pdf).
- CENGEL, YUNUS. Transferencia de calor y masa. México, D.F: McGraw-Hill, 2007. 9789701061732.
- CENTRUM. Reporte Financiero Burkenroad Perú – El Pacifico. Reporte Sectorial de Pesca -Empresa Ribaud S.A. [En línea] PUCP, 18 de noviembre de 2009. [Citado el: 15 de abril de 2016.] <http://centrum.pucp.edu.pe/adjunto/upload/publicacion/archivo/informepesca.pdf>.
- CÓRDOVA, RAÚL. Turbinas hidráulicas. Barcelona: Universidad de Santiago de Compostela, 2000. 9087146610.
- DÍEZ, RUIZ. centrales térmicas, intercambiadores de calor. aislamiento térmico.
- DORAN, P. Principios de ingeniería de los bioprocesos. Balance de energía. [En línea] Acibia,S.A, 20 de Febrero de 1998. [Citado el: 21 de abril de 2016.] <http://procesosbio.wikispaces.com/Balance+de+Energ%C3%ADa>.
- FERNÁNDEZ, JORGE. Maquinas Térmicas. Poder Calorífico. [En línea] 20 de junio de 2010. [Citado el: 10 de mayo de 2016.] <http://www.edutecne.utn.edu.ar/>.
- FERNÁNDEZ, PEDRO. Termodinámica técnica. Madrid: Universidad de Cantabria, 1996. 8489586128.

FRAILE, J. Electricidad y electrónica. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2015. 216052855519.

GERDIPAC. Materiales Aislantes Industriales. Aislamiento Térmico. [En línea] 10 de diciembre de 2010. [Citado el: 15 de mayo de 2016.] <http://www.gerdipac.com.pe/>.

GUEVARA, CHINCHAYAN. Diagnosticos energeticos en sistemas tármicos . Vapor Flash. [En línea] 2 de Julio de 2015. [Citado el: 3 de mayo de 2016.] <http://biblioteca.uns.edu.pe/>.

HALL, R Y HOLOWENCO, A. Diseño de máquinas. Lima: McGraw - Hill, 2012. 4590763044871.

HERNÁNDEZ, L. Metodología de la investigación. México: Tirant lo Blanch, 2014. 0956342064110.

JARA, W. Máquinas hidráulicas. D.F México: Laertes, 2013. 4085285490542.

JUÁREZ, E. Mecánica de suelos. Lima: Limusa, 2016. 9076137790003.

JUVINALL, R. Diseño de elementos de máquinas. Vasco: Cambridge University Press, 2013. X346541096.

KENNETH, WARK Y DONALD, E. Termodinámica. Madrid: Concepción Fernández Madrid, 2001. 844812829.

LEGRÁ, L. Metodologías de la investigación científica. Salamanca: Universidad de Salamanca, 2018. 1045671390519.

LÓPEZ, GUILLERMO. Cálculo financiero aplicado: un enfoque profesional. Buenos Aires: La Ley, 2009. 9870308821.

MATAIX, C. Turbomáquinas hidráulicas. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid, 2014. 7000387745993.

MELÉNDEZ, EULALIO. Cálculo, diseño e instalación de un economizador para una caldera acuotubular de 2900 BHP. Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa, 2005.

PALCO, ALONSO. Turbinas y ruedas hidráulicas. Madrid: Universidad Complutense de Madrid, 2018. 4587562359.

PETROPERÚ. Combustibles. Poderes caloríficos. [En línea] 20 de febrero de 2014. [Citado el: 12 de mayo de 2016.] <http://tera-3.ul.cs.cmu.edu/>.

POLO, M. Turbomáquinas hidráulicas. Madrid: Bellaterra, 2015. 1076288854.

PURIZACA FELIPA, R.A. Diseño técnico y económico de un sistema de recuperación de vapor flash de purgas continuas para calentar el agua de alimentación de las calderas de la empresa pesquera Ribaudó S.A. Trujillo: Universidad Cesar Vallejo, 2015.

SANJURGO, R. Fundamentos de máquinas eléctricas. Galicia: Routledge, 2014. 9000204698761.

SANZ, J. Máquinas eléctricas. Lima: Alhambra, 2012. 8945296300149.

SHIGLEY, B. Diseño en ingeniería mecánica. D.F México: Edward Elgar Publishing, 2012. 1000234971.

SOSA, JOSÉ. Recuperación de condensados generados en el sistema de drenaje de cabezales de vapor y venas de calentamiento en el área de setil (servicios auxiliares) de la Refinería Estatal de Esmeraldas - See more at: <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/3677#st>. Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2013.

SOWELL, P. Enfoque económico y financiero en activos. Barcelona: Marcial Pons, 2013. 3498451087.

TELLO, C. Concepto de balance materia y energía. Academia. [En línea] Reverter, 1 de enero de 2016. [Citado el: 20 de abril de 2016.] [http://www.academia.edu/9208984/CONCEPTO\\_DE\\_BALANCE\\_DE\\_MATERIA\\_Y\\_ENERG%C3%8DA](http://www.academia.edu/9208984/CONCEPTO_DE_BALANCE_DE_MATERIA_Y_ENERG%C3%8DA).

TERRONES, M. Termofluidos, turbomáquinas y máquinas térmicas. Lima: Routledge, 2016. 6730917370399.

TLV. Compañía especialista en vapor. Vapor flash. [En línea] 1 de enero de 2016. [Citado el: 7 de mayo de 2016.] <http://www.tlv.com/>.

TOKASHIKI, T. Diseño de ruedas hidráulicas. Los Ángeles: Cambridge University Press, 2013. 3418943792.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de operacionalización

Variable	Tipo	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicador	Escala de medición
Potencial hidráulico	Variable independiente	Es la capacidad que tiene un fluido (agua) para la producción de potencia hidráulica mediante ciertas condiciones de caudal y condiciones ambientales de dicho fluido (Polo, 2015).	La generación de potencia hidráulica depende del caudal o flujo volumétrico, altura geodésica y peso específico del agua.	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Condiciones del caudal durante 1 año 1-5 m <sup>3</sup> /s	De Razón
				Altura geodésica (m)	Condiciones geográficas del río Sausicucho 0m	De Razón
				Peso específico del agua (N/m <sup>3</sup> )	Condiciones climáticas del río Sausicucho, como la temperatura del agua. 15-20	De Razón
Generación de energía eléctrica	Variable dependiente	Es la producción de energía mediante la transformación de la energía hidráulica en energía eléctrica (Sanjurjo, 2014).	Es la cantidad de potencia eléctrica proyecta para el sector poblado Sausicucho para cumplir sus necesidades básicas.	Voltaje (V) Amperaje (A) Factor de potencia.	Potencia eléctrica	De Razón
				Costos de los activos fijos (S/.)	Inversión	De Razón
				Beneficios útiles anuales (S/./Año)	Benéficos económicos	De Razón

## Anexo 02. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Es factible generar energía eléctrica a partir del potencial hidráulico en un riogenerador para el Sector Sausicucho – Distrito de Cahachi?	<p style="text-align: center;"><b>Objetivo General.</b></p> <p>Realizar un estudio teórico para generar energía eléctrica a partir del potencial hidráulico en un riogenerador para el Sector Sausicucho – Distrito de Cachachi.</p>	Es factible generar energía eléctrica a partir del potencial hidráulico en un riogenerador para el Sector Sausicucho – Distrito de Cachachi	<p style="text-align: center;"><b>Variables Independientes.</b></p> <p>Potencial hidráulico</p>	<p style="text-align: center;"><b>Tipo de investigación.</b></p> <p style="text-align: center;">Aplicada</p>
	<p style="text-align: center;"><b>Objetivos Específicos.</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Evaluar la situación actual y proyección del número de familias del Sector Poblado de Sausicucho, para el diseño de la rueda hidráulica.</li> <li>2. Determinar la demanda de potencia y energía eléctrica requerida por familias del Sector Poblado de Sausicucho.</li> <li>3. Evaluar el potencial hidráulico según el caudal máximo y mínimo, mediante el estudio hidrológico del río Sausicucho.</li> <li>4. Diseño del riogenerador, propuestas de almacenamiento y distribución y análisis comparativo con turbinas hidráulicas Pelton y Michel – Banki.</li> <li>5. Elaborar un análisis económico y financiero del estudio.</li> <li>6. Elaborar los planos de fabricación de la rueda hidráulica, con el uso del Solidworks</li> </ol>			<p style="text-align: center;"><b>Nivel de Investigación.</b></p> <p style="text-align: center;">Experimental</p>
				<p style="text-align: center;"><b>Método.</b></p> <p style="text-align: center;">Deductivo</p>
				<p style="text-align: center;"><b>Diseño de investigación.</b></p> <p style="text-align: center;">Pre Experimental</p>
				<p style="text-align: center;"><b>Población.</b></p> <p style="text-align: center;">Sectores rurales con potencial de fuente hidráulica, sin conexión al SEIN.</p>
				<p style="text-align: center;"><b>Muestra.</b></p> <p style="text-align: center;">Sector Poblado Sausicucho con fuente hidráulica del río Sausicucho.</p>
			<p style="text-align: center;"><b>Variables dependientes.</b></p> <p style="text-align: center;">Generación de energía eléctrica</p>	<p style="text-align: center;"><b>Técnica.</b></p> <p style="text-align: center;">Análisis Documental, Guía de observación</p>
				<p style="text-align: center;"><b>Instrumentos.</b></p> <p style="text-align: center;">Ficha de registro, Ficha de observación</p>

### **Anexo 03. Página de Jurado**

“ESTUDIO TEÓRICO DE UN RIOGENERADOR PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SECTOR SAUSICUCHO – DISTRITO DE CACHACHI”

---

Autor: Pedro Cueva Calderon.

---

Autor: Breidy Boris Quiñones Lucio.

---

Presidente: Mg. Jorge Antonio Inciso Vásquez

---

Vocal: Mg. Luis Alberto Julca Verástegui

---

Secretario: Mg. Jorge Eduardo Lujan López

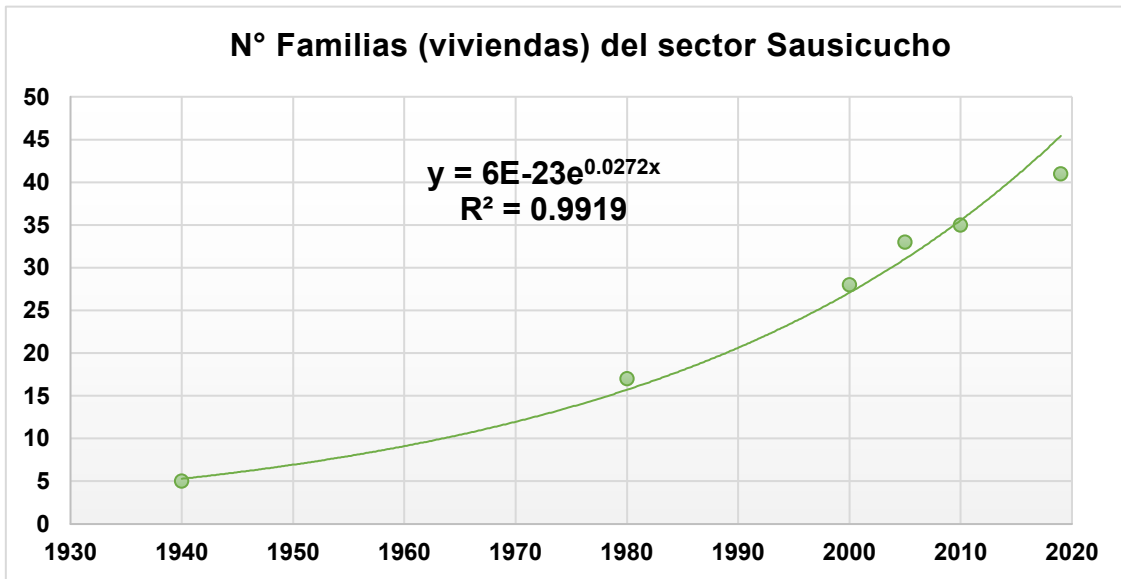


#### **Anexo 04. Declaración de autenticidad**

Nosotros, Pedro Cueva Calderon y Breidy Boris Quiñones Lucio, con los DNI N°70274519 y N°46364442 respectivamente, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de INGENIERÍA Escuela de MECÁNICA ELÉCTRICA, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica. Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces. En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Trujillo, junio del 2019

**Anexo 05. Proyección del número de familias del centro poblado de Sausicucho 2019 – 2029**



**Figura 7. Número de familias del sector Sausicucho 1940-2019**

Fuente: Comité del sector Sausicucho

Por lo consiguiente, la ecuación de crecimiento del número de familias del sector Sausicucho, con una confiabilidad del 99.19%, sería:

$$NF = 6 * 10^{-23} e^{0.0272t}$$

Dónde, NF es referido al número de familias y t es el tiempo o periodo proyectado.

Tenemos:

$$NF = 6 * 10^{-23} e^{0.0272*(2029)}$$

$$NF = 55.76 \approx 56$$

Por lo tanto, el número de familias proyectado hasta el año 2029, sería de 56.

## Anexo 06. Estudios del caudal máximos y mínimos del rio de Sausicucho

**Tabla 9. Balance hídrico del rio Sausicucho ( $m^3/s$ )**

IT E M	EN E	FE B	MA R	AB R	MA Y	JU N	JU L	AG O	SE T	OC T	NO V	DI C
Caudal del rio	3.56 2	5.03 6	4.51 4	2.89 7	1.50 8	1.21 5	1.10 2	1.045	1.05 9	1.16 2	1.31 1	2.16 1

Fuente: Estudio hidrológico del Rio Sausicucho, 2010.

**Tabla 10. Demanda Agrícola en la Cuenca del río Sausicucho ( $m^3/s$ )**

ITEM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Uso Agrícola	0.290	0.110	0.150	0.490	0.810	1.050	1.080	0.980	0.770	0.660	0.610	0.530

Fuente: Estudio hidrológico del Rio Sausicucho, 2010.

El caudal, máximo por cada mes del año, del rio Sausicucho, resulta de la suma del caudal del balance hídrico y el caudal de la demanda agrícola, tal como se especifica en la tabla 7.

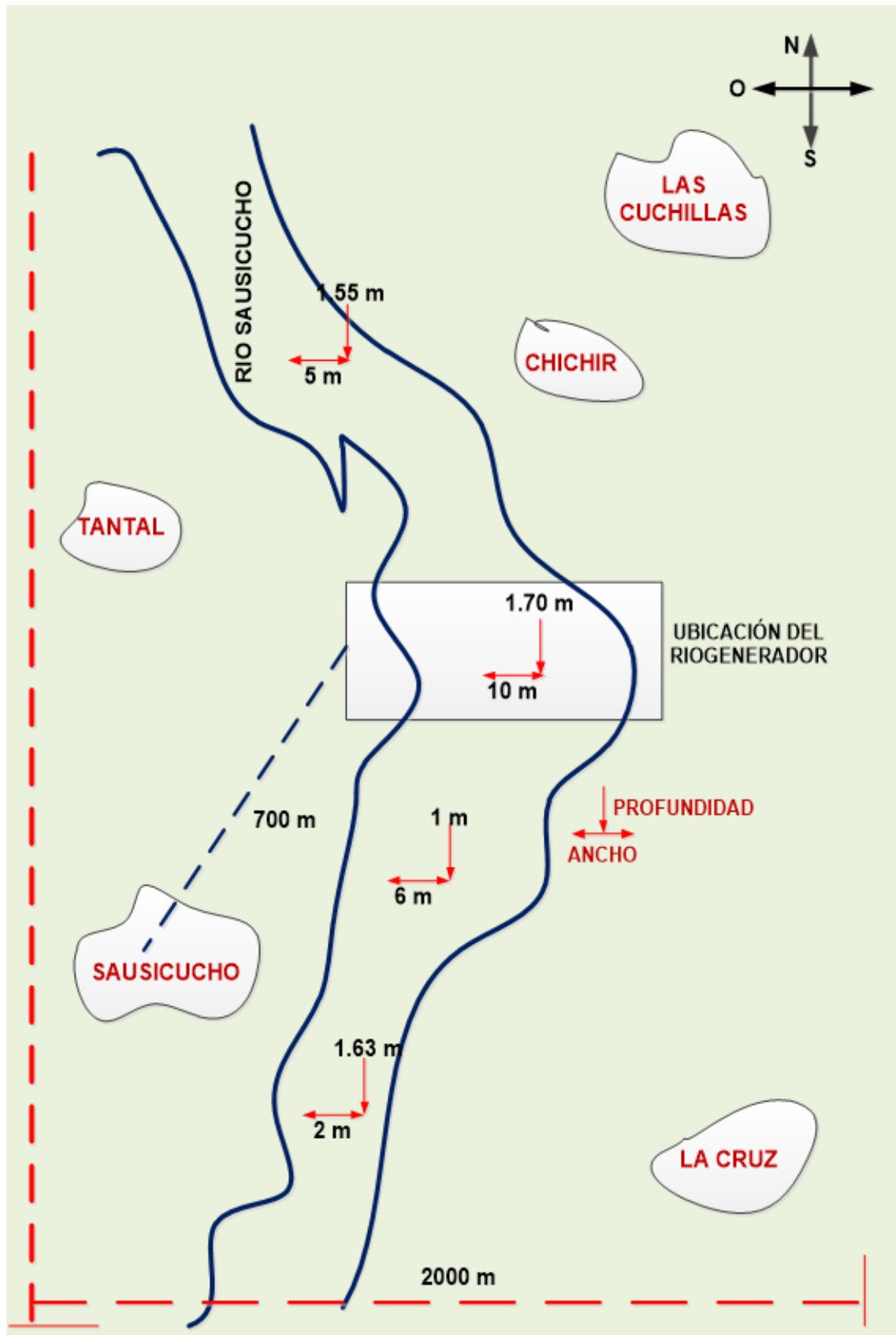
**Tabla 11. Caudales máximos y mínimos del río Sausicucho ( $m^3/s$ )**

ITEM	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Uso Agrícola	0.290	0.110	0.150	0.490	0.810	1.050	1.080	0.980	0.770	0.660	0.610	0.530
Caudal del rio	3.562	5.036	4.514	2.897	1.508	1.215	1.102	1.045	1.059	1.162	1.311	2.161
Total	3.852	5.146	4.664	3.387	2.318	2.265	2.182	2.025	1.829	1.882	1.921	2.691

Fuente: Estudio hidrológico del Rio Sausicucho, 2010.

En la tabla 8, podemos identificar que el caudal máximo del rio Sausicucho es 5.146  $m^3/s$  y el caudal mínimo es 1.829  $m^3/s$ , pero sin la demanda agrícola el caudal del rio varía entre 1.045  $m^3/s$  y 5.036  $m^3/s$ .

## Ubicación del riogenerador en el rio Sausicucho



**Figura 8.** Ubicación geográfica del rio Sausicucho

Fuente: Elaborado por los autores



**Figura 9.** *Proyección de ubicación del riogenerador – Rio Sausicucho*



**Figura 10.** *Medición de la profundidad media – Rio Sausicucho*

## Anexo 7. Parámetros hidráulicos del riogenerador

**Tabla 12.** *Análisis de parámetros de diseño del riogenerador*

<b>Parámetros de diseño del riogenerador</b>	<b>Especificación</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Profundidad de sumergimiento	t	0.3	m
Diámetro de la rueda	D	2.5	m
Ancho de la rueda	a	0.25	m
Área proyectada de sumergimiento	$A = t \cdot a$	0.075	m <sup>2</sup>
Número de palas	$D / (0.4363 \cdot t)$	18	-

**Tabla 13.** *Consideraciones de diseño*

<b>Consideraciones del diseño</b>	<b>Fundamento</b>	<b>Valor</b>
Relación profundidad y diámetro	$0.012 < t/D < 0.125$	0.12
Relación ancho y diámetro	$a < D/2$	1.25

**Tabla 14.** *Datos operativos del río de Sausicucho*

<b>Datos del río de sausicucho</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Temperatura media del agua	T	15	°C
Densidad del agua	$\rho$	999.19	Kg/m <sup>3</sup>
Profundidad del río	P	1.7	m
Caudal máximo	Q <sub>máx.</sub>	5.146	m <sup>3</sup> /s
Caudal mínimo	Q <sub>mín.</sub>	1.045	m <sup>3</sup> /s
Caudal mínimo promedio (75% q <sub>mín</sub> )	Q <sub>mín(m)</sub>	0.78375	m <sup>3</sup> /s

**Tabla 15. Datos de operación del riogenerador**

<b>Caudal (Q), m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Velocidad (V), m/s</b>	<b>Potencia (P), KW</b>
0.1	1.33	0.07
0.2	2.67	0.58
0.3	4.00	1.97
0.4	5.33	4.66
0.5	6.67	9.10
0.6	8.00	15.73
0.7	9.33	24.98
<b>0.78375</b>	<b>10.45</b>	<b>35.06</b>
0.9	12.00	53.09
<b>1.045</b>	13.93	83.11
1.2	16.00	125.85
1.4	18.67	199.85
1.6	21.33	298.31
1.8	24.00	424.74
2	26.67	582.64
2.5	33.33	1137.97
3	40.00	1966.41
3.5	46.67	3122.58
4	53.33	4661.11
4.5	60.00	6636.62
<b>5.146</b>	68.61	9924.73

La tabla 12, se realizó siguiendo las recomendaciones de los fabricantes de ruedas hidráulicas, mediante iteraciones, obtenido los siguientes resultados:

Consideración 01:

$$0.025 < t/D < 0.125$$

Dónde la profundidad resultante es  $t=0.3$  m y el diámetro de la rueda  $D=2.5$  m (tabla 09).

$$0.025 < 0.3\text{m}/2.5\text{m} < 0.125$$

$$0.025 < 0.12 < 0.125$$

Consideración 02:

$$a < \frac{D}{2}$$

Dónde el ancho es  $a = 0.25$  m y el diámetro de la rueda es 2.5 m (Tabla 09)

$$0.25 \text{ m} < \frac{2.5 \text{ m}}{2}$$

$$0.25 \text{ m} < 1.25 \text{ m}$$

Asimismo, el área proyectada sería:

$$A = a * t$$

$$A = 0.25\text{m} * 0.3\text{m} = 0.075 \text{ m}^2$$

Una vez determinados los principales parámetros de la rueda hidráulica, se ha creído conveniente analizar la generación de potencia eléctrica con distintos caudales, donde la velocidad por cada caudal, se calcula:

$$V = \frac{Q}{A}$$

Ejemplo: Para el caudal mínimo en estudio de  $0.78375 \text{ m}^3/\text{s}$ , la velocidad sería:

$$V = \frac{0.78375 \text{ m}^3/\text{s}}{0.075 \text{ m}^2}$$

$$V = 10.45 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para lo cual la potencia con esa velocidad y caudal, sería:

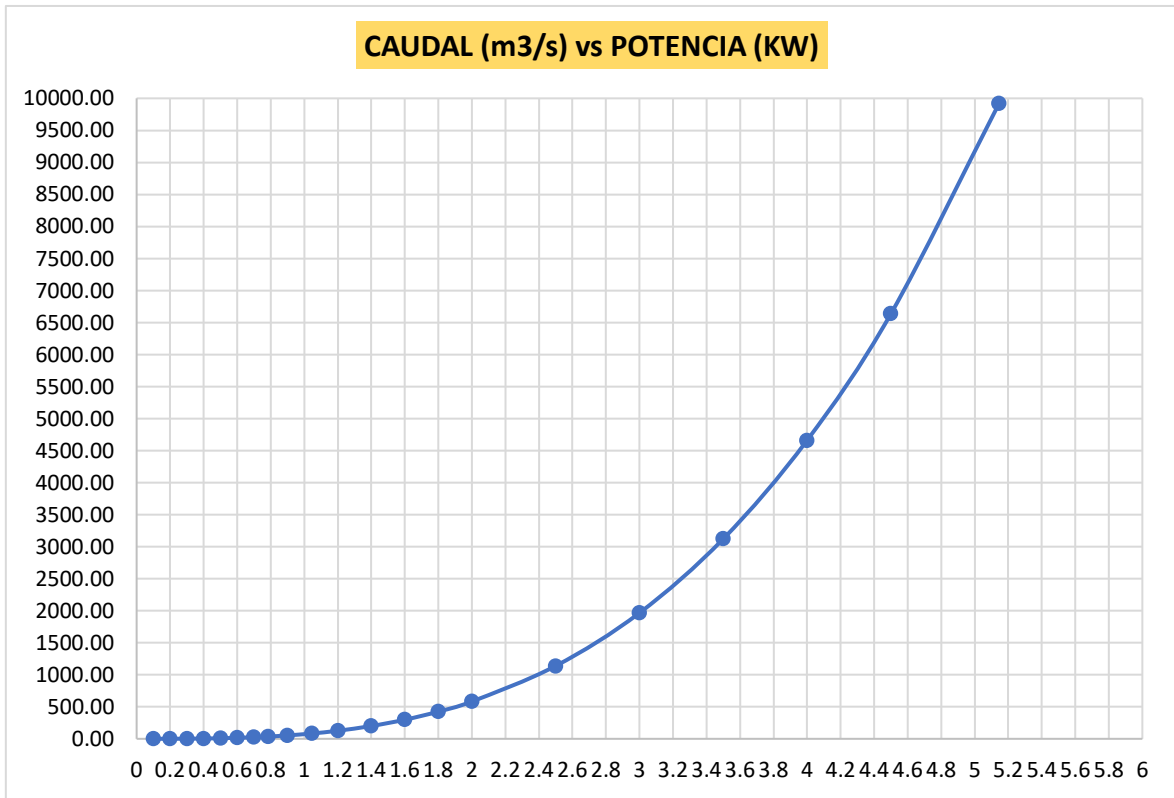
$$P_h = 0.41 * \rho * A * V^3$$

$$P_h = 0.41 * 999.19 \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}} * (0.075 \text{ m}^2) * (10.45 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3$$

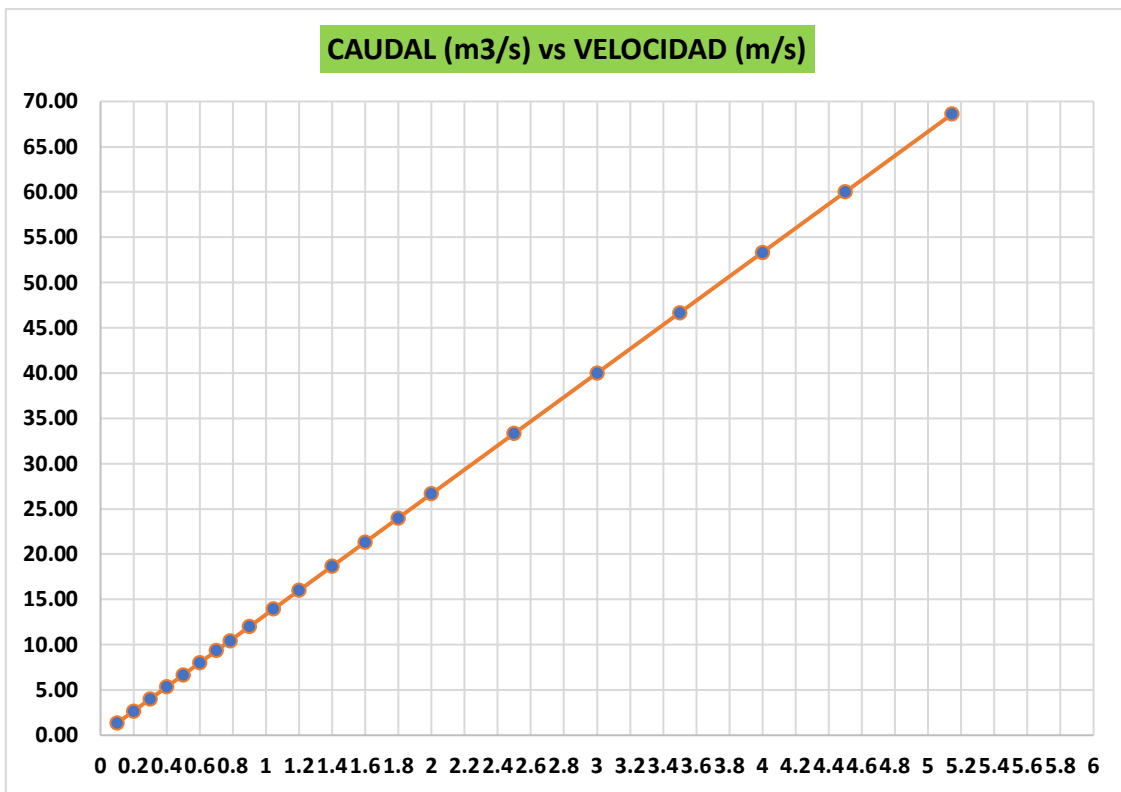
$$P_h = 35062 \text{ W} = 35.06 \text{ KW}$$

En las figuras 11 y 12, se representan las gráficas del caudal en función de la potencia y velocidad respectivamente.





**Figura 11. Caudal VS Potencia**  
 Fuente: Elaborado por los autores



**Figura 12. Caudal VS Velocidad**  
 Fuente: Elaborado por los autores

De la misma manera se procedió a determinar la fuerza que ejerce el agua en el área proyectada sumergida:

$$F = \frac{P_h}{V}$$

Según el ejemplo:

$$F = \frac{35.06 \text{ KW}}{10.45 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$F = 3.355 \text{ KN}$$

El torque:

$$T = F * \frac{D}{2}$$

$$T = 3.355 \text{ KN} * \frac{2.5 \text{ m}}{2}$$

$$T = 4.194 \text{ KN.m}$$

Y la velocidad de rotación de la rueda, sería:

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

$$\omega = \frac{35.06 \text{ KW}}{4.194 \text{ KN.m}}$$

$$\omega = 8.36 \text{ rad/s}$$

En RPM, es:

$$n = \frac{30 * \omega}{\pi}$$

$$n = \frac{30 * 8.36}{\pi}$$

$$n = 79.83 \text{ RPM}$$

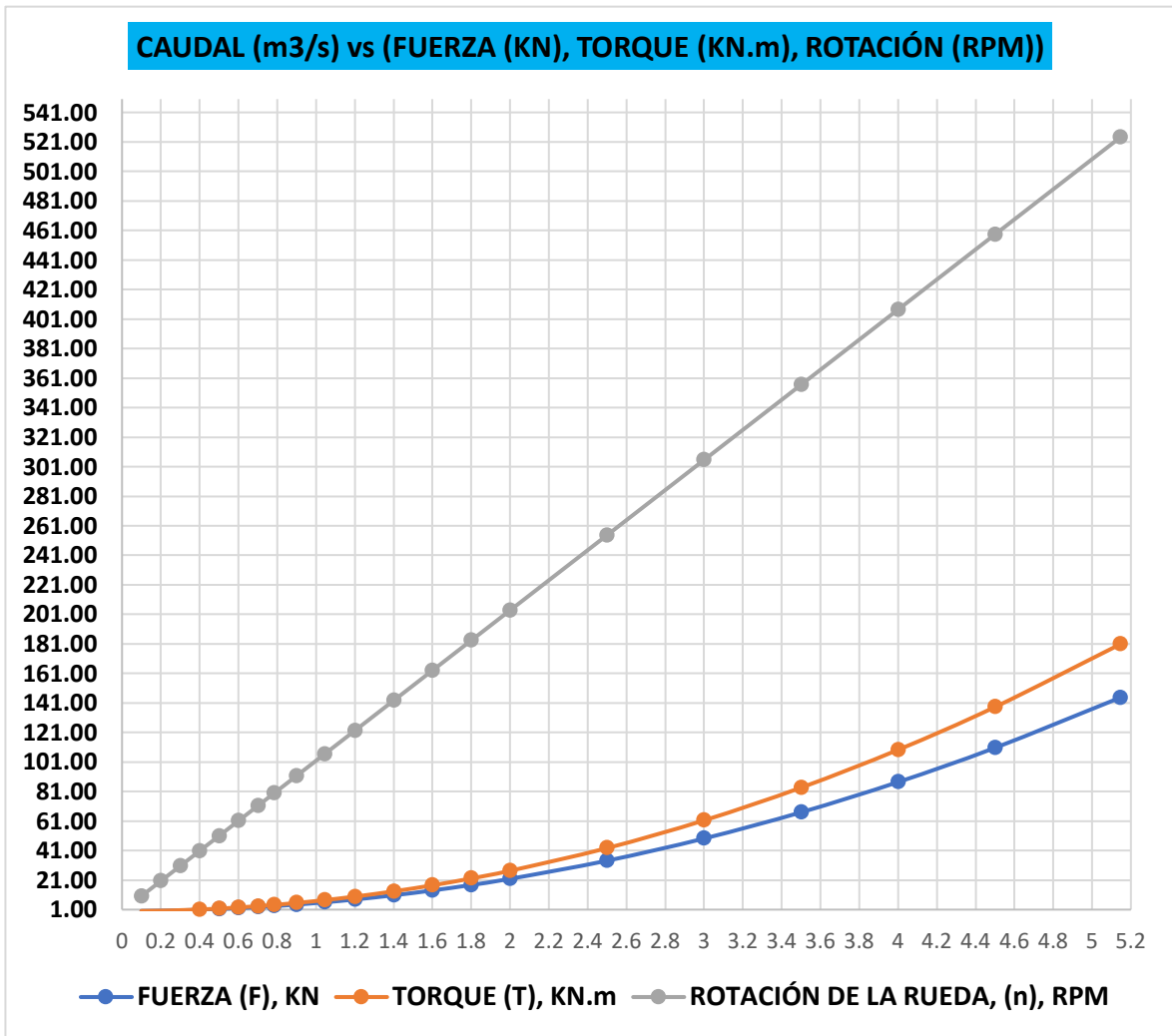
Los resultados para los demás caudales, se muestran en la tabla 13:

**Tabla 16.** Iteración de datos de operación para la rueda hidráulica

CAUDAL (Q), m <sup>3</sup> /s	FUERZA (F), KN	TORQUE (T), KN.m	VELOCIDAD ANGULAR ( $\omega$ ), rad/s	ROTACIÓN DE LA RUEDA, (n), RPM
0.1	0.05	0.07	1.07	10.19
0.2	0.22	0.27	2.13	20.37
0.3	0.49	0.61	3.20	30.56
0.4	0.87	1.09	4.27	40.74
0.5	1.37	1.71	5.33	50.93
0.6	1.97	2.46	6.40	61.12
0.7	2.68	3.35	7.47	71.30
<b>0.78375</b>	<b>3.36</b>	<b>4.19</b>	<b>8.36</b>	<b>79.83</b>
0.9	4.42	5.53	9.60	91.67
<b>1.045</b>	5.96	7.46	11.15	106.44
1.2	7.87	9.83	12.80	122.23
1.4	10.71	13.38	14.93	142.60
1.6	13.98	17.48	17.07	162.97
1.8	17.70	22.12	19.20	183.35
2	21.85	27.31	21.33	203.72
2.5	34.14	42.67	26.67	254.65
3	49.16	61.45	32.00	305.58
3.5	66.91	83.64	37.33	356.51
4	87.40	109.24	42.67	407.44
4.5	110.61	138.26	48.00	458.37
<b>5.146</b>	144.65	180.81	54.89	524.17

Fuente: Elaborado por los autores

En la figura 13, se muestra los diagramas del caudal en función de la fuerza, torque y velocidad de rotación de la rueda respectivamente.

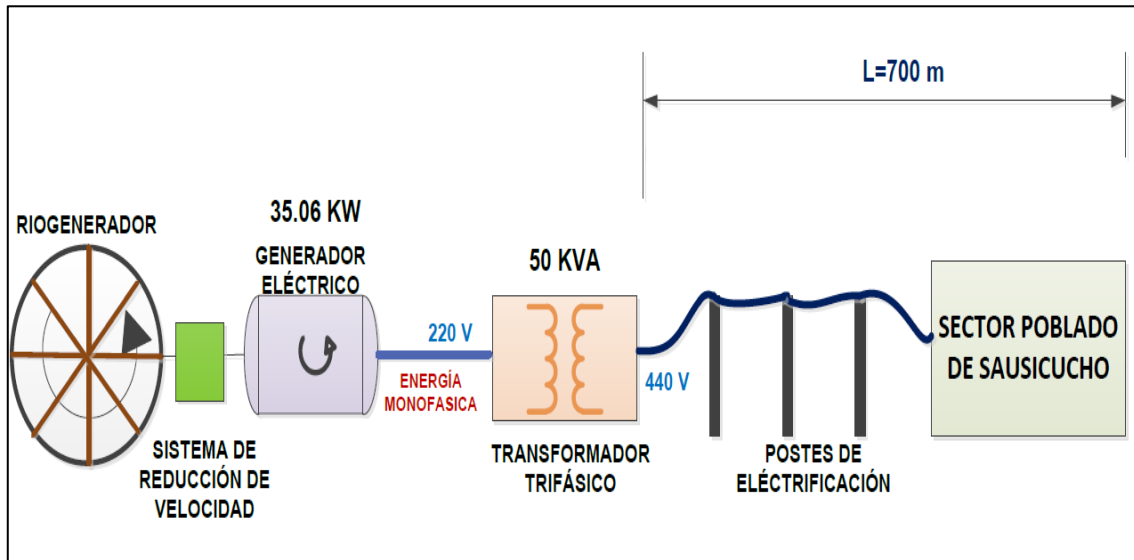


**Figura 13.** Variación del caudal en función de la fuerza, torque y rotación de la rueda hidráulica.

Fuente: Elaborado por los autores

## Anexo 8. Subestación de energía eléctrica

La subestación de energía eléctrica está formada por un generador de energía eléctrica el cual le entregaría energía monofásica al transformador el cual suministrará a un transformador trifásico para conducirla en una tensión de 440V al sector de Sausicucho, para luego mediante las líneas R-S-T-N, obtener el voltaje de consumo en los hogares de 220V.



**Figura 14.** Propuesta de subestación eléctrica para la conducción de energía eléctrica al sector de Sausicucho

Fuente: Elaborado por los autores

Para la selección de un transformador, sería necesario determinar la potencia aparente requerida por el sector Sausicucho:

$$S_{ss} = \frac{P_{ss}}{\cos\phi}$$

Dónde:  $S_{ss}$  es la potencia aparente requerida por el sector Sausicucho y  $\cos\phi$  es el factor de potencia del transformador.

Para efectos de cálculos el factor de potencia es de 0.80, el cual será justificado en la ficha de selección del transformador.

$$S_{ss} = \frac{35.06 \text{ KW}}{0.80}$$

$$S_{ss} = 44 \text{ KVA}$$

Del catálogo Rymel proveedores de transformadores, seleccionamos el transformador auto protegido trifásico con una potencia de 50 KVA, con una potencia nominal de salida de 440 V.

Luego procedemos a determinar el diámetro que sería requerido, por los conductores eléctricos para conducir la electricidad desde el transformador hacia el sector de Sausicucho.

Caída de voltaje permitida máxima en conductores:

$$\Delta U_{cd} = 3.5 \% U_n$$

Dónde la tensión admisible de transporte de energía: 440 V

$$\Delta U_{cd} = 3.5\% (440V)$$

$$\Delta U_{cd} = 15.40 V$$

**Corriente nominal:**

$$I_n = \frac{S_{SS}}{U_n}$$

Tenemos:

$$I_n = \frac{50 \text{ KVA}}{440 \text{ V}}$$

$$I_n = 113 \text{ A}$$

Resistencia eléctrica en los conductores:

$$R_{cd} = \frac{\Delta U_{cd}}{I_n}$$

$$R_{cd} = \frac{15.40 \text{ V}}{113 \text{ A}}$$

$$R_{cd} = 0.14 \Omega$$

La sección transversal del conductor:

$$S = \frac{\rho * L}{R_{cd}}$$

Dónde:

La resistividad del conductor de cobre:  $\rho = 0.0175 \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$

La longitud máxima de los conductores:  $L = 700 \text{ m}$

Remplazando:

$$S = \frac{0.0175 \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}} * 700 \text{ m}}{0.14 \Omega}$$

$$S = 87.50 \text{ mm}^2$$

Con la sección transversal y corriente de operación, normalizamos el conductor eléctrico, seleccionando del proveedor Indeco el calibre NYY 3-1\*95 mm<sup>2</sup>, con una corriente nominal de 306 A por aire.

Se debe cumplir:

$$(I_n)_{\text{máx.}} > (I_n)_{\text{operación}}$$

$$(306 \text{ A} > 113 \text{ A})$$

$$(S)_{\text{máx.}} > S_{\text{operación}}$$

$$(95 \text{ mm}^2 > 87.50 \text{ mm}^2)$$

En la siguiente tabla 17, se muestran los costos que involucraría, la propuesta de instalación de una subestación eléctrica.

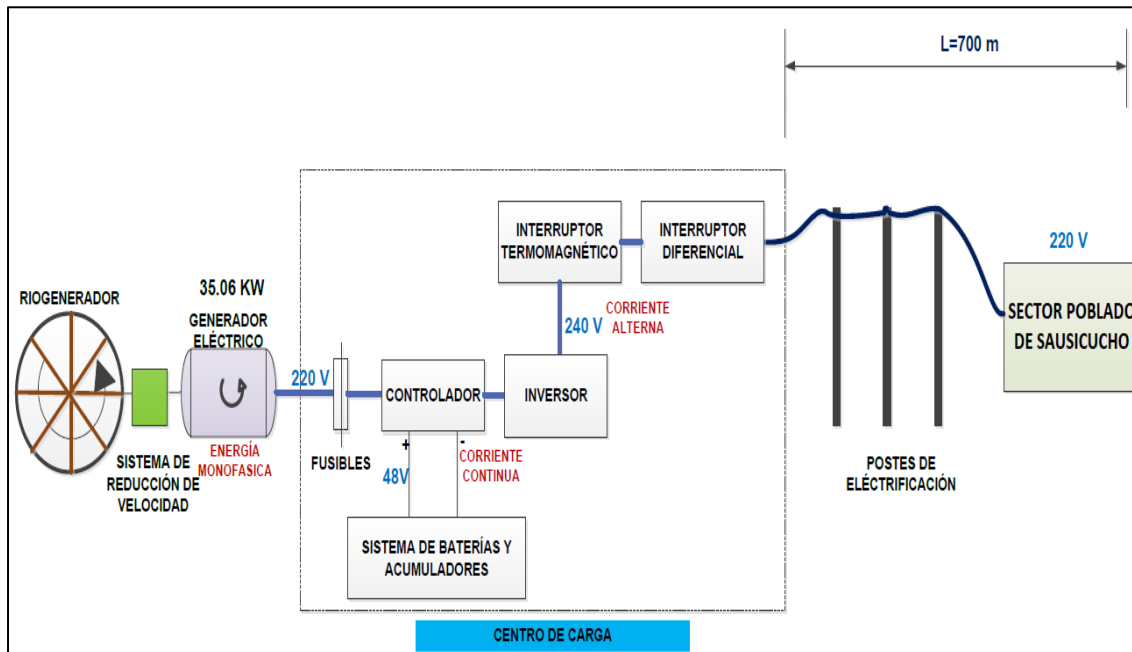
**Tabla 17. Presupuesto con subestación eléctrica**

<b>Activos fijos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad S/.</b>	<b>Total S/.</b>
Transformador trifásico, 50 KVA, 440V (incluye equipos de protección).	1	39750.00	39750.00
Poste de hormigón H = 8m pastoral y accesorios, base 0.267m, cima 0.140m (Incluye accesorios y cimientos), S=500 Kg/cm <sup>2</sup>	7	1510.00	10570.00
Conductor eléctrico calibre NYY 3-1*95 mm <sup>2</sup> , corriente nominal de 306 A.	700 m	20.11	14077.00
Obras civiles (25%)	1	16100.00	16100.00
<b>Total del presupuesto N°1</b>			<b>80497.00</b>

Fuente: Elaborado por los autores

## Anexo 9. Centro de carga y distribución de energía alterna

La segunda propuesta, establece el almacenamiento de energía eléctrica en baterías (acumuladores), para luego ser enviada en fase de energía alterna a las viviendas del Sector Poblado Sausicucho.



**Figura 15.** Centro de carga y distribución de energía alterna.

Fuente: Elaborado por los autores

### - Fusibles:

Es necesario determinar la corriente eléctrica, que suministrará el generador eléctrico, por lo tanto:

$$I_n = \frac{P_{ss}}{U * \cos\phi}$$

Dónde: U es el voltaje entregado por el generador eléctrico de 220V

$$I_n = \frac{35.06 \text{ KW}}{220 \text{ V} * 0.80}$$

$$I_n = 199 \text{ A}$$

Ahora los fusibles por lo general están diseñados para rangos de excesos de 1 a 15A, sobre la intensidad entregada por el generador eléctrico.

Por lo tanto, de la ficha técnica Bussmann de fusibles seleccionamos el modelo PV10A10F con un amperaje nominal en exceso de 10A.



### **Controlador (subsistema de regulación):**

Debido a que el generador eléctrico opera a una tensión máxima de 220 V es necesario la instalación de un controlador para proteger las baterías aumentando su vida útil, ya que operan a una tensión máxima de 48V.

De la ficha técnica Morningstar, escogemos el controlador modelo: PS-15 con un voltaje de 48 V.

### **Inversor:**

El inversor nos permitirá convertir la energía continua (DC) entregada por las baterías y convertirla en energía alterna (AC) para el consumo en las viviendas del sector poblado de Sausicucho. Por lo cual se debe seleccionar un inversor con una potencia superior a la potencia entregada por el generador eléctrico y con un voltaje consumible por los equipos eléctricos de uso de los pobladores.

De la ficha técnica BLUESUN, seleccionamos el inversor modelo GRO50000MTLP-US, el cual tiene una potencia nominal de 50KW, con un voltaje de ingreso de 48V y una salida de 240V.

### **Interruptor automático termomagnético:**

Para la protección de los equipos, es necesario contar con un interruptor termomagnético, por lo general se limita a un exceso de 1A sobre la corriente máxima del generador eléctrico

De la ficha técnica SICA, escogemos el interruptor termomagnético unipolar, modelo Limit 782101.

### **Interruptor automático diferencial:**

El interruptor diferencial es un equipo necesario y obligatorio en una instalación eléctrica para proteger la vida humana, y que se rige en la normativa N°140.400 del CNE (Código Nacional De Electrificación) indicando que el mínimo amperaje de protección es de 10mA y el máximo de 30mA.

De la ficha técnica SICA, escogemos el interruptor diferencial bipolar el cual trabaja con una corriente diferencial en el rango de 10 a 30mA.

### **Selección de conductores eléctrico en corriente continua:**

Los conductores serán de material de cobre duro, con cubierta de PVC con una temperatura de 90°C, con caídas de tensión limitadas hasta en un 3.5%, según se estipula en las normas del Código Nacional de Electrificación.

Evaluación de la resistividad del cobre

$$\rho = \rho_{20^{\circ}\text{C}} * (1 + \alpha * \Delta T)$$

Dónde:

$\rho_{20^{\circ}\text{C}}$ : Resistividad del cobre duro a la temperatura ambiental,  $0.01790 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$

$\Delta T$ : Variación de la temperatura del conductor,  $\Delta T = 90^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 70^{\circ}\text{C}$

$\alpha$ : Coeficiente térmico de resistencia,  $\alpha = 0.00382^{\circ}\text{C}^{-1}$

La resistividad de operación del cobre duro, como conductor a utilizar, es:

$$\rho = 0.01790 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * (1 + 0.00382^{\circ}\text{C}^{-1} * 70^{\circ}\text{C})$$

$$\rho = 0.02268 \frac{\text{mm}^2}{\text{m}}$$

Caída de voltaje máxima permitida:

$$\delta = \%V * U_{\text{DC}} = 3.3 \text{ V}$$

Dónde: %V es el porcentaje de caída de voltaje de 3.5% y  $U_{\text{DC}}$  es el voltaje de corriente continua entregado por el generador eléctrico de 220V.

$$\delta = 0.035 * 220\text{V}$$

$$\delta = 7.7 \text{ V}$$

El área transversal del conductor eléctrico necesaria:

$$S = \frac{2 * \rho * I * L}{\delta}$$

Dónde, L: es la longitud máxima del conductor en corriente continua, para el análisis es 20m y I: es la corriente nominal entregada por el generador la cual tiene un valor de 199A.

$$S = \frac{2 * 0.02268 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 199 \text{ A} * 20 \text{ m}}{7.7 \text{ V}}$$

$$S = 23.44 \text{ mm}^2$$

Normalizando, tendríamos un conductor de  $33.63 \text{ mm}^2$  (2 AWG)

### **Baterías (subsistema de acumulación):**

Capacidad del acumulador:

$$C_{\text{Bateria}} = \frac{E_{\text{max}} * D_{\text{aut}}}{V * P_d}$$

Donde:

V: Voltaje o tensión del sistema, 48 V

$E_{\max}$ : Energía máxima necesitada por el sector poblado de Sausicucho, 694120 Wh/día

$D_{\text{aut}}$ : Perdidas por días de autonomía o independencia, 0.5 días.

$P_d$ : Perdidas por profundidad de descarga de la batería, 0.6

Reemplazando:

$$C_{\text{Bateria}} = \frac{694120 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} * 0.5 \text{ día}}{48\text{V} * 0.6} = 12050 \text{ Ah}$$

De la ficha técnica del proveedor TROJAN, seleccionamos baterías de electrolito líquido modelo IND33-2V/celda con una capacidad nominal de 2405 Ah. Por lo consiguiente para suministrar la energía necesaria al sector poblado de Sausicucho se necesitarían 5 baterías.

$$\text{N}^\circ \text{ Baterías} = \frac{12050 \text{ Ah}}{2405 \text{ Ah}} = 5$$

#### **Tiempo de carga de las baterías:**

Corriente eléctrica en acumuladores:

$$I_b = \frac{P_b}{V * \cos\phi}$$

Dónde:

V: Voltaje consumido por los acumuladores, 48 V

$P_b$ : Potencia en el generador eléctrico, 35.06 KW

$\cos\phi$ : Factor de potencia, 80%

Reemplazando:

$$I_b = \frac{35060 \text{ W}}{48 \text{ V} * 0.80}$$

$$I_b = 913 \text{ A}$$

El tiempo de carga, se determina:

$$t_c = \frac{C_b}{I_b}$$

$$t_c = \frac{12050 \text{ Ah}}{913 \text{ A}}$$

$$t_c = 13 \text{ h}$$

El tiempo para cargar las 5 baterías a máxima carga es de 13 horas.

## Selección de los conductores eléctricos en corriente alterna

Caída de voltaje permitida máxima en conductores:

$$\Delta U_{cd} = 3.5 \% U_n$$

Dónde la tensión admisible de transporte de energía: 240 V

$$\Delta U_{cd} = 3.5\% (240V)$$

$$\Delta U_{cd} = 8.40 V$$

**Corriente nominal:**

$$I_n = \frac{P_{ss}}{U_n}$$

Tenemos:

$$I_n = \frac{35.06 \text{ KW}}{240 \text{ V}}$$

$$I_n = 146 \text{ A}$$

Resistencia eléctrica en los conductores:

$$R_{cd} = \frac{\Delta U_{cd}}{I_n}$$

$$R_{cd} = \frac{8.40 \text{ V}}{146 \text{ A}}$$

$$R_{cd} = 0.06 \Omega$$

La sección transversal del conductor:

$$S = \frac{\rho * L}{R_{cd}}$$

Dónde:

La resistividad del conductor de cobre:  $\rho = 0.0175 \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}}$

La longitud máxima de los conductores:  $L = 700 \text{ m}$

Remplazando:

$$S = \frac{0.0175 \frac{\Omega * \text{mm}^2}{\text{m}} * 700 \text{ m}}{0.06 \Omega}$$

$$S = 204 \text{ mm}^2$$

Con la sección transversal y corriente de operación, normalizamos el conductor eléctrico, seleccionando del proveedor Indeco el calibre NYY 3-1\*240 mm<sup>2</sup>, con una corriente nominal de 562 A por aire.

Se debe cumplir:

$$(I_n)_{\text{máx.}} > (I_n)_{\text{operación}}$$

$$(562 \text{ A} > 146 \text{ A})$$

$$(S)_{\text{máx.}} > S_{\text{operación}}$$

$$(204 \text{ mm}^2 > 240 \text{ mm}^2)$$

En la tabla 15, se detalla el presupuesto para el sistema de almacenamiento de energía mediante baterías (acumuladores) y distribución de energía alterna

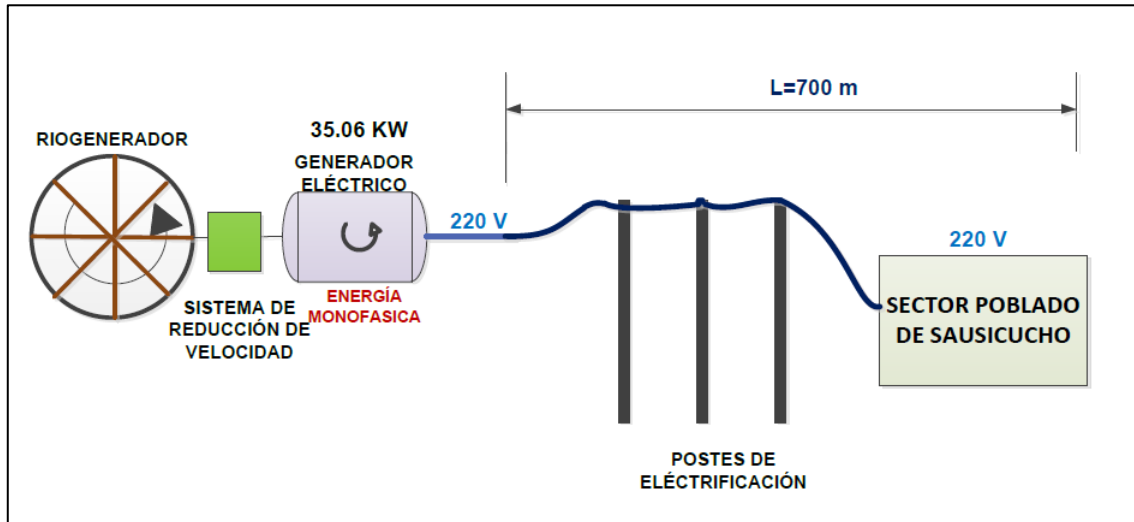
**Tabla 18.** Presupuesto del sistema por carga de baterías y distribución de energía alterna

Activos fijos	Unidad	Cantidad S/.	Total, S/.
Baterías 48V, denominación TROJAN IND33 de electrólito líquido con capacidad de 2405Ah	5	1050.00	5250.00
Controlador 48V, Prostar PS-15	1	580.00	580.00
Inversor 48V/240V D, denominación BLUESUN 50000MTLP-US, con una potencia nominal de 50KW	1	1740.00	1740.00
Interruptor Termomagnético, SICA denominación 782101 unipolar, diferencia de amperaje I= 1A	1	110.00	110.00
Interruptor automático diferencial, Riel DIN 35mm, I=30mA, V=220V	1	80.00	80.00
Fusibles, PV10A10F, amperaje nominal I=10 <sup>a</sup>	1	10.00	10.00
Conductor eléctrico, superficie S=33.63 mm <sup>2</sup> , I=199A, L=20m, con denominación 2AWG	1	250.00	250.00
Conductor eléctrico calibre NYY 3-1*240 mm <sup>2</sup> , corriente nominal de 562 A.	700 m	31.00	21700.00
Poste de hormigón H = 8m pastoral y accesorios, base 0.267m, cima 0.140m (Incluye accesorios y cimientos), S=500 Kg/cm <sup>2</sup>	7	1510.00	10570.00
Obras civiles (25%)	1	10000.00	10000.00
<b>Total del presupuesto N°2</b>			<b>50290.00</b>

Fuente: Elaborado por los autores

## Anexo 10. Distribución de energía continua

Se propone la distribución de energía eléctrica continua, enviando la energía continua que sale del generador eléctrico directamente a las viviendas del sector poblado Sausicucho.



**Figura 16.** Distribución de electricidad continua.

Basándonos en la misma metodología de cálculo de la propuesta N°2 para el dimensionamiento y selección de conductores en energía continua, tenemos:

Caída de voltaje máxima permitida:

$$\delta = \%V * U_{DC} = 3.3 \text{ V}$$

Dónde: %V es el porcentaje de caída de voltaje de 7.5% (caída porcentual máxima para aproximaciones a 1Km de longitud) y  $U_{DC}$  es el voltaje de corriente continua entregado por el generador eléctrico de 220V.

$$\delta = 0.075 * 220\text{V}$$

$$\delta = 16.50 \text{ V}$$

El área transversal del conductor eléctrico necesaria:

$$S = \frac{2 * \rho * I * L}{\delta}$$

Dónde, L: es la longitud máxima del conductor en corriente continua, para el análisis es 700m y I: es la corriente nominal entregada por el generador la cual tiene un valor de 199A.

$$S = \frac{2 * 0.02268 \Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} * 199 \text{ A} * 700 \text{ m}}{16.50 \text{ V}}$$

$$S = 383 \text{ mm}^2$$

Normalizando, tendríamos un conductor de  $407 \text{ mm}^2$  (800 MCM)

En la tabla 19, se detalla el presupuesto económico para el transporte de la energía continua desde el generador eléctrico hasta las viviendas del sector poblado Sausicucho.

**Tabla 19.** *Presupuesto con distribución de energía continua*

Activos fijos	Unidad	Cantidad S/.	Total S/.
Poste de hormigón H = 8m pastoral y accesorios, base 0.267m, cima 0.140m (Incluye accesorios y cimientos), S=500 Kg/cm <sup>2</sup>	7	1510.00	10570.00
Conductor eléctrico calibre NYY 3-1*407 mm <sup>2</sup> , corriente nominal de 199A.	700 m	51.70	36190.00
Obras civiles (25%)	1	11690.00	11690.00
<b>Total del presupuesto N°3</b>			<b>58450.00</b>

Fuente: Elaborado por los autores

En la siguiente tabla 20, se muestran las diferencias económicas entre la propuesta N°1, N°2 y N°3, obteniendo que desde el punto de vista económico y de vida útil, el centro de cargas por baterías y distribución de energía alterna es la opción más beneficiosa para el sector poblado de Sausicucho.

**Tabla 20.** *Comparación económica y de vida útil de las propuestas*

Propuestas	Total (S/.)	Descripción
Subestación eléctrica	80497.00	La subestación eléctrica tiene como equipo crítico al transformador trifásico el cual puede alcanzar una vida útil de 30 años. Y requiere de mantenimiento 2 veces/año.
Centro de carga y distribución de energía alterna	50290.00	El sistema por acumulación de energía tiene como equipo crítico a las baterías las cuales pueden llegar eficientemente a una vida útil de 25 años. Y se requiere de mantenimiento 1 vez/año.
Distribución de energía continua	58450.00	La distribución de energía continua, desde el generador hasta las viviendas, mediante conductores que transportaran energía continua, puede alcanzar una vida útil de 25

años que es el tiempo de operación del generador eléctrico. Y un sistema de conductores de energía continua requiere de mantenimiento 1 vez/año.

Fuente: Elaborado por los autores

### Selección del generador eléctrico

Debemos evaluar la potencia aparente requerida por el generador eléctrico

$$S = \frac{P}{\cos\phi} = \frac{35.06 \text{ KW}}{0.80} = 44\text{KVA}$$

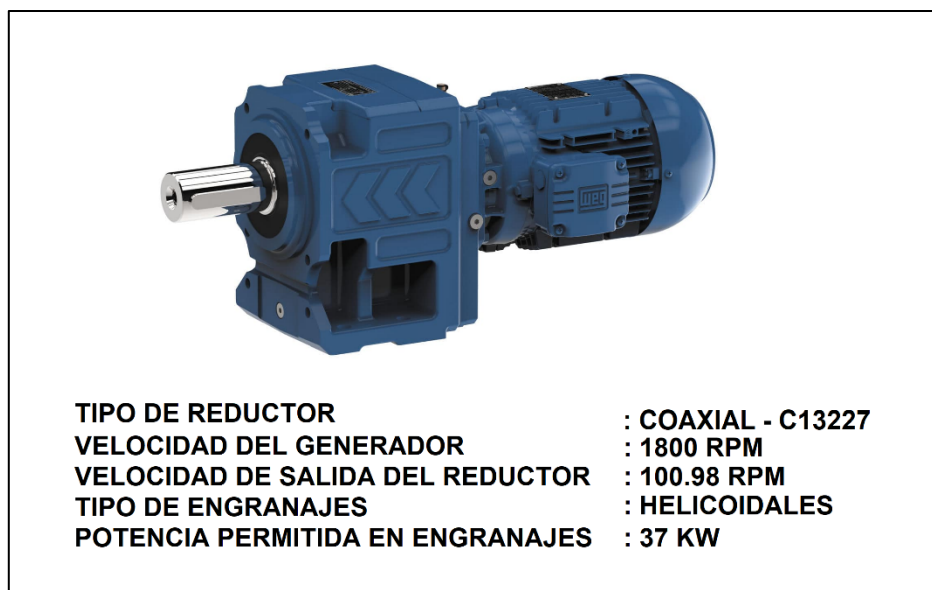
Del catálogo WEB, seleccionamos el generador eléctrico modelo GTA201AIHE, el cual tiene una potencia aparente nominal de 48.40KVA (38.72KW), con los siguientes datos:

**Tabla 21.** *Parámetros nominales principales del generador eléctrico*

Parámetros	Valor	Unidad
Potencia nominal	48.40	KVA
Voltaje de operación (Monofásico zig-zag paralelo o triángulo monofásico)	220	V
Frecuencia	60	Hz
Velocidad de rotación	1800	RPM
Factor de potencia	0.8	-

Fuente: Ficha técnica del generador eléctrico modelo GTA201AIHE

El generador eléctrico, viene equipado con un reductor de velocidad de engranajes helicoidales, con una referencia C13227 WEB, con una relación de transmisión de 17.33.

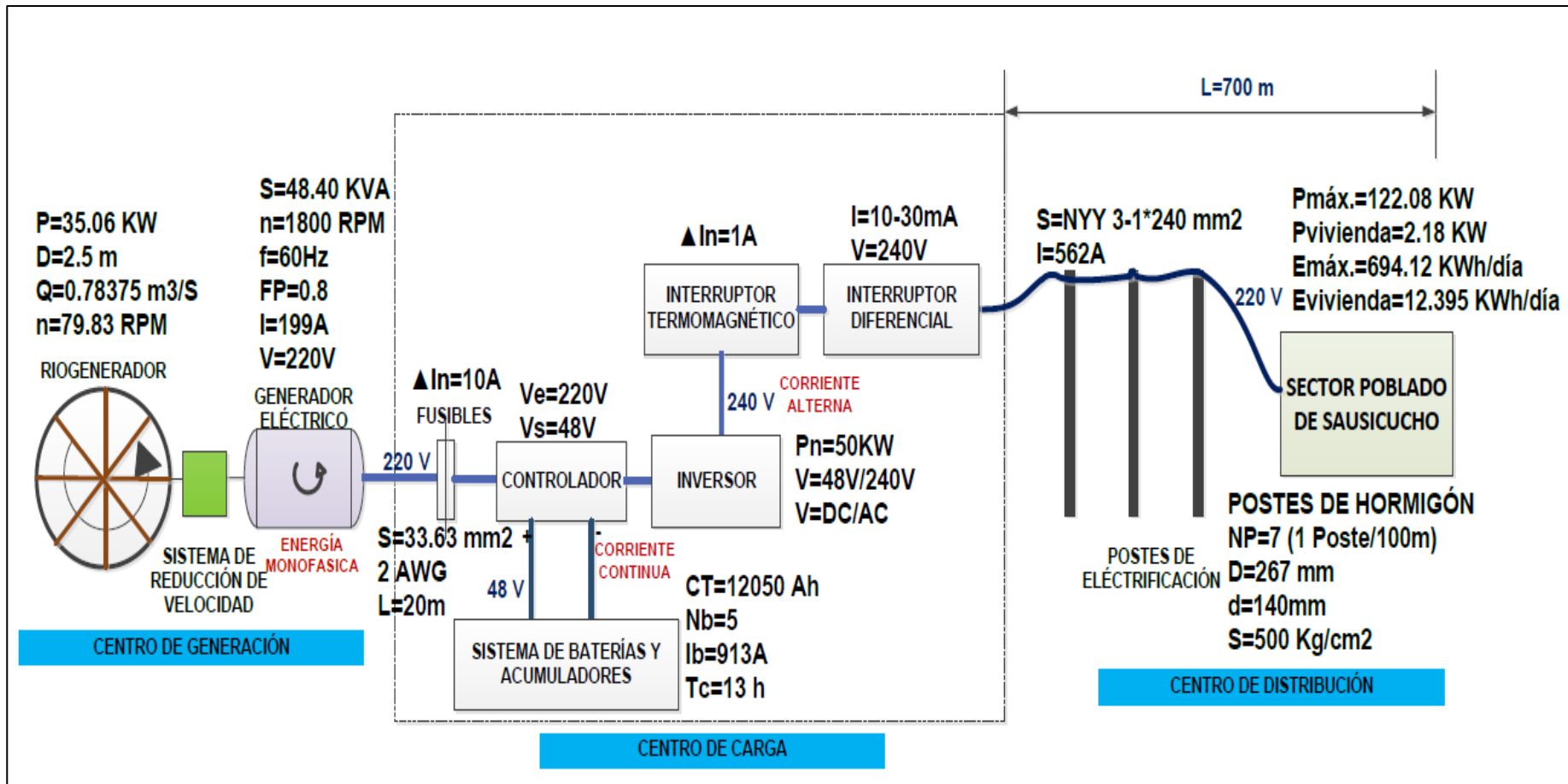


**Figura 17.** *Generador eléctrico con reductor de velocidad*

Fuente: Datos del proveedor comercial WEB



En la figura 18, se muestra la opción más factible para la generación, almacenamiento y distribución de electricidad al sector poblado Sausicucho



**Figura 18.** Generación, almacenamiento y distribución de energía eléctrica con riogenerador

Fuente: Elaborado por los autores

## Anexo 11. Análisis con Turbina Pelton

### Evaluación de la altura geodésica:

Se determinará la altura geodésica necesaria con turbina pelton, a partir de la ecuación de la potencia hidráulica.

$$N = \frac{\gamma * Q * H}{75}$$

Datos:

Caudal:  $Q=0.78375 \text{ m}^3/\text{s}$

Potencia:  $N=122.08 \text{ KW}$

$\gamma = 1000 \frac{\text{Kg-f}}{\text{m}^3}$  (Peso específico del agua)

Convirtiendo la potencia de KW a CV

$$N = 122.08 \text{ KW} * \frac{1.341 \text{ CV}}{\text{KW}}$$
$$N = 163.71 \text{ CV}$$

Reemplazando:

$$163.71 = \frac{1000 * 0.78375 * H}{75}$$
$$H = 16 \text{ m}$$

### Número específico de vueltas

$$(n_s)_i = \frac{n * N^{1/2}}{H^{5/4}}$$

Dónde:

Altura:  $H = 26 \text{ m}$

$(n_s)_i$ : Número específico de vueltas en una turbina pelton varía entre 0 y 40.

Seleccionando el valor máximo de  $(n_s)_i = 40$

Potencia:  $N = 163.71 \text{ CV}$

Reemplazando, para obtener la máxima velocidad de rotación:

$$40 = \frac{n * (163.71)^{1/2}}{(16)^{5/4}}$$
$$n = 100 \text{ RPM}$$

### Número de chorros

$$(n_s)_i = 576 * (\varphi)^{\frac{1}{2}} * (Z)^{\frac{1}{2}} * K_p * \left(\frac{d}{D}\right)$$

Dónde:

$(n_s)_i$ : Número específico de vueltas,  $(n_s)_i = 40$

$\varphi$ : Coeficiente de velocidad absoluta, varía entre 0.97 y 0.98,  $\varphi = 0.975$

Z: Número de chorros

$K_p$ : Coeficiente de velocidad periférica, varía entre 0.44 y 0.46,  $K_p = 0.45$

d/D: Relación entre diámetro de chorro y diámetro de rueda, debe cumplirse por

diseño la relación:  $\frac{d}{D} \leq \frac{1}{10}$

Reemplazando, el número de chorros sería:

$$40 = 576 * (0.975)^{\frac{1}{2}} * (Z)^{\frac{1}{2}} * 0.45 * 0.1$$

$$Z = 2.44 = 3$$

La relación entre diámetros de chorro y rueda, es:

$$40 = 576 * (0.975)^{\frac{1}{2}} * (3)^{\frac{1}{2}} * 0.45 * \frac{d}{D}$$

$$\frac{d}{D} = 0.090$$

Diámetro de chorro

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * Z} * \left( \frac{1}{\varphi * \sqrt{2 * g * H}} \right)}$$

Dónde:

Caudal:  $Q=0.78375 \text{ m}^3/\text{s}$

Z: Número de chorros,  $Z=3$

g: Aceleración de la gravedad,  $g=9.81 \text{ m/s}^2$

$\varphi$ : Coeficiente de velocidad absoluta, varía entre 0.97 y 0.98,  $\varphi = 0.975$

H: altura geodésica,  $H=16 \text{ m}$

Reemplazando, el diámetro de cada chorro sería:

$$d = \sqrt{\frac{4 * 0.78375}{\pi * 3} * \left( \frac{1}{0.975 * \sqrt{2 * 9.81 * 16}} \right)}$$

$$d = 0.1388 \text{ m}$$

**Diámetro de la rueda:**

Por lo consiguiente el diámetro de la rueda, tendría el valor de:

$$\frac{0.1388 \text{ m}}{D} = 0.090$$

$$D = 1.5422 \text{ m}$$

Diámetro exterior de la rueda:

$$D_{\text{ext}} = D + 2 * d$$

$$D_{\text{ext}} = 1.5422 \text{ m} + 2 * 0.1388 \text{ m}$$

$$D_{\text{ext}} = 1.8198 \text{ m}$$

Diámetro interior de la rueda:

$$D_{\text{int}} = D - 2 * d$$

$$D_{\text{int}} = 1.5422 \text{ m} - 2 * 0.1388 \text{ m}$$

$$D_{\text{int}} = 1.2646 \text{ m}$$

### Número de cucharas:

Para evaluar cantidad de cucharas que se colocaran en el diámetro del rodete, se emplearan 2 ecuaciones, donde se tomara el mayor número de cucharas entre ambas ecuaciones.

Ecuación 01:

$$N_{\text{cu}} = 12 + 0.74 * \frac{D}{d}$$

Dónde:

D: Diámetro de la rueda, D = 1.5422 m

d: Diámetro del chorro, d = 0.1388 m

$$N_{\text{cu}} = 12 + 0.74 * \frac{1.5422 \text{ m}}{0.1388 \text{ m}}$$

$$N_{\text{cu}} = 20.22 = 21$$

Ecuación 02:

$$N_{\text{cu}} = \frac{\pi * D_{\text{ext}}}{S}$$

Dónde, "S" es la longitud de arco de separación entre cucharas

$$S = 0.8 * \left[ \Delta\theta * D - \frac{K_p}{\varphi} * \frac{D_{\text{ext}}^2}{D} * \text{sen} \left( \frac{\Delta\theta}{2} \right) \right]$$

Dónde el ángulo de arco "S", entre cuchara y cuchara, se determina:

$$\Delta\theta = 2 * \cos^{-1}\left(\frac{D + d}{D_{\text{ext}}}\right)$$

$$\Delta\theta = 2 * \cos^{-1}\left(\frac{1.5422 \text{ m} + 0.1388 \text{ m}}{1.8198 \text{ m}}\right)$$

$$\Delta\theta = 45^\circ = 0.785 \text{ rad.}$$

La longitud de arco:

$$S = 0.8 * \left[ 0.785 * 1.5422 - \frac{0.45}{0.975} * \frac{1.8198^2}{1.5422} * \sin\left(\frac{45}{2}\right) \right]$$

$$S = 0.665 \text{ m}$$

El número de cucharas sería:

$$N_{\text{cu}} = \frac{\pi * 1.8198 \text{ m}}{0.665 \text{ m}}$$

$$N_{\text{cu}} = 8.6 = 9$$

Con un número de cucharas de 9, están serían muy grandes por lo tanto elegimos 21 cucharas para disminuir su tamaño mejorando de esta manera la inercia de movimiento de la turbina hidráulica.

## Anexo 12. Análisis con Turbina Michell – Banki

### Determinación de la altura geodésica:

La altura con turbina Michell Banki, la determinaremos de la expresión de la potencia hidráulica para este tipo de turbinas.

$$H = \frac{N}{\rho * g * Q * \eta_t}$$

Dónde:

### Rendimiento interno teórico:

$$\eta_{it} = \theta^2 * (1 - (\tan\alpha)^2)$$

$\theta$ : Coeficiente de pérdidas

$$\theta = 0.96 \dots \dots 0.98 = 0.97$$

$\alpha$ : Ángulo de ataque del inyector

$$\alpha = 14^\circ \dots \dots 18^\circ = 16^\circ$$

Reemplazando:

$$\eta_{it} = 0.97^2 * (1 - (\tan 16^\circ)^2)$$

$$\eta_{it} = 0.8635$$

### Rendimiento real interno:

$$\eta_i = \eta_{it} * a$$

a: Coeficiente de fuga de caudal:

$$a = 0.95$$

Remplazando:

$$\eta_i = 0.8635 * 0.95$$

$$\eta_i = 0.82$$

### Rendimiento mecánico:

$$\eta_m = 0.85 \dots \dots 0.92 = 0.885$$

### Rendimiento volumétrico:

$$\eta_v = 1$$

### Rendimiento total:

$$\eta_t = \eta_i * \eta_m * \eta_v$$

$$\eta_t = 0.82 * 0.885 * 1$$

$$\eta_t = 0.7257$$

Por lo tanto, para evaluar la altura geodésica, tenemos los siguientes datos:

$$\Rightarrow N=122.08 \text{ KW}$$

$$\Rightarrow \rho = 999.19 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\Rightarrow g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow Q = 0.78375 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\Rightarrow \eta_t = 0.7257$$

$$H = \frac{122.08 * 1000}{999.19 * 9.81 * 0.78375 * 0.7257}$$

$$H = 22 \text{ m}$$

### Velocidad absoluta de entrada

$$C = 4.43 * \theta * \sqrt{H}$$

Dónde:

$\theta$ : Coeficiente de pérdidas,  $\theta = 0.97$

H: Altura geodésica, H=22 m

$$C = 4.43 * 0.97 * \sqrt{22}$$

$$C = 20.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### Velocidad tangencial

$$U = \frac{C}{2 * \cos\alpha}$$

Dónde:

C: Velocidad absoluta de entrada,  $C = 20.15 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

$\alpha$ : Ángulo de ataque del inyector,  $\alpha = 16^\circ$

$$U = \frac{20.15}{2 * \cos 16^\circ}$$

$$U = 10.48 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### Velocidad especifica de caudal:

$$n_q = 3 * n * Q^{\frac{1}{2}} * H^{-\frac{3}{4}}$$

Dónde:

$n_q$ : Es la velocidad especifica de caudal, el cual varia en el rango de 40 a 180, para efectos de cálculos elegimos el valor de 40, asegurando una velocidad de rotación contante para turbinas Michell Banki, ya que se está trabajando con el caudal mínimo.

Q: caudal,  $Q = 0.78375 \text{ m}^3/\text{s}$

H: Altura geodésica, H=22 m

$$40 = 3 * n * 0.78375^{\frac{1}{2}} * 22^{-\frac{3}{4}}$$

$$n = 153 \text{ RPM}$$

### Diámetro del rotor

$$D = 19.08 * \frac{U}{n}$$

Dónde:

U: Velocidad tangencial,  $U = 10.48 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

n: Velocidad de rotación, n = 688 RPM

$$D = 19.08 * \frac{10.48}{153}$$

$$D = 1.30 \text{ m}$$

### Diámetro interno del rotor

$$D_{\text{int}} = 0.58 * D$$

$$D_{\text{int}} = 0.58 * 1.30 \text{ m}$$

$$D_{\text{int}} = 0.754 \text{ m}$$

### Número de álabes

$$Z = 0.10 * \pi * \frac{D}{e_p}$$

Dónde:

D: Diámetro del rotor, D = 1.30 m

$e_p$ : Espesor de pared de los álabes, se recomienda por diseño un espesor máximo de 10 mm.

$$Z = 0.10 * \pi * \frac{1.30 \text{ m}}{0.010 \text{ m}}$$

$$Z = 41$$



## Anexo 13. Análisis del sistema de reducción de velocidad

CATARINA CONDUCTIDA PARA LA ROTACIÓN DE LA RUEDA HIDRÁULICA

$n_2=79.83$  RPM

$N_2$ =Dientes de la Catarina conducida

$d_2$ =diámetro primitivo de la Catarina conducida

CATARINA MOTRIZ PARA LA ROTACIÓN DE LA RUEDA HIDRÁULICA

$n_1=100.98$  RPM

$N_1$ =Dientes de la Catarina motriz

$d_1$ =diámetro primitivo de la Catarina motriz

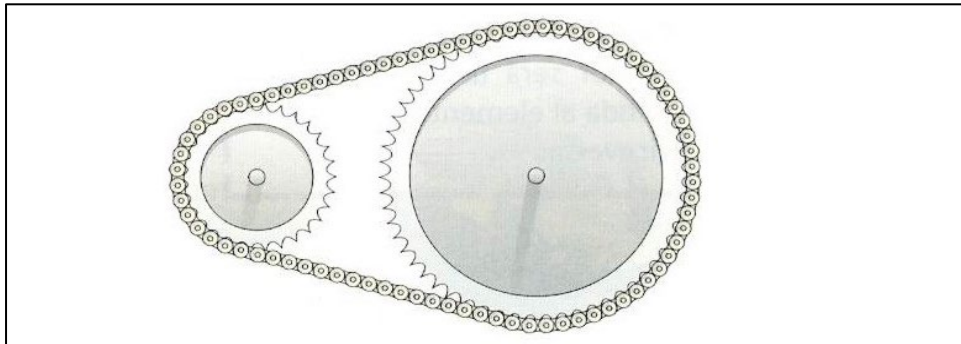


Figura 19. Sistema de reducción de velocidad

### a) Número de torones, número de cadena, tipo de lubricación y potencia tabulada.

Para un diseño uniforme, se igualarán las potencias permisibles y de diseño de la cadena

Tenemos:

Potencia de diseño:

$$H_d = K_s * n_d * H_{\text{motor nominal}}$$

Potencia permitida por la cadena:

$$H_a = K_1 * K_2 * H_{\text{tab}}$$

Igualamos:

$$K_s * n_d * H_n = K_1 * K_2 * H_{\text{tab}}$$

La potencia tabulada sería:

$$H_{\text{tab}} = \frac{K_s * n_d * H_n}{K_1 * K_2}$$

Donde:

Para impacto pesado el factor de servicio:  $K_s = 1.5$

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

Factor de diseño:  $n_d = 1.5$

Caso	Factor de Seguridad FS	Observaciones
1	1,25 ... 1,5	Para materiales excepcionalmente confiables usados bajo condiciones controladas y sujetos a carga y esfuerzos que pueden determinarse con exactitud. Una consideración muy importante es que casi siempre se usan para pesos pequeños.
2	1,5 ... 2	Para materiales bien conocidos, para condiciones de medio ambiente razonablemente constantes y sujetos a carga y esfuerzos que puedan calcularse con facilidad.
3	2 ... 2,5	Para materiales promedio que trabajen en condiciones de medio ambiente ordinarias y sujetos a cargas y esfuerzos que puedan calcularse.
4	2,5 ... 3	Para materiales poco experimentados o para materiales frágiles en condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo.
5	3 ... 4	Para materiales no experimentados usados para condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo.
6	3 ... 4	Deberá también usarse con materiales mejor conocidos que vayan a usarse en condiciones ambientales inciertas o sujetos a cargas y esfuerzo inciertos.

Potencia nominal del generador eléctrico:

$$H_n = 52 \text{ HP} \left( \frac{S * \cos\phi}{0.746} = \frac{48.40\text{KVA} * 0.80}{0.746} \right)$$

$K_1$ : Factor de corrección por número de dientes: Se seleccionará 17 dientes para la catarina motriz, según la metodología de diseño de máquinas de Shigley,  $K_1=1$

Número de dientes en catarina impulsora	Potencia preextremo, $K_1$	Potencia posextremo, $K_1$
11	0.62	0.52
12	0.69	0.59
13	0.75	0.67
14	0.81	0.75
15	0.87	0.83
16	0.94	0.91
17	1.00	1.00
18	1.06	1.09
19	1.13	1.18
20	1.19	1.28
N	$(N_1/17)^{1.08}$	$(N_1/17)^{1.5}$

$K_2$ : Factor de corrección por cantidad de torones:  $K_2 = 1; 1.7; 2.5; 3.3; 3.9; 4.6; 6$  (como no se conoce el número de torones, se tendría una variación de este factor de 1 a 6)

Número de torones	$K_2$
1	1.0
2	1.7
3	2.5
4	3.3
5	3.9
6	4.6
8	6.0

Reemplazando, tendríamos la siguiente ecuación:

$$H_{\text{tab}} = \frac{K_s * n_d * H_n}{K_1 * K_2}$$

$$H_{\text{tab}} = \frac{1.5 * 1.5 * 52}{K_2}$$

$$H_{\text{tab}} = \frac{117}{K_2}$$

**Tabla 22.** Número de torones, potencia tabulada, número de cadenas y tipo de lubricación para la velocidad de entrada de 100.98 RPM

Número de torones	$H_{\text{tab}} = \frac{156}{K_2}$	Número de cadena	Tipo de lubricación
1	$\frac{117}{1} = 117$	240	B (Lubricación por baño)

2	$\frac{117}{1.7} = 68.82$	200	B (Lubricación por baño)
3	$\frac{117}{2.5} = 46.80$	180	B (Lubricación por baño)
4	$\frac{117}{3.3} = 35.45$	160	B (Lubricación por baño)
5	$\frac{117}{3.9} = 30$	160	B (Lubricación por baño)
6	$\frac{117}{4.6} = 25.43$	140	B (Lubricación por baño)
8	$\frac{117}{6} = 19.5$	140	B (Lubricación por baño)

Velocidad de la catarina, rpm		Número ANSI de cadena							
		80	100	120	140	160	180	200	240
50	Tipo A	2.88	5.52	9.33	14.4	20.9	28.9	38.4	61.8
100		5.38	10.3	17.4	26.9	39.1	54.0	71.6	115
150		7.75	14.8	25.1	38.8	56.3	77.7	103	166
200		10.0	19.2	32.5	50.3	72.9	101	134	215
300		14.5	27.7	46.8	72.4	105	145	193	310
400	Tipo B	18.7	35.9	60.6	93.8	136	188	249	359
500		22.9	43.9	74.1	115	166	204	222	0
600		27.0	51.7	87.3	127	141	155	169	
700		31.0	59.4	89.0	101	112	123	0	
800		35.0	63.0	72.8	82.4	91.7	101		
900		39.9	52.8	61.0	69.1	76.8	84.4		
1 000		37.7	45.0	52.1	59.0	65.6	72.1		
1 200		28.7	34.3	39.6	44.9	49.9	0		
1 400		22.7	27.2	31.5	35.6	0			
1 600		18.6	22.3	25.8	0				
1 800	15.6	18.7	21.6						
2 000	13.3	15.9	0						
2 500	9.56	0.40							
3 000	7.25	0							
Tipo C		Tipo C'							

*Nota:* Tipo A, lubricación manual o por goteo; tipo B, lubricación por baño o disco; tipo C, lubricación por chorro de aceite; tipo C', es tipo C, pero ésta es una región de excoiación; envíe el diseño al fabricante para su evaluación.

La potencia tabulada, sería:  $H_{tab} = 71.60$  HP, con una cadena ANSI 200 de 2 torones.

**b) Número de dientes de la catarina conducida:**

$$n_1 * N_1 = n_2 * N_2$$

Datos:

$n_1$ : Velocidad de la Catarina motriz,  $n_1 = 100.98$  RPM

$N_1$ : Número de dientes de la catarina motriz,  $N_1 = 17$

$n_2$ : Velocidad de la rueda hidráulica,  $n_2 = 79.83$  RPM

Reemplazando:

$$100.98 * 17 = 79.83 * N_2$$

$$N_2 = 22 \text{ dientes}$$

**c) Diámetro de paso de las catarinas:**

- Diámetro de paso de la catarina Motriz

$$d_1 = \frac{p}{\text{sen}(180/N_1)}$$

Donde:

p: paso de la cadena, para la cadena seleccionada ANSI 200,  $p = 2.5$  pulg

Número de cadena ANSI	Paso, pulg (mm)	Ancho, pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión, lbf (N)	Peso promedio, lbf/pie (N/m)	Diámetro del rodillo, pulg (mm)	Espaciamiento de torones múltiples, pulg (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	— —
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.63)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

$$d_1 = \frac{2.5}{\text{sen}(180/17)}$$

$$d_1 = 13.60 \text{ pulg}$$

- Diámetro de paso de la catarina conducida:

$$d_2 = \frac{p}{\text{sen}(180/N_2)}$$

$$d_2 = \frac{2.5}{\text{sen}(180/22)}$$

$$d_2 = 17.60 \text{ pulg}$$

**d) Longitud de la cadena:**

$$L = 1.1 * \pi * (d_1 + d_2)$$

Datos:

Diámetro de la catarina motriz:  $d_1 = 13.60 \text{ pulg}$

Diámetro de la catarina conducida:  $d_2 = 17.60 \text{ pulg}$

Reemplazando:

$$L = 1.1 * \pi * (13.60 + 17.60) \text{ pulg}$$

$$L = 107.82 \text{ pulg}$$

La longitud entre pasos, seria:

$$\frac{L}{p} = \frac{107.82 \text{ pulg}}{2.5 \text{ pulg}} = 43.13 \text{ pasos}$$

La distancia entre centros, se determina:

$$C = \frac{p}{4} \left[ -A + \sqrt{A^2 - 8 * \left( \frac{N_2 - N_1}{2 * \pi} \right)^2} \right]$$

Donde:

$$A = \frac{N_1 + N_2}{2} - \frac{L}{p}$$

$$A = \frac{17 + 22}{2} - 43.13 = -23.63$$

Reemplazando:

$$C = \frac{3}{4} \left[ -(-23.63) + \sqrt{(-23.63)^2 - 8 * \left( \frac{22 - 17}{2 * \pi} \right)^2} \right]$$

$$C = 35.40 \text{ pulg}$$

Recalculando la longitud de paso de la cadena:

$$\frac{L}{p} = \frac{2 * C}{p} + \frac{N_1 + N_2}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{\frac{4 * \pi^2 * C}{p}}$$

$$\frac{L}{p} = \frac{2 * 35.40}{3} + \frac{17 + 22}{2} + \frac{(22 - 17)^2}{\frac{4 * \pi^2 * 35.40}{3}}$$

$$\frac{L}{p} = 43 \text{ pasos}$$

La longitud total de la cadena sería:

$$\frac{L}{2.5} = 43 \text{ pasos}$$

$$L = 107.50 \text{ pulg}$$

**e) Criterio de la distancia entre centros:**

La distancia entre centros, se encuentra en el rango de diseño, es decir:

$$d_2 < C < 3(d_1 + d_2)$$

$$13.60 \text{ pulg} < 35.40 \text{ pulg} < 3(13.60 + 17.60) \text{ pulg}$$

$$13.60 \text{ pulg} < 35.40 \text{ pulg} < 93.60 \text{ pulg}$$

**f) Ángulo de contacto:**

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{d_2 - d_1}{2 * C} \right]$$

$$\theta_d = \pi - 2 \sin^{-1} \left[ \frac{17.60 - 13.60}{2 * 35.40} \right]$$

$$\theta_d = 174^\circ = 3.04 \text{ rad}$$

**g) Velocidad angular, torque y fuerza tangencial de las catarinas:**

- Velocidad angular de la catarina conducida:

$$\omega_2 = \frac{\pi * n_2}{30}$$

$$\omega_2 = \frac{\pi * 79.83}{30} = 8.36 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

- Velocidad angular de la catarina motriz:

$$\omega_1 = \frac{\pi * n_1}{30}$$

$$\omega_1 = \frac{\pi * 100.98}{30} = 10.57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

- Torque en la catarina conducida:

$$T_2 = \frac{P}{\omega_2}$$

$$T_2 = \frac{35.06 \text{ KW}}{8.36 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T_2 = 4.20 \text{ KN.m}$$

- Torque en la catarina motriz:

$$T_1 = \frac{P}{\omega_1}$$

$$T_1 = \frac{35.06 \text{ KW}}{10.57 \frac{\text{rad}}{\text{s}}}$$

$$T_1 = 3.32 \text{ KN.m}$$

- Fuerza tangencial ejercida por la cadena:

El diámetro de paso de la catarina conducida, es 17.60 pulg (0.44704 m)

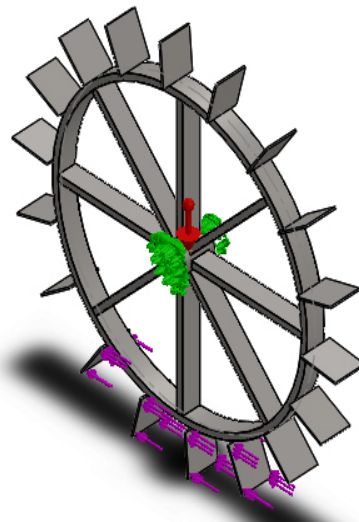
$$T_1 = F_t * \frac{d_2}{2}$$

$$4.20 \text{ KN.m} = F_t * \frac{0.44704 \text{ m}}{2}$$

$$F_t = 19 \text{ KN}$$



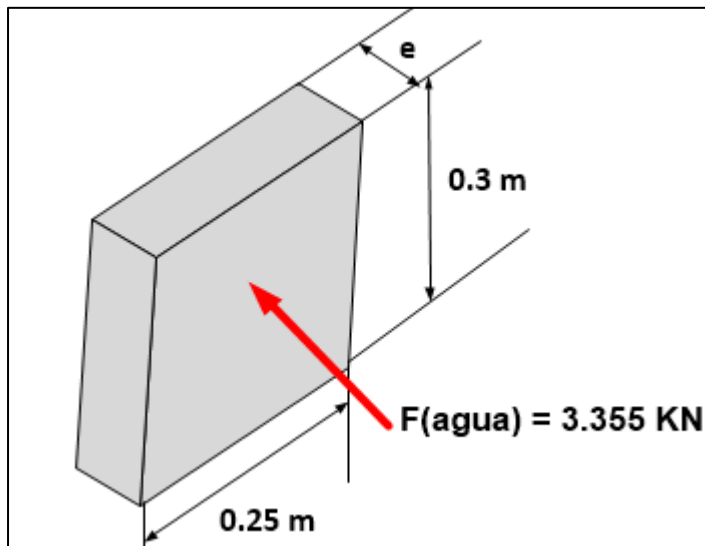
## Anexo 14. Estructura de la rueda hidráulica



**Figura 20.** Perfil de la rueda hidráulica

Fuente: Elaborado por los autores

**Número de palas:** En la tabla 09, se determinó que la rueda debe contener 18 palas, con un ángulo de inclinación de  $25^\circ$ , con dimensiones de  $0.3\text{m} \times 0.25\text{m}$ .



**Figura 21.** Pala de la rueda hidráulica

Fuente: Elaborado por los autores

Es fundamental determinar el espesor óptimo para evitar la deflexión en las palas la cual puede ser ocasionada por la fuerza del agua.

- Esfuerzo cortante

$$\tau = \frac{F_{\text{agua}}}{A}$$

El área de cada pala más crítica sometida a deflexión, sería:  $A=e*0.25m = 0.25*e$

$$\tau = \frac{3.355 * 10^3}{0.25 * e} = \frac{13420}{e}$$

- Esfuerzo máximo por el material: Para el análisis de escogerá como material al AISI 304, que es común en la fabricación de ruedas hidráulicas, evitando de esta manera la corrosión generada por el medio ambiente y el agua del río.

$$FS = \frac{S_y}{2 * \tau}$$

Para estructuras metálicas de materiales conocidos en la industria, como soportes de mecanismos dinámicos, es recomendable valores del factor de seguridad (FS) entre los rangos de 2 a 2.5. Asimismo, el esfuerzo a la fluencia del AISI 304 es 220 Mpa.

$$2.5 = \frac{220 * 10^6}{2 * \frac{13420}{e}}$$

El espesor requerido, normalizado sería:

$$e = \frac{1}{2} \text{ pulg} = 12.70 \text{ mm}$$

Recalculando el área crítica y requerida:

$$A = 0.25 * e = 0.25 * 12.70 * 10^{-3} = 3.175 * 10^{-3} \text{ m}^2$$

Peso del conjunto de palas:

$$W_p = N^{\circ}p * \gamma_a * V_p$$

Número de palas: 18

Peso específico del acero inoxidable: 76 KN/m<sup>3</sup>

Volumen del material de las palas: 0.25mx0.3mx0.01270m= 9.525\*10<sup>-4</sup>m<sup>3</sup>

$$W_p = 18 * 76 * 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 9.525 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$W_p = 1303 \text{ N}$$

### Estructura del perfil diametral de la rueda:

En la tabla 22, seleccionamos el tubo cuadro AISI 304, con dimensiones normalizadas 150x50x4mm el cual posee una sección transversal de  $1.536 * 10^{-3} \text{ m}^2$ , el cual tiene un área que es mayor al área de trabajo e inferior al área requerida máxima de  $3.175 * 10^{-3} \text{ m}^2$

Ancho(A)	Alto(B)	Pared(C)	Peso	Aleación
150	50	2.0	6,41	AISI 304-304L (DIN 4301-4306)
150	50	3.0	9,31	AISI 304-304L (DIN 4301-4306)
150	50	4.0	12,29	AISI 304-304L (DIN 4301-4306)
150	50	5.0	15,20	AISI 304-304L (DIN 4301-4306)
150	100	3.0	11,71	AISI 304-304L (DIN 4301-4306)
150	100	4.0	15,49	AISI 304-304L (DIN 4301-4306)
150	100	5.0	19,20	AISI 304-304L (DIN 4301-4306)

Peso del perfil diametral de la rueda:

$$W_r = N^{\circ}pd * \gamma_a * V_r$$

Número de perfiles diametrales: 4

Peso específico del acero inoxidable:  $76 \text{ KN/m}^3$

Volumen del material de la rueda:  $\pi * D * A = \pi * 2.5\text{m} * 1.536 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 0.0125 \text{ m}^3$

$$W_r = 4 * 76 * 10^3 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0.0125 \text{ m}^3$$

$$W_r = 3800 \text{ N}$$

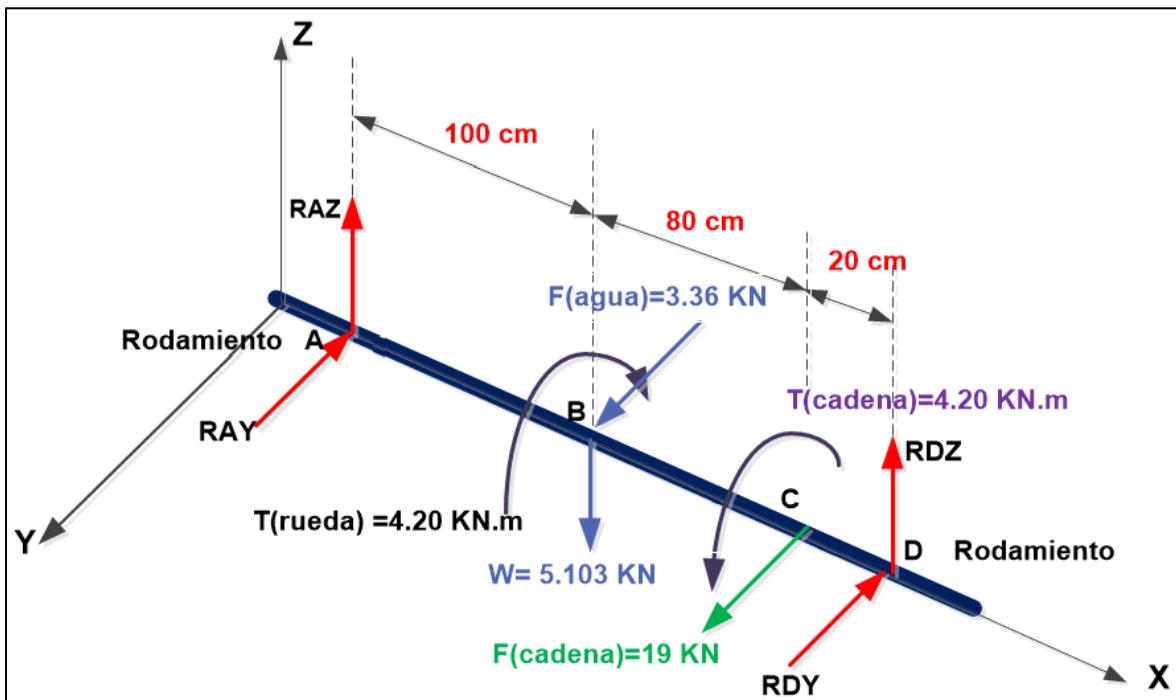
El peso neto del riogenerador, seria:

$$W_{\text{Riogenerador}} = W_p + W_r$$

$$W_{\text{Riogenerador}} = 1303 \text{ N} + 3800 \text{ N}$$

$$W_{\text{Riogenerador}} = 5103 \text{ N}$$

## Anexo 15. Diseño del eje de transmisión de potencia de la rueda hidráulica



**Figura 22.** Diagrama de cuerpo libre DCL del eje de movimiento de la rueda hidráulica

Fuente: Elaborado por los autores

### a) Determinación de las reacciones en los apoyos o rodamientos:

$$\sum (M_A)_y = 0$$

$$-5.103 \cdot 100 + R_{DZ} \cdot 200 = 0$$

$$R_{DZ} = 2.5515 \text{ KN}$$

$$\sum (M_A)_z = 0$$

$$-3.36 \cdot 100 - 19 \cdot 180 + R_{DY} \cdot 200 = 0$$

$$R_{DY} = 18.78 \text{ KN}$$

$$\sum (M_A)_x = 0$$

$$T_{RUEDA} = T_{CADENA} = 4.20 \text{ KN.m}$$

$$\sum (F)_z = 0$$

$$R_{AZ} - 5.103 + R_{DZ} = 0$$

$$R_{AZ} - 5.103 + 2.5515 \text{ KN} = 0$$

$$R_{AZ} = 2.5515 \text{ KN}$$

$$\sum (F)_y = 0$$

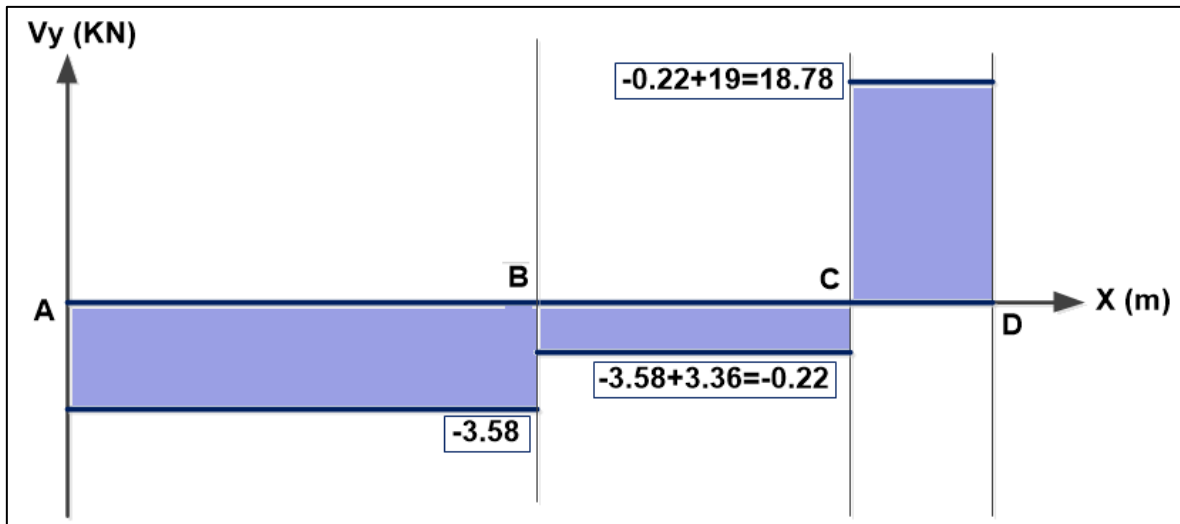
$$3.36 + 19 - R_{DY} - R_{AY} = 0$$

$$3.36 + 19 - 18.78 - R_{AY} = 0$$

$$R_{AY} = 3.58 \text{ KN}$$

**b) Diagramas de carga del eje transmitido**

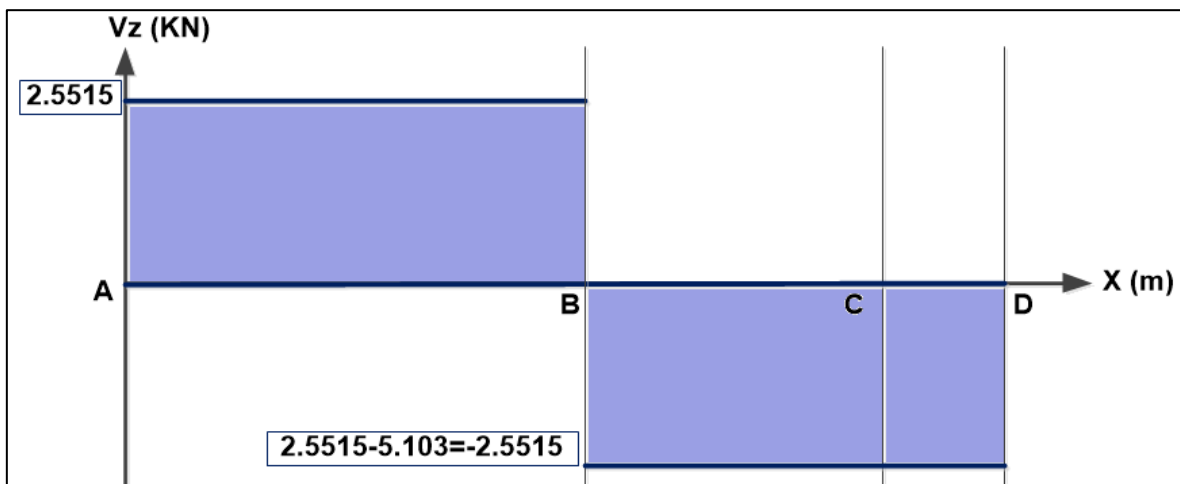
**Diagrama de Fuerza cortante  $V_y - X$**



**Figura 23.** Diagrama de Fuerza cortante  $V_y - X$

Fuente: Elaborado por los autores

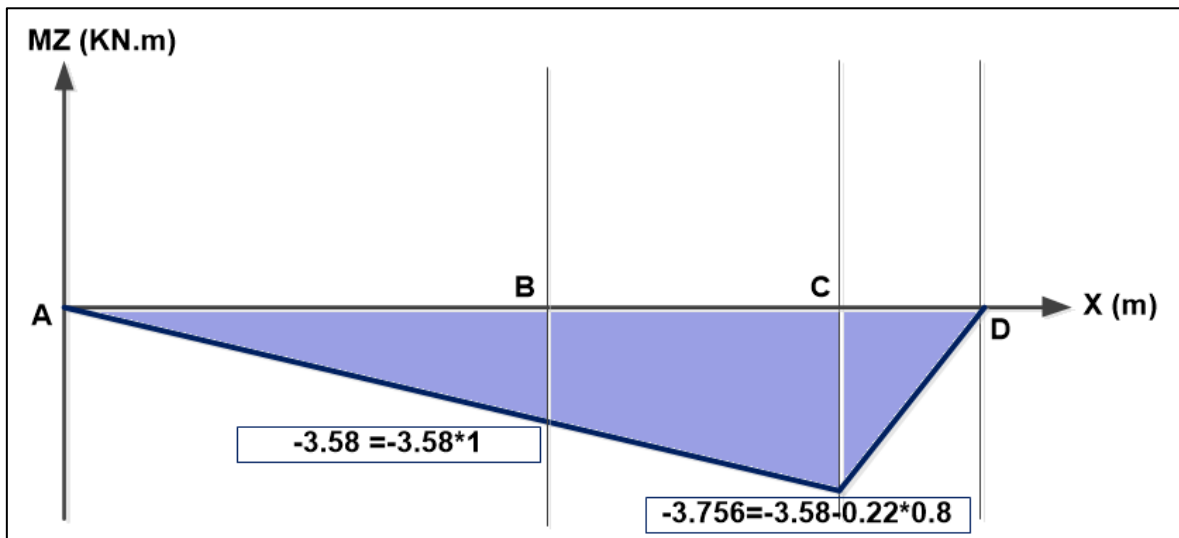
**Diagrama de Fuerza cortante  $V_z - X$**



**Figura 24.** Diagrama de Fuerza cortante  $V_z - X$

Fuente: Elaborado por los autores

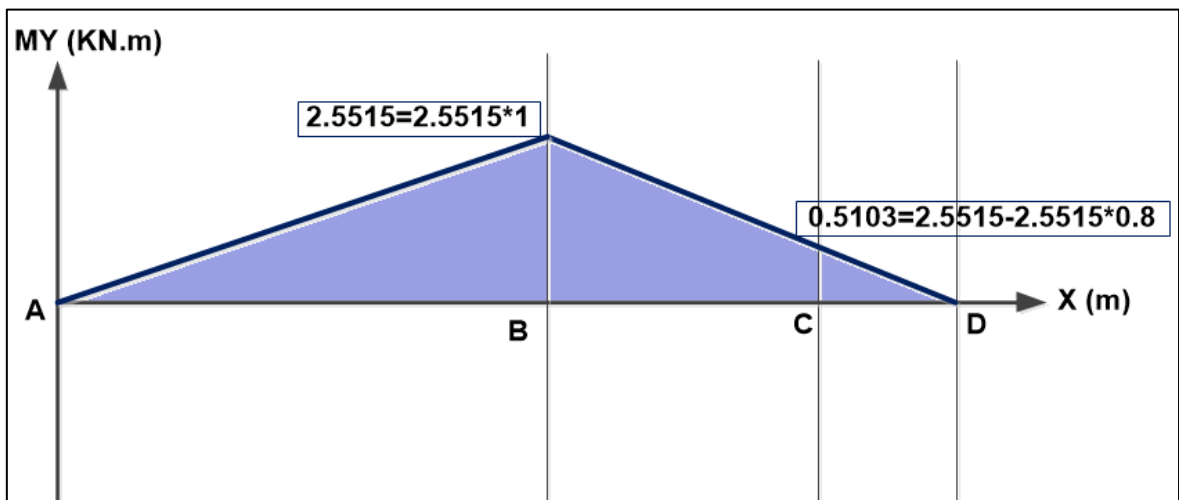
### Diagrama de Momento flexionante $M_z - X$



**Figura 25.** Diagrama de Momento flexionante  $M_z - X$

Fuente: Elaborado por los autores

### Diagrama de Momento flexionante $M_y - X$



**Figura 26.** Diagrama de Momento flexionante  $M_y - X$

Fuente: Elaborado por los autores

### Diagrama de Momento resultante $M_R - X$

Para determinar el momento resultante, en cada sección, utilizaremos la siguiente, formulación

$$M_R = \sqrt{M_y^2 + M_z^2}$$

Para la sección A:

$$M_R = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ N.m}$$

Para la sección B:

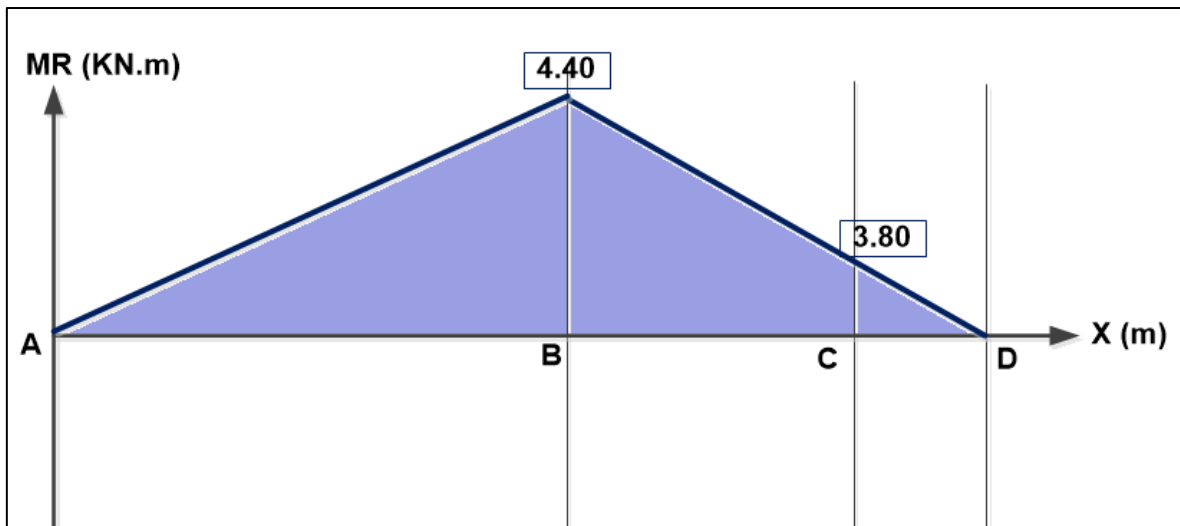
$$M_R = \sqrt{(-3.58)^2 + (2.5515)^2} = 4.40 \text{ KN.m}$$

Para la sección C:

$$M_R = \sqrt{(-3.756)^2 + (0.5103)^2} = 3.80 \text{ KN.m}$$

Para la sección D:

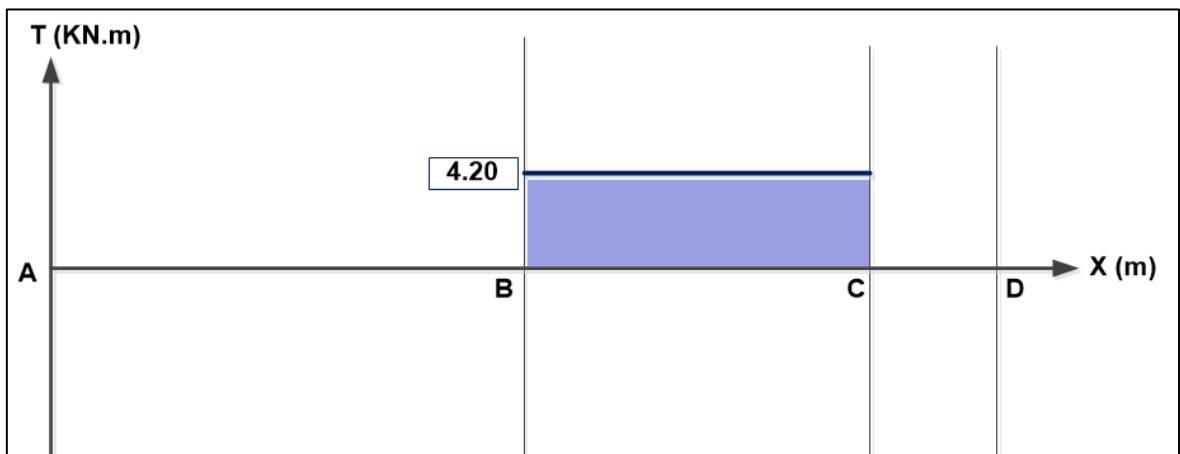
$$M_R = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ N.m}$$



**Figura 27.** Diagrama de Momento resultante  $MR - X$

Fuente: Elaborado por los autores

**Diagrama de Momento torsor  $T - X$**



**Figura 28.** Diagrama de Momento torsor  $T - X$

Fuente: Elaborado por los autores

El análisis de los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante, nos indican que la sección crítica del eje, se encuentra en "B" (lugar donde se encuentra ubicado la rueda hidráulica). Dónde el momento flexionante máximo y el torque serian:

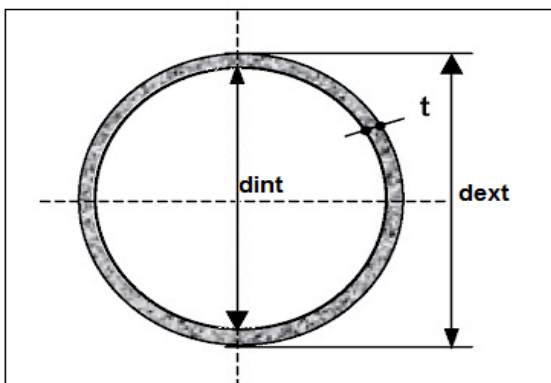
- Momento Flexionante: 4400 N.m

- Momento Torsor: 4200 N.m

**c) Calculo de los esfuerzos combinados:**

Se debe, detallar que el eje de transmitido, es un eje hueco, ya que es necesario para obtener la mayor resistencia respecto a la fuerza del agua, es decir:

$$d_{ext} = d_{int} + 2 * t$$



**Figura 29. Área del eje transmitido**

**Esfuerzo flexionante:**

$$\sigma_f = \frac{M_R * C}{I} \left\{ \begin{array}{l} C = \frac{d_{ext}}{2} \\ I = \frac{\pi * (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}{64} \end{array} \right\}$$

Simplificamos la ecuación del esfuerzo flexionante

$$\sigma_f = \frac{M_R * \frac{d_{ext}}{2}}{\frac{\pi * (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}{64}}$$

Obtenemos:

$$\sigma_f = 10.186 * \frac{M_R * d_{ext}}{d_{ext}^4 - d_{int}^4}$$



Reemplazando, el momento resultante y diámetro exterior:

$$\sigma_f = 10.186 * \frac{4400 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}$$

$$\sigma_f = \frac{44818.40 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}$$

**Esfuerzo torsor:**

$$\tau_T = \frac{T * C}{J} \left\{ \begin{array}{l} C = \frac{d_{ext}}{2} \\ J = \frac{\pi * (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}{32} \end{array} \right\}$$

Simplificamos la ecuación del esfuerzo torsionante:

$$\tau_T = \frac{T * \frac{d_{ext}}{2}}{\frac{\pi * (d_{ext}^4 - d_{int}^4)}{32}}$$

Obtenemos:

$$\tau_T = 5.093 * \frac{T * d_{ext}}{d_{ext}^4 - d_{int}^4}$$

Reemplazando, el momento torsor y diámetro exterior:

$$\tau_T = 5.093 * \frac{4200 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}$$

$$\tau_T = \frac{21390.60 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}$$

**d) Límite de resistencia de la fatiga:**

$$S_e^* = \left\{ \begin{array}{ll} 0.5 S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{Kpsi} (1400 \text{MPa}) \\ 100 \text{Kpsi} & S_{ut} > 200 \text{Kpsi} (1400 \text{MPa}) \\ 700 \text{MPa} & S_{ut} > 1400 \text{MPa} \end{array} \right\}$$

Los materiales, para el diseño de ejes, siempre tienen valores por debajo de 1400MPa

$$S_e^* = 0.5 * S_{ut}$$

**Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga:**

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e^*$$

**Factor de superficie: "K<sub>a</sub>"**

Para este tipo de análisis los ejes son de acabado superficial maquinado o laminado en frío.

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

a=4.51MPa y b=-0.265

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S <sub>utr</sub> kpsi	S <sub>utr</sub> 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

Sustituyendo:

$$K_a = 4.51 * (S_{ut})^{-0.265}$$

Considerando, que, en la formulación del factor de superficie, el esfuerzo ultimo debe reemplazarse en MPa

**- Factor de Tamaño: "K<sub>b</sub>"**

Para ejes de diámetros exteriores en el rango de 51mm a 254mm, el factor de tamaño, sería:

$$K_b = 1.51 * d^{-0.157}$$

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

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1$$

Se debe considerar que en dicha fórmula que "d", debe ingresar en unidades de "mm"

Sustituyendo, el diámetro exterior, tenemos:

$$K_b = 1.51 * (d_{int} + 2 * t)^{-0.157}$$

**- Factor de carga: "K<sub>c</sub>"**

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexion} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsion} \end{cases}$$

El eje de transmisión de la rueda hidráulica, está sometida a cargas por flexión y torsión. Elegimos el factor de carga más crítico:

$$K_c = 0.59$$

**- Factor de temperatura: "K<sub>d</sub>"**

El eje transmitido de la rueda hidráulica, está expuesto a condiciones ambientales (20°C)

$$K_d = 1$$

Temperatura, °C	S <sub>T</sub> /S <sub>RT</sub>	Temperatura, °F	S <sub>T</sub> /S <sub>RT</sub>
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

**- Factor de confiabilidad: "K<sub>e</sub>"**

Para el diseño se trabajará con una probabilidad de falla del 0.1% (con una confiabilidad del 99.90%)

$$K_e = 0.753$$

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_u$	Factor de confiabilidad $k_u$
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

**Límite de resistencia a la fatiga real:**

$$S_e = 4.51 * (Sut)^{-0.265} * 1.51 * (d_{int} + 2 * t)^{-0.157} * 0.59 * 1 * 0.753 * 0.5 * Sut$$

$$S_e = 1.513 * (Sut)^{0.735} * (d_{int} + 2 * t)^{-0.157}$$

**e) Teoría de la energía de distorsión máxima:**

Esfuerzo medio:

$$\sigma_m^2 = (\sigma_{xm})^2 + (\sigma_{ym})^2 - (\sigma_{xm})(\sigma_{ym}) + 3(\tau_{xym})^2$$


El esfuerzo en el plano sería:

$$\sigma_m = \sqrt{3} * \tau_{xym}$$


Dónde:

$$\tau_{xym} = K_{fT} * \tau_T$$

Clase de chavetero	$K_f$			
	Recocido, dureza menor que 200 HB		Endurecido, dureza mayor que 200 HB	
	Flexión	Torsión	Flexión	Torsión
Perfil	1.6	1.3	2.0	1.6
Patin	1.3	1.3	1.6	1.6



Chavetero de perfil



Chavetero de patin

$$\sigma_m = \sqrt{3} * 1.3 * \frac{21390.60 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}$$

$$\sigma_m = \frac{48164.50 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}$$

Esfuerzo alterno:

$$\sigma_a^2 = (\sigma_{xa})^2 + (\sigma_{ya})^2 - (\sigma_{xa})(\sigma_{ya}) + 3(\tau_{xym})^2$$

Para esfuerzos en el plano:

$$\sigma_a = \sigma_{xa}$$

Dónde:

$$\sigma_{xa} = K_{fM} * \sigma_f$$

$$\sigma_a = 1.6 * \frac{44818.40 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}$$

$$\sigma_a = \frac{71709.44 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}$$

**f) Teoría de Goodman:**

$$\frac{1}{N} = \frac{\sigma_m}{S_{ut}} + \frac{\sigma_a}{S_e}$$

Reemplazando todos los valores encontrados, tenemos:

$$\frac{1}{N} = \frac{\frac{48164.50 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}}{S_{ut}} + \frac{\frac{71709.44 * (d_{int} + 2 * t)}{(d_{int} + 2 * t)^4 - d_{int}^4}}{1.513 * (S_{ut})^{0.735} * (d_{int} + 2 * t)^{-0.157}}$$

Una vez determinada la ecuación en función del factor de seguridad, diámetro interior, resistencia última y espesor de pared, cabe indicar que se multiplica al denominador del esfuerzo alterno y medio por  $10^6$ , con el objetivo de reemplazar el valor de  $S_{ut}$  en MPa, asimismo en la ecuación del “ $S_e$ ”, el espesor de pared y el diámetro interior se reemplazan en milímetros, pero en las ecuaciones del esfuerzo medio y alterno se deben reemplazar en metros.

Para el diseño del eje de transmisión de la rueda hidráulica, se concluyen los siguientes datos:

- El análisis o procedimiento, se fundamenta en la iteración de considerar un material, valores de diámetro y espesor comerciales, hasta obtener un factor de seguridad superior a la unidad aproximado a 2. A continuación, se muestran los valores de material, diámetro y espesor correctos que quedaron como resultados, luego del procedimiento de la iteración:

- Material: AISI 1018 CD, estirado en frío (Es el más común de los aceros rolados en frío. Es un producto muy útil debido a sus características típicas de buena resistencia mecánica y buena ductilidad. En términos generales excelente soldabilidad, resistencia a la corrosión y buena maquinabilidad en comparación a la mayoría de los aceros al carbón)

- Esfuerzo a la fluencia:  $S_y = 370 \text{ MPa}$

- Esfuerzo ultimo:  $S_{ut} = 440 \text{ MPa}$
- Espesor:  $t = 1/2 \text{ in} = 12.7 \text{ mm}$  (Valor comercial del AISI 1018)
- Diámetro interior:  $150 \text{ mm} = 0.15 \text{ m}$

Dónde el factor de seguridad, resultado:

$$\frac{1}{N} = \frac{48164.50 * (0.15 + 2 * 0.0127)}{((0.15 + 2 * 0.0127)^4 - 0.15^4) * 10^6} + \frac{71709.44 * (0.15 + 2 * 0.0127)}{((0.15 + 2 * 0.0127)^4 - 0.15^4) * 10^6} + \frac{1.513 * (440)^{0.735} * (150 + 2 * 12.7)^{-0.157}}{440}$$

$$N = 2$$

Por lo tanto, el diámetro exterior, sería:

$$d_{\text{ext}} = d_{\text{int}} + 2 * t = 150 + 2 * 12.7 = 175.40 \text{ mm}$$

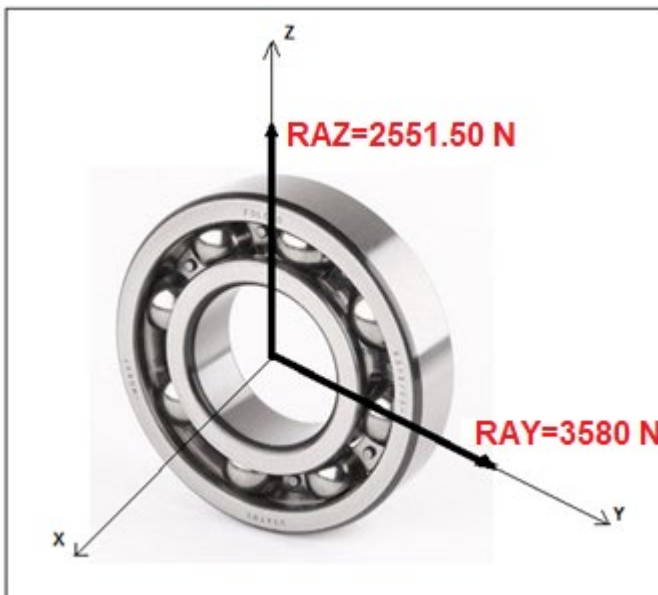
### i) Dimensionamiento y selección de rodamientos

Se dimensionarán los rodamientos para los puntos de apoyo, localizados en A y D (extremos de la rueda hidráulica), debido a que los rodamientos solo se expondrán a fuerzas cortantes o radiales, se seleccionarán rodamientos rígidos de bolas.

#### Rodamiento en el Punto "A"

Datos:

- Componente radial en el eje "z":  $R_{Az} = 2551.50 \text{ N}$
- Componente radial en el eje "y":  $R_{Ay} = 3580 \text{ N}$



**Figura 30.** Fuerzas aplicadas al rodamiento localizado en el punto de apoyo "A"

Fuente: Elaborado por los autores

### Fuerza Radial:

$$F_R = \sqrt{R_{Az}^2 + R_{Ay}^2}$$

$$F_R = \sqrt{(2551.50)^2 + (3580)^2}$$

$$F_R = 4396.20 \text{ N}$$

### Fuerza Axial:

$$F_a = 0$$

- Carga equivalente: Debido a que no existe fuerza Axial, la carga equivalente es igual a la fuerza radial.

$$P = F_R = 4396.20 \text{ N}$$

- La vida estimada para un Rodamiento SKF, para mecanismos de 24 horas de uso continuo, la vida estimada máxima sería:

$$L_{10h} = 50000 \text{ horas}$$

Guía de valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas	
Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas : Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrifugas.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, hornos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para trasatlánticos.	60 000 a 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de eje de trasatlánticos.	> 100 000

- El rodamiento, estará expuesto a la velocidad adecuada:

$$n = 79.83 \text{ RPM}$$

- Carga dinámica: Para un rodamiento SKF, el cálculo de la duración de vida se determina, según la ecuación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Despejando la carga dinámica, tenemos:

$$C = P * \sqrt[p]{\frac{60 * L_{10h} * n}{10^6}}$$

Reemplazando los valores encontrados:

$p = 3$  (Exponente de duración de vida para rodamientos de bolas)

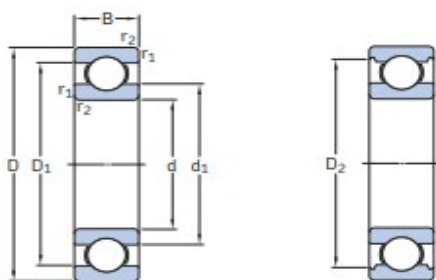
$$C = 4396.20 * \sqrt[3]{\frac{60 * 50000 * 79.83}{10^6}}$$

$$C = 27.30 \text{ KN}$$

De tablas de Rodamientos SKF, seleccionamos un rodamiento rígido de bolas, para un diámetro de eje de 170 mm de designación 61834 con una capacidad de carga dinámica de 61.8 KN.



Rodamientos rígidos de una hilera de bolas  
d 150 – 180 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
150	190	20	48,8	61	1,96	6 700	4 300	1,2	61830
	210	28	88,4	93	2,9	6 300	5 300	3,05	61930 MA
	225	24	92,3	98	3,05	6 000	3 800	3,15	16030
	225	35	125	125	3,9	6 000	3 800	4,3	6030
	270	45	174	166	4,9	5 000	3 200	10	6230
	320	65	276	285	7,8	4 300	2 800	23	6330
	320	65	276	285	7,8	4 300	4 000	26	6330 M
160	200	20	49,4	64	2	6 300	4 000	1,25	61832
	220	28	92,3	98	3,05	6 000	3 800	2,7	61932
	220	28	92,3	98	3,05	6 000	5 000	3,2	61932 MA
	240	25	99,5	108	3,25	5 600	3 600	3,65	16032
	240	38	143	143	4,3	5 600	3 600	5,2	6032
	290	48	186	186	5,3	4 500	3 000	13	6232
	340	68	276	285	7,65	4 000	2 600	26	6332
340	68	276	285	7,65	4 000	3 800	30,5	6332 M	
170	215	22	61,8	78	2,4	6 000	3 600	1,65	61834
	230	28	93,6	106	3,15	5 600	4 800	3,4	61934 MA
	260	28	119	129	3,75	5 300	3 200	5	16034
	260	42	168	173	5	5 300	3 200	7	6034
	260	42	168	173	5	5 300	4 300	8,15	6034 M
	310	52	212	224	6,1	4 300	2 800	16	6234
	310	52	212	224	6,1	4 300	3 800	18	6234 M
360	72	312	340	8,8	3 800	2 400	31	6334	
360	72	312	340	8,8	3 800	3 400	36	6334 M	
180	225	22	62,4	81,5	2,45	5 600	3 400	1,75	61836
	250	33	119	134	3,9	5 300	3 200	5	61936
	250	33	119	134	3,9	5 300	4 300	5	61936 MA
	280	31	138	146	4,15	4 800	3 000	6,5	16036
	280	46	190	200	5,6	4 800	3 000	9,1	6036
	280	46	190	200	5,6	4 800	4 000	10,5	6036 M
	320	52	229	240	6,4	4 000	2 600	42	6236
320	52	229	240	6,4	4 000	3 800	18,5	6236 M	
380	75	351	405	10,4	3 600	2 200	36,5	6336	
380	75	351	405	10,4	3 600	3 200	42	6336 M	

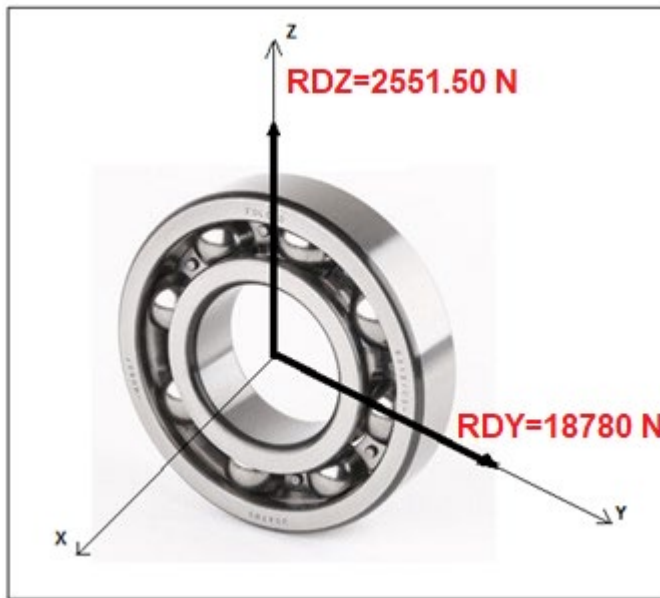
SKF

Rodamiento en el Punto “D”

Datos:

- Componente radial en el eje “z”:  $R_{DZ} = 2551.50 \text{ N}$

- Componente radial en el eje “y”:  $R_{DY} = 18780 \text{ N}$



**Figura 31.** Fuerzas aplicadas al rodamiento localizado en el punto de apoyo “D”

Fuente: Elaborado por los autores

**Fuerza Radial:**

$$F_R = \sqrt{R_{Bz}^2 + R_{By}^2}$$

$$F_R = \sqrt{(2551.50)^2 + (18780)^2}$$

$$F_R = 18952.53 \text{ N}$$

**Fuerza Axial:**

$$F_a = 0$$

- Carga equivalente: Debido a que no existe fuerza Axial, la carga equivalente es igual a la fuerza radial.

$$P = F_R = 18952.53 \text{ N}$$

- La vida estimada para un Rodamiento SKF, para mecanismos de 24 horas de uso continuo, la vida estimada máxima sería

$$L_{10h} = 50000 \text{ horas}$$

- El rodamiento, estará expuesto a la velocidad adecuada:

$$n = 79.83 \text{ RPM}$$

- Carga dinámica: Para un rodamiento SKF, el cálculo de la duración de vida se determina, según la ecuación:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * n} * \left(\frac{c}{p}\right)^p$$

Despejando la carga dinámica, tenemos:

$$C = P * \sqrt[p]{\frac{60 * L_{10h} * n}{10^6}}$$

Reemplazando los valores encontrados:

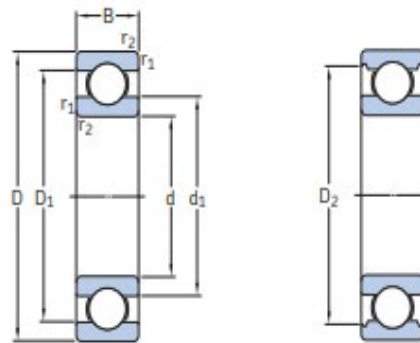
$p = 3$  (Exponente de duración de vida para rodamientos de bolas)

$$C = 18952.53 * \sqrt[3]{\frac{60 * 50000 * 79.83}{10^6}}$$

$$C = 117.70 \text{ KN}$$

De tablas de Rodamientos SKF, seleccionamos un rodamiento rígido de bolas, para un diámetro de eje de 170 mm de designación 6034 MA con una capacidad de carga dinámica de 168 KN.

Rodamientos rígidos de una hilera de bolas  
d 150 – 180 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
<b>150</b>	190	20	48,8	61	1,96	6 700	4 300	1,2	61830
	210	28	88,4	93	2,9	6 300	5 300	3,05	61930 MA
	225	24	92,3	98	3,05	6 000	3 800	3,15	16030
	225	35	125	125	3,9	6 000	3 800	4,3	6030
	270	45	174	166	4,9	5 000	3 200	10	6230
	320	65	276	285	7,8	4 300	2 800	23	6330
	320	65	276	285	7,8	4 300	4 000	26	6330 M
<b>160</b>	200	20	49,4	64	2	6 300	4 000	1,25	61832
	220	28	92,3	98	3,05	6 000	3 800	2,7	61932
	220	28	92,3	98	3,05	6 000	5 000	3,2	61932 MA
	240	25	99,5	108	3,25	5 600	3 600	3,65	16032
	240	38	143	143	4,3	5 600	3 600	5,2	6032
	290	48	186	186	5,3	4 500	3 000	13	6232
	340	68	276	285	7,65	4 000	2 600	26	6332
340	68	276	285	7,65	4 000	3 800	30,5	6332 M	
<b>170</b>	215	22	61,8	78	2,4	6 000	3 600	1,65	61834
	230	28	93,6	106	3,15	5 600	4 800	3,4	61934 MA
	260	28	119	129	3,75	5 300	3 200	5	16034
	260	42	168	173	5	5 300	3 200	7	6034
	260	42	168	173	5	5 300	4 300	8,15	6034 M
	310	52	212	224	6,1	4 300	2 800	16	6234
	310	52	212	224	6,1	4 300	3 800	18	6234 M
360	72	312	340	8,8	3 800	2 400	31	6334	
360	72	312	340	8,8	3 800	3 400	36	6334 M	
<b>180</b>	225	22	62,4	81,5	2,45	5 600	3 400	1,75	61836
	250	33	119	134	3,9	5 300	3 200	5	61936
	250	33	119	134	3,9	5 300	4 300	5	61936 MA
	280	31	138	146	4,15	4 800	3 000	6,5	16036
	280	46	190	200	5,6	4 800	3 000	9,1	6036
	280	46	190	200	5,6	4 800	4 000	10,5	6036 M
	320	52	229	240	6,4	4 000	2 600	42	6236
	320	52	229	240	6,4	4 000	3 800	18,5	6236 M
	380	75	351	405	10,4	3 600	2 200	36,5	6336
	380	75	351	405	10,4	3 600	3 200	42	6336 M

SKF

## Anexo 16. Análisis de soldadura para la unión de estructuras

### Esfuerzo por flexión:

Momento de Inercia unitario:

$$I_u = \frac{d^3}{12} = \frac{(0.050)^3}{12} = 1.042 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Momento de Inercia basado en la garganta de la soldadura:

$$I = 0.707 * h * I_u$$

$$I = 0.707 * (4.8 * 10^{-3}) * (1.042 * 10^{-5})$$

$$I = 3.54 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

El momento flexionante:

$$\sigma_{\max} = \frac{M * C}{I}$$

Reemplazando:

$$\sigma_{\max} = \frac{(3360\text{N} * 0.025\text{m}) * \left(\frac{0.050}{2}\right)}{3.54 * 10^{-8} \text{ m}^4}$$
$$\sigma_{\max} = 59.32 \text{ MPa}$$

### Esfuerzo por torsión:

Momento polar unitario:

$$J_u = \frac{d^3}{12} = \frac{(0.050)^3}{12} = 1.042 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Momento polar basado en la garganta de la soldadura:

$$J = 0.707 * h * J_u$$

$$J = 0.707 * (4.8 * 10^{-3}) * (1.042 * 10^{-5})$$

$$J = 3.54 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

El momento torsionante:

$$\tau = \frac{T * C}{J}$$

Reemplazando:

$$\tau = \frac{(3360\text{N} * 0.025\text{m}) * \left(\frac{0.050\text{m}}{2}\right)}{3.54 * 10^{-8} \text{ m}^4}$$
$$\tau = 59.32 \text{ MPa}$$

Una vez obtenidos los componentes de esfuerzo torsor ( $\tau$ ) y el esfuerzo flexionante ( $\sigma_{\max}$ ) para la soldadura, se puede combinarlas utilizando un diagrama de círculo de Mohr, para evaluar el esfuerzo cortante máximo:

$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_{\max}}{2}\right)^2 + \tau^2}$$
$$\tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{59.32}{2}\right)^2 + (59.32)^2}$$
$$\tau_{\max} = 66.32 \text{ MPa}$$

Considerando un electrodo E7018 1/8", cuyo esfuerzo de fluencia es de 331 MPa, se obtiene el siguiente factor de seguridad, por la teoría de falla del máximo esfuerzo cortante:

$$n = \frac{S_{Sy}}{\tau_{\max}} = \frac{0.5 S_y}{\tau_{\max}}$$
$$n = \frac{0.5 * 331 \text{ MPa}}{66.32 \text{ MPa}} = 2.5$$

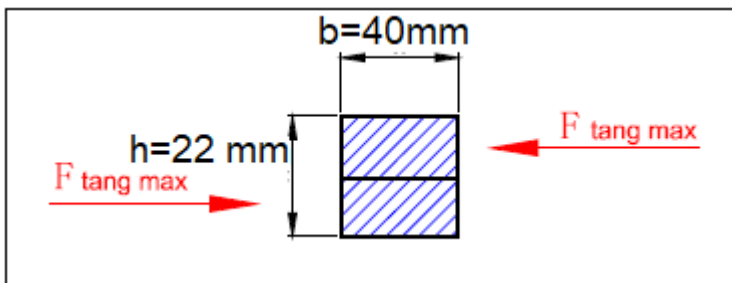
La norma AWS (Sociedad Americana de Soldadura), establece que el factor de seguridad para soldaduras sometidas a flexión y torsión es 1.44, por lo tanto, el factor de seguridad de 2.5 es un valor aceptable.

## Anexo 17. Chaveta

La chaveta estará insertada entre los elementos de máquina eje y rueda hidráulica, asimismo entre catarina conducida y eje, permitiendo producir potencia e impedir que se produzcan deslizamientos.

Campo de aplicación		Chaveta			Chavetero										
		Diámetro eje d	Dimen normal b x h	Sección		Dim. nom. b	Largo						Profundidad		
				Toleran sobre			Tolerancia sobre b			Por eje			Cubo		
				b <sup>90</sup>	h*		H9	N9	P9	D10	Js9	P9	t1	t2	
De Hasta	6 8	2x2	0	0	2	+0,025	-0,004	-0,006	+0,060	±0,012	-0,006	1,2		1	
Más de hasta	8 10	3x3	-0,025	-0,025	3	0	0	-0,031	+0,020		-0,031	1,8		1,4	
Más de Hasta	10 12	4x4			4							2,5	+0,1	1,8	+0,1
Más de Hasta	12 17	5x5	0	0	5	+0,030	0	-0,012	+0,078	±0,015	-0,012	3		2,3	
Más de Hasta	17 22	6x6	-0,030	-0,030	6	0	-0,030	-0,042	+0,030		-0,042	3,5		3,5	
Más de Hasta	22 30	8x7	0		8							5		3,3	
Más de Hasta	30 38	10x8	-0,036		10	+0,036	0	-0,015	+0,098	±0,018	-0,015	5		3,3	
Más de Hasta	38 44	12x8	0	-0,090	12							5		3,3	
Más de Hasta	44 50	14x9			14							5,5		3,8	
Más de Hasta	50 58	16x10	0	-0,043	16	+0,043	0	-0,018	+0,120	±0,021	-0,018	6		4,3	
Más de Hasta	58 60	18x11			18							7		4,4	
Más de Hasta	65 75	20x12			20							7,5	+0,2	4,9	+0,2
Más de Hasta	75 85	22x14	0	0	22	+0,052	0	-0,022	+0,149	±0,026	-0,022	9		5,4	
Más de Hasta	85 95	25x14	-0,052	-0,110	25	0	-0,052	-0,074	+0,065		-0,074	9		5,4	
Más de Hasta	95 110	28x16			28							10		6,4	
Más de Hasta	110 130	32x18			32							11			
Más de Hasta	130 150	36x20			36							12		8,4	
Más de Hasta	150 170	40x22	0	-0,062	40	+0,062	0	-0,026	+0,180	±0,031	-0,026	13		9,4	

Tal como se detalla, la chaveta tendría un ancho (b=40 mm) y una altura (h=22mm), por lo que la longitud se determinaría según la siguiente fórmula:



**Figura 32.** Fuerzas tangenciales aplicada en superficie de chaveta.

Fuente: Elaborado por los autores

Según la teoría de la máxima energía de distorsión

$$S_{sy} = 0.577 * S_y$$

Material de la chaveta: AISI 1010 CD →  $S_y = 300\text{MPa}$

$$S_{sy} = 0.577 * (300)$$

$$S_{sy} = 173.1 \text{MPa}$$

Factor de seguridad de chaveta: f. s = 2

Tenemos:

$$\tau_{\text{chaveta por cortante}} = \frac{S_{sy}}{f. s}$$

$$\frac{F_{\text{tan max}}}{b * L_{\text{chaveta}}} = \frac{S_{sy}}{f. s}$$

Despejando la longitud de la chaveta:

$$L_{\text{chaveta}} = \frac{f. s * F_{\text{tang max}}}{b * S_{sy}}$$

$$L_{\text{chaveta}} = \frac{2 * 19000 \text{ N}}{(0.040 \text{ m}) * (173.1 * 10^6 \text{ Pa})}$$

$$L_{\text{chaveta}} = 5.5 \text{ mm}$$

Cálculo de la longitud de la chaveta por Aplastamiento:

$$\frac{S_{sy}}{f. s} = \frac{F_{\text{tang max}}}{L_{\text{chaveta}} * \left(\frac{h}{2}\right)}$$

Despejando la longitud de la chaveta:

$$L_{\text{chaveta}} = \frac{2 * F_{\text{tang max}} * f. s}{S_{sy} * h}$$

$$L_{\text{chaveta}} = \frac{2 * (19000 \text{ N}) * (2)}{(173.1 * 10^6) * (0.022 \text{ m})}$$

$$L_{\text{chaveta}} = 20 \text{ mm}$$

Los cálculos refieren que solo se necesitaría una longitud máxima para la chaveta de 20 mm debido a la resistencia del material, por lo cual lo recomendable sería tenga la mitad de la longitud del ancho de la rueda, es decir: 125 mm para una mejor ergonomía del diseño.



## Anexo 17. Simulación de eje

**Diseñador:** Cueva Calderón - Quiñones Lucio

**Nombre de estudio:** Análisis estático del eje de rueda

**Tipo de análisis:** Análisis estático



### **1 Descripción**

Análisis y simulación del eje del riogenerador de 2.5m de diámetro y 1.72m de longitud

### **Tabla de contenidos**

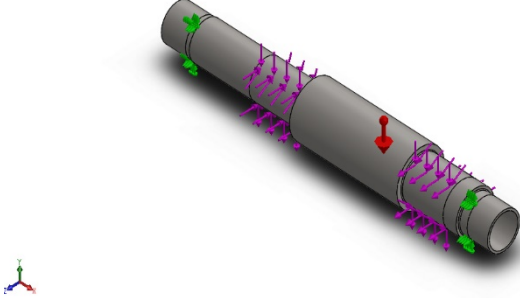
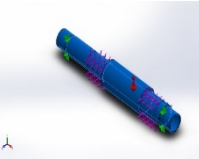
Descripción.....	112
Suposiciones .....	113
Información de modelo .....	113
Propiedades de estudio.....	114
Unidades	115
Propiedades de material .....	115
Cargas y sujeciones.....	116
Información de malla .....	118
Fuerzas resultantes.....	119
Vigas	119
Resultados del estudio .....	120

## 2 Suposiciones

### Comentarios:

Se consideró el peso de la rueda de 5.103 KN y de la catarina motriz de 2.567 KN

## 3 formación de modelo

 <p>Nombre del modelo: eje Configuración actual: Predeterminado</p>			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Línea de partición4 	Sólido	Masa:212.797 kg Volumen:0.0269363 m <sup>3</sup> Densidad:7900 kg/m <sup>3</sup> Peso:2085.41 N	D:\De Pc y Windows\Documentos\ejec.SLDPRT Jul 18 11:16:24 2019

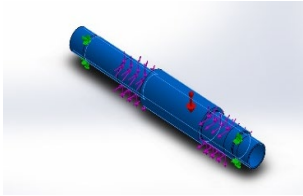
#### 4 Propiedades de estudio

<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático del eje de rueda
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (D:\De Pc y Windows\Documentos)

## 5 Unidades

<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	Mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

## 6 Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>AISI 1020</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Límite elástico: <b>3.51571e+08 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>4.20507e+08 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>2e+11 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coeficiente de Poisson: <b>0.29</b></p> <p>Densidad: <b>7900 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>7.7e+10 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coeficiente de dilatación térmica: <b>1.5e-05 /Kelvin</b></p>	<b>Sólido 1(Línea de partición4)(eje)</b>
Datos de curva:N/A		

## 7 Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p><b>Entidades:</b> 2 cara(s)</p> <p><b>Tipo:</b> Geometría fija</p>		
<b>Fuerzas resultantes</b>				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
<b>Fuerza de reacción(N)</b>	-0.61412	9755.87	-15639	18432.4
<b>Momento de reacción(N.m)</b>	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p><b>Entidades:</b> 1 cara(s), 1 plano(s)</p> <p><b>Referencia:</b> Alzado</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicar fuerza</p> <p><b>Valores:</b> ---, -5103, -3360 N</p>
Torsión-1		<p><b>Entidades:</b> 1 cara(s)</p> <p><b>Referencia:</b> Cara&lt; 1 &gt;</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor</p> <p><b>Valor:</b> -4400 N.m</p>

Torsión-2		<p><b>Entidades:</b> 1 cara(s)</p> <p><b>Referencia:</b> Cara&lt; 1 &gt;</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicar momento torsor</p> <p><b>Valor:</b> 4400 N.m</p>
Fuerza-2		<p><b>Entidades:</b> 1 cara(s), 1 plano(s)</p> <p><b>Referencia:</b> Alzado</p> <p><b>Tipo:</b> Aplicar fuerza</p> <p><b>Valores:</b> ---, -2567.84, 19000 N</p>
Gravedad-1		<p><b>Referencia:</b> Planta</p> <p><b>Valores:</b> 0 0 -9.81</p> <p><b>Unidades:</b> m/s<sup>2</sup></p>

## 8 Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	14.99 mm
<b>Tolerancia</b>	0.7495 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden

## 9 Información de malla - Detalles

<b>Número total de nodos</b>	86869
<b>Número total de elementos</b>	52045
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	13.305
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	99.2
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	0.108
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:06
<b>Nombre de computadora:</b>	

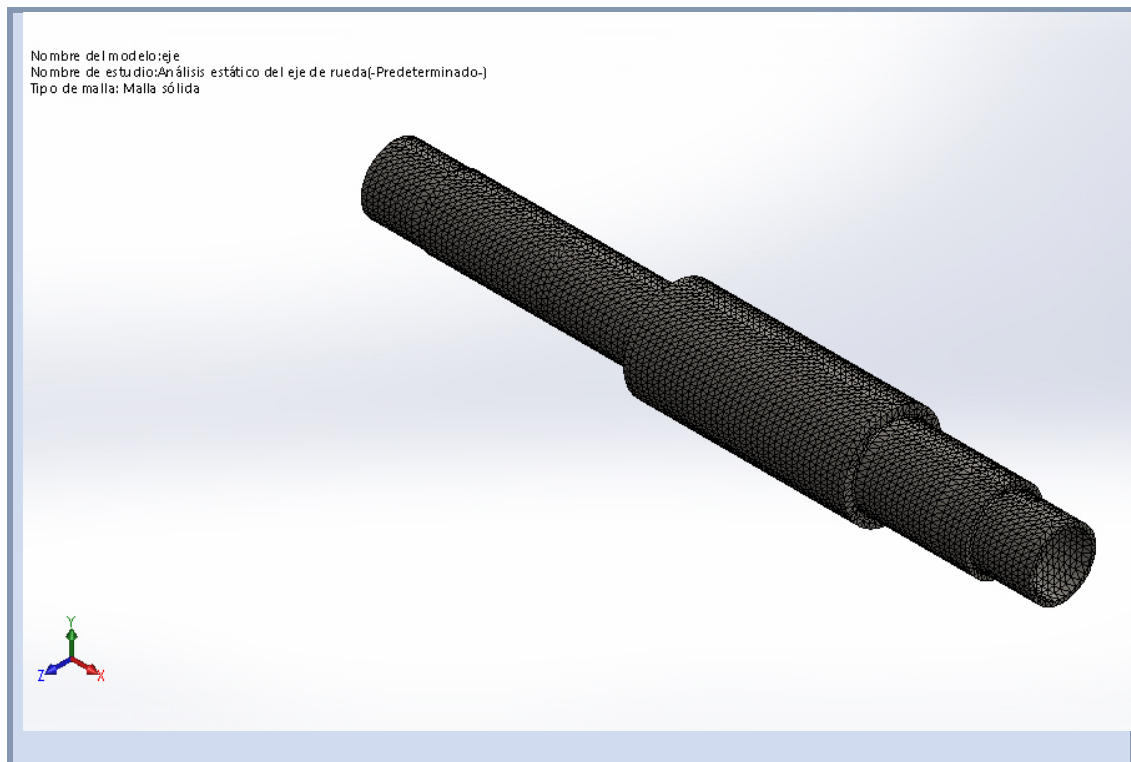
## 10 Fuerzas resultantes

### 11 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0.61412	9755.87	-15639	18432.4

### 12 Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



## 13 Vigas

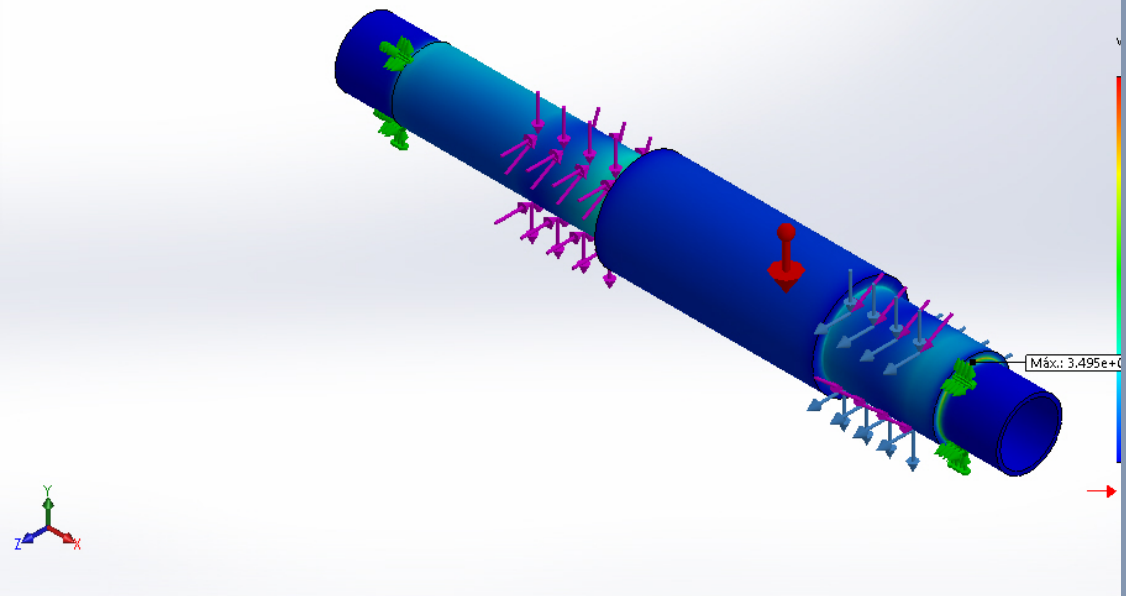
No hay datos



## 14 Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3.416e-04 N/mm <sup>2</sup> (MPa)  Nodo: 38748	3.495e+01 N/mm <sup>2</sup> (MPa)  Nodo: 85942

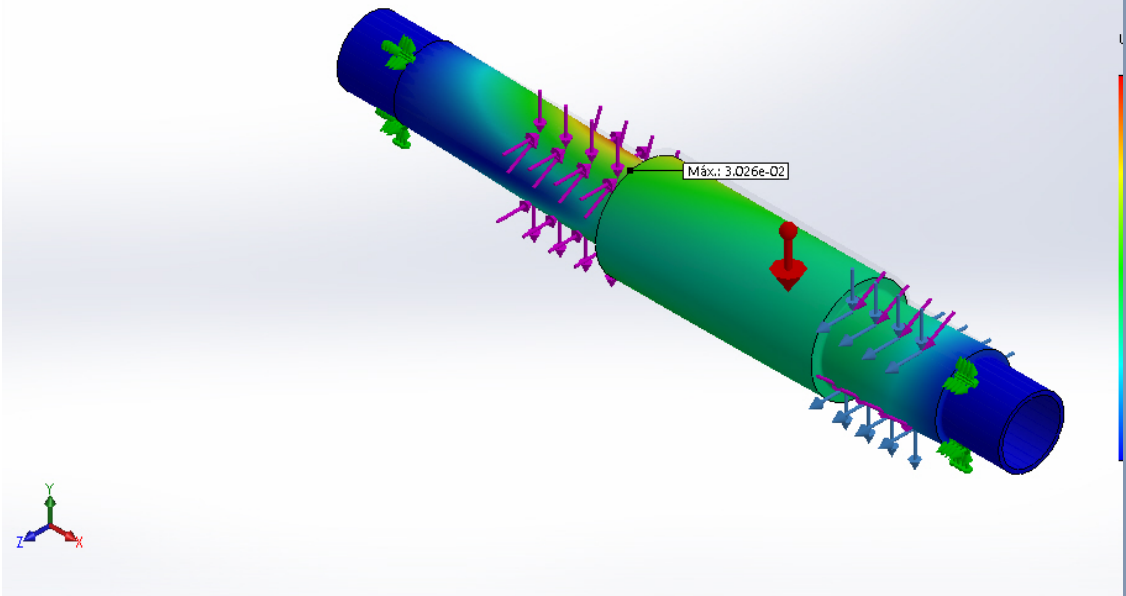
Nombre de l modelo: eje  
 Nombre de estudio: Análisis estático del eje de rueda-(Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 1



eje-Análisis estático del eje de rueda-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm  Nodo: 1	3.026e-02 mm  Nodo: 44267

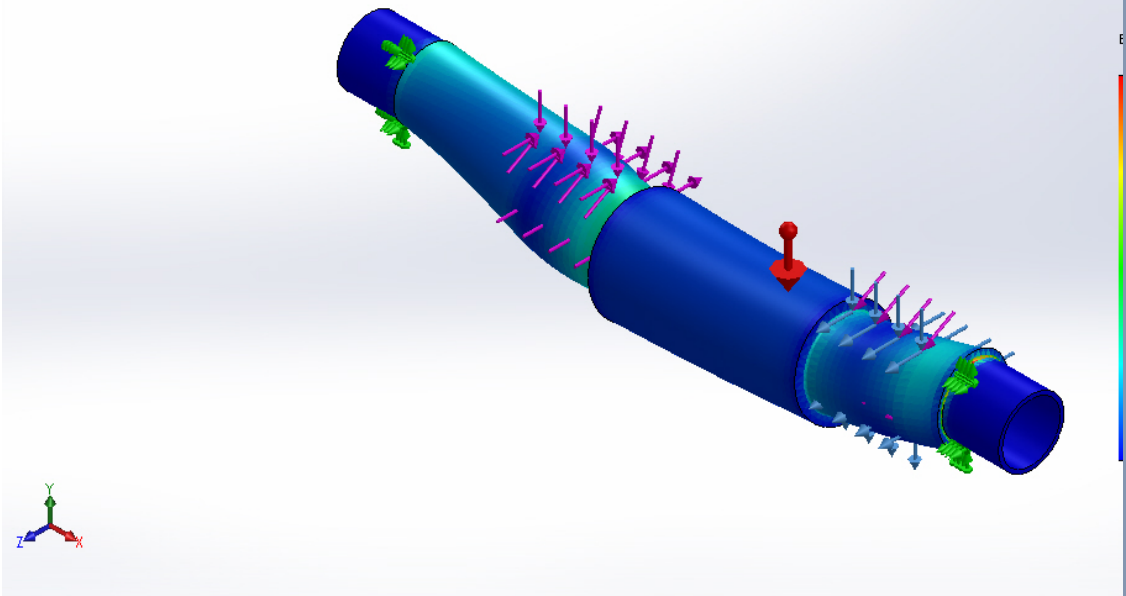
Nombre del modelo: eje  
 Nombre de estudio: Análisis estático del eje de rueda-(Predeterminado-)  
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
 Escala de deformación: 1000



eje-Análisis estático del eje de rueda-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3.157e-09 Elemento: 17058	1.131e-04 Elemento: 17466

Nombre del modelo: eje  
 Nombre de estudio: Análisis estático del eje de rueda (Predeterminado)  
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
 Escala de deformación: 5691.73



eje-Análisis estático del eje de rueda-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1.01e+01	1.03e+06
		Nodo: 85942	Nodo: 38748

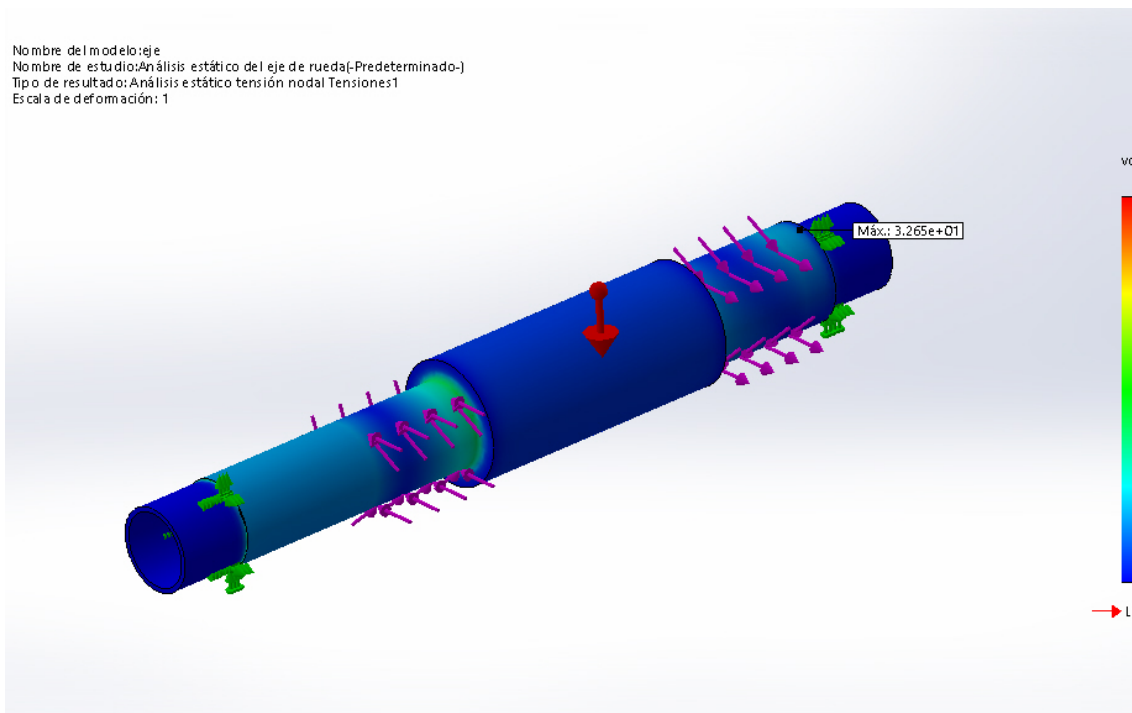
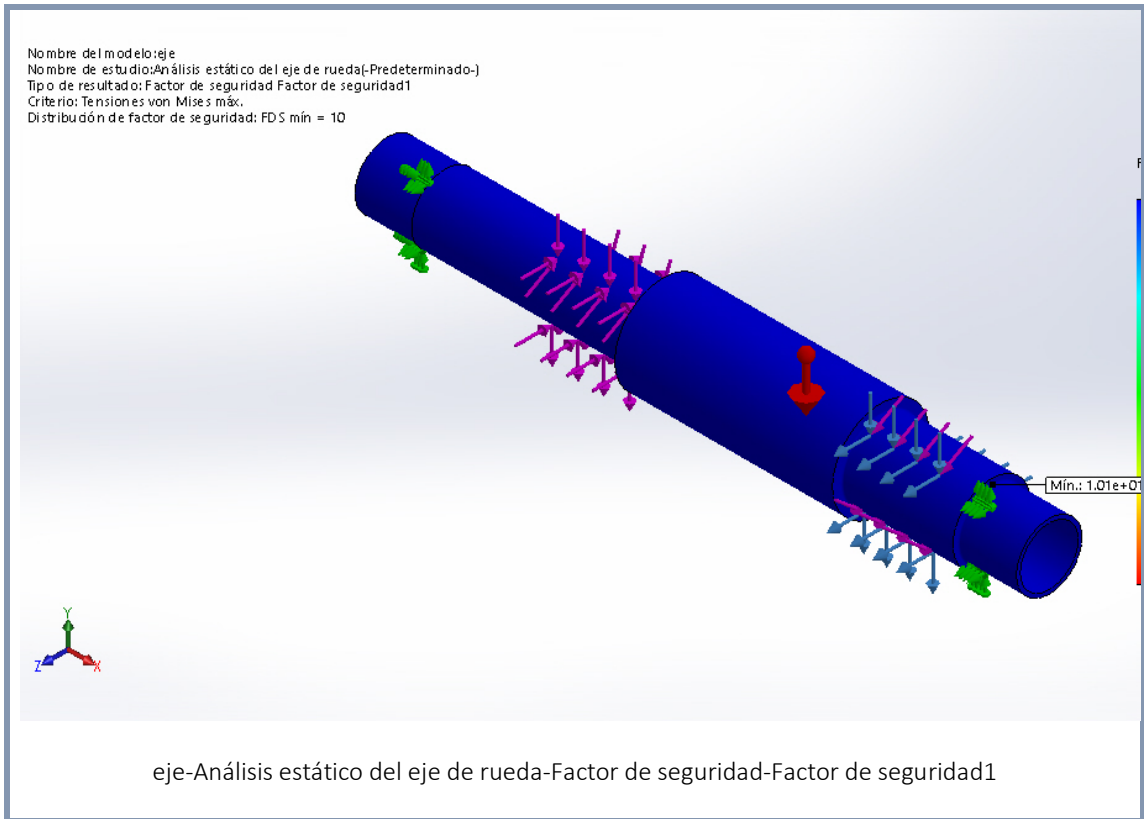


Imagen-1

Nombre del modelo: eje  
Nombre de estudio: Análisis estático del eje de rueda (Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1

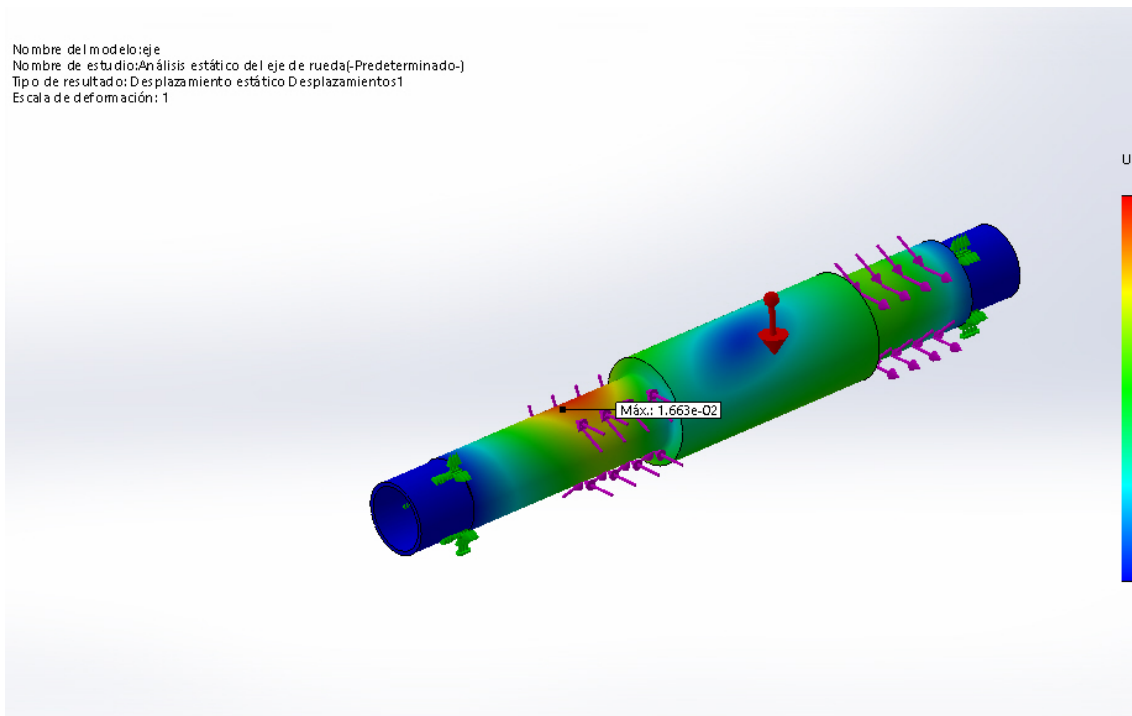


Imagen-2

Nombre del modelo: eje  
Nombre de estudio: Análisis estático del eje de rueda (Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1.08

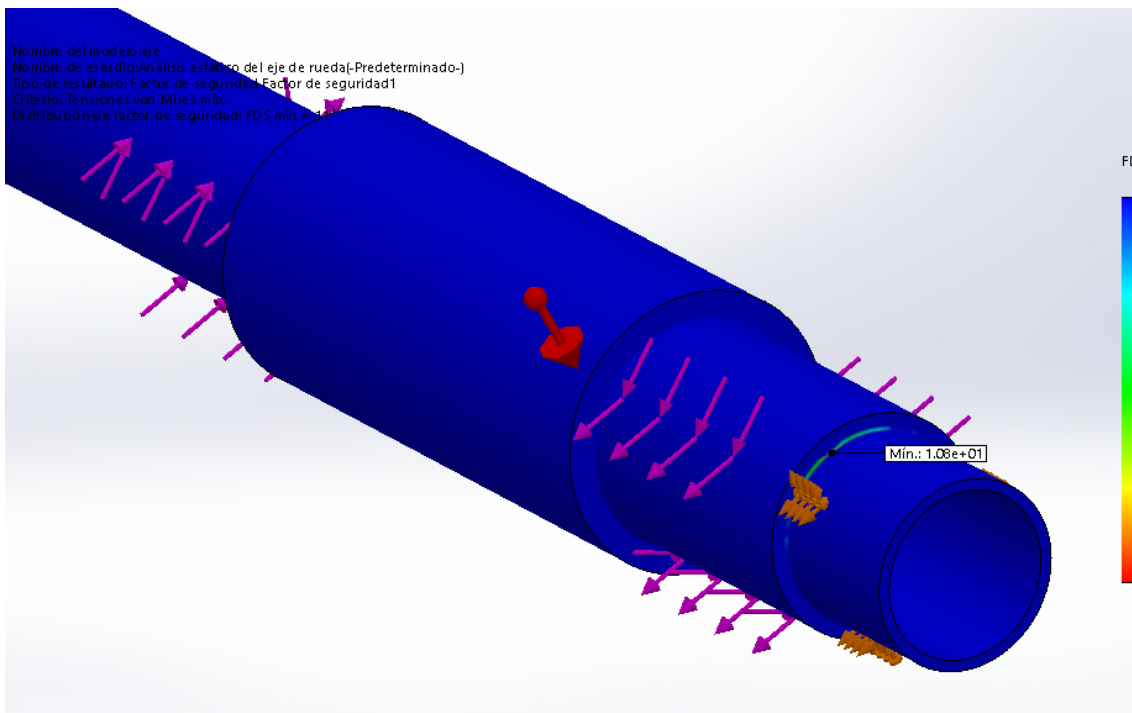


Imagen-3

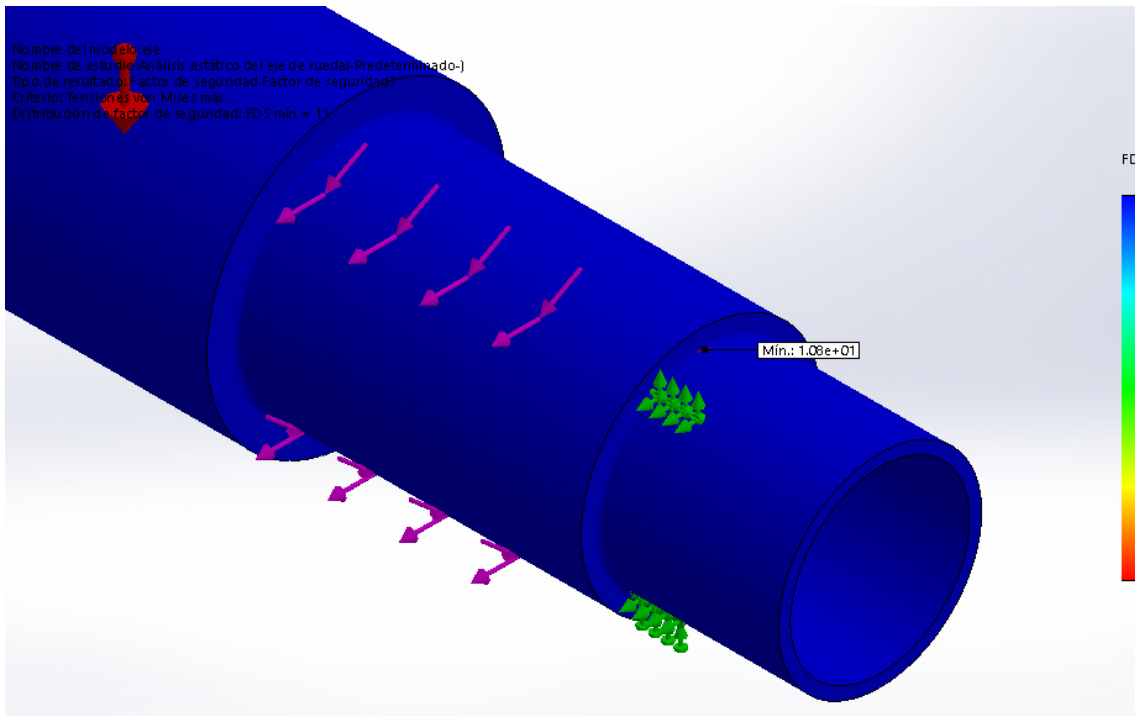


Imagen-4

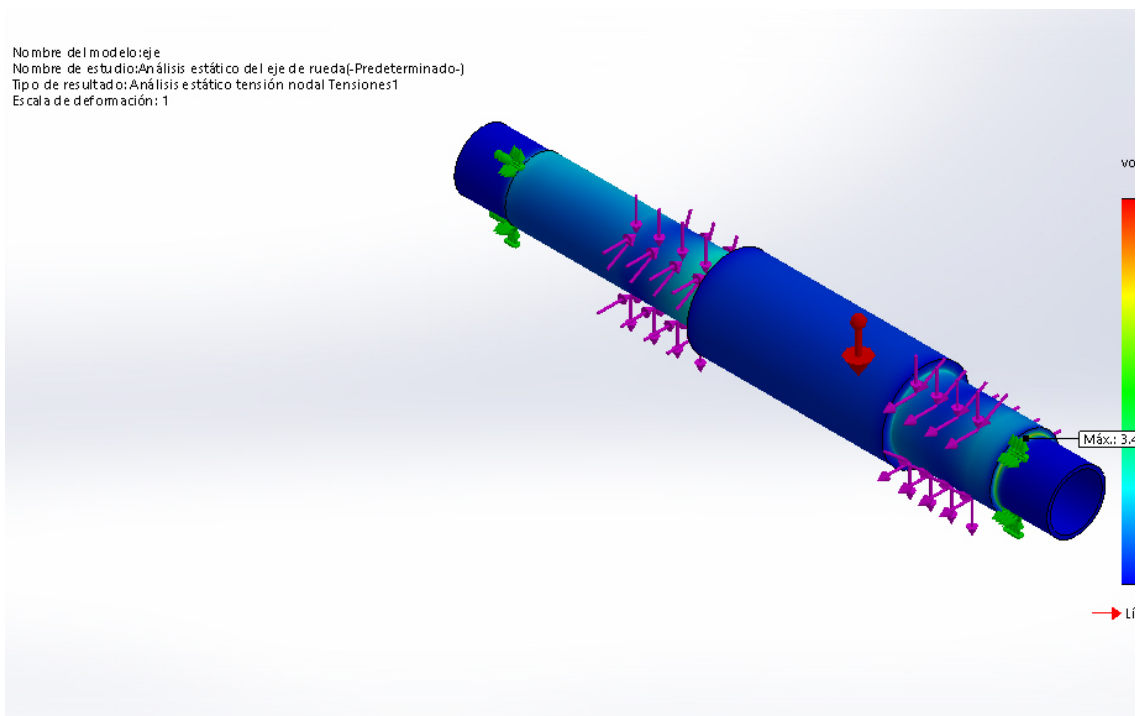


Imagen-5

Nombre del modelo: eje  
Nombre de estudio: Análisis estático del eje de rueda (Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1000

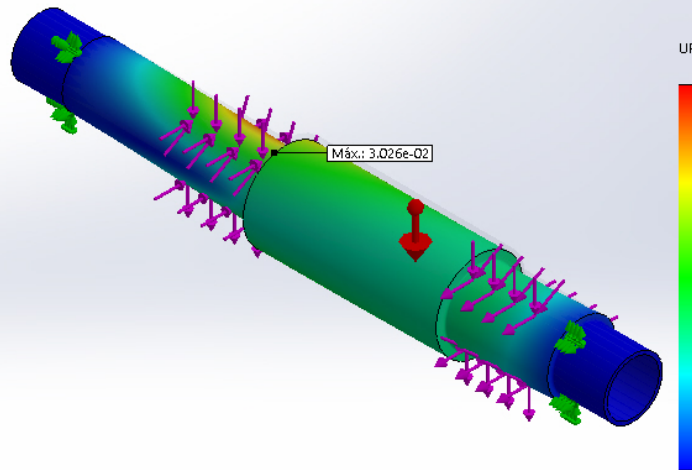


Imagen-6

Nombre del modelo: eje  
Nombre de estudio: Análisis estático del eje de rueda (Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 10

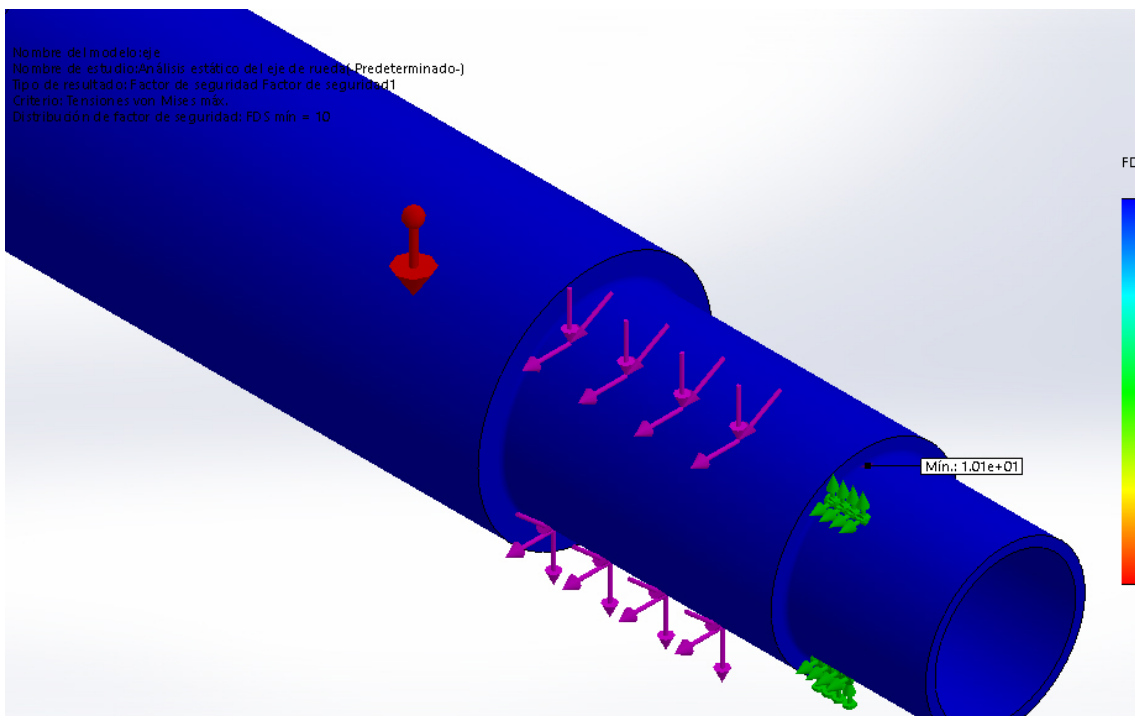
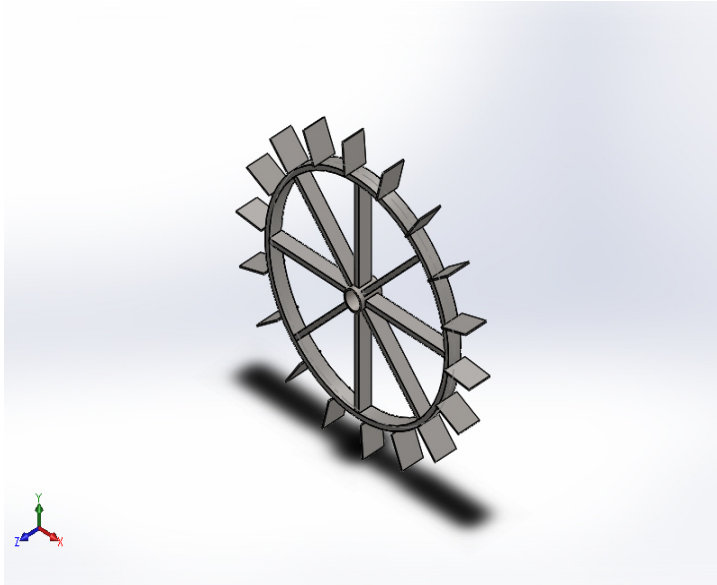


Imagen-7

## Anexo 18. Simulación de Riogenerador



### 15 Descripción

Análisis y simulación de la rueda del riogenerador

**Fecha:** viernes, 19 de julio de 2019  
**Diseñador:** Pedro Cueva & Boris Quiñones

**Nombre de estudio:** Análisis estático 1

**Tipo de análisis:** Análisis estático

### Tabla de contenidos

Descripción.....	127
Suposiciones.....	¡Error! Marcador no definido.
Información de modelo	¡Error! Marcador no definido.
Propiedades de estudio .....	128
Unidades	129
Propiedades de material .....	130
Cargas y sujeciones .....	133
Información de contacto ....	135
Información de malla.....	136
Fuerzas resultantes.....	137
Resultados del estudio .....	138
Conclusión.	¡Error! Marcador no definido.



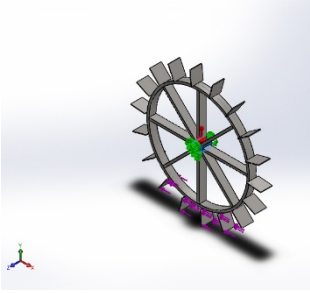
## 16 Propiedades de estudio

<b>Nombre de estudio</b>	Análisis estático 1
<b>Tipo de análisis</b>	Análisis estático
<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Efecto térmico:</b>	Activar
<b>Opción térmica</b>	Incluir cargas térmicas
<b>Temperatura a tensión cero</b>	298 Kelvin
<b>Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation</b>	Desactivar
<b>Tipo de solver</b>	FFEPlus
<b>Efecto de rigidización por tensión (Inplane):</b>	Desactivar
<b>Muelle blando:</b>	Desactivar
<b>Desahogo inercial:</b>	Desactivar
<b>Opciones de unión rígida incompatibles</b>	Automático
<b>Gran desplazamiento</b>	Desactivar
<b>Calcular fuerzas de cuerpo libre</b>	Activar
<b>Fricción</b>	Desactivar
<b>Utilizar método adaptativo:</b>	Desactivar
<b>Carpeta de resultados</b>	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\ARQUITECTURA\Documents)

## 17 Unidades

<b>Sistema de unidades:</b>	Métrico (MKS)
<b>Longitud/Desplazamiento</b>	mm
<b>Temperatura</b>	Kelvin
<b>Velocidad angular</b>	Rad/seg
<b>Presión/Tensión</b>	N/m <sup>2</sup>

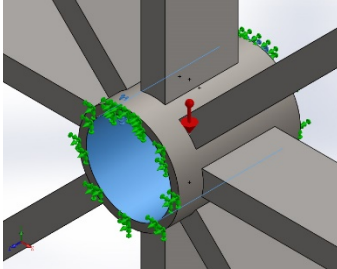
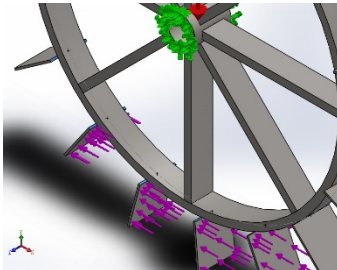
## 18 Propiedades de material

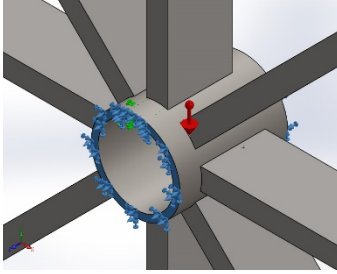
Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: <b>AISI 1020 Acero laminado en frío</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Límite elástico: <b>3.5e+08 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>4.2e+08 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>2.05e+11 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.29</b></p> <p>Densidad: <b>7870 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>8e+10 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: <b>1.17e-05 /Kelvin</b></p>	<p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(bocina de eje-1)</b></p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: <b>AISI 304</b></p> <p>Tipo de modelo: <b>Isotrópico elástico lineal</b></p> <p>Criterio de error predeterminado: <b>Tensión de von Mises máx.</b></p> <p>Límite elástico: <b>2.06807e+08 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Límite de tracción: <b>5.17017e+08 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Módulo elástico: <b>1.9e+11 N/m<sup>2</sup></b></p> <p>Coefficiente de Poisson: <b>0.29</b></p> <p>Densidad: <b>8000 kg/m<sup>3</sup></b></p> <p>Módulo cortante: <b>7.5e+10 N/m<sup>2</sup></b></p>	<p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(brazo-1),</b></p> <p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(brazo-2),</b></p> <p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(brazo-3),</b></p> <p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(brazo-4),</b></p> <p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(brazo-5),</b></p> <p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(brazo-6),</b></p> <p><b>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(brazo-7),</b></p>

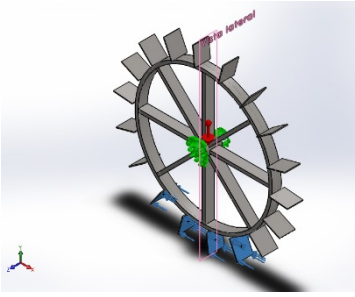
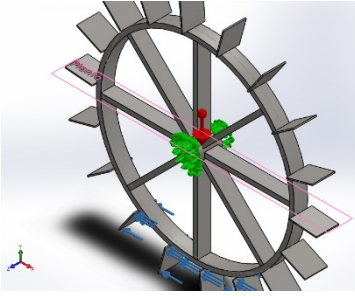
	<p>Coeficiente de dilatación térmica: <b>1.8e-05 /Kelvin</b></p>	<p>Sólido 1(Cortar-Extruir2)(brazo-8),</p> <p>Sólido 1(Revolución1)(estructura de rueda hidraulica-1),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-1),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-10),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-11),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-12),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-13),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-14),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-15),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-16),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-17),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-18),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-2),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-3),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-4),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-5),</p> <p>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-6),</p>
--	--	---

		<b>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-7),</b> <b>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-8),</b> <b>Sólido 1(Cortar-Extruir1)(pala o alabe-9)</b>
Datos de curva:N/A		

19 Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		<p>Entidades: 4 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	0.0420721	162.076	0.00141552	162.076	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	
Fijo-2		<p>Entidades: 6 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	13437.6	3070.31	-9.06993	13783.9	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Fijo-3		<p>Entidades: 2 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0.0219477	14.1287	0.00854233	14.1287
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 4 cara(s), 1 plano(s)</p> <p>Referencia: Vista lateral</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza</p> <p>Valores: ---, ---, -3360 N</p>
Gravedad-1		<p>Referencia: Planta</p> <p>Valores: 0 0 -9.81</p> <p>Unidades: m/s^2</p>

## 20 Información de contacto

Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
<b>Contacto global</b>	 A 3D CAD model of a gear assembly. The gear is mounted on a shaft, and the shaft is supported by bearings. A green star-shaped region is highlighted on the gear's hub, indicating the contact area. The entire assembly is enclosed in a transparent rectangular box. A small 3D coordinate system icon is visible in the bottom-left corner of the image area.	<b>Tipo:</b> Unión rígida <b>Componentes:</b> 1 componente(s) <b>Opciones:</b> Mallado compatible



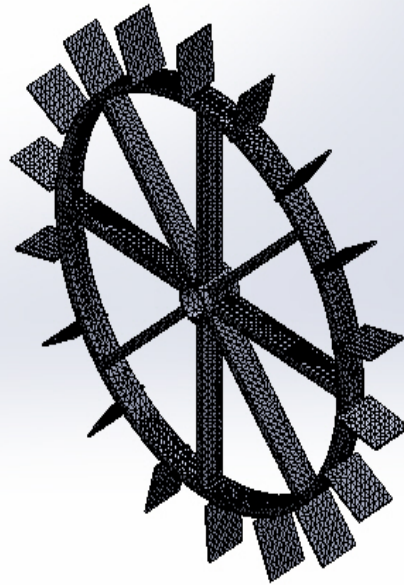
## 21 Información de malla

<b>Tipo de malla</b>	Malla sólida
<b>Mallador utilizado:</b>	Malla estándar
<b>Transición automática:</b>	Desactivar
<b>Incluir bucles automáticos de malla:</b>	Desactivar
<b>Puntos jacobianos</b>	4 Puntos
<b>Tamaño de elementos</b>	37.8333 mm
<b>Tolerancia</b>	1.89166 mm
<b>Trazado de calidad de malla</b>	Elementos cuadráticos de alto orden
<b>Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible</b>	Desactivar

### Información de malla – Detalles

<b>Número total de nodos</b>	66130
<b>Número total de elementos</b>	32942
<b>Cociente máximo de aspecto</b>	82.294
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &lt; 3</b>	6.23
<b>% de elementos cuyo cociente de aspecto es &gt; 10</b>	53.1
<b>% de elementos distorsionados (Jacobiana)</b>	0
<b>Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):</b>	00:00:14
<b>Nombre de computadora:</b>	E307-PCDOC

Nombre del modelo: riogen erador  
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Pre determinado-)  
 Tipo de malla: Malla sólida



### 23 Fuerzas resultantes

#### 24 Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	13437.6	3246.02	-9.07774	13824.1

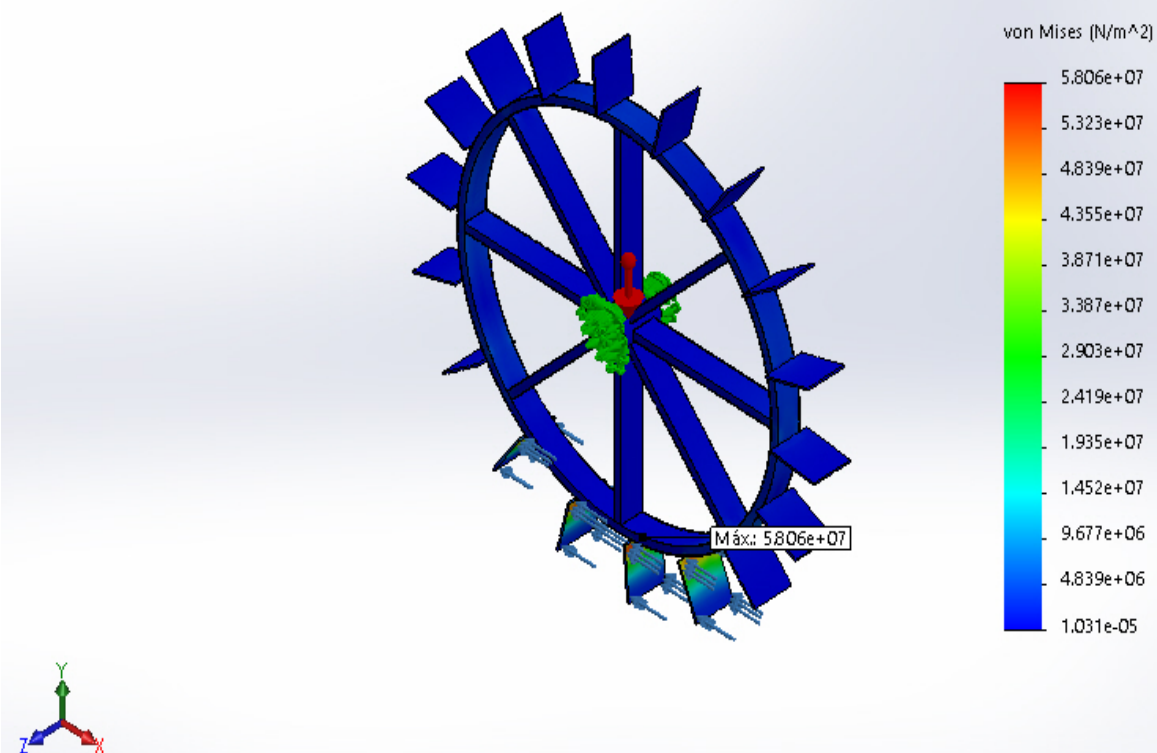
#### 25 Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

## 26 Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
<b>Tensiones1</b>	VON: Tensión de von Mises	1.031e-05 N/m <sup>2</sup> Nodo: 729	5.806e+07 N/m <sup>2</sup> Nodo: 53402

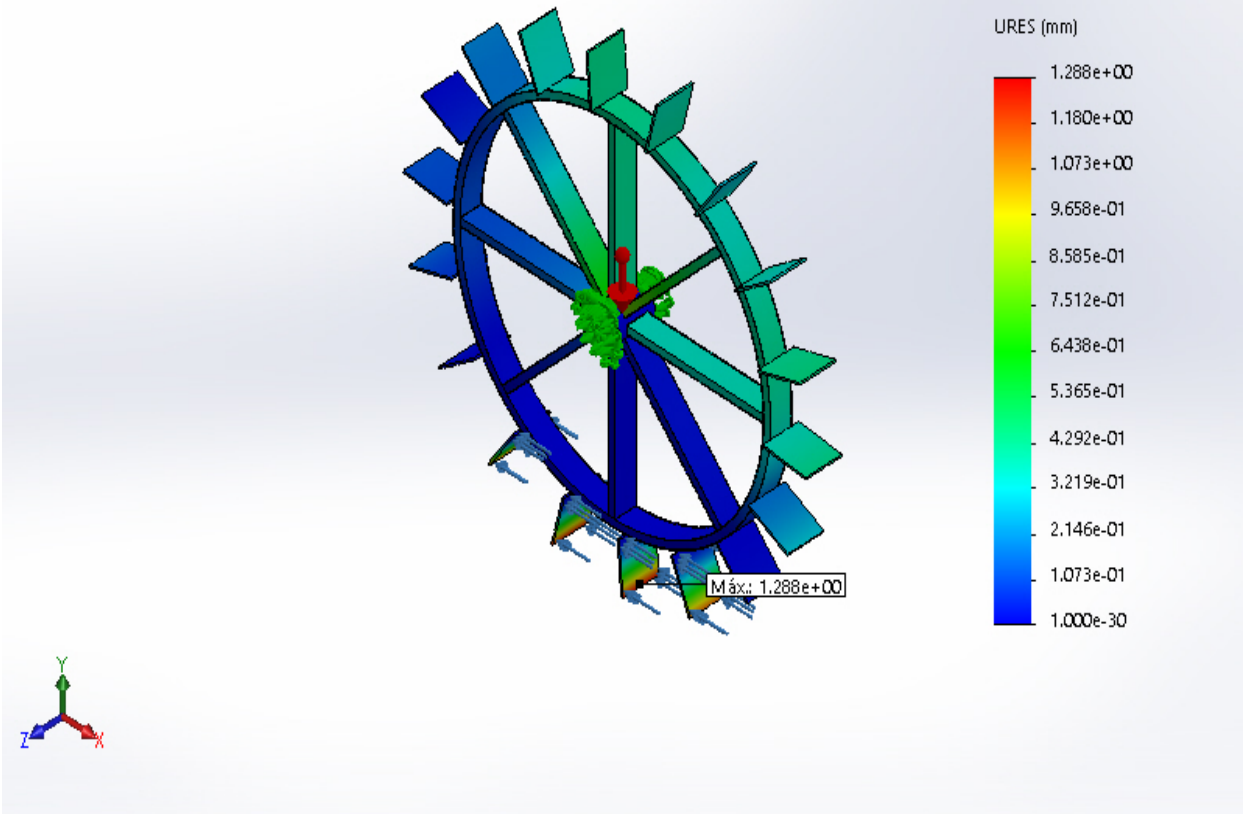
Nombre del modelo: riogenerador  
 Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Pre determinado-)  
 Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1  
 Escala de deformación: 1



riogenerador-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
<b>Desplazamientos1</b>	URES: Desplazamientos resultantes	0.000e+00 mm Nodo: 1	1.288e+00 mm Nodo: 52945

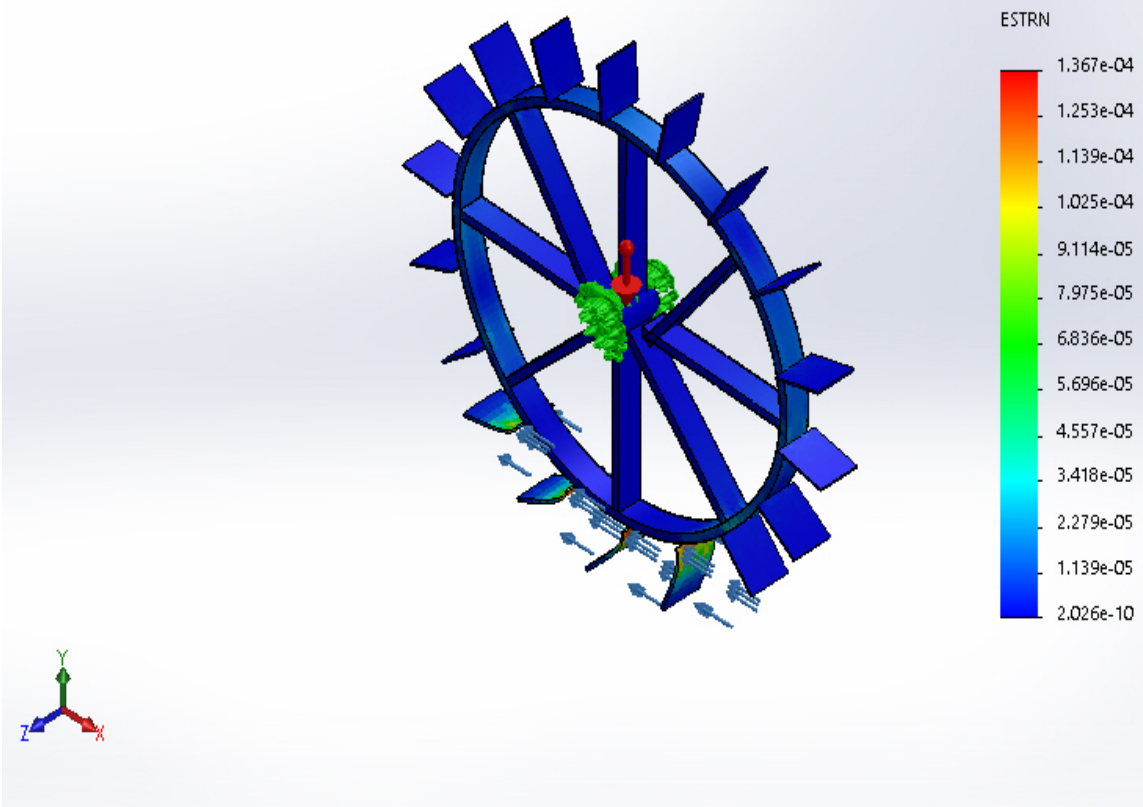
Nombre del modelo: riogenerador  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(- Pre determinado-)  
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1  
Escala de deformación: 1



riogenerador-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
<b>Deformaciones unitarias1</b>	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2.026e-10	1.367e-04
		Elemento: 545	Elemento: 26624

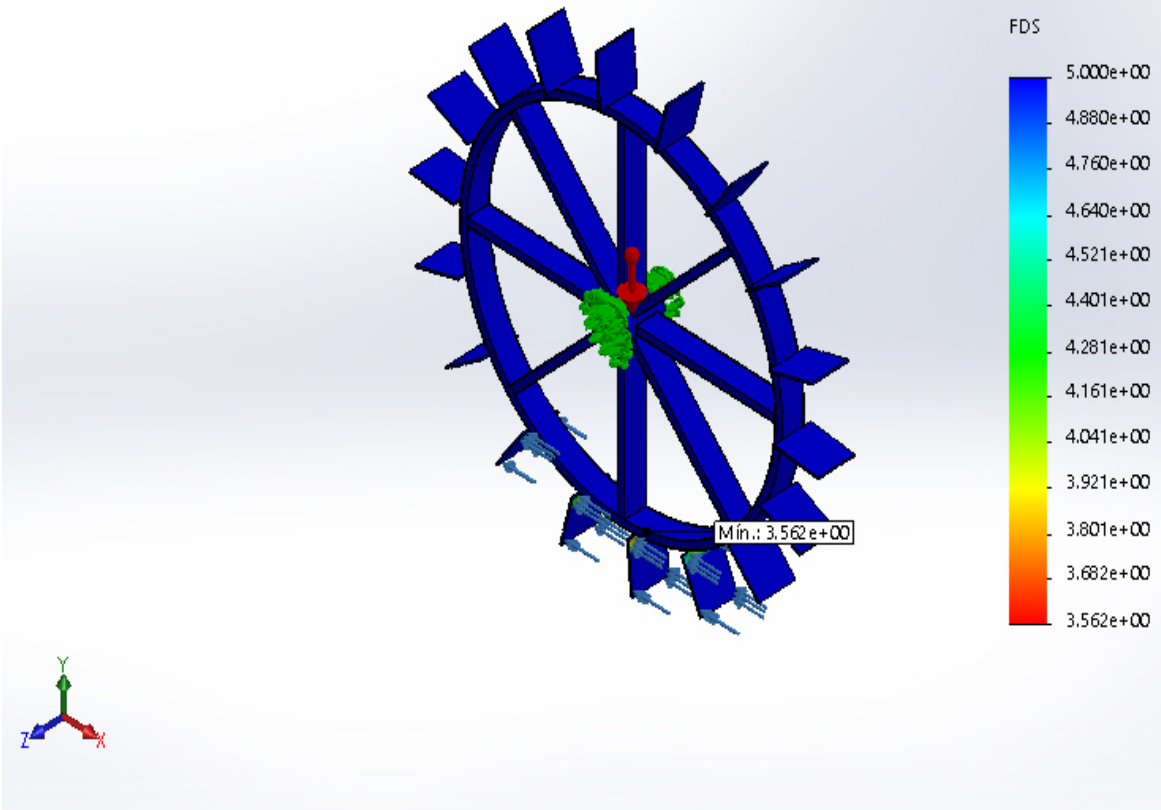
Nombre del modelo: riogenerador  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(- Pre determinado-)  
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1  
Escala de deformación: 217.072



riogenerador-Análisis estático 1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
<b>Factor de seguridad1</b>	Tensión de von Mises máx.	3.562e+00 Nodo: 53402	3.394e+13 Nodo: 729

Nombre del modelo: riogenerador  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Criterio: Tensiones von Mises máx.  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3.6



riogenerador-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

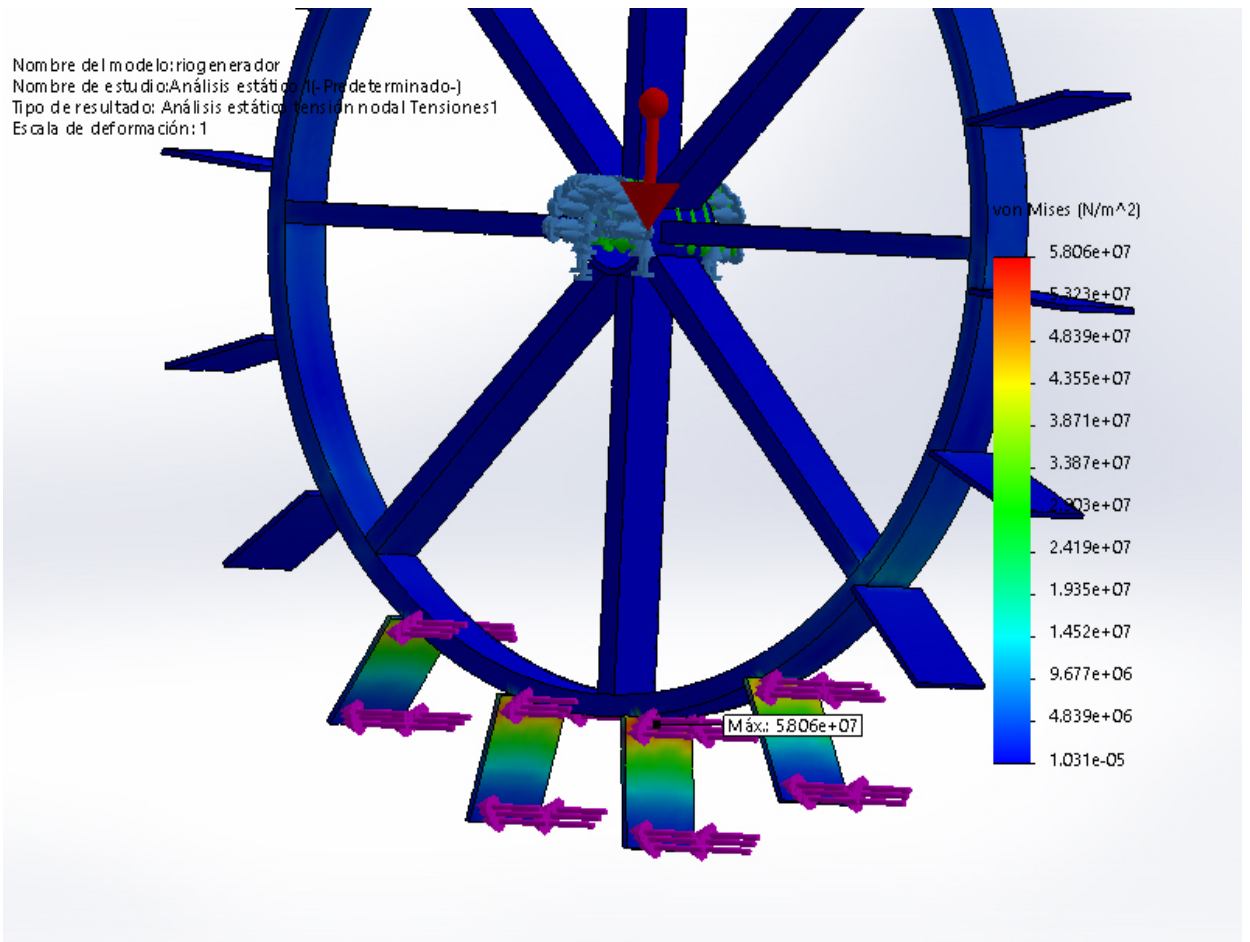


Imagen-1

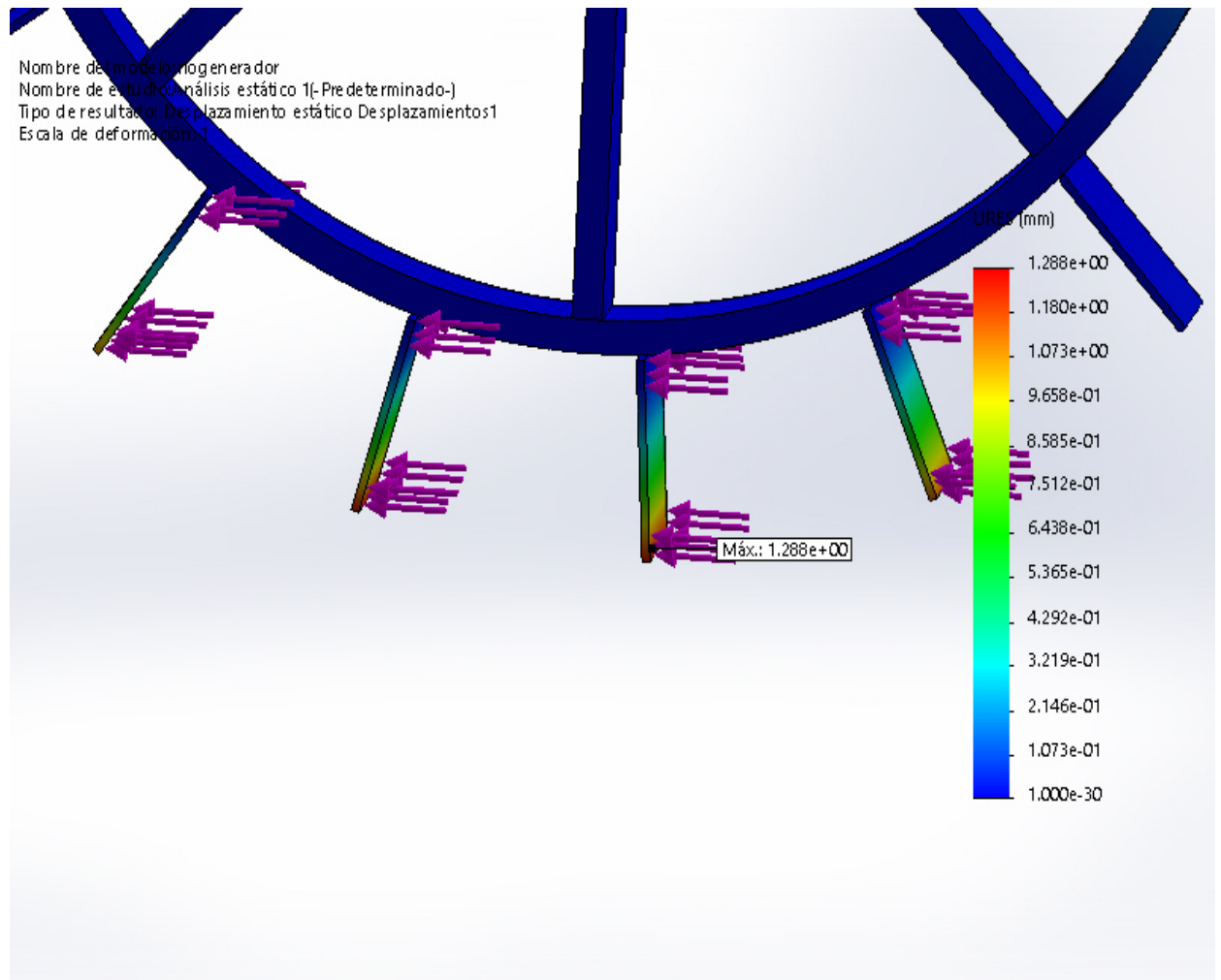


Imagen-2



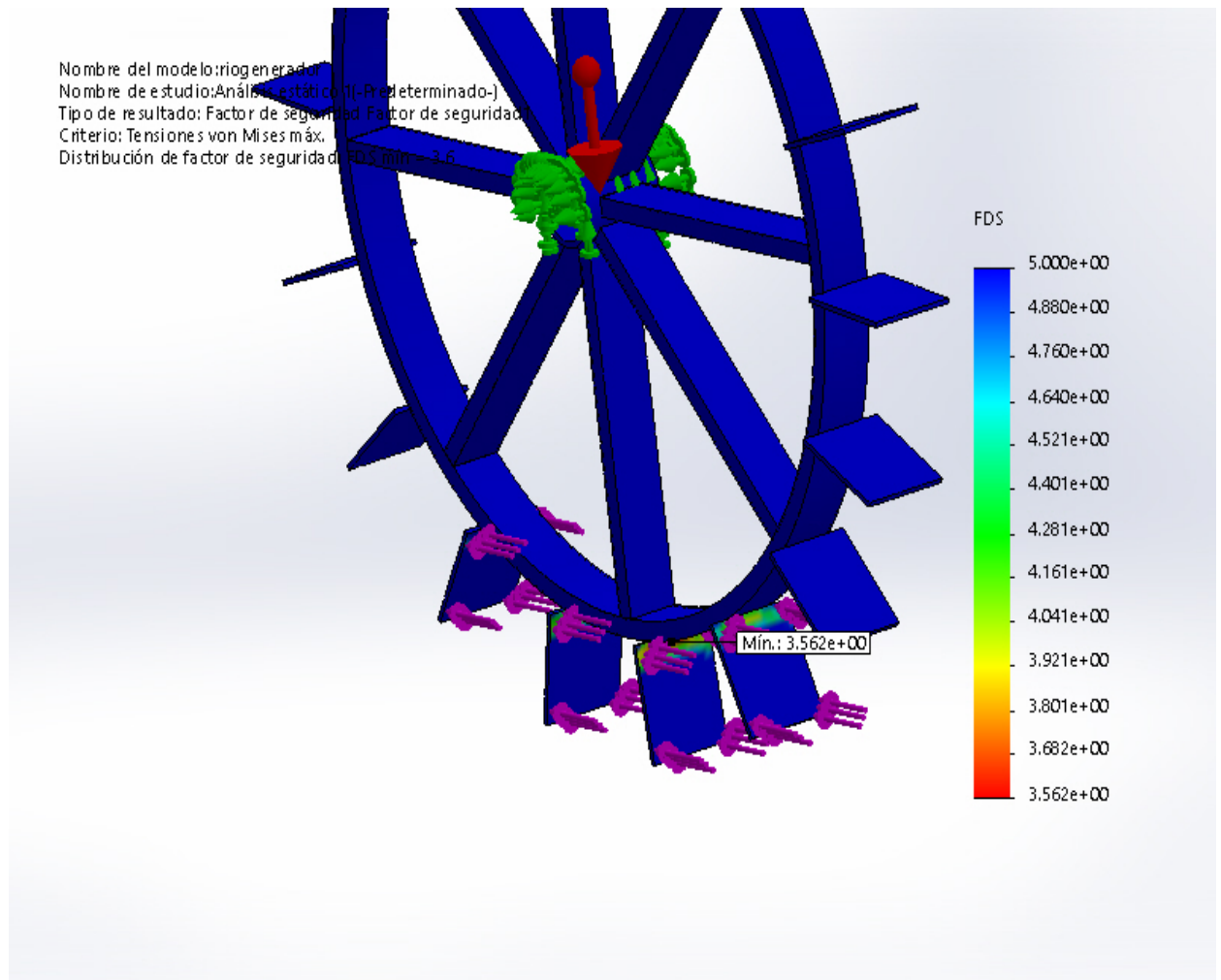


Imagen-3

## Anexo 19. FICHA TÉCNICA DEL CATÁLOGO DEL TRANSFORMADOR

Transformadores

### Transformadores Autoprotegidos



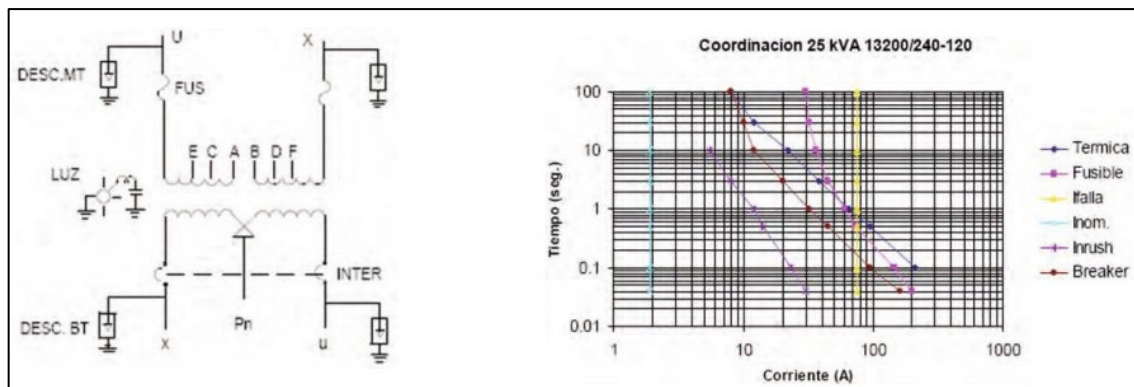
Transformadores monofásicos y trifásicos inmersos en aceite mineral con corrientes secundarias de hasta 1600 A y BIL máximo de 150 KV, para ser utilizados en líneas de energía con niveles de tensión desde 2,4 KV hasta 34,5 KV, en los que se incorporan elementos de protección contra sobretensiones, sobrecargas y cortocircuitos externos; al igual que fusibles inmersos en aceite en media tensión para aislarlos de la red en caso de fallas internas.

Transformadores trifásicos disponibles en los siguientes rangos de potencia:

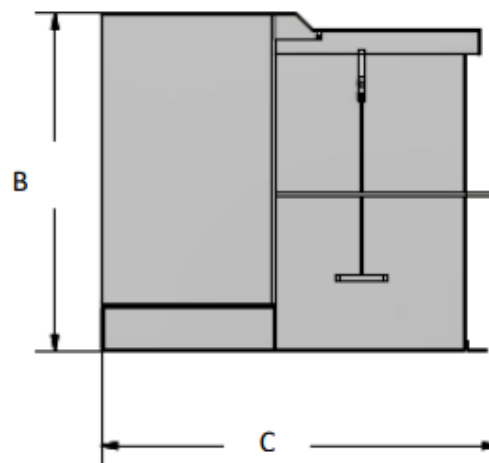
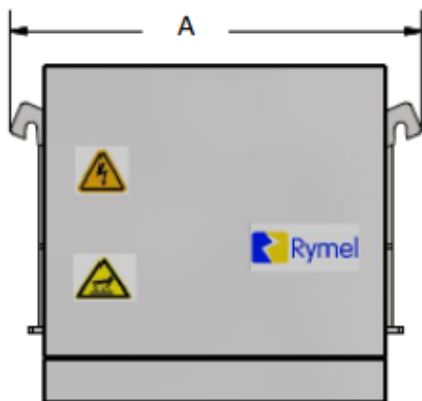
- Potencias desde 15 KVA hasta 500 KVA, con tensión secundaria de 220/127 V.
- Potencias de hasta 1000 KVA, con tensión secundaria de 440/254 V.
- Transformadores monofásicos disponibles en los siguientes rangos de potencia:
  - Potencias desde 5 KVA hasta 167,5 KVA, con tensión secundaria de 240/120 V.
  - Potencias hasta 333 KVA, con tensión secundaria de 480/240.
- Fabricados según las normas ANSI C57.12.00, IEC-76 y GTC148.







KVA	Volumen aceite (Lt.)	Peso aprox.(Kg.)	MEDIDAS (mm)		
			A	B	C
25	162	375	946	915	863
37,5	187	430	946	915	920
50	214	441	986	915	945
75	252	629	986	935	1010
100	262	701	986	935	1031
167	387	935	1046	1155	1012



## Anexo 20. FICHA TÉCNICA DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS



### NYY DUPLEX / TRIPLE

#### Usos

Aplicación general como cable de energía. En redes de distribución en baja tensión, instalaciones industriales, en edificios y estaciones de maniobra. En instalaciones fijas, en ambientes interiores (en bandejas, canaletas, etc.), directamente enterrado en lugares secos y húmedos.

#### Descripción

Conductores de cobre electrolítico recocido, sólido o cableado (comprimido, compactado), aislamiento y cubierta individual de PVC. En la conformación duplex los dos conductores son trenzados entre sí. En la conformación triple, los tres conductores son ensamblados en forma paralela mediante una cinta de sujeción.

#### Características

Buenas propiedades eléctricas y mecánicas. La cubierta exterior de PVC le otorga una adecuada resistencia a los ácidos, grasas, aceites y a la abrasión. Facilita empalmes, derivaciones y terminaciones. Menor peso que los cables NYN convencionales y mejor disipación de calor permitiendo obtener una mayor intensidad de corriente admisible. Retardante a la llama.

#### Marcación

INDECO S.A. NYN(80°) 0.6/1 kV 3-1x<Sección> <Año> <Metrado Secuencial>

#### Calibre

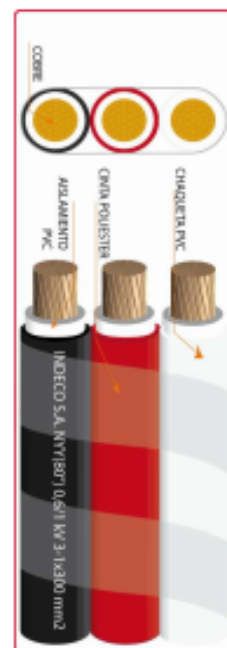
6 mm<sup>2</sup> – 500 mm<sup>2</sup>

#### Embalaje

En carretes de madera, en longitudes requeridas.

#### Colores

Aislamiento: Blanco  
Cubierta: Duplex : Blanco, negro.  
Triple : Blanco, negro, rojo.



**Norma(s) de Fabricación**  
NTP-IEC 60502-1  
**Tensión de servicio**  
0.6/1 kV  
**Temperatura de operación**  
80 °C

## TABLA DE DATOS TECNICOS NYT TRIPLE

CALIBRE	Nº HILOS	ESPEORES		DIMENCIONES		PESO	CAPACIDAD DE CORRIENTE (*)		
		AISLAMIENTO	CUBIERTA	ALTO	ANCHO		ENTERRADO	AIRE	DUCTO
Nº x mm <sup>2</sup>		mm	mm	mm	mm	(Kg/Km)	A	A	A
3 - 1 x 6	1	1	1.4	7.8	23.2	324	72	54	58
3 - 1 x 10	1	1	1.4	8.6	25.7	455	95	74	77
3 - 1 x 16	7	1	1.4	9.8	29.1	672	127	100	102
3 - 1 x 25	7	1.2	1.4	11.4	33.9	992	163	131	132
3 - 1 x 35	7	1.2	1.4	12.4	37.1	1298	195	161	157
3 - 1 x 50	19	1.4	1.4	14.1	42	1707	230	196	186
3 - 1 x 70	19	1.4	1.4	15.7	46.8	2339	282	250	222
3 - 1 x 95	19	1.6	1.5	18.2	54.3	3209	336	306	265
3 - 1 x 120	37	1.6	1.5	19.9	59.5	3975	382	356	301
3 - 1 x 150	37	1.8	1.6	21.7	64.9	4836	428	408	338
3 - 1 x 185	37	2	1.7	24.1	72	6027	483	470	367
3 - 1 x 240	37	2.2	1.8	27	80.8	7825	561	562	426
3 - 1 x 300	37	2.4	1.9	29.8	89.3	9736	632	646	480
3 - 1 x 400	61	2.6	2	33.2	99.4	12336	730	790	555
3 - 1 x 500	61	2.8	2.1	36.9	110.4	15590	823	895	567



# Máxima protección en aplicaciones de energía solar

## Los nuevos fusibles PV de Cooper Bussmann® ofrecen gran protección a sistemas fotovoltaicos de hasta 1,000 V<sub>CD</sub>

La necesidad de energías alternativas ha dado lugar a otra innovación en Cooper Bussmann®, líder en protección de circuitos. El desarrollo de avanzados sistemas de fotoceldas solares ha acelerado la demanda de fusibles de alto desempeño. Las condiciones de cortocircuito relacionadas con las fotoceldas solares no permiten niveles de corriente suficientes para interrumpir un fusible tradicional, de manera que se aislen eficazmente las cadenas fotovoltaicas (PV) con falla. La nueva línea de fusibles PV de Cooper Bussmann® ofrece un rango completo de protección, que los fusibles tradicionales no pueden proporcionar.

### Protección contra fallas de bajo nivel

- Los fusibles PV son fusibles de rango completo y pueden proteger al sistema contra fallas tan bajas como 1.3 veces la capacidad nominal ( $I_n$ ) del fusible a 1,000 V<sub>CD</sub>. Están diseñados específicamente para celdas de película delgada y fotoceldas de silicio cristalino de 4", 5" y 6".

### Mayor resistencia a condiciones climáticas

- Los fusibles PV se prueban bajo condiciones climáticas extremas, lo que les permite soportar las condiciones climáticas asociadas con la operación de sistemas de fotoceldas solares y el medio ambiente.

### Capacidad de hasta 1,000 V<sub>CD</sub>

- Los fusibles PV están diseñados para un voltaje de operación máximo de 1,000 V<sub>DC</sub>, con base en sistemas típicos de fotoceldas solares con L/R de 1 ms o menor.

### Dimensiones aceptadas mundialmente:

10 mm x 38 mm

- Los fusibles PV, en todas sus clasificaciones de corriente, están disponibles con casquillo estándar, montaje con tornillo o montaje de Circuito Impreso.



## Especificaciones

### Clasificaciones

Voltaje:	1,000 V <sub>CO</sub>
Amperaje:	1-15 A
Capacidad de interrupción	33 kA CD
Interrupción mínima:	1.3 veces la I <sub>n</sub>

Coordinación de fusibles PV: con celdas de película delgada y celdas de silicio cristalino de 4", 5" y 6"

Constante de Tiempo (L/R): Menor a 1 ms



Los fusibles PV están diseñados específicamente para trabajar en sistemas de fotoceldas solares formados por celdas de 4", 5" y 6".

### Especificaciones técnicas

Número de parte	Capacidad Nominal (Amperes)	Integrales de energía (A <sup>2</sup> s/I <sup>2</sup> t)		Pérdida de energía (watts)	
		Prearqueo	Total a 1,000 V <sub>CO</sub>	0.8 I <sub>n</sub>	I <sub>n</sub>
PV-1A10F	1 A	0.15	0.4	0.2	1.5
PV-2A10F	2 A	1.2	3.4	0.2	1.0
PV-3A10F	3 A	4	11	0.3	1.3
PV-4A10F	4 A	9.5	26	0.4	1.3
PV-5A10F	5 A	19	50	0.4	1.6
PV-6A10F	6 A	30	90	0.4	1.8
PV-8A10F	8 A	3	32	1.2	2.1
PV-10A10F	10 A	7	70	1.2	2.3
PV-12A10F	12 A	12	120	1.5	2.7
PV-15A10F	15 A	22	220	1.7	2.9

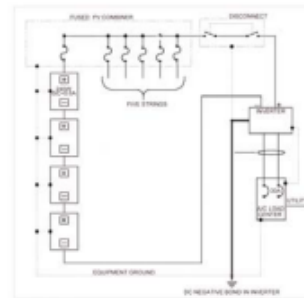


Diagrama típico del cableado de fotoceldas solares

## Bases y Bloques Portafusibles\*

### Cooper Bussmann® recomendados

Número de catálogo	Tipo	Amps. máx.	Polos
BM6031PQ	Base portafusible**	30	1
BM6032PQ	Base portafusible**	30	2
BM6033PQ	Base portafusible**	30	3
CHM1	Portafusible seguro para los dedos***	30	1
CHM2	Portafusible seguro para los dedos***	30	2
CHM3	Portafusible seguro para los dedos***	30	3

\* Certificado para 1,000 V<sub>DC</sub>

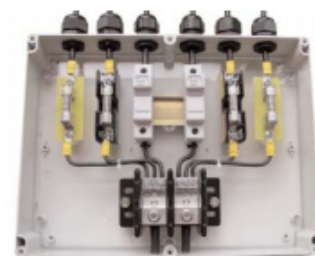
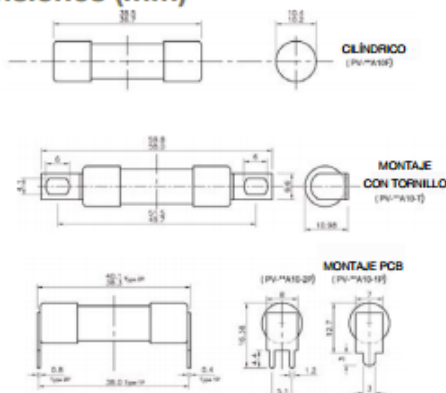
\*\* Consultar Hoja de datos de producto 1104 para información más detallada.

\*\*\* Consultar Hoja de datos de producto 2143 para información más detallada.



Base portafusibles BM6033PQ y portafusible CHM1

## Dimensiones (mm)



Los fusibles PV con casquillo se montan fácilmente en bases portafusibles convencionales BM6031.

©2009 Cooper Bussmann  
St. Louis, MO 63178  
636-394-2877  
www.cooperbussmann.com

Pedir con el # 3142 0509 10M

Impreso en USA

**COOPER** Bussmann

## Anexo 22. FICHA TÉCNICA DE CONTRALADOR MORNINGSTAR



El controlador solar **ProStar** de Morningstar es el líder mundial en controladores solares de mediano rango, ya sea para aplicaciones profesionales como para el consumidor en general. Esta segunda generación de controladores ProStar ofrece:

- Adiciona nuevas prestaciones y protecciones usando tecnología altamente avanzada
- Proporciona mayor vida útil a la batería y mejora el rendimiento del sistema
- Define nuevos estándares de confiabilidad y genera diagnósticos automáticos

### **Prestaciones Estándar:**

- Versiones disponibles: 15 o 30 amperios  
12 / 24 o 48 volts  
positivo o negativo a tierra
- Vida útil de 15 años (estimado)
- Carga de baterías mediante PWM (sin derivación)
- Selección del tipo de batería: gel, sellada o con líquido
- Controles y medidas muy precisas
- Puente para eliminar el ruido de telecomunicaciones
- Paralelo para hasta 300 amp
- Compensación de temperatura

- Tropicalización: revestimiento de protección, fijadores de acero inoxidable y disipador de calor de aluminio anodizado
- No es necesario conmutación ni medición en la pierna aterrada
- Componentes de estado sólido, 100%
- Caídas de tensión muy pequeñas
- Desconexión por baja tensión (LVD — Low Voltage Disconnect) con compensación de corriente
- Indicación de status y fallas de batería a través de LED
- Capaz de suportar sobrecargas hasta del 25%
- Terminales remotos con sensores de tensión de batería

### **Protecciones Electrónicas**

- Cortocircuito — paneles solares y carga
- Sobrecarga — paneles solares y carga
- Polaridad invertida
- Corriente invertida por la noche
- Desconexión por alta tensión
- Desconexión por alta temperatura
- Protección contra relámpagos y sobre tensión o transitorios
- Cargas protegidas contra picos de tensión
- Restablecimiento automático de todas las protecciones



### Prestaciones Opcionales del ProStar:

- Medidor digital
  - Visor de tensión y voltaje de alta precisión
  - Bajo consumo propio (1 mA)
  - Incluye botón de desconexión manual
  - Muestra 5 funciones de protección y de condiciones de desconexión
  - El auto-diagnóstico (auto-test) provee una prueba completa del ProStar:
    - Muestra 9 diferentes parámetros de estado del controlador, incluyendo la temperatura
    - Muestra las fallas detectadas
- Positivo a Tierra
- Sensor remoto de temperatura

### Carga de la batería optimizada:

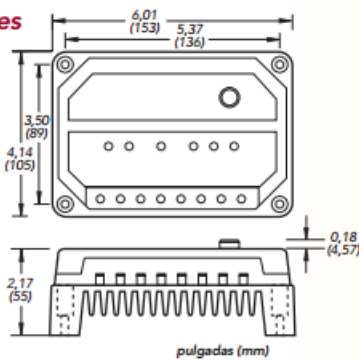
El ProStar tiene 4 etapas de carga de batería, para proporcionar una mayor capacidad y tiempo de vida útil a la batería.



### Especificaciones Mecánicas:

Peso:  
0,34 kg

Calibre del cable:  
6 AWG  
(16 mm<sup>2</sup>)



### Versiones del ProStar:

	PS-15	PS-30	PS15M-48V
Corriente nominal del panel solar	15A	30A	15A
Corriente nominal de carga	15A	30A	15A
Tensión del sistema	12/24V	12/24V	48V
Opciones:			
Medidor digital	si	si	estándar
Tierra positiva	no	si	si
Sensor remoto de temperatura	si	si	si

### Puntos de Ajuste de La Batería\*

	Gel	Sellada	Con líquido
Tensión de regulación	14,0	14,15	14,4
Flotante	13,7	13,7	13,7
Ecualización	n/a	14,35	14,9/15,1
Desconexión de la carga	11,4	11,4	11,4
Reconexión de la carga	12,6	12,6	12,6

Observación: los valores están especificados para 12V.

Use 2X para 24V e 4X para 48V.

### Especificaciones Eléctricas:

	12V	24V	48V
Compensación de temperatura (mV/°C)*	-30mV	-60mV	-120mV
Precisión	40mV	60mV	80mV
Minima temperatura de operación	8V	8V	15V
Autoconsumo	22mA	25mA	28mA
Coefficiente de corriente LVD**	-20mV	-40mV	-80mV
Algoritmo de carga	PWM, tensión constante		
Temperatura de operación	-40°C a +60°C		
Visor digital:			
Temperatura de funcionamiento	-30°C a +85°C		
Precisión de la tensión	0,5%		
Precisión de corriente	2,0%		
Autoconsumo	1 mA		

\* Referencia 25°C

\*\* por ampere de carga

**GARANTÍA:** Cinco años de garantía. Contáctese con Morningstar o con un distribuidor autorizado para obtener los términos completos de la garantía.

DISTRIBUIDOR AUTORIZADO DE MORNINGSTAR:



1098 Washington Crossing Road  
Washington Crossing, PA 18977 USA  
Tel: 215-321-4457 Fax: 215-321-4458  
E-mail: info@morningstarcorp.com  
Website: www.morningstarcorp.com

PRINTED IN USA 2115-R1-7/01

## Anexo 23. FICHA TÉCNICA DEL INVERSOR DC/AC



### Descripción general

#### Detalles rápidos

Lugar del origen: Guangdong, China (Mainland)  
Número de Modelo: Growatt 50000MTLP-US  
Talla: 355\*694\*210mm  
Voltaje de entrada: 12 V/24 V/48 V  
Tipo: Inversores DC/AC  
Corriente de salida: 42A  
MPPT la eficiencia: 97.8%  
Garantía: 5 años  
Certificado: CE/VDE 0126-1-1/EN50438  
Altitud: 2000 m sin desclasificación  
Aplicación: Sistema de energía Solar

Marca: Growatt  
Tipo de salida: Individual  
Peso: 30 kg  
Voltaje de salida: AC110V/220 V/230 V/240 V  
Frecuencia de sali... 50Hz/60Hz  
Nombre del produ... Growatt inverter  
Conexión AC: Fase única  
Pantalla: LCD  
Topología: Sin Transformador  
Concepto de refri... Enfriamiento Natural

## Anexo 24. FICHA TÉCNICA DE BATERÍAS



**RE Soluciones de Almacenamiento**  
para la Energía Renovable / Sistemas Híbridos / Energía de Respaldo

The advertisement displays six Trojan batteries of various sizes and models arranged in front of a large solar panel array under a blue sky with clouds. The batteries shown include:

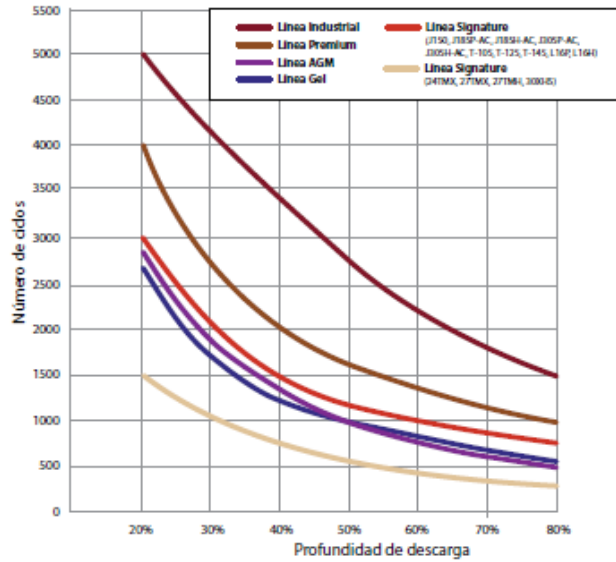
- Top left: Trojan L16RE-B
- Bottom left: Trojan 37-GEL
- Center: Trojan T-105
- Center: Trojan IN027-7V
- Right: Trojan Reliant (large)
- Right: Trojan Reliant (small)

**T<sub>2</sub> Technology**    **SMART CARBON**    **C-MAX TECHNOLOGY**

**Trojan**  
BATTERY COMPANY  
*Clean energy for life.*

### Cuadro de vida útil

Un factor fundamental a tomar en cuenta al comprar una batería de ciclo profundo para una aplicación de energía renovable es la vida útil. La clasificación de vida útil es el número de ciclos de descarga/carga que la batería puede proporcionar a lo largo de su existencia. Esto permitirá determinar el valor real de la batería sobre la vida útil, comprendiendo el costo total de su tenencia. Este cuadro ilustra las clasificaciones de vida útil de las líneas de baterías Trojan de ciclo profundo para aplicaciones de energía renovable.



**ESTÁNDAR IEC 61427**  
Celdas secundarias y baterías para almacenamiento de energía renovable

**17 Años** Trojan Battery **Línea Industrial**

**8 Años** Trojan Battery **Línea Premium**

Línea Industrial de electrolito líquido	Línea Premium de electrolito líquido	Línea Signature de electrolito líquido	AGM de ciclo profundo	Gel de ciclo profundo
2,800 ciclos A 50% DOD 464-1849 AH a C20	1,600 ciclos A 50% DOD 225-1110 AH a C20	600 - 1,200 ciclos A 50% DOD 85-435 AH a C20	1000 ciclos A 50% DOD 33-370 AH a C20	1000 ciclos A 50% DOD 77-225 AH a C20

### Importancia de probar las baterías fotovoltaicas según la norma IEC 61427

La carga correcta es fundamental para aprovechar al máximo la vida útil de una batería de ciclo profundo. Además, la experiencia ha demostrado que las baterías en sistemas fotovoltaicos son normalmente demasiado pequeñas debido a consideraciones de costos o porque se subestimaron las cargas del sistema.

Hasta ahora, la expectativa de vida de las baterías fotovoltaicas ha sido difícil de cuantificar. La prueba de la norma 61427 de la Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission, IEC) señala los criterios de rendimiento con que se deben cotejar todas las baterías para aplicaciones fotovoltaicas. Ofrece una plataforma común, internacionalmente aceptada para comparar y contrastar baterías de diversos fabricantes.

# Línea Industrial de electrolito líquido

diseñada para 2800 ciclos con profundidad de descarga al 50%



**Complejo turístico Spice Village, India**  
72 baterías Trojan IND29-4V de ciclo profundo

## Características

- Smart Carbon™
- Pasta Alpha Plus® con T2 Technology™
- Tecnología Duragrid™
- Envoltura protectora reforzada
- Separador Maxguard® XL
- Componente anitmusgo

La línea Industrial está diseñada específicamente para apoyar sistemas de energía renovables con grandes cargas cotidianas, en que las baterías se ciclan regularmente. Estas baterías con alta capacidad de amperio-horas son ideales para usarse en grandes sistemas fotovoltaicos fuera de la red, en sistemas fotovoltaicos híbridos fuera de la red y en sistemas fotovoltaicos conectados a la red con respaldo de batería, sistemas inteligentes de turnos altos de red eléctrica y una gran variedad de otras aplicaciones. La línea Industrial se somete a pruebas de IEC y cuenta con avanzadas tecnologías de batería que entregan una energía confiable. La línea Industrial de Trojan es la combinación ideal de rendimiento y funcionalidad.

## Diseño inteligente

### Protección con doble envase

La línea de baterías Industrial de ciclo profundo Trojan está formada por una, dos o tres celdas individuales de 2 voltios, autónomas o entrelazadas, añanzadas en una carcasa de contención secundaria para formar una solución integral de una batería de alta capacidad de 2, 4 ó 6 voltios. Los componentes de las celdas individuales van montados en una resistente carcasa de polipropileno diseñada para proteger las placas internas contra posibles daños que se pudieran producir durante el transporte y la instalación. Las celdas de 2 voltios van encapsuladas en una carcasa de polietileno más grande que protege contra daños causados por condiciones ambientales inhóspitas tales como la humedad y la acumulación de polvo, y además brinda resguardo contra posibles fugas de ácido. Para mayor protección, la carcasa de paredes gruesas cuenta con un diseño de celosía que refuerza la integridad estructural de la carcasa exterior.

### Control de estabilidad

Trojan diseñó su línea de baterías Industrial con la estabilidad en mente. Gracias a que tiene un perfil de batería más bajo y un diseño de posicionamiento más ancho, el peso se distribuye de manera uniforme por toda la batería. Al crear un centro de gravedad más amplio, el perfil de la batería aumenta la estabilidad total. El diseño de carcasa cuenta con dos mangos moldeables que permiten el movimiento fácil durante el transporte y la instalación.

TAMAÑO GRUPO BCI	TIPO	VOLTAJE	CAPACIDAD <sup>A</sup> Amperio-horas (AH)				ENERGÍA (kWh)	TERMINAL predet.	DIMENSIONES <sup>B</sup> Pulg. (mm)			PESO lbs. (kg)
			Tasa de 5 hr	Tasa de 10 hr	Tasa de 20 hr	Tasa de 100 hr			Tasa de 100 hr	Largo	Ancho	
<b>LÍNEA INDUSTRIAL - BATERÍAS DE ELECTROLITO LÍQUIDO DE CICLO PROFUNDO - 2,800 CICLOS A 50% DOD - CON SMART CARBON™</b>												
N/C	IND9-6V	6 VOLTIOS	365	414	464	601	3.61	14	15.32 (389)	10.24 (260)	23.54 (598)	220 (100)
N/C	IND13-6V	6 VOLTIOS	545	616	695	902	5.41	14	22.36 (568)	10.34 (263)	23.92 (608)	315 (143)
N/C	IND17-6V	6 VOLTIOS	727	820	925	1202	7.21	14	27.21 (691)	10.38 (264)	23.73 (603)	415 (188)
N/C	IND23-4V	4 VOLTIOS	1000	1129	1270	1654	6.62	14	22.38 (568)	10.34 (263)	23.56 (598)	370 (168)
N/C	IND29-4V	4 VOLTIOS	1274	1448	1618	2105	8.42	14	27.10 (688)	10.35 (263)	23.81 (605)	465 (211)
N/C	IND27-2V	2 VOLTIOS	1215	1368	1520	1954	3.91	14	15.28 (388)	10.38 (264)	24.00 (610)	228 (104)
N/C	IND33-2V	2 VOLTIOS	1455	1682	1849	2405	4.81	14	17.33 (440)	10.22 (260)	24.01 (610)	278 (125)

A. La cantidad de amperio-horas (AH) que una batería puede entregar cuando se descarga a una tasa constante a 80°F (27°C) y mantener un voltaje sobre los 1.75 V/celda. Las capacidades se basan en un rendimiento óptimo.  
 B. Las dimensiones pueden variar dependiendo del tipo de mango o terminal. Las baterías se deben instalar con un espaciado libre mínimo de 0.5 pulgadas (12.7 mm).  
 C. Las dimensiones se toman desde la parte inferior de la batería hasta su punto más alto. Las alturas pueden variar dependiendo del tipo de terminal.

Clean energy for life™ 9

## Anexo 25. FICHA TÉCNICA DE INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICO SICA



Desarrollados para cumplir con los estándares más exigentes, los interruptores automáticos Sica son los de mayor imposición en el mercado. Esto no solo se debe a que los mismos poseen sellos de conformidad IRAM, y certificación en todo el mercado latinoamericano; o que están contruidos con materiales y componentes de primera calidad; Se debe a que los mismos garantizan el respaldo que el instalador necesita a la hora de hacer el trabajo. Cuentan con la experiencia de Sica, que ya en 1968 fabricaba en Argentina sus primeros interruptores termomagnéticos. Desde entonces, Sica continúa mejorando los procesos de fabricación y controles de calidad para brindar

al instalador herramientas confiables para proteger y maniobrar sus instalaciones. La línea cuenta con la más amplia gama de productos, cubriendo todas las necesidades de la instalación, contando con interruptores automáticos termomagnéticos y por corriente diferencial, interruptores manuales, tableros integrados, programadores, señalizadores y descargadores. Sin lugar a dudas, mayor calidad y respaldo para sus instalaciones.



SicaLimit de 1 y 63 A



SicaLimit de 80 y 100 A

Interruptores Automáticos Termomagnéticos

**Limit 3kA**

Intensidad (A)	Curva	Unipolar	Bipolar	Tripolar	Tetrapolar
1	C	782101	782201	782301	-----
2	C	782102	782202	782302	-----
3	C	782103	782203	782303	-----
5	C	782105	782205	782305	782405
10	C	782110	782210	782310	782410
15	C	782115	782215	782315	782415
16	C	782116	782216	782316	782416
20	C	782120	782220	782320	782420
25	C	782125	782225	782325	782425
32	C	782132	782232	782332	782432
40	C	782140	782240	782340	782440
50	C	782150	782250	782350	782450
63	C	782163	782263	782363	782463
80	D	782180	782280	782380	782480
100	D	782100	782200	782300	782400

Interruptores Automáticos Termomagnéticos

**Super Limit 6kA**



SuperLimit

Intensidad (A)	Curva	Unipolar	Bipolar	Tripolar	Tetrapolar
2	C	762102	762202	762302	762402
4	C	762104	762204	762304	762404
6	C	762106	762206	762306	762406
10	C	762110	762210	762310	762410
16	C	762116	762216	762316	762416
20	C	762120	762220	762320	762420
25	C	762125	762225	762325	762425
32	C	762132	762232	762332	762432
40	C	762140	762240	762340	762440
50	C	762150	762250	762350	762450
63	C	762163	762263	762363	762463

**Descripción**

Los interruptores termomagnéticos SICA son el resultado del desarrollo tecnológico, en el que INDUSTRIAS SICA S.A.I.C. se empeña desde el año 1985.

En un volumen compacto se ha desarrollado un interruptor automático fuertemente limitador que reduce sensiblemente la energía que deja pasar cuando interviene en el cortocircuito.

La línea SICALIMIT es indicada cuando la corriente presunta de cortocircuito alcanza valores de 3kA ( curva C ) con corrientes nominales de 1 a 63A y 10kA ( curva D ) para corrientes nominales de 80A y 100A.

La línea SUPERLIMIT es indicada cuando la corriente presunta de cortocircuito alcanza valores de 6kA ( curva C ) para corrientes nominales de 5 a 63A.

Los interruptores termomagnéticos SICA son construídos en material termoplástico autoextinguente, resistente al ensayo de punta incandescente de 960°C. La palanca de maniobra está protegida contra maniobras accidentales e involuntarias y puede bloquearse en la posición ABIERTO o CERRADO. Los interruptores multipolares se obtienen por la unión de interruptores unipolares vinculados mecánicamente por la unión de las palancas de maniobra y supervisados por un dispositivo de desenganche instantáneo que, en caso de un cortocircuito en un polo, abre todo el interruptor simultáneamente.

**Características Técnicas**

Los interruptores termomagnéticos SICALIMIT se construyen con características de disparo termomagnética "C" y "D", según los clasifica la norma IEC 60898 y poder de interrupción de 3kA y 10 kA respectivamente. Los interruptores termomagnéticos abren instantáneamente (magnéticamente) entre 5 y 10 veces la corriente nominal para los tipo "C" y entre 10 y 20 veces la corriente nominal cuando son tipo "D", permitiendo proteger de esta manera a la mayoría de los equipos con una corriente de conexión importante. Los morcetes terminales, protegidos contra contactos directos, poseen tornillos con cabeza a ranura y guía. El destornillador es guiado por una guía para evitar que se salga de la ranura, lográndose una excelente cupla de apriete. El conductor es aprisionado en un estribo que evita el corte de los alambres individualmente, llenando el espacio libre de alambres del conductor, obteniéndose de esta manera un insuperable contacto eléctrico.

**Protección de los conductores contra sobrecargas**

La protección de los conductores (aislados en PVC) contra las sobrecargas se obtiene de la siguiente manera:

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (1)$$

donde:

$I_b$  es la corriente de proyecto (corriente de empleo para la cual el circuito fue diseñado)

$I_n$  es la corriente nominal del interruptor

$I_z$  es la corriente nominal del conductor

y también

$$I_f \leq 1,45 \cdot I_z \quad (2)$$

donde:

$I_f = 1,45 \cdot I_n$  es la corriente que hace abrir al interruptor en menos de 1 hora, cuando  $I_n \leq 63A$ , o en menos de 2 horas si  $I_n > 63A$ . Se debe cumplir con 1 y 2 para asegurar que el conductor estará protegido contra sobrecargas de corta y larga duración.

**Protección de los Conductores contra Cortocircuitos**

Para dispositivos de protección con tiempo de apertura inferior a 0,1s; la protección de los conductores está asegurada si se cumple:

$$k^2 S^2 \geq I^2 t$$

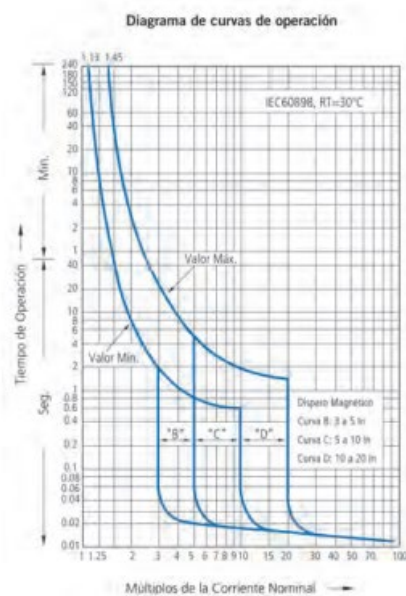
$I^2 t$ : Máxima energía específica psante aguas abajo del dispositivo de protección.

Este dato está garantizado por INDUSTRIAS SICA y está a disposición del proyectista o instalador.

S: Sección nominal de los conductores, en milímetros cuadrados.

K: Factor que tiene en cuenta resistividad, coeficientes de temperatura del aislante y capacidad térmica.

**Curva de Operación**



**Instalación**

Los interruptores termomagnéticos SICA pueden instalarse y montarse sobre el perfil DIN en las cajas de la línea PRESTIGE, o en cualquier otra caja que ofrezca el perfil DIN como método de montaje. La fijación sobre el perfil es a presión, ofreciendo un seguro método de montaje y anclaje del interruptor al perfil DIN. Para el desmontaje debe usarse un destornillador para destrabar o los seguros de anclaje.



Características Técnicas

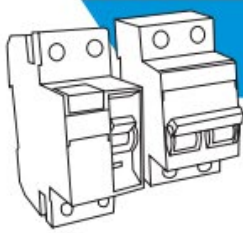
Limit **3kA**

Super  
Limit **6kA**

Norma de aplicación		Sicalimit 1 a 63 A IEC 60898	80 y 100 A IEC60947	5 a 63 A IEC60898
Curva de disparo		C	D	C
Capacidad de Ruptura		Icn = 3000 A Ics = 100% Icn	Icu = 10000 A	Icn = 6000 A Ics = 100% Icn
Rango de intensidad	In	1 a 63 A	80 y 100 A	5 a 63 A
Número de polos		1 - 2 - 3 - 4	1 - 2 - 3 - 4	1 - 2 - 3 - 4
Tensión nominal de operación	Ue	240 / 415 V	240 / 415 V	240 / 415 V
Tensión de aislación mínima	Ui	500 V	500 V	500 V
Frecuencia		50 / 60 Hz	50 / 60 Hz	50 / 60 Hz
Corriente convencional de no-disparo	It	1,13 x In	1,05 In	1,13 x In
Corriente convencional de disparo	Int	1,45 x In	1,3 In	1,45 x In
Potencia disipada				
In < 10 A <sub>n</sub>	In ≤ 10 A	3 W	-	3 W
10 < In < 16 A <sub>n</sub>	10 < In ≤ 16 A	3,5 W	-	3,5 W
16 < In < 25 A <sub>n</sub>	16 < In ≤ 25 A	4,5 W	-	4,5 W
25 < In < 32 A <sub>n</sub>	25 < In ≤ 32 A	6 W	-	6 W
32 < In < 40 A <sub>n</sub>	32 < In ≤ 40 A	7,5 W	-	7,5 W
40 < In < 50 A <sub>n</sub>	40 < In ≤ 50 A	9 W	-	9 W
50 < In < 63 A <sub>n</sub>	50 < In ≤ 63 A	13 W	-	13 W
In = 80 A	In = 80 A	-	15 W	-
In = 100 A	In = 100 A	-	15 W	-
Tensión de impulso	Uimp	5000 V	6000 V	6000 V
Resistencia de aislación mínima		2 / 5 Mohm	2 / 5 Mohm	2 / 5 Mohm
Rigidez dieléctrica		2500 V	2500 V	2500 V
Endurancia mecánica		20000 op	20000 op	20000 op
Endurancia eléctrica*		4000 op	4000 op	4000 op
Incombustibilidad		960 °C	960 °C	960 °C
Grado de protección		IP20	IP20	IP20
Posición de instalación		vertical	vertical	vertical
Temperatura de calibración		30 °C	30 °C	30 °C
Rango de trabajo		-5 °C a 40 °C	-5 °C a 40 °C	-5 °C a 40 °C
Altitud máxima		2000 m	2000 m	2000 m
Bornes de conexión		25 mm <sup>2</sup>	50 mm <sup>2</sup>	25 mm <sup>2</sup>
Momento de apriete mínimo		2 Nm	3,5 Nm	2 Nm
Peso máximo por polo		100 gr	180 gr	118 gr
Montaje		Riel DIN 35mm	Riel DIN 35mm	Riel DIN 35mm

\* mínimas garantizadas por ensayo

# Anexo 26. FICHA TÉCNICA DE INTERRUPTORES DIFERENCIALES SICA



## Ficha Técnica

### INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS DIFERENCIALES

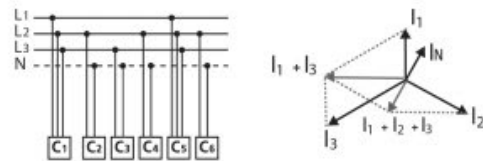


#### Descripción

La protección diferencial de los interruptores diferenciales SICA es independiente de la tensión de alimentación y posee seguridad intrínseca, es decir que ante la aparición de una fuga a tierra está asegurado su correcto funcionamiento debido a que la energía que produce el disparo es proporcionada por la propia corriente de fuga.

Están constituidos por:

- Un transformador toroidal, a través del cual pasan todos los conductores activos (una fase y neutro si el diferencial es bipolar y tres fases y neutro si es tetrapolar).
- Un relé de medida y disparo.
- Un interruptor que abre el circuito controlado.



$C_1 \dots C_6 =$  Cargas monofásicas y trifásicas  
 $I_1 + I_2 + I_3 + I_N = 0$

Figura 3

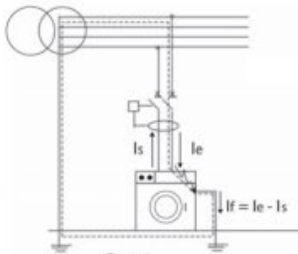


Figura 1

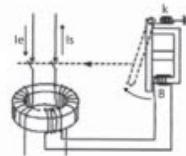
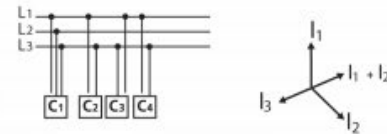


Figura 2

Los interruptores diferenciales tetrapolares también pueden utilizarse en redes trifásicas sin neutro. Conectado en el circuito trifásico, el interruptor diferencial interviene en caso de fuga a tierra, independientemente de la distribución de cargas en cada una de las fases. Esto es así, porque en los sistemas trifásicos sin neutro, la suma vectorial de las tres corrientes de las tres fases es siempre igual a cero, incluso cuando las tres fases estén desequilibradas (figura 4). El interruptor diferencial analiza la suma vectorial de las tres corrientes e interviene cuando por una fuga, esta suma es distinta de cero y su valor entra en la zona de la operación diferencial.



$C_1 \dots C_4 =$  Cargas monofásicas y trifásicas  
 $I_1 + I_2 + I_3 = 0$

Figura 4

El principio de funcionamiento se basa en la ley de inducción electromagnética (Faraday-Lenz) que origina la creación de una fuerza electromotriz inducida debido a la variación del flujo magnético concatenado por una bobina. ( $E = - N \frac{d\phi}{dt}$ ).

Los conductores activos que pasan a través del toroide constituyen el arrollamiento primario del transformador.

Cuando existe una falla de aislamiento o un contacto accidental en uno de los conductores activos, se establece una corriente de falla que circula a través del conductor de protección cerrando el lazo de falla a través de la tierra. (Esquema de tierra TT, Figura 1).

En este caso, la corriente que entra en el transformador toroidal  $I_e$  es distinta de la que sale  $I_s$  ya que parte de la corriente  $I_e$  deriva a tierra a través del conductor de protección (PE) constituyendo la corriente de falla  $I_f = I_e - I_s$ .

El desequilibrio de corrientes dentro del transformador toroidal es lo que origina el desequilibrio de los flujos magnéticos induciendo una fuerza electromotriz (Fem) en el arrollamiento secundario que cierra a través de un electroimán (ver figura 2), proporcionando un camino para la circulación de la corriente residual  $I_r$  originada por la Fem.

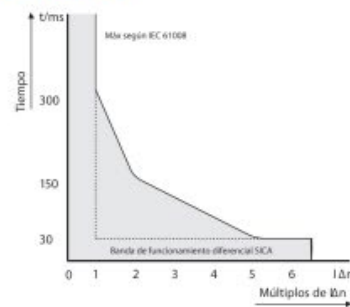
Cuando la corriente  $I_r$  está dentro de la zona de operación diferencial, la parte móvil del electroimán, que originalmente se mantenía unida debido a la fuerza de atracción que ejerce el imán permanente, abre el circuito magnético y acciona el mecanismo de apertura del interruptor diferencial.

Cuando el interruptor diferencial es tetrapolar el funcionamiento es análogo.

Si el sistema es trifásico con neutro, la suma vectorial de las intensidades de corriente de las tres fases es igual y opuesta a la intensidad de corriente que circula por el neutro, por lo que la suma vectorial total es igual a cero. (figura 3) También en este caso, el interruptor diferencial analiza la suma vectorial de las cuatro corrientes, e interviene cuando por una fuga esta suma difiere de cero y su valor entra dentro de la zona de operación del interruptor diferencial.

Los interruptores diferenciales puros "sin protección adicional incorporada" deben estar acompañados de la protección contra sobre cargas y cortocircuito. Los interruptores diferenciales junto con la protección contra sobre cargas y cortocircuito constituyen una unidad completa para la protección de las instalaciones contra sobrecargas, cortocircuitos y tensiones de contacto.

#### Curva de Intervención



## Características Técnicas

		Bipolar	Tetrapolar
Clase		AC	AC
Corriente nominal	$I_n$	16 - 25 - 40 - 63A	40 - 63A
Tensión nominal	$U_n$	240 V-	240 / 415 V-
Corriente diferencial nominal	$I_{\Delta n}$	10 - 30 mA	30 mA - 300 mA
Frecuencia		50/60 Hz	50/60 Hz
Capacidad nominal de ruptura y de conexión	$I_m$	500-630A	500-630 A
Capacidad diferencial de ruptura y de conexión	$I_{\Delta m}$	500-630 A	500-630 A
Corriente nominal condicional de cortocircuito	$I_{nc}$	3000 A	3000 A
Dispositivo de protección contra cortocircuito	SCPD	Fus 63 A gG	Fus 63 A gG
Tensión de aislación mínima	$U_i$	500 V	500 V
Resistencia de aislación mínima		2/5 Mohm	2/5 Mohm
Rigidez dieléctrica		2500 V	2500V
Incombustibilidad		960°C	960°C
Tamaño DIN		2 módulos	4 módulos
Rango de funcionamiento		-5 a 40°C	-5 a 40°C
Altitud máxima		2000 m	2000 m
Grado de protección		IP20	IP20
Bornes de conexión		25 <sup>2</sup> mm	25 <sup>2</sup> mm
Posición de instalación		vertical	vertical
Momento de apriete mínimo		2,5 Nm	2,5 Nm
Endurencia mecánica		10000 op	10000 op
Endurencia eléctrica a $I_n$ *		2000 op	2000 op
Peso máximo		240 gr	410 gr
Montaje		Riel DIN 35 mm	Riel DIN 35 mm

\* mínimas garantizadas por ensayo

### Intalación y Conexión

Los bornes de conexión de entrada son 1,3,5 y N y los de salida son 2,4,6 y N, están grabados en la cubierta frontal del dispositivo. Cuando se instale un interruptor tetrapolar en una red trifásica sin neutro se debe efectuar un puente en los bornes de entrada, entre el borne 3 y N o entre el borne 1 y N a los efectos de garantizar el funcionamiento del dispositivo de prueba. Ver figura 6.

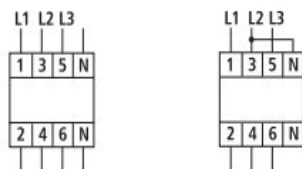


Figura 6

### Botón de Prueba

Todos los interruptores diferenciales SICA cuentan con un dispositivo o botón de prueba mediante el cual es posible verificar el correcto funcionamiento de la protección diferencial. Mediante dicho dispositivo, debe testarse mensualmente el funcionamiento del interruptor diferencial.

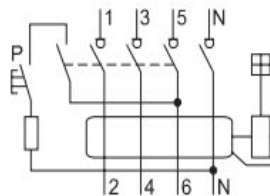


Figura 5

## TABLAS DEL CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Material	Densidad a 20°C gr/cm <sup>3</sup>	Resistividad a 20°C Ω.mm <sup>2</sup> /m	Conductividad % IACS	Coefficiente térmico de resistencia a 20°C por °C	Modulo de elasticidad Kg/mm <sup>2</sup>	Esfuerzo mínimo de rotura Kg/mm <sup>2</sup>	Coefficiente de dilatación lineal a 20°C por °C
Cobre blando	8.89	0.01724	100	0.00393	10.000	25	1.7 x 10 <sup>-5</sup>
Cobre semiduro	8.89	0.01783	96.66	0.00384	11.500	35	1.7 x 10 <sup>-5</sup>
Cobre duro	8.89	0.01790	96.16	0.00382	12.650	42	1.7 x 10 <sup>-5</sup>
Alineación de aluminio	2.7	0.0328	52.5	0.00360	5.700	28	2.3 x 10 <sup>-5</sup>

### COMPARACIÓN ENTRE LOS CALIBRES AMERICANOS Y EUROPEOS DE CABLES Y CONDUCTORES

CALIBRE AMERICANO		CALIBRE METRICO (europeo)
AWG - MCM	mm <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>
30 AWG	0.0509	0.05
28	0.0810	0.10
26	0.1288	
24	0.2047	0.25
22	0.3255	0.50
20	0.5176	0.75
18	0.8231	1.00
16	1.3090	1.50
14	2.081	2.5
12	3.309	4.0
10	5.261	6.0
8	8.366	10.0
6	13.30	16
4	21.15	25
2	33.63	35
1	42.41	50
1/0	53.48	70
2/0	67.43	70
3/0	85.03	95
4/0	107.20	120
250 MCM	126.7	150
300	151	185
350	177	185
400	202	240
500	253	300
600	303	400
700	354	400
750	380	400
800	407	500
900	455	500

# Anexo 27. FICHA TÉCNICA DEL GENERADOR ELÉCTRICO

HOJA DE DATOS		WEG							
Alternadores Sincrónicos									
Cliente	: CUEVA CALDERON - QUINONES LUCI	Notas:	REQUIERO DATOS TÉCNICOS DE GENERADOR ELÉCTRICO						
Referencia del cliente	: UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO								
Línea del producto	: GTA201AIHE	Código del producto	: 14419679						
Clasificación de área	: Segura		1010310182						
<b>Datos generales</b> Carcasa (IEC) : 200 Clase de aislamiento : 180°C (H) Distorsión armónica total (sin carga) (%) : ≤ 3% Paso del bobinado del estator principal : 2/3 Altitud : hasta 1000 m Número de Terminales : 12 Factor de potencia : 0.8 hasta 1.0 Sistema de excitación : Brushless con bobina auxiliar		Refrigeración : IC01 Grado de protección : IP23 Forma constructiva : B15T Polos - Tipo de polos : 4 Tipo de polo : Saliente Rotación (rpm) - 50Hz : 1500 rpm Rotación (rpm) - 60Hz : 1800 rpm Sobrevelocidad (rpm) : 2250 rpm Masa del alternador : 281 kg							
Frecuencia y número de fases									
		50 Hz		60 Hz					
		Trifásico	Monofásico	Trifásico	Monofásico	Trifásico	Monofásico		
Tensión (V)	Conexión Y	380	400	-	380	440	480	-	
	Conexión YY	190	200	-	190	220	240	-	
	Conexión Δ	220	230	-	220	254	277	-	
	Conexión ΔΔ	110	115	-	110	127	138	-	
	Monofásico zig-zag paralelo o triángulo monofásico	-	-	190 - 200	-	-	-	220 - 240	
Potencias (kVA)	ΔT=80°C (Ta=40°C)	51.0	51.0	32.3	62.1	66.0	66.1	38.7	
	ΔT=105°C (Ta=40°C)	59.0	59.0	36.9	71.2	75.6	75.7	44.4	
	ΔT=125°C (Ta=40°C)	70.0	70.0	40.4	80.0	88.0	88.0	48.4	
	ΔT=150°C (Ta=40°C)	72.0	72.0	44.3	83.0	95.0	95.0	53.0	
	ΔT=163°C (Ta=27°C)	74.0	74.0	46.1	86.4	97.0	97.0	55.3	
Datos eléctricos (f=0.8 / 71=25°C / Ta=40°C)	(%) Xd Reactancia sincrónica de eje directo	305.49	276.11	407.32	388.77	320.49	269.97	427.32	
	(%) X'd Reactancia transitoria de eje directo	25.19	22.75	33.59	32.16	26.45	22.25	35.27	
	(%) X''d Reactancia subtransitoria de eje directo	21.65	19.55	28.87	27.63	22.72	19.12	30.29	
	(%) Xq Reactancia sincrónica de eje en cuadratura	116.2	105.02	154.93	147.85	121.9	102.69	162.53	
	(%) X''q Reactancia subtrans. de eje en cuadratura	19.35	17.47	25.8	24.73	20.31	17.08	27.08	
	(%) X2 Reactancia de sec. neg. de eje en cuadratura	20.44	18.45	27.25	26.1	21.45	18.04	28.6	
	(%) X0 Reactancia de secuencia cero saturada	3.61	3.26	4.81	4.61	3.79	3.19	5.05	
	(ms) T'd Cte. trans. de eje dir. en cortocirc. sat.	61.9	62.0	82.53	61.8	61.9	62.0	82.53	
	(ms) T''d Cte. subtrans. de eje dir. en cortocirc. sat.	1.0	1.0	1.33	1.0	1.0	1.0	1.33	
	(ms) T'do Cte. transitorio de circ. abierto saturada	761.5	762.6	1015.33	757.2	760.7	762.6	1014.27	
	(ms) T''do Cte. subtrans. de circ. abierto	1.2	1.2	1.6	1.2	1.2	1.2	1.6	
	(ms) Ta Cte. de cortocircuito da armadura	8.97	8.98	11.97	8.95	8.97	8.98	11.96	
	(V) uc Voltaje de excitación nominal	39.28	40.1	39.28	34.53	36.39	37.45	36.39	
	(A) ic Corriente de excitación nominal	4.08	4.17	4.08	3.59	3.78	3.89	3.78	
	(A) ic Corriente de excitación sin carga	0.7	0.8	0.93	0.4	0.6	0.8	0.8	
(A) Icc Corriente de mantenimiento de cortocircuito	341.85	341.85	455.8	364.64	364.64	364.64	486.19		
Kcc Relación de cortocircuito	0.36	0.42	0.48	0.26	0.33	0.43	0.44		
Rendimientos (%)	Factor de potencia	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0
	25% de carga	73.7	78.3	73.4	78.1	67.8	72.1	75.3	79.7
	50% de carga	81.6	85.4	81.3	85.2	75.1	78.6	82.8	86.2
	75% de carga	83.5	87.1	83.2	87	76.8	80.2	84.4	87.6
	100% de carga	83.5	87.3	83.4	87.4	76.8	80.3	84.3	87.6
	125% de carga	82.8	86.8	82.7	87	76.2	79.9	83.6	87
Rev.	Resumen de los cambios			Ejecutado	Verificado	Fecha			
Ejecutor					Página	Revisión			
Verificador					1 /				
Fecha									

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso. Los valores informados son típicos y sujetos a cambios sin previo aviso.

# HOJA DE DATOS

## Alternadores Sincrónicos



### Demais características

Flujo de aire	: 0.9 m³/s
Resistencia del estator de la excitatriz a 20°C	: 10.55 ohm
Resistencia del estator principal a 20°C	: 0.09886 ohm
Resistencia del rotor	: 0.98 ohm
Carnadas del bobinado del estator	: 2
Inercia WR2	: 0.49 kgm²
Rodamiento trasero	: 6210-2RS
Rodamiento LA	
Brida	: SAE 1
Disco de acoplamiento	: SAE 10

### Regulador de voltaje

Precisión (estabilidad)	: +/- 0.5%
Corriente nominal	: 5 A
Entrada analógica	: SI
Entrada digital	: No
Corriente de pico	: 7 A/10 s
Drop / TC	: SI
Respuesta dinámica	: 8 hasta 500 ms
UIF	: SI
Ajuste interno de voltaje	: +/- 15%
Ajuste externo de voltaje	: +/- 10%
Tiempo de respuesta transitoria para ΔU=20%	: 500 ms

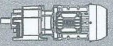


### Conforme normas:

IEC 60034
NBR 5117
NEMA MG1
VDE530
ISO 8528
CSA

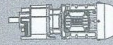


Rev.	Resumen de los cambios	Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor			Pagina	Revisión
Verificador			2 /	
Fecha				

Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso. Los valores informados son típicos y sujetos a cambios sin previo aviso.

**P<sub>N</sub> = 37,00 kW**

60 Hz				50 Hz				i <sub>es</sub>					
n <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	n <sub>1</sub> = 1750	fs	Fr	n <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	n <sub>1</sub> = 1450					fs	Fr
rpm	Nm			kN	rpm	Nm							kN
133,82	2640	1,85	55,0		110,88	3187	1,53	55,0	13,08	C13223	498		
122,11	2894	2,76	55,0		101,18	3492	2,29	55,0	14,33	C13224	498		
100,98	3499	2,29	55,0		83,67	4223	1,89	55,0	17,33	C13227	498		
87,23	4051	1,97	55,0		72,28	4889	1,64	55,0	20,06	C13229	498		
76,20	4637	1,73	55,0		63,13	5597	1,43	55,0	22,97	C13231	498		
78,51	4500	1,78	55,0		65,05	5432	1,47	55,0	22,29	C13326	509		
62,68	5637	1,42	55,0		51,94	6803	1,18	55,0	27,92	C13327	509		
50,86	6948	1,15	55,0		42,14	8385	0,95	**	34,41	C13328	509		
41,50	8514	0,94	**		34,39	10276	0,78	**	42,17	C13329	509		
39,03	9053	0,88	**		32,34	10926	0,73	**	44,83	C13330	509		
145,07	2436	3,30	65,0		120,20	2940	2,73	65,0	12,06	C14219	628		
124,60	2836	2,88	65,0		103,24	3423	2,38	65,0	14,05	C14221	628		
109,90	3215	2,09	65,0		91,06	3880	1,73	65,0	15,92	C14223	628		
99,43	3554	3,66	65,0		82,39	4289	3,03	65,0	17,60	C14224	628		
82,73	4271	3,04	65,0		68,55	5155	2,52	65,0	21,15	C14226	628		
71,05	4973	2,61	65,0		58,87	6002	2,17	65,0	24,63	C14228	628		
62,67	5638	2,09	65,0		51,93	6805	1,73	65,0	27,92	C14229	628		
78,10	4524	2,87	65,0		64,71	5460	2,38	65,0	22,41	C14326	646		
66,66	5301	2,45	65,0		55,23	6397	2,03	65,0	26,25	C14327	646		
56,60	6243	2,08	65,0		46,90	7535	1,73	65,0	30,92	C14328	646		
46,52	7595	1,71	65,0		38,55	9166	1,42	65,0	37,61	C14329	646		
42,76	8264	1,57	65,0		35,43	9973	1,30	65,0	40,93	C14330	646		
38,28	9230	1,41	65,0		31,72	11139	1,17	65,0	45,71	C14331	646		
36,50	9681	1,34	65,0		30,24	11684	1,11	65,0	47,95	C14332	646		
31,66	11161	1,16	65,0		26,23	13470	0,97	**	55,27	C14333	646		
30,99	11403	1,14	65,0		25,68	13762	0,94	**	56,47	C14334	646		
27,35	12920	1,01	**		22,66	15594	0,83	**	63,99	C14335	646		
25,47	13872	0,94	**		21,11	16742	0,78	**	68,70	C14336	646		
23,89	14791	0,88	**		19,79	17851	0,73	**	73,25	C14337	646		
129,74	2723	3,67	100,0		107,50	3287	3,04	100,0	13,49	C16223	822		
98,89	3573	2,09	100,0		81,94	4312	1,73	100,0	17,70	C16226	822		
69,57	5079	3,54	100,0		57,65	6130	2,94	100,0	25,15	C16228	822		
53,03	6863	2,09	100,0		43,94	8042	1,73	100,0	33,00	C16230	822		
55,47	6370	2,83	100,0		45,96	7688	2,34	100,0	31,55	C16330	852		
48,01	7361	2,45	100,0		39,78	8883	2,03	100,0	36,45	C16331	852		
41,26	8564	2,10	100,0		34,19	10335	1,74	100,0	42,41	C16332	852		
34,41	10269	1,75	100,0		28,51	12393	1,45	100,0	50,86	C16333	852		
30,86	11452	1,57	100,0		25,57	13821	1,30	100,0	56,72	C16334	852		
28,55	12376	1,45	100,0		23,66	14936	1,21	100,0	61,29	C16335	852		
26,70	13233	1,36	100,0		22,12	15971	1,13	100,0	65,54	C16336	852		
23,76	14875	1,21	100,0		19,68	17952	1,00	**	73,67	C16337	852		
22,95	15396	1,17	100,0		19,02	18581	0,97	**	76,25	C16338	852		
20,40	17319	1,04	100,0		16,90	20903	0,86	**	85,78	C16339	852		
19,14	18461	0,98	**		15,86	22281	0,81	**	91,43	C16340	852		
18,00	19635	0,92	**		14,91	23697	0,76	**	97,24	C16341	852		

**P<sub>N</sub> = 45,00 kW**

60 Hz				50 Hz				i <sub>es</sub>					
n <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	n <sub>1</sub> = 1750	fs	Fr	n <sub>2</sub>	M <sub>2</sub>	n <sub>1</sub> = 1450					fs	Fr
rpm	Nm			kN	rpm	Nm							kN
414,90	1036	1,76	4,0		343,78	1250	1,46	4,0	4,22	C09212	505		
324,40	1325	1,37	4,0		268,79	1599	1,14	4,0	5,39	C09214	505		
263,77	1629	1,12	4,0		218,55	1966	0,93	**	6,63	C09215	505		
236,60	1816	1,65	4,4		196,04	2192	1,37	2,0	7,40	C09216	505		
221,26	1942	0,94	**		183,33	2344	0,78	**	7,91	C09217	505		
184,99	2323	1,29	1,2		153,28	2804	1,07	1,2	9,46	C09219	505		
150,41	2857	1,05	**		124,63	3448	0,87	**	11,63	C09221	505		
126,18	3406	0,88	**		104,55	4111	0,73	**	13,87	C09224	505		

Legenda, ver página C 11

\*\*Sob consulta

## DENSIDAD DEL AGUA

Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>	Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>	Temperatura °C	Densidad kg / m <sup>3</sup>
0 (hielo)	917,00	33	994,76	67	979,34
0	999,82	34	994,43	68	978,78
1	999,89	35	994,08	69	978,21
2	999,94	36	993,73	70	977,63
3	999,98	37	993,37	71	977,05
4	1000,00	38	993,00	72	976,47
5	1000,00	39	992,63	73	975,88
6	999,99	40	992,25	74	975,28
7	999,96	41	991,86	75	974,68
8	999,91	42	991,46	76	974,08
9	999,85	43	991,05	77	973,46
10	999,77	44	990,64	78	972,85
11	999,68	45	990,22	79	972,23
12	999,58	46	989,80	80	971,60
13	999,46	47	989,36	81	970,97
14	999,33	48	988,92	82	970,33
15	999,19	49	988,47	83	969,69
16	999,03	50	988,02	84	969,04
17	998,86	51	987,56	85	968,39
18	998,68	52	987,09	86	967,73
19	998,49	53	986,62	87	967,07
20	998,29	54	986,14	88	966,41
21	998,08	55	985,65	89	965,74
22	997,86	56	985,16	90	965,06
23	997,62	57	984,66	91	964,38
24	997,38	58	984,16	92	963,70
25	997,13	59	983,64	93	963,01
26	996,86	60	983,13	94	962,31
27	996,59	61	982,60	95	961,62
28	996,31	62	982,07	96	960,91
29	996,02	63	981,54	97	960,20
30	995,71	64	981,00	98	959,49
31	995,41	65	980,45	99	958,78
32	995,09	66	979,90	100	958,05



## CARACTERÍSTICAS DEL AISI 304

Composición Química						
%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Ni	%Cr
0 - 0.08	0 - 1	0 - 2	0 - 0.045	0 - 0.03	8 - 10.5	18 - 20

Propiedades Mecánicas			
Resistencia Mecánica (N/mm <sup>2</sup> )	Punto de Fluencia (N/mm <sup>2</sup> )	Elongación %Min.	Dureza ROKWELL B
520	220	20	249 - 278

## FACTORES DE SEGURIDAD DE DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS

Según Joseph Vidosic, "Machine Design Projects", The Ronald Press, New York.

Caso	Factor de Seguridad <i>FS</i>	Observaciones
<b>1</b>	1,25 ... 1,5	Para materiales excepcionalmente confiables usados bajo condiciones controladas y sujetos a carga y esfuerzos que pueden determinarse con exactitud. Una consideración muy importante es que casi siempre se usan para pesos pequeños.
<b>2</b>	1,5 ... 2	Para materiales bien conocidos, para condiciones de medio ambiente razonablemente constantes y sujetos a carga y esfuerzos que puedan calcularse con facilidad.
<b>3</b>	2 ... 2,5	Para materiales promedio que trabajen en condiciones de medio ambiente ordinarias y sujetos a cargas y esfuerzos que puedan calcularse.
<b>4</b>	2,5 ... 3	Para materiales poco experimentados o para materiales frágiles en condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo.
<b>5</b>	3 ... 4	Para materiales no experimentados usados para condiciones promedio de medio ambiente, carga y esfuerzo.
<b>6</b>	3 ... 4	Deberá también usarse con materiales mejor conocidos que vayan a usarse en condiciones ambientales inciertas o sujetos a cargas y esfuerzo inciertos.

## PROPIEDADES DEL ACERO

Material	Modulus of Elasticity E		Modulus of Rigidity G		Poisson's Ratio $\nu$	Unit Weight w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lbf/in <sup>3</sup>	lbf/ft <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>
Aluminum (all alloys)	10.4	71.7	3.9	26.9	0.333	0.098	169	26.6
Beryllium copper	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Brass	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Carbon steel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Cast iron (gray)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Copper	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Douglas fir	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Glass	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Lead	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesium	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molybdenum	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel metal	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Nickel silver	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Nickel steel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Phosphor bronze	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Stainless steel (18-8)	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0
Titanium alloys	16.5	114.0	6.2	42.4	0.340	0.160	276	43.4

## FACTOR DE SERVICIO

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

## FACTOR DE CORRECCIÓN POR NÚMERO DE DIENTES

Número de dientes en catarina impulsora	Potencia preextremo, $K_1$	Potencia posextremo, $K_1$
11	0.62	0.52
12	0.69	0.59
13	0.75	0.67
14	0.81	0.75
15	0.87	0.83
16	0.94	0.91
17	1.00	1.00
18	1.06	1.09
19	1.13	1.18
20	1.19	1.28
$N$	$(N_1/17)^{1.08}$	$(N_1/17)^{1.5}$

## FACTOR DE CORRECCIÓN POR NÚMERO DE TORONES

Número de torones	$K_2$
1	1.0
2	1.7
3	2.5
4	3.3
5	3.9
6	4.6
8	6.0

## CAPACIDAD NOMINAL DE POTENCIAS TABULADAS DE CADENAS

Velocidad de la catarina, rpm		Número ANSI de cadena							
		80	100	120	140	160	180	200	240
50	Tipo A	2.88	5.52	9.33	14.4	20.9	28.9	38.4	61.8
100		5.38	10.3	17.4	26.9	39.1	54.0	71.6	115
150		7.75	14.8	25.1	38.8	56.3	77.7	103	166
200		10.0	19.2	32.5	50.3	72.9	101	134	215
300		14.5	27.7	46.8	72.4	105	145	193	310
400	Tipo B	18.7	35.9	60.6	93.8	136	188	249	359
500		22.9	43.9	74.1	115	166	204	222	0
600		27.0	51.7	87.3	127	141	155	169	
700		31.0	59.4	89.0	101	112	123	0	
800		35.0	63.0	72.8	82.4	91.7	101		
900		39.9	52.8	61.0	69.1	76.8	84.4		
1 000		37.7	45.0	52.1	59.0	65.6	72.1		
1 200		28.7	34.3	39.6	44.9	49.9	0		
1 400		22.7	27.2	31.5	35.6	0			
1 600		18.6	22.3	25.8	0				
1 800	15.6	18.7	21.6						
2 000	13.3	15.9	0						
2 500	9.56	0.40							
3 000	7.25	0							
<b>Tipo C</b>		<b>Tipo C'</b>							

*Nota:* Tipo A, lubricación manual o por goteo; tipo B, lubricación por baño o disco; tipo C, lubricación por chorro de aceite; tipo C', es tipo C, pero ésta es una región de excoiación; envíe el diseño al fabricante para su evaluación.

## DIMENSIONES DE CADENAS ESTÁNDARES DE RODILLOS

Número de cadena ANSI	Paso, pulg (mm)	Ancho, pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión, lbf (N)	Peso promedio, lbf/pie (N/m)	Diámetro del rodillo, pulg (mm)	Espaciamiento de torones múltiples, pulg (mm)
25	0.250 (6.35)	0.125 (3.18)	780 (3 470)	0.09 (1.31)	0.130 (3.30)	0.252 (6.40)
35	0.375 (9.52)	0.188 (4.76)	1 760 (7 830)	0.21 (3.06)	0.200 (5.08)	0.399 (10.13)
41	0.500 (12.70)	0.25 (6.35)	1 500 (6 670)	0.25 (3.65)	0.306 (7.77)	— —
40	0.500 (12.70)	0.312 (7.94)	3 130 (13 920)	0.42 (6.13)	0.312 (7.92)	0.566 (14.38)
50	0.625 (15.88)	0.375 (9.52)	4 880 (21 700)	0.69 (10.1)	0.400 (10.16)	0.713 (18.11)
60	0.750 (19.05)	0.500 (12.7)	7 030 (31 300)	1.00 (14.6)	0.469 (11.91)	0.897 (22.78)
80	1.000 (25.40)	0.625 (15.88)	12 500 (55 600)	1.71 (25.0)	0.625 (15.87)	1.153 (29.29)
100	1.250 (31.75)	0.750 (19.05)	19 500 (86 700)	2.58 (37.7)	0.750 (19.05)	1.409 (35.76)
120	1.500 (38.10)	1.000 (25.40)	28 000 (124 500)	3.87 (56.5)	0.875 (22.22)	1.789 (45.44)
140	1.750 (44.45)	1.000 (25.40)	38 000 (169 000)	4.95 (72.2)	1.000 (25.40)	1.924 (48.87)
160	2.000 (50.80)	1.250 (31.75)	50 000 (222 000)	6.61 (96.5)	1.125 (28.57)	2.305 (58.55)
180	2.250 (57.15)	1.406 (35.71)	63 000 (280 000)	9.06 (132.2)	1.406 (35.71)	2.592 (65.84)
200	2.500 (63.50)	1.500 (38.10)	78 000 (347 000)	10.96 (159.9)	1.562 (39.67)	2.817 (71.55)
240	3.00 (76.70)	1.875 (47.63)	112 000 (498 000)	16.4 (239)	1.875 (47.62)	3.458 (87.83)

## FACTOR DE CORRECCIÓN POR SUPERFICIE

Acabado superficial	Factor <i>a</i>		Exponente <i>b</i>
	<i>S<sub>utr</sub></i> kpsi	<i>S<sub>utr</sub></i> 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

## FACTOR DE CORRECCIÓN POR TAMAÑO

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

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1$$

## FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA

Temperatura, °C	$S_T/S_{RT}$	Temperatura, °F	$S_T/S_{RT}$
20	1.000	70	1.000
50	1.010	100	1.008
100	1.020	200	1.020
150	1.025	300	1.024
200	1.020	400	1.018
250	1.000	500	0.995
300	0.975	600	0.963
350	0.943	700	0.927
400	0.900	800	0.872
450	0.843	900	0.797
500	0.768	1 000	0.698
550	0.672	1 100	0.567
600	0.549		

## FACTOR DE CORRECCIÓN CONFIABILIDAD

Confiabilidad, %	Variación de transformación $z_a$	Factor de confiabilidad $k_a$
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

## TABLA DE PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES AISI

**Tabla A-20**

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ( $\frac{3}{4}$  a  $1\frac{1}{4}$  pulg)]. Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

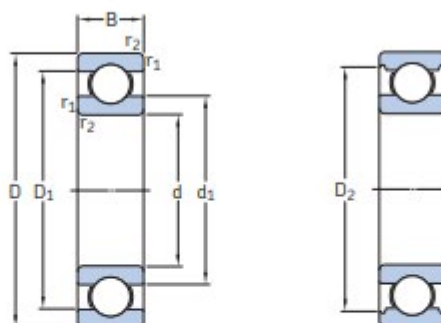
## VALORES SUGERIDOS DE LA VIDA NOMINAL DE RODAMIENTOS SKF

Guía de valores requeridos de vida nominal L10h para diferentes clases de máquinas	
Clases de máquinas	L10h horas de servicio
Electrodomésticos, máquinas agrícolas, instrumentos, aparatos para uso médico.	300 a 3 000
Máquinas usadas intermitente o por cortos períodos: Máquinas-herramienta portátiles, aparatos elevadores para talleres, máquinas para la construcción.	3 000 a 8 000
Máquinas para trabajar con alta fiabilidad de funcionamiento por cortos períodos o intermitentemente: Ascensores, grúas para mercancías embaladas.	8 000 a 12 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario no totalmente utilizadas: Transmisiones por engranajes para uso general, motores eléctricos para uso industrial, machacadoras giratorias.	10 000 a 25 000
Máquinas para 8 horas de trabajo diario totalmente utilizadas: Máquinas-herramientas, máquinas para trabajar la madera, máquinas para la industria mecánica general, grúas para materiales a granel, ventiladores, cintas transportadoras, equipo de imprenta, separadores y centrifugas.	20 000 a 30 000
Máquinas para trabajo continuo, 24 horas al día: Cajas de engranajes para laminadores, maquinaria eléctrica de tamaño medio, compresores, tornos de extracción para minas, bombas, maquinaria textil.	40 000 a 50 000
Maquinaria para abastecimiento de agua, homos giratorios, máquinas cableadoras, maquinaria de propulsión para trasatlánticos.	60 000 a 100 000
Maquinaria eléctrica de gran tamaño, centrales eléctricas, ventiladores y bombas para minas, rodamientos para la línea de eje de trasatlánticos.	» 100 000



## RODAMIENTO SKF RÍGIDO DE BOLAS

### Rodamientos rígidos de una hilera de bolas d 150 – 180 mm



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
<b>150</b>	190	20	48,8	61	1,96	6 700	4 300	1,2	<b>61830</b>
	210	28	88,4	93	2,9	6 300	5 300	3,05	<b>61930 MA</b>
	225	24	92,3	98	3,05	6 000	3 800	3,15	<b>16030</b>
	225	35	125	125	3,9	6 000	3 800	4,3	<b>6030</b>
	270	45	174	166	4,9	5 000	3 200	10	<b>6230</b>
	320	65	276	285	7,8	4 300	2 800	23	<b>6330</b>
	320	65	276	285	7,8	4 300	4 000	26	<b>6330 M</b>
<b>160</b>	200	20	49,4	64	2	6 300	4 000	1,25	<b>61832</b>
	220	28	92,3	98	3,05	6 000	3 800	2,7	<b>61932</b>
	220	28	92,3	98	3,05	6 000	5 000	3,2	<b>61932 MA</b>
	240	25	99,5	108	3,25	5 600	3 600	3,65	<b>16032</b>
	240	38	143	143	4,3	5 600	3 600	5,2	<b>6032</b>
	290	48	186	186	5,3	4 500	3 000	13	<b>6232</b>
	340	68	276	285	7,65	4 000	2 600	26	<b>6332</b>
340	68	276	285	7,65	4 000	3 800	30,5	<b>6332 M</b>	
<b>170</b>	215	22	61,8	78	2,4	6 000	3 600	1,65	<b>61834</b>
	230	28	93,6	106	3,15	5 600	4 800	3,4	<b>61934 MA</b>
	260	28	119	129	3,75	5 300	3 200	5	<b>16034</b>
	260	42	168	173	5	5 300	3 200	7	<b>6034</b>
	260	42	168	173	5	5 300	4 300	8,15	<b>6034 M</b>
	310	52	212	224	6,1	4 300	2 800	16	<b>6234</b>
	310	52	212	224	6,1	4 300	3 800	18	<b>6234 M</b>
360	72	312	340	8,8	3 800	2 400	31	<b>6334</b>	
360	72	312	340	8,8	3 800	3 400	36	<b>6334 M</b>	
<b>180</b>	225	22	62,4	81,5	2,45	5 600	3 400	1,75	<b>61836</b>
	250	33	119	134	3,9	5 300	3 200	5	<b>61936</b>
	250	33	119	134	3,9	5 300	4 300	5	<b>61936 MA</b>
	280	31	138	146	4,15	4 800	3 000	6,5	<b>16036</b>
	280	46	190	200	5,6	4 800	3 000	9,1	<b>6036</b>
	280	46	190	200	5,6	4 800	4 000	10,5	<b>6036 M</b>
	320	52	229	240	6,4	4 000	2 600	4,2	<b>6236</b>
	320	52	229	240	6,4	4 000	3 800	18,5	<b>6236 M</b>
	380	75	351	405	10,4	3 600	2 200	36,5	<b>6336</b>
	380	75	351	405	10,4	3 600	3 200	42	<b>6336 M</b>

**SKF**


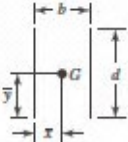
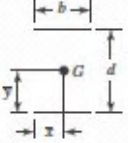
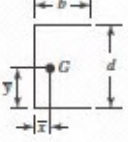
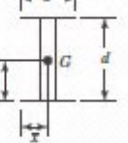

## TAMAÑOS DE SOLDADURA

Tamaños mínimos de soldaduras de filete		
Espesor de la más gruesa de las partes unidas mm (pulg.)		Tamaño <sup>1</sup> mínimo del filete mm (pulg.)
menor o igual que 6.3	( $\leq 1/4$ )	3.2 ( $1/8$ )
más de 6.3 hasta 12.7	( $1/4$ a $1/2$ )	4.8 ( $3/16$ )
más de 12.7 hasta 19.1	( $1/2$ a $3/4$ )	6.3 ( $1/4$ )
mayor que 19.1	( $> 3/4$ )	7.9 ( $5/16$ )

<sup>1</sup> Dimensión de la pierna del filete de soldadura. Deben usarse soldaduras depositadas en un solo paso.


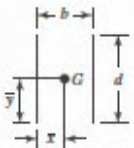
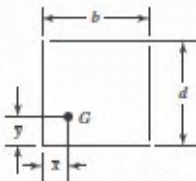
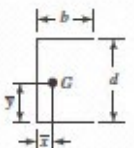
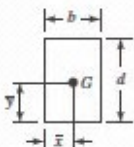

## PROPIEDADES FLEXIONANTE DE LA SOLDADURA

Propiedades flexionantes de las soldaduras de filete\*

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$
	$A = 1.414\pi r$		$I_u = \pi r^3$

## PROPIEDADES TORSIONANTE DE LA SOLDADURA

Propiedades torsionales de las soldaduras de filete\*

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento polar unitario del área
	$A = 0.707 hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = d^3/12$
	$A = 1.41 hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{d(3b^2 + d^2)}{6}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2(b+d)}$ $\bar{y} = \frac{d^2}{2(b+d)}$	$J_u = \frac{(b+d)^4 - 6b^2d^2}{12(b+d)}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b+d}$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{8b^3 + 6bd^2 + d^3}{12} - \frac{b^4}{2b+d}$
	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$J_u = \frac{(b+d)^3}{6}$
	$A = 1.414 \pi r$		$J_u = 2\pi r^3$

## Anexo 28. CATÁLOGO DEL ELECTRODO E7018

### Fichas Técnicas



**INDURA®**  
Tecnología a su servicio  
GASES • SOLDADURAS • EQUIPOS

#### Indura 7018 - AR

#### Clasificación AWS: E-7018

- Electrodo para acero al carbono
- Con hierro en polvo
- Toda posición
- Corriente continua. Electrodo positivo
- Revestimiento: Gris
- Aprobado anualmente por el Lloyd's Register of Shipping, American Bureau of Shipping, Bureau Veritas, Germanischer Lloyd y Det Norske Veritas.

#### Descripción

El electrodo 7018-AR es de bajo contenido de hidrógeno y resistente a la humedad. Está especialmente diseñado para soldaduras que requieren severos controles radiográficos en toda posición. Su arco es suave y la pérdida por salpicadura es baja.

#### Usos

El 7018-RH es recomendado para trabajos donde se requiere alta calidad radiográfica, particularmente en calderas y cañerías. Por sus buenas propiedades físicas es ideal para ser usado en astilleros.

#### Aplicaciones típicas

- Aceros Cor-Ten, Mayari-R
- Luken 45 y 50
- Yolo y otros aceros estructurales de baja aleación.

#### Procedimiento para soldar

Para soldaduras de filetes horizontales y trabajo de soldadura en sentido vertical descendente, se debe usar un arco corto. No se recomienda la técnica de arrastre.

En la soldadura en posición de sobrecabeza debe usarse un arco corto con ligero movimiento oscilatorio en dirección de avance. Debe evitarse la oscilación brusca del electrodo.

#### Composición química (típica del metal depositado):

C 0,06%; Mn 1,00%; P 0,012%; S 0,015%; Si 0,48%

#### Características típicas del metal depositado:

Resultados de pruebas de tracción con probetas de metal de aporte (según norma AWS: A5.1-91):

Requerimientos según norma AWS: A5.1-91:

Resistencia a la tracción :	73.000 lb/pulg <sup>2</sup> (453 MPa)	70.000 lb/pulg <sup>2</sup> (414 MPa)
Límite de fluencia :	63.300 lb/pulg <sup>2</sup> (384 MPa)	58.000 lb/pulg <sup>2</sup> (331 MPa)
Alargamiento en 50 mm. :	30%	22%

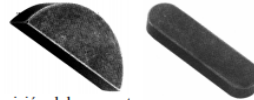
#### Amperajes recomendados:

Diámetro pulg.	Electrodo mm.	Longitud pulg.	Electrodo mm.	Amperaje		Electrodos x kg. aprox.
				min.	max.	
3/32	2,4	12	300	70	120	65
1/8	3,2	14	350	120	150	32
5/32	4,0	14	350	140	200	19
3/16	4,8	14	350	200	275	14

# Anexo 29. FICHA TÉCNICA DE CANAL CHAVETERO Y CHAVETA



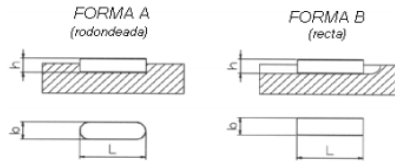
## Chavetas



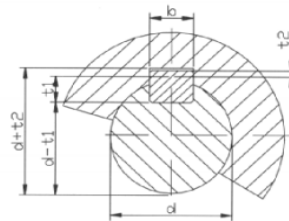
La lengüeta o chaveta normalmente es usada para la transmisión del momento torsor del eje al cubo.

### Chaveta según la normativa UNI 6604-69 – din 6885

Forma A: los extremos con forma redondeada, con radio par hacia mitad de la base.  
Forma B: los extremos rectos.



APLICACIÓN



Campo de aplicación	Chaveta				Chavetero												
	Diámetro eje d	Sección		Dim. nom. b	Largo						Profundidad						
		Dimen normal b x h	Toleran sobre		Tolerancia sobre b			Por cubo			Eje		Cubo				
			b <sup>90°</sup>		h*	Por eje	Por eje	Por eje	D10	Js9	P9	Nom	Tol.	Nom	Tol.		
De Hasta	6 8	2x2	0	0	2												
Más de hasta	8 10	3x3	-0,025	-0,025	3	+0,025	-0,004	-0,006	+0,060	±0,012	-0,006		1,2		1		
Más de hasta	10 12	4x4	0	0	4								1,8		1,4		
Más de hasta	12 17	5x5	-0,030	-0,030	5	+0,030	0	-0,012	+0,078	±0,015	-0,012		2,5	+0,1	1,8	+0,1	0
Más de hasta	17 22	6x6	0	0	6								3		2,3		
Más de hasta	22 30	8x7	0	0	8								3,5		3,5		
Más de hasta	30 38	10x8	-0,036	0	10	+0,036	0	-0,015	+0,098	±0,018	-0,015		5		3,3		
Más de hasta	38 44	12x8	0	-0,090	12								5		3,3		
Más de hasta	44 50	14x9	0	0	14								5,5		3,8		
Más de hasta	50 58	16x10	-0,043	0	16	+0,043	0	-0,018	+0,120	±0,021	-0,018		6		4,3		
Más de hasta	58 60	18x11	0	0	18								7		4,4		
Más de hasta	60 65	20x12	0	0	20								7,5	+0,2	4,9	+0,2	0
Más de hasta	65 75	22x14	0	0	22								9		5,4		
Más de hasta	75 85	25x14	-0,052	-0,110	25	+0,052	0	-0,022	+0,149	±0,026	-0,022		9		5,4		
Más de hasta	85 95	28x16	0	0	28								10		6,4		
Más de hasta	95 110	32x18	0	0	32								11				
Más de hasta	110 130	36x20	0	0	36								12		8,4		
Más de hasta	130 150	40x22	-0,062	0	40	+0,062	0	-0,026	+0,180	±0,031	-0,026		13		9,4		
Más de hasta	150 170	40x22	-0,062	0	40	+0,062	0	-0,026	+0,180	±0,031	-0,026		13		9,4		

## CATÁLOGO DE PIÑONES Y CADENAS

Cadena	T 450		35-3		D 455 T 455		332, 385 40 40-2 40-3					
	Paso p rodillo d <sub>t</sub>	5	6	8	9,525	9,525	12,7					
N.º dientes z	Ø pri- mitivo d <sub>o</sub>	Ø ex- terior d <sub>k</sub>	Ø pri- mitivo d <sub>o</sub>	Ø ex- terior d <sub>k</sub>	Ø pri- mitivo d <sub>o</sub>	Ø ex- terior d <sub>k</sub>	Ø pri- mitivo d <sub>o</sub>	Ø ex- terior d <sub>k</sub>				
11	17,75	19,6	21,30	23,6	28,40	31,2	33,81	36,5	33,81	37,5	45,08	49,6
12	19,32	21,2	23,18	25,6	30,91	33,8	36,80	39,6	36,80	40,6	49,07	53,8
13	20,89	22,8	25,07	27,5	33,43	36,4	39,80	42,7	39,80	43,7	53,07	57,9
14	22,47	24,5	26,96	29,5	35,95	39,0	42,81	45,8	42,81	46,8	57,07	62,0
15	24,05	26,1	28,86	31,4	38,48	41,6	45,81	48,9	45,81	49,9	61,08	66,1
16	25,63	27,7	30,75	33,3	41,01	44,2	48,82	52,0	48,82	53,0	65,10	70,2
17	27,21	29,3	32,65	35,2	43,54	46,8	51,84	55,0	51,84	56,0	69,12	74,3
18	28,79	30,9	34,55	37,2	46,07	49,5	54,85	58,1	54,85	59,1	73,14	78,4
19	30,38	32,5	36,45	39,1	48,60	51,9	57,87	61,2	57,87	62,2	77,16	82,5
20	31,96	34,2	38,36	41,1	51,14	54,5	60,89	64,2	60,89	65,2	81,18	86,6
21	33,55	35,7	40,26	43,0	53,68	57,1	63,91	67,3	63,91	68,3	85,21	90,6
22	35,13	37,3	42,16	44,9	56,21	59,6	66,93	70,3	66,93	71,3	89,24	94,7
23	36,72	38,9	44,06	46,8	58,75	62,2	69,95	73,4	69,95	74,4	93,27	98,8
24	38,31	40,5	45,97	48,8	61,29	64,8	72,97	76,4	72,97	77,4	97,30	102,9
25	39,89	42,2	47,87	50,7	63,83	67,3	76,00	79,5	76,00	80,5	101,33	106,9
26	41,48	43,7	49,78	52,6	66,37	69,9	79,02	82,5	79,02	83,5	105,36	111,0
27	43,07	45,3	51,68	54,5	68,91	72,4	82,05	85,6	82,05	86,6	109,40	115,0
28	44,66	46,9	53,59	56,4	71,45	75,0	85,07	88,6	85,07	89,6	113,43	119,1
29	46,25	48,5	55,49	58,4	73,99	77,5	88,10	91,7	88,10	92,7	117,46	123,2
30	47,83	50,1	57,40	60,3	76,53	80,1	91,12	94,7	91,12	95,7	121,50	127,2
31	49,42	51,7	59,31	62,2	79,08	82,7	94,15	97,8	94,15	98,8	125,53	131,3
32	51,01	53,3	61,21	64,1	81,62	85,7	97,18	100,8	97,18	101,8	129,57	135,3
33	52,60	54,9	63,12	66,0	84,16	87,8	100,20	103,8	100,20	104,8	133,61	139,4
34	54,19	56,5	65,03	67,9	86,70	90,3	103,23	106,9	103,23	107,9	137,64	143,4
35	55,78	58,2	66,93	69,8	89,25	92,9	106,26	109,9	106,26	110,9	141,68	147,5
36	57,37	59,7	68,84	71,8	91,79	95,4	109,29	113,0	109,29	114,0	145,72	151,5
37	58,96	61,3	70,75	73,7	94,33	98,0	112,31	116,0	112,31	117,0	149,75	155,6
38	60,55	62,9	72,66	75,6	96,88	100,5	115,34	119,0	115,34	120,0	153,79	159,6
39	62,14	64,5	74,57	77,5	99,42	103,1	118,37	122,1	118,37	123,1	157,83	163,7
40	63,73	66,1	76,47	79,4	101,96	105,6	121,40	125,1	121,40	126,1	161,87	167,7
41	65,32	67,7	78,38	81,3	104,51	108,2	124,43	128,1	124,43	129,1	165,91	171,8
42	66,91	69,3	80,29	83,2	107,05	110,7	127,46	131,2	127,46	132,2	169,95	175,9
43	68,50	70,9	82,20	85,2	109,60	113,3	130,49	134,2	130,49	135,2	173,98	179,9
44	70,09	72,5	84,11	87,1	112,14	115,8	133,52	137,2	133,52	138,2	178,02	184,0
45	71,68	74,1	86,01	89,0	114,68	118,4	136,55	140,3	136,55	141,3	182,06	188,0
46	73,27	75,7	87,92	90,9	117,23	120,9	139,58	143,3	139,58	144,3	186,10	192,0
47	74,86	77,3	89,83	92,8	119,77	123,5	142,61	146,4	142,61	147,4	190,14	196,1
48	76,45	78,8	91,74	94,7	122,32	126,0	145,64	149,4	145,64	150,4	194,18	200,1
49	78,04	80,4	93,65	96,6	124,86	128,6	148,67	152,4	148,67	153,4	198,22	204,2
50	79,63	82,0	95,56	98,5	127,41	131,1	151,70	155,5	151,70	156,5	202,26	208,2
51	81,22	83,6	97,46	100,5	129,95	133,7	154,73	158,5	154,73	159,5	206,30	212,3
52	82,81	85,2	99,37	102,4	132,50	136,2	157,75	161,5	157,75	162,5	210,34	216,3
53	84,40	86,8	101,28	104,3	135,04	138,8	160,78	164,5	160,78	165,6	214,38	220,4
54	85,99	88,4	103,19	106,2	137,59	141,3	163,81	167,6	163,81	168,6	218,42	224,4
55	87,58	90,0	105,10	108,1	140,13	143,9	166,85	170,6	166,85	171,6	222,46	228,5
56	89,17	91,6	107,01	110,0	142,68	146,4	169,88	173,7	169,88	174,7	226,50	232,5
57	90,76	93,2	108,92	111,9	145,22	149,0	172,91	176,7	172,91	177,7	230,54	236,6
58	92,35	94,8	110,83	113,8	147,77	151,5	175,94	179,8	175,94	180,8	234,58	240,6
59	93,94	96,4	112,74	115,8	150,31	154,1	178,97	182,8	178,97	183,8	238,62	244,7
60	95,53	98,0	114,64	117,7	152,86	156,7	182,00	185,8	182,00	186,8	242,66	248,7
61	97,12	99,6	116,55	119,6	155,40	159,2	185,03	188,9	185,03	189,9	246,70	252,8
62	98,71	101,2	118,46	121,5	157,95	161,7	188,06	191,9	188,06	192,9	250,74	256,8
63	100,30	102,8	120,37	123,4	160,50	164,3	191,09	194,9	191,09	195,9	254,79	260,9
64	101,89	104,3	122,28	125,3	163,04	166,8	194,12	198,0	194,12	199,0	258,83	264,9
65	103,48	105,9	124,19	127,2	165,59	169,4	197,15	201,0	197,15	202,0	262,87	268,9

# Diámetros primitivos y diámetro exterior $d_k$

(Ruedas para cadenas de rodillos DIN 8187, DIN 8188 y Norma de Fábrica)



Cadena	460		50 H	500	60 H	515	80 H	548	100 HX	563	120 HX	
	D 462	T 462	50 HX	501	60 HX	517	80 HX	D 548	100	D 563	120	
Paso p	12,7		15,875		19,05		25,4		31,75		38,1	
Rodillo $d_1$	8,51		10,16		11,91–12,07		15,88		19,05		22,23	
Nº dientes z	$\emptyset$ primitivo $d_0$	$\emptyset$ exterior $d_k$	$\emptyset$ primitivo $d_0$	$\emptyset$ exterior $d_k$	$\emptyset$ primitivo $d_0$	$\emptyset$ exterior $d_k$	$\emptyset$ primitivo $d_0$	$\emptyset$ exterior $d_k$	$\emptyset$ primitivo $d_0$	$\emptyset$ exterior $d_k$	$\emptyset$ primitivo $d_0$	$\emptyset$ exterior $d_k$
11	45,08	50,0	56,35	62,2	67,62	74,5	90,16	99,2	112,69	123,4	135,23	147,6
12	49,07	54,2	61,34	67,4	73,60	80,7	98,14	107,5	122,67	133,7	147,21	160,0
13	53,07	58,3	66,34	72,5	79,60	86,9	106,14	115,7	132,67	144,0	159,21	172,4
14	57,07	62,4	71,34	77,7	85,61	93,1	114,15	124,0	142,68	154,3	171,22	184,7
15	61,08	66,5	76,35	82,8	91,62	99,2	122,17	132,2	152,71	164,6	183,25	197,0
16	65,10	70,6	81,37	87,9	97,65	105,4	130,20	140,4	162,74	174,9	195,29	209,3
17	69,12	74,7	86,39	93,0	103,67	111,5	138,23	148,5	172,79	185,1	207,35	221,6
18	73,14	78,8	91,42	98,1	109,71	117,7	146,27	156,7	182,84	195,3	219,41	233,9
19	77,16	82,9	96,45	103,2	115,74	123,8	154,32	164,9	192,90	205,5	231,48	246,1
20	81,18	87,0	101,48	108,3	121,78	129,9	162,37	173,0	202,96	215,7	243,55	253,4
21	85,21	91,0	106,51	113,4	127,82	136,0	170,42	181,2	213,03	225,9	255,63	270,6
22	89,24	95,1	111,55	118,5	133,86	142,1	178,48	189,3	223,10	236,1	267,72	282,8
23	93,27	99,2	116,59	123,6	139,90	148,2	186,54	197,5	233,17	246,2	279,81	295,0
24	97,30	103,3	121,62	128,7	145,95	154,3	194,60	205,6	243,25	256,4	291,90	307,2
25	101,33	107,3	126,66	133,8	151,99	160,4	202,66	213,7	253,32	266,6	303,99	319,4
26	105,36	111,4	131,70	138,8	158,04	166,5	210,72	221,9	263,40	276,7	316,09	331,6
27	109,40	115,4	136,74	143,9	164,09	172,6	218,79	230,0	273,49	286,9	328,19	343,8
28	113,43	119,5	141,79	149,0	170,14	178,7	226,86	238,1	283,57	297,0	340,29	355,9
29	117,46	123,6	146,83	154,1	176,20	184,8	234,93	246,2	293,66	307,2	352,39	368,1
30	121,50	127,6	151,87	159,1	182,25	190,9	243,00	254,3	303,75	317,3	364,50	380,3
31	125,53	131,7	156,92	164,2	188,30	197,0	251,07	262,5	313,83	327,5	376,60	392,5
32	129,57	135,7	161,95	169,3	194,35	203,0	259,14	270,6	323,92	337,6	388,71	404,6
33	133,61	139,8	167,01	174,4	200,41	209,1	267,21	278,7	334,01	347,7	400,82	416,8
34	137,64	143,8	172,05	179,4	206,46	215,2	275,29	286,8	344,11	357,9	412,93	428,9
35	141,68	147,9	177,10	184,5	212,52	221,3	283,36	294,9	354,20	368,0	425,04	441,1
36	145,72	152,0	182,14	189,6	218,57	227,4	291,43	303,0	364,29	378,1	437,15	453,3
37	149,75	156,0	187,19	194,6	224,63	233,5	299,51	311,1	374,38	388,3	449,26	465,4
38	153,79	160,1	192,24	199,7	230,69	239,5	307,58	319,2	384,48	398,4	461,38	477,6
39	157,83	164,1	197,29	204,8	236,74	245,6	315,66	327,3	394,57	408,5	473,49	489,8
40	161,87	168,2	202,35	209,8	242,80	251,7	323,74	335,4	404,67	418,7	485,60	501,9
41	165,91	172,2	207,38	214,9	248,86	257,8	331,81	343,5	414,77	428,8	497,72	514,1
42	169,95	176,3	212,43	219,9	254,92	263,8	339,89	351,6	424,86	438,9	509,84	526,2
43	173,98	180,3	217,48	225,0	260,98	269,9	347,97	359,7	434,96	449,0	521,95	538,4
44	178,02	184,4	222,53	230,1	267,04	276,0	356,05	367,8	445,06	459,2	534,07	551,5
45	182,06	188,4	227,58	235,1	273,09	282,0	364,12	375,9	455,16	469,3	546,19	563,6
46	186,10	192,5	232,63	240,2	279,15	288,1	372,20	384,0	465,25	479,4	558,31	575,8
47	190,14	196,5	237,68	245,3	285,21	294,2	380,28	392,1	475,35	489,5	570,42	586,9
48	194,18	200,6	242,73	250,3	291,27	300,3	388,36	400,2	485,45	499,6	582,54	599,1
49	198,22	204,6	247,78	255,4	297,33	306,4	396,44	408,3	495,55	509,8	594,66	611,2
50	202,26	208,6	252,83	260,4	303,39	312,4	404,52	416,4	505,65	519,9	606,78	623,4
51	206,30	212,7	257,88	265,5	309,45	318,5	412,60	424,5	515,75	530,0	618,90	635,5

## ESFUERZO DE TERRENOS Y CONCRETO O HORMIGÓN DE 22000 N/M3

Naturaleza	Esfuerzo admisible KPa
Roca dura solida	2400
Pizarra o roca mediana	960
Roca blanda	480
Arcilla dura o grava compacta	380
Arcilla blanda o arena suelta	100



**INFORME LEGAL DEL SECTOR POBLADO DE SAUSICUCHO-DISTRITO DE CACHACHI**



MUNICIPALIDAD DEL CENTRO POBLADO  
*San Miguel de Algamarca*

**"AÑO DE LA LUCHA CONTRA LA  
CORRUPCIÓN E IMPUNIDAD"**

Algamarca, 09 de Abril del 2019.

**INFORME DEL SECTOR SAUSICUCHO-CENTRO POBLADO DE ALGAMARCA-DISTRITO  
CACHACHI, PROVINCIA CAJABAMBA, DEPARTAMENTO CAJAMARCA.**

**La Municipalidad de Algamarca, hace constar que:**

En el Año 1940, fue creado el Sector Saucicucho del Centro Poblado de Algamarca integrado por cinco familias y en la actualidad consta de 41 familias, de acuerdo al Estudio realizado de los sectores iluminados por Hidrandina S.A, se ha obtenido la información de la potencia eléctrica consumida por cada familia de 2180 w., la cual la Municipalidad del Centro Poblado de Algamarca consta que el Sector Saucicucho no cuenta con fluido eléctrico por encontrarse alejado del Centro Poblado.

Ésta información es entregado para la investigación de Tesis que está realizando el Señor:

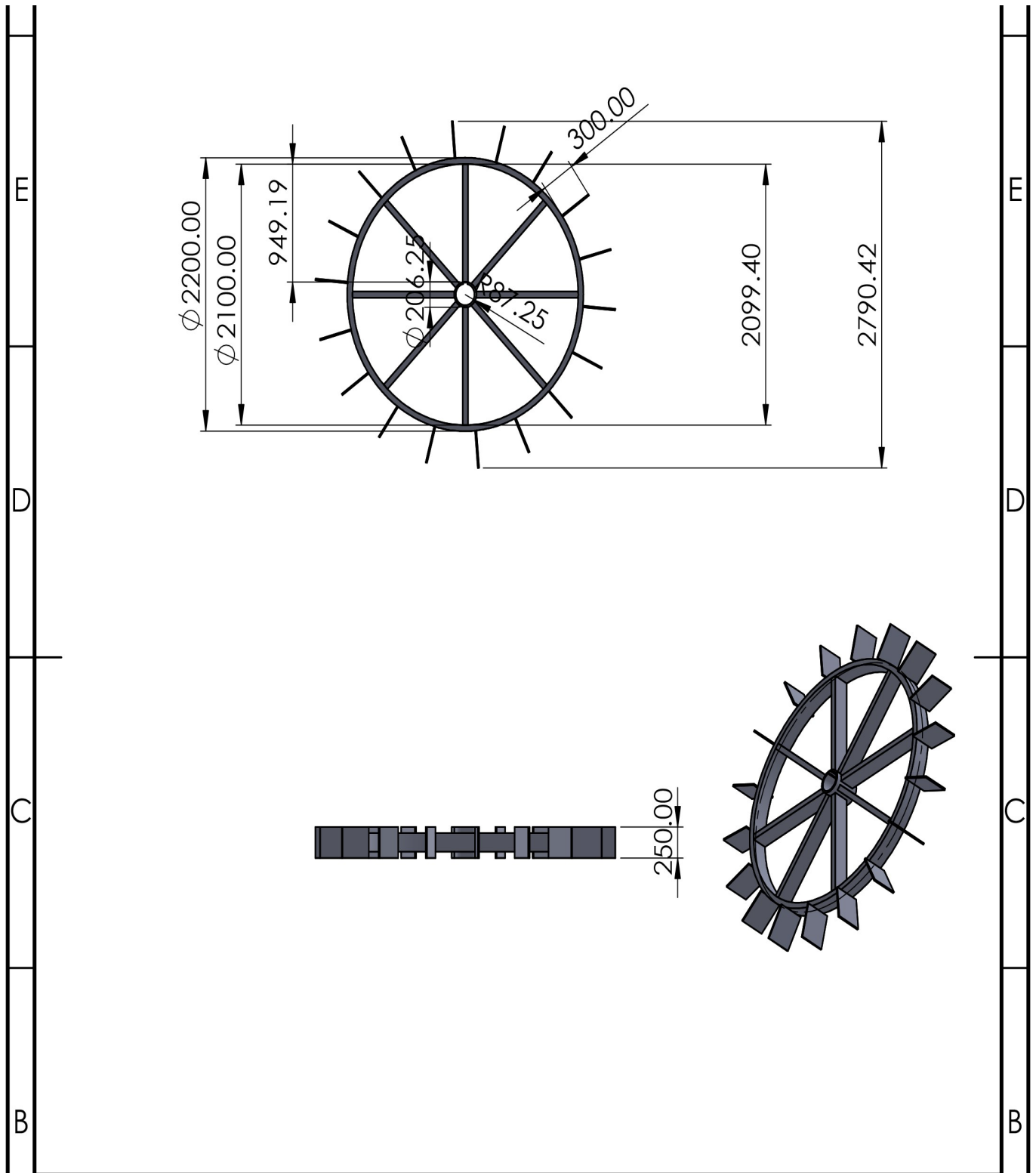
- **PEDRO CUEVA CALDERÓN**
- **BREIDY BORIS QUIÑONES LUCIO**

**Atentamente,**



CENTRO POBLADO SAN MIGUEL DE ALGAMARCA

*Rosas Ramón Saavedra Arteaga*  
Rosas Ramón Saavedra Arteaga  
ALCALDE



PLANO DE LA RUEDA DEL RIOGENERADOR