

MODELADO DE UNA INSTALACIÓN GENERADORA DE ELECTRICIDAD A
PARTIR DE BICICLETA DE SPINNING PARA MEJORAR LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA DE LOS GIMNASIOS EN BOGOTÁ

MANUEL ALEJANDRO MATURANA MARTÍNEZ

CÓD. 2348954

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL

DIVISIÓN DE INGENIERIAS

BOGOTA

2023

MODELADO DE UNA INSTALACIÓN GENERADORA DE ELECTRICIDAD A
PARTIR DE BICICLETA DE SPINNING PARA MEJORAR LA EFICIENCIA
ENERGÉTICA DE LOS GIMNASIOS EN BOGOTÁ

MANUEL ALEJANDRO MATURANA MARTÍNEZ

CÓD. 2348954

PROYECTO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE SOLUCION DE PROBLEMA
DE
INGENIERIA PARA OPTAR POR EL TITULO DE MAGISTER EN TECNOLOGIAS

LIMPIAS

NIDIA ELENA ORTIZ PENAGOS

DIRECTOR

ANDRES GERARDO CLAVIJO VARGAS

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
DIVISION DE INGENIERIAS
BOGOTA D.C.

2023

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	4
ABSTRACT.....	4
INTRODUCCIÓN.....	5
OBJETIVOS.....	7
MARCO TEORICO.....	7
ANTECEDENTES.....	8
METODOLOGÍA.....	9
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	15
IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL.....	52
CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
REFERENCIAS.....	55
ANEXOS.....	60

RESUMEN

En este trabajo se analizó un tipo de dispositivo capaz de mejorar la eficiencia energética presentes en los gimnasios por medio del uso de bicicletas de spinning que convierten la energía cinética de los usuarios del establecimiento en energía eléctrica, el objetivo principal era modelar un sistema eficiente y que fuese más económico que las máquinas disponibles en el mercado, para lograr esto, se realizó un análisis del comportamiento de un sistema de generación de energía acoplado a una bicicleta de spinning. Se dimensionaron los mecanismos de transmisión y los componentes de la instalación eléctrica. Se llevó a cabo una simulación y un estudio económico para determinar la viabilidad del proyecto, todo eso se logró con ayuda del contacto directo con el cliente. Finalmente, los mecanismos se aproximaron a componentes estándar, los cuales soportaban de manera óptima las cargas a las que fueron sometidos, el modelo de simulación arrojó que es posible obtener un pico de energía generada de 600 Wh y que el periodo de recuperación de la inversión será en el mejor escenario de 3 años después de realizar la inversión del dispositivo.

PALABRAS CLAVE: *Energía cinética del ejercicio, eficiencia energética gimnasios, viabilidad económica, modelado de sistema dinámico, método de elementos finitos.*

ABSTRACT:

In this work, an analysis was conducted on a type of device capable of improving energy efficiency in gyms through the use of spinning bicycles that convert the kinetic energy of the facility's users into electrical energy. The main objective was to model an efficient system that would be more cost-effective than the machines available in the market. To achieve this, an analysis of the behavior of a power generation system coupled to a spinning bicycle was performed. The transmission mechanisms and electrical installation components were dimensioned. A simulation and an economic study were conducted to determine the project's viability, all of which was achieved with direct contact with the client. Finally, the mechanisms were approximated to standard components, which optimally supported the loads to which they were subjected. The simulation model revealed that it is possible to generate a peak of 600 Wh of energy and that the investment payback period would be in the best-case scenario of 3 years after the device investment.

KEY WORDS

Kinetic energy from exercise, gym energy efficiency, economic viability, dynamic system modelling, finite element method.

INTRODUCCIÓN

Las medidas sanitarias tomadas por el gobierno nacional en 2020 para mitigar la propagación del COVID-19, impidieron que varios gremios laborales en el país desarrollaran sus actividades económicas, específicamente aquellos que no comercializaban productos de primera necesidad. Entre los sectores afectados se ubican los gimnasios, un gremio que perdió más de 350000 millones de pesos de acuerdo con Portafolio (2020), y en la ciudad de Bogotá, las medidas obligaron a que el 30% de los establecimientos dedicados al acondicionamiento físico tuvieran que cerrar sus puertas.

Finalizando la pandemia, los costos de vida, servicios públicos y por ende los gastos para los gremios aumentaron significativamente. Según una publicación realizada por la revista semana (2022), por motivos inflacionarios las ganancias de las personas se verán reducidas a la mitad, lo que indica que cada vez el poder adquisitivo para cualquier sector incluyendo los gimnasios será menor en el transcurso del año. Adicionalmente, se estima que dentro de los costos de operación de un gimnasio sobresale el pago de la factura eléctrica. Según un estudio realizado por Hernández y Rincón (2017) de la Universidad Católica, el consumo promedio de este tipo de negocios inicia desde los 600 kWh/mes, valor que se traduciría en \$540.000 mensuales sin tener en cuenta costos indirectos como el pago adicional por ser un local comercial, el IVA, ni el alumbrado público. Estos parámetros van plasmados en la factura eléctrica mensual.

Buscando alternativas que favorezcan la economía de los dueños de gimnasios se pretende explorar una opción en estudio que hace referencia a la transformación de energía cinética aportada por los usuarios al hacer ejercicio en energía eléctrica que puede usar el establecimiento. Un estudio de investigación por parte de Benítez de la Universidad Distrital (2013) resalta que los dispositivos que realizan esta tarea de forma más eficiente son las bicicletas de spinning, con las que cuentan gimnasios de varios tipos, los sistemas desarrollados en proyectos y empresas concluyen que uno compuesto por bicicletas de spinning cubren entre un 20 y un 30% de la demanda energética de los lugares analizados a pesar de los avances tecnológicos durante la última década, la aplicación de bicicletas estáticas de tipo spinning que genere electricidad no ha progresado significativamente posiblemente por factores administrativos, económicos y técnicos. Con lo anterior se plantea la siguiente interrogante: ¿Cuáles son las condiciones tecnológicas y de dimensionamiento de que se adapte a una bicicleta estática tipo spinning para mejorar la eficiencia de los gimnasios en Bogotá y que a su vez sea rentable para los dueños de gimnasios?

Los gimnasios a simple vista no presentan exagerados consumos energéticos ya que la mayoría de sus equipos suelen ser para la zona de musculación, los cuales no requieren energía eléctrica para su funcionamiento no obstante el área

cardiovascular suele contar por lo menos con dos trotadoras, un equipo de sonido (esencial para las prácticas de spinning), iluminación adecuada y el confort térmico necesario todos estos factores hacen que el consumo mínimo de un gimnasio puede situarse entre 400 y 600 kwh/mes sin tener en cuenta elementos de aseo personal como duchas o calentadores de agua ni otras prestaciones que pueden diferenciar a los establecimientos de su competencia aunque signifique también un aumento de demanda eléctrica. Por otro lado, según la resolución CREG 0979 el costo unitario está en función de: el valor de compra de la energía, el uso del sistema de transmisión nacional, el uso del sistema de distribución, el costo, restricciones incluyendo otros servicios asociados con la generación, transporte y comercialización de la energía además de incluir que el precio final dependerá del estrato donde se situó el local comercial.

Con base a esta problemática que puede dificultar la operación de este tipo de negocios, se han indagado diversas soluciones como lo son incluso máquinas de musculación capaces de generar electricidad como en el proyecto de grado desarrollado por Barón & Mahecha, estudiantes de Ingeniería ambiental de la Universidad Santo Tomas (2015), cuyo equipo construido tiene una potencia nominal de 1179 Wh un valor que equivaldría a 3 veces lo que genera la máquina de ejercicio cardiovascular más eficiente desarrollada, las cuales son las bicicletas de spinning, no obstante, el motivo para iniciar por las máquinas de spinning es porque no se debe empezar de cero a desarrollar una nueva máquina que soporte las prestaciones necesarias, ya que lo que se busca es aprovechar los equipos disponibles de la manera más eficiente al menor precio posible, la otra razón parte de que son el tipo de maquina más común casi que indispensable para cualquier instalación ya que se adapta a cada tipo de gimnasio (Convencional, funcional, "boutique", etc.).

Finalmente, este proyecto se realiza con la intención de visualizar el comportamiento de estos sistemas, comprobar si es posible mejorar su rendimiento analizando diversos tipos de sistemas de generación y/o acumulación de energía para que cubran en totalidad o parcialmente la demanda de cualquier gimnasio, para a partir de este modelado a futuro hacer un prototipo que sirva como referente al desarrollo de un plan de negocios que contribuya a ampliar el mix energético en el país y la generación de empleo.

Objetivos

Objetivo General

- Modelar una instalación generadora de electricidad a partir de una bicicleta de spinning para mejorar la eficiencia energética de los gimnasios en Bogotá

Objetivos específicos

- Diseñar el sistema de transmisión a una bicicleta de spinning para transformar la energía cinética del ejercicio en energía eléctrica destinada a los gimnasios en la ciudad de Bogotá, así como dimensionar los componentes de la instalación eléctrica.
- Simular y analizar los resultados para compararlos con diversos modelos teóricos o trabajos similares donde se hayan desarrollado prototipos experimentales.
- Realizar el estudio económico de la alternativa formulada y simulada para determinar la viabilidad del proyecto y el beneficio que podría significar para los gimnasios.

ALCANCE

En este proyecto se analizará el comportamiento de un sistema de generación de energía eléctrica acoplado a una bicicleta de spinning, dimensionando los mecanismos de transmisión, los componentes de la instalación eléctrica, se simulará el comportamiento de los elementos más importantes y se hará un primer acercamiento a un estudio económico que contemple la viabilidad inicial del sistema, para definir si es o no tentador desarrollarlo físicamente y posterior a pruebas convertir ese producto en un plan de negocios acorde con la propuesta de valor.

MARCO TEÓRICO

Bicicleta de spinning: Máquina de gimnasio usada para simular las condiciones reales del ciclismo mezclado con un tipo de música especial dentro de la sesión de ejercicio para obtener una pérdida de peso y otros factores beneficiosos para la salud, está constituida por un volante de inercia que se mueve con la ayuda de una transmisión de cadena y que además cuenta con un sistema de frenado que facilita el aumento o disminución de la resistencia al pedaleo.

Transmisión mecánica: También denominada transmisión de potencia la cual busca tener un impulso de salida en otra parte de la máquina a través de un motor u otro mecanismo la manera más eficiente es usando ejes en rotación en los cuales se añaden elementos mecánicos como poleas, ruedas, engranajes, tornillos etc.

Permitiendo así incrementar, mantener o reducir variables como el torque o la velocidad.

Eficiencia: La eficiencia se refiere a la relación entre la energía de entrada y la energía de salida de un sistema. En este proyecto, la eficiencia se puede calcular como la cantidad de energía eléctrica generada por las bicicletas de spinning dividida por la cantidad de energía mecánica necesaria para hacer girar las bicicletas. Relacionada con la siguiente ecuación matemática:

$$\eta = \frac{E_e}{E_s} * 100\% \text{ Ecuación 1 Eficiencia energética}$$

Donde

$$\eta = \frac{e}{E} \quad (\%)$$

$$E = E \quad (k h, Wh, J)$$

Alternador: Es una maquina eléctrica síncrona capaz de transformar la energía mecánica en eléctrica valiéndose del principio de inducción electromagnética. En el contexto relacionado al trabajo no solo se mencionará el alternador, sino que se buscará un tipo de generador idóneo que pueda suplir adecuadamente las necesidades de un gimnasio.

Gimnasio autosustentable: Pese a que el concepto es más teórico que real, se puede establecer que se relaciona directamente con la meta a alcanzar para quienes desarrollan tecnologías que permitan aprovechar al máximo la energía que se produce al hacer ejercicio y por medio de los equipos pertinentes, transformar en electricidad, para cubrir totalmente la demanda de energía dentro de los establecimientos.

Eficiencia energética en gimnasios: Hace referencia al uso de medidas y tecnologías que optimicen el consumo de energía y así reducir el impacto negativo hacia el ambiente, entre las tecnologías podemos encontrar las que hacen referencia a este proyecto que aprovechan el uso de ciertas máquinas de ejercicio para satisfacer parcial o totalmente el consumo eléctrico.

Acumulador: Es un dispositivo capaz de absorber y almacenar energía de diversas formas y la entrega bien sea en su forma de entrada o en otra completamente distinta como es el caso de las baterías electroquímicas que almacenan energía química y entregan energía eléctrica.

Gimnasio de barrio: Es un establecimiento de acondicionamiento físico, ubicado cerca de una comunidad local, también se define como un negocio fuera de la denominación de franquicia ya que por un lado su marca guarda cierta

independencia y su tamaño suele ser menor a los otros tipos de gimnasios, en el proyecto son el eje central de análisis.

Muestreo aleatorio simple: Es un método de selección de una fracción, de una población con la finalidad de tener una representación significativa, para un posterior análisis, el muestreo aleatorio simple se caracteriza por abordar todos los elementos de un grupo indiscriminadamente para que tengan la misma probabilidad de ser seleccionados, es muy usado en estudios de mercados.

Torque efectivo al pedalear:

El torque efectivo al pedalear es una medida de la eficacia con la que se aplica la fuerza a los pedales. Se calcula como la diferencia entre el torque positivo (que contribuye al avance) y el torque negativo (que frena la bicicleta), de acuerdo con los trabajos realizados por Garcia & otros (2016) el modelo que mejor se ajusta al comportamiento del torque aplicado a una bicicleta es uno sinusoidal tal y como se presenta en la figura 1.

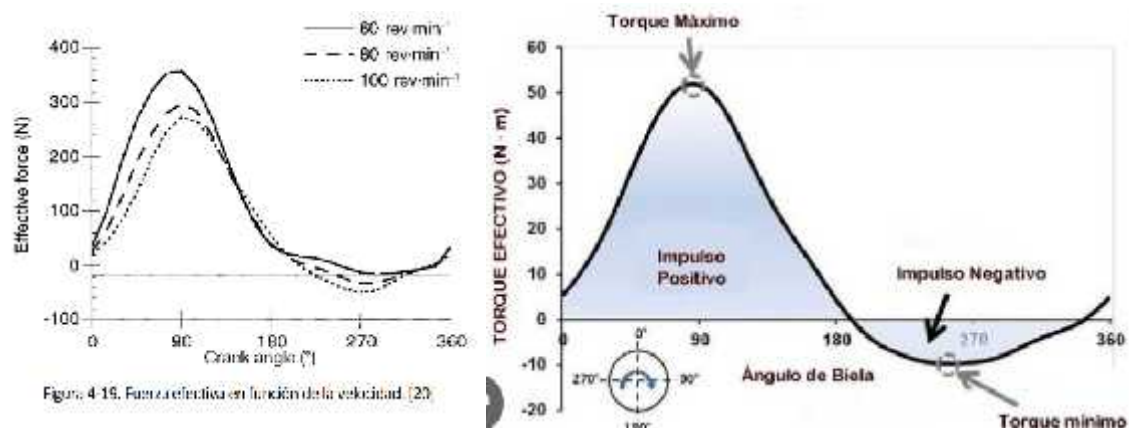


Figura 1. Fuerza efectiva en función de la velocidad y torque en la biela Garcia (2016)

ANTECEDENTES

De acuerdo con la definición dada por Bushra Chalermthai (2015) Los gimnasios sostenibles son aquellos que aprovechan la energía de sus usuarios para transformarla en energía eléctrica, todo esto se logra con equipos ya existentes en el mercado como máquinas multifuerza caso que fue abordado por Barón (2015) en la que su máquina le ahorraba a una vivienda de tres personas hasta 466 USD al año, por otro lado las máquinas de ejercicios cardiovasculares tienen una amplia relevancia ya que se pueden usar en ciclos más largos comparadas con las de fuerza permitiéndoles generar energía por más tiempo. Según Hindi & otros (2018) el objetivo principal era determinar la cantidad de energía que sería capaz de producir una bicicleta estática. Se construyó un prototipo que costó 53 USD y con

el que se pudieron obtener 250 W de energía algo que conforme con el autor puede ayudar a un gimnasio pequeño con un número limitado de réplicas, la eficiencia de este prototipo fue de alrededor del 60%, al final se comprobó que es un tipo de energía renovable útil para aplicaciones de bajo consumo como es el caso de Pradeep Kumar (2018) comprobaron que su diseño hecho con una bicicleta de montaña produce una mínima cantidad de 20 Ah lo que según el autor puede servir para suministrar energía a una pequeña familia en la India. Para mejorar la problemática de que solo sea para aplicaciones de bajo consumo en Madrid un proyecto realizado por la Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI (2019), en el proyecto el autor propone que para lograr el autoconsumo en algún gimnasio se necesita atacar el problema por dos puntos estratégicos por un lado el ahorro de energía (prácticas de eficiencia energética con las que se puede ahorrar hasta un 30% de la energía consumida) y el aprovechamiento de la energía humana generada en estos establecimientos en este proyecto solo se proponen dispositivos ya existentes para adquirirlos y en el caso de las máquinas de ejercicio remplazar las ya existentes por unas que puedan transformar lo aportado por los usuarios en electricidad.

Adicionalmente se recolecto información proveniente de tecnologías similares presente en prototipos y/o productos de origen académico o comercial (Trabajos fin de grado, master, artículos científicos o de revisión, planes de negocio y otras disertaciones), para conocer variables importantes como: Potencia generada por las bicicletas spinning, costo aproximado de la tecnología desarrollada y tipos de alternativas seleccionadas (baterías, tipo de transmisión y tipo de generador eléctrico usado). Las palabras clave de búsqueda correspondieron a: bicicletas de spinning generadoras de electricidad, energía de propulsión humana, gimnasios autosostenibles; finalmente se construyó una base de datos y se representaron los resultados gráficamente para mejorar su comprensión.

Factor diferenciador: La eficiencia de los prototipos desarrollados en la academia suele ser del 30% en promedio, no obstante, la de los dispositivos comerciales puede ser incluso del 50%, por tal razón en este trabajo se desea modelar un prototipo contemplando las etapas de generación desde la fuente que es el pedaleo y la fuerza efectiva aproximada hasta la potencia de salida del generador eléctrico incluyendo la simulación como eje central del modelado de la alternativa seleccionada y posterior incluir un estudio económico desde el punto de vista de un gimnasio que invierta en la solución propuesta.

METODOLOGÍA

Siguiendo la metodología del proceso de diseño se contemplan y se incluyen los objetivos específicos que darán lugar al cumplimiento del objetivo principal.

Objetivo específico	Actividades por realizar	Recursos implementados
Diseñar el sistema de transmisión a una bicicleta de spinning para transformar la energía cinética del ejercicio en energía eléctrica destinada a los gimnasios en la ciudad de Bogotá, así como dimensionar los componentes de la instalación eléctrica.	• Establecer los requisitos de los dueños de gimnasios • Analizar la información recolectada. • Hacer el diseño conceptual a partir de los requerimientos del cliente • Diseño de detalle de la parte mecánica • Aproximar los componentes diseñados a elementos estandarizados. • Dimensionar los elementos de la instalación eléctrica. • Esquematizar las alternativas seleccionadas usando un software CAD	Ordenador con internet, fuentes de información bibliográficas, impresora, aplicaciones de escritorio, software de dibujo CAD, paquete de programación, impresora.

Simular y analizar los resultados para compararlos con diversos modelos teóricos o trabajos similares donde se hayan desarrollado prototipos experimentales.	• Seleccionar componentes diseñados. • Simular los elementos de la instalación de forma mecánica o eléctrica según cada caso y del conjunto en general. • Comparar el resultado de la simulación con tablas de propiedades de materiales y determinar si cumple con los parámetros de diseño.	Ordenador con internet, ANSYS, Software CAD, Proteus, Simulink herramientas ofimáticas.
Realizar el estudio económico de cada una de las alternativas formuladas y simuladas para determinar la viabilidad del proyecto.	• Definir las inversiones iniciales, costos de operación y montaje de la instalación evaluada • Hacer el estudio económico que evidencie el ahorro energético y el periodo de recuperación de la inversión hecha por los dueños de gimnasios	Ordenador con internet, aplicaciones de escritorio, software para organizar datos.

--	--	--

Tabla 1. Metodología

Para elaborar un desarrollo adecuado se necesitan otros datos de entrada además de los prototipos funcionales desarrollados tal como se muestra en la figura 2; se desean conocer los requerimientos del cliente (de ahora en adelante así se llamará a los dueños de gimnasios de Bogotá), y para ello se debe tener un contacto directo con ellos, dicho contacto se hizo por medio de una encuesta y una entrevista estructurada.

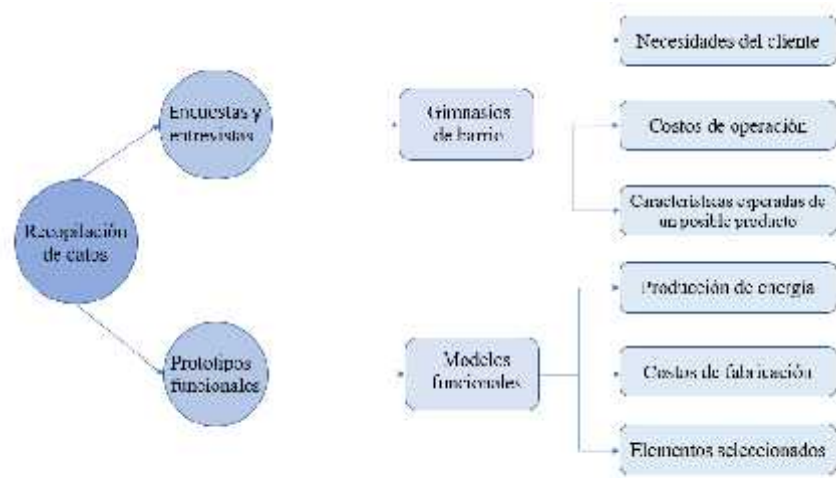


Figura 2. Información a recopilar

Como no es económicamente viable realizar encuestas y entrevistas a todos los posibles clientes en la ciudad, se recurrirá a la técnica del muestreo aleatorio simple.

$$n = \frac{N * Z_{\alpha/2} * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha/2} * p * q}$$

Donde

$$n = \text{tamaño de la muestra}$$

$$N = \text{tamaño de la población}$$

$$Z_{\alpha^2} = p \text{ á m e f ó n d n d c}$$

$$e = E \text{ d es ó n má x i a}$$

$$p = p \text{ d é x (e a m u b d s)}$$

$$q = (1 - p) = P \text{ d q n o e e}$$

Después del contacto con los dueños de establecimientos seleccionados, se usan las otras herramientas descritas por Ullman (1991) con el objetivo de acotar las especificaciones funcionales del prototipo, tales son: Lienzo de propuesta de valor y Matriz QFD, para esta última se requiere mencionar que productos pueden sustituir o que ya hacen una función similar a lo que se espera diseñar, a ese tipo de productos se les denotará como competencia en adelante.

Competencia: La marca que prevalece es Sportsart en su línea Ecopower donde las máquinas de cardio en especial bicicletas de ciclo indoor pueden generar hasta 350 Wh, el precio de las bicicletas oscila entre 1500 y 3000 euros(6.800.000-14.000.000 COP), dependiendo de las cantidades que se vayan a adquirir, por último se sabe que las bicicletas cuentan con un generador y un micro inversor que envía la energía generada directamente a la red eléctrica del establecimiento, permitiendo prescindir del sistema de almacenamiento, no obstante no otorga ninguna garantía de que se pueda aprovechar la energía en los momentos que los gimnasios están vacíos. La marca cuenta con diversas alianzas entre ellas la compañía española Rocfit de la que se dispone el catálogo, (ver anexos).

Luego de conocer las características del producto se analizará la caja multiplicadora en profundidad ya que es el eje central de generación de energía eléctrica en el sistema para ello se hace necesario conocer las variables de entrada a la caja multiplicadora (velocidad y torque), para el tema de la velocidad será usada una bicicleta de spinning presente en casa ya que eso permitirá tener datos mas precisos por medio del tacometro que cuenta la máquina de spinning, y en el caso del torque se valdrán de los estudios de Garcia (2016) y además al ser una cantidad sinusoidal, se hará uso de los valores máximos para precisar los cálculos (véase la ecuación 3 que se usó para el caso de torque).

$$T = \sqrt{2} * T \quad \text{Ecuación 3 Torque máximo}$$

Donde

$$T = T \text{ má x i}$$

$$T = T \text{ e}$$

$$P = T * v$$

Teniendo esos valores y habiendo seleccionado los elementos de la caja multiplicadora se hará la simulación del sistema para conocer cuanta potencia genera y los demás pasos indicados en la tabla 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

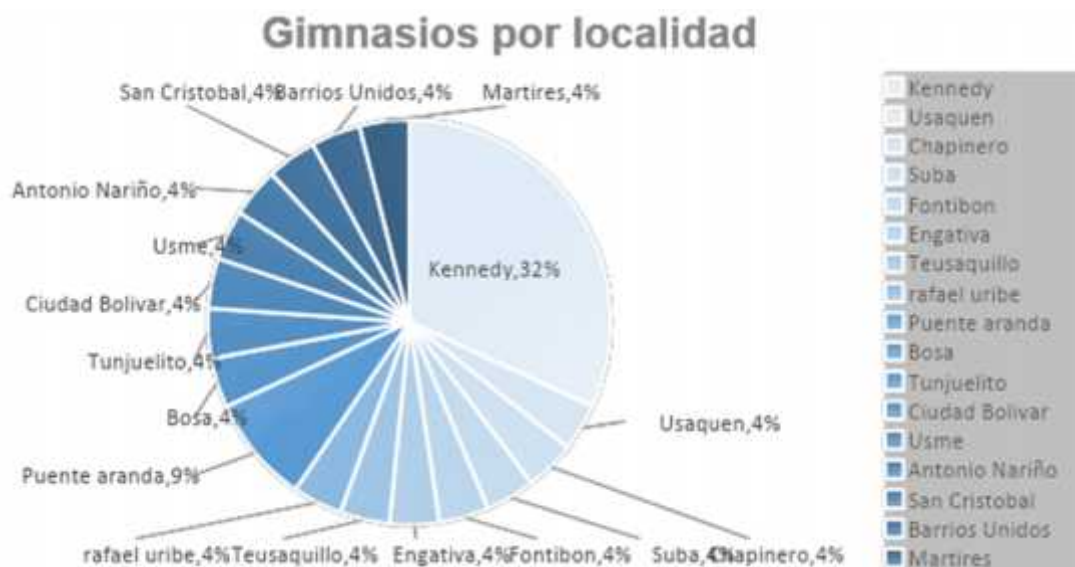
Encuestas y Entrevistas a Gimnasios de barrio

En la ciudad de Bogotá después de la reapertura y cierre definitivo de algunos gimnasios, el promedio se sitúa alrededor de los 500 establecimientos para 2021, un cambio para este año, que a través del uso del aplicativo Maps de Google en marzo del 2023 el número de instalaciones es aproximadamente 700. Al ser una población relativamente grande para analizarla en su totalidad se ha decidido implementar la técnica del muestreo aleatorio simple (véase ecuación 2) tomada de la obra de Walpole (2012), inicialmente para tener una fracción representativa dentro del estudio.

Al suponer un valor en el parámetro de confianza y una probabilidad de ocurrencia de 70% se tiene que el tamaño de la muestra es:

$$n = 24$$

Es decir, se necesita al menos consultar en 24 gimnasios para tener una definición adecuada del problema del cliente. Con la cantidad calculada se pueden establecer unos porcentajes de cuantos gimnasios serán seleccionados en cada una de las localidades de la ciudad, aunque por factores personales, se ha dictaminado darle una mayor proporcionalidad a los que estén ubicados en la localidad de Kennedy, uno de los motivos es la cercanía al lugar donde se inició la investigación del proyecto, la distribución se puede notar en la gráfica 1.



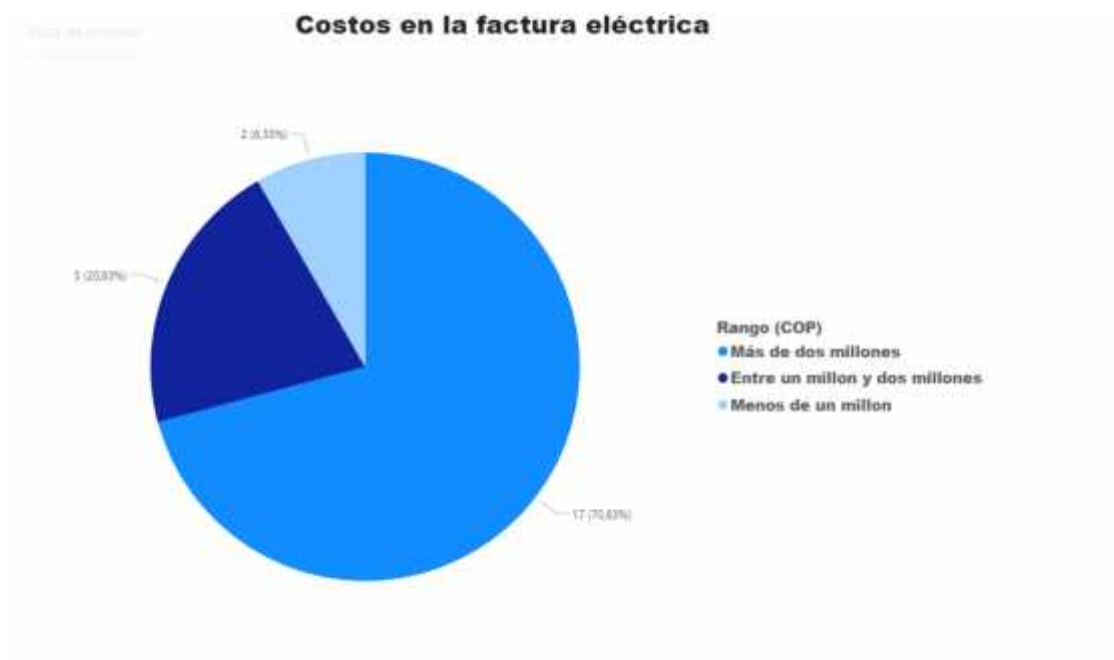
Gráfica 1. Distribución de gimnasios por localidad

A partir de los porcentajes se aproximan a que como mínimo deben ser 1 gimnasio por localidad y seis para Kennedy.

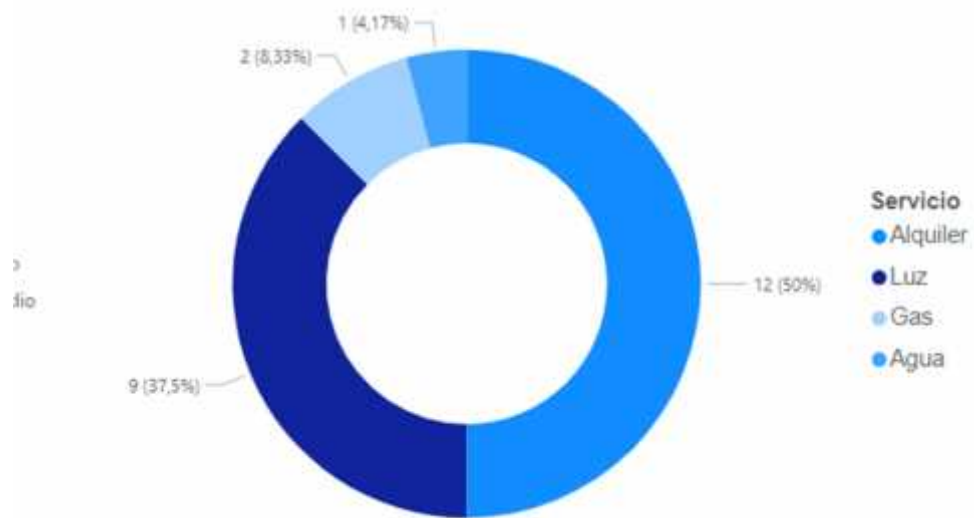
Como próximo apartado se desea obtener información relevante para extraer los requisitos del cliente, para ello se recurrirá a la herramienta ideada por Alexander Osterwalder en su libro Diseñando la propuesta de valor, denominada lienzo de cliente-propuesta de valor, la técnica consiste en desglosar las ocupaciones o tareas diarias, frustraciones al realizar sus actividades o adquirir productos similares/ sustitutos, alegrías recibidas tras desarrollar esas tareas. Para aplicarlo se debe dibujar el lienzo uno para clientes y otro para la propuesta de valor (bien o servicio que se desea ofrecer al cliente), luego se deben llenar los espacios con las actividades que realiza el cliente, los beneficios y las cosas que no quisiera que tuviese el producto a comercializar y por ello es fundamental hacer un diseño que se adapte a las necesidades del mercado. Siguiendo la metodología sugerida se elabora un modelo de encuesta (ver anexos) en donde se plantean incógnitas relacionadas al pago de la factura eléctrica, al pago de otros servicios públicos (no contemplando el internet ya que este suele tener una tarifa fija), el uso de máquinas de ejercicio y los horarios pico de los establecimientos, adicional a esto se les preguntó a los clientes cosas puntuales que sirvieran para complementar el lienzo hipotético, y así encontrar no solo los requisitos sino desarrollar un producto que cumpla con todas las funciones y expectativas que ellos tienen.

Contacto con clientes

Finalmente, todos los clientes presentaron un esquema particular en que se definían: horarios pico, uso de máquinas y algunas particularidades en el costo de la factura eléctrica:



Servicio más costoso



Uso de máquinas

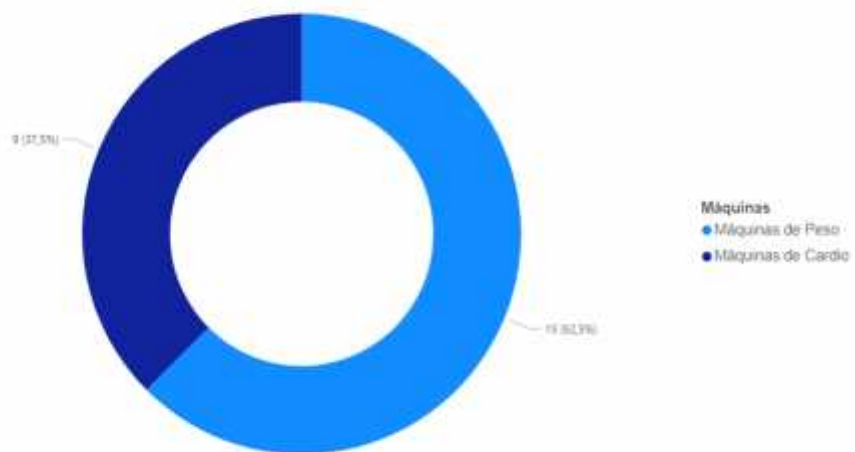


Gráfico 2. Resultados de encuestas a gimnasios de barrio

Como se puede apreciar en el esquema el alquiler y la luz corresponden un rubro importante en los costos mínimos de operación de los locales, además fuera del uso de las máquinas cuando se les preguntaba a los dueños de las instalaciones sobre los horarios pico responden un horario específico que se ajusta con las franjas “libres” de los habitantes de Bogotá, entre 5-8 am y a partir de las 6 hasta la hora de cierre en algunos iba a las 9 o a las 10 dependiendo del lugar, también respondieron que el promedio de uso de las máquinas de cardio era de 4 a 6 horas al día, sin contar aquellos que contaban con el servicio de clase de spinning la cual dura mínimo una hora y se da con tres o más participantes.

Con los datos obtenidos en las entrevistas se ajustan los lienzos, para finalmente construir lo que se le puede ofrecer al cliente a parte de las características óptimas del producto denominado inicialmente como “cuida el planeta con ejercicio”, que es el nombre que se le da al dispositivo que se planea comercializar en los gimnasios.

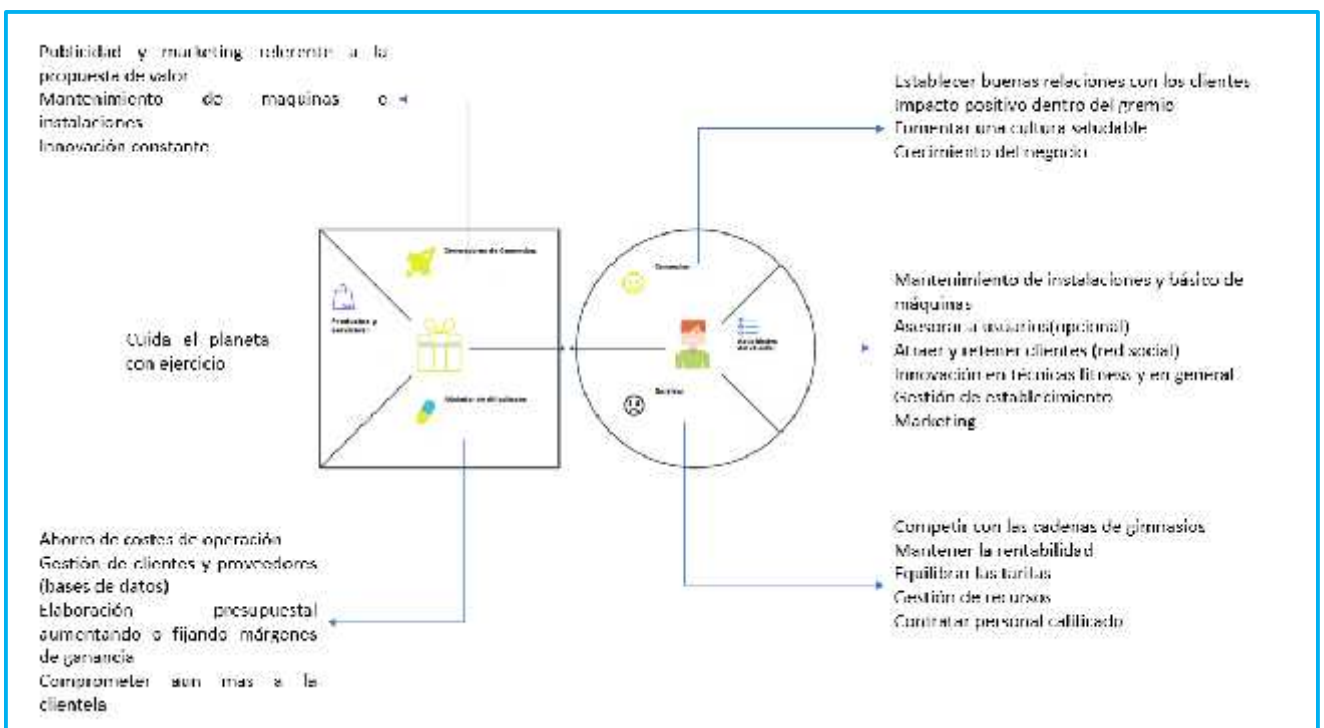
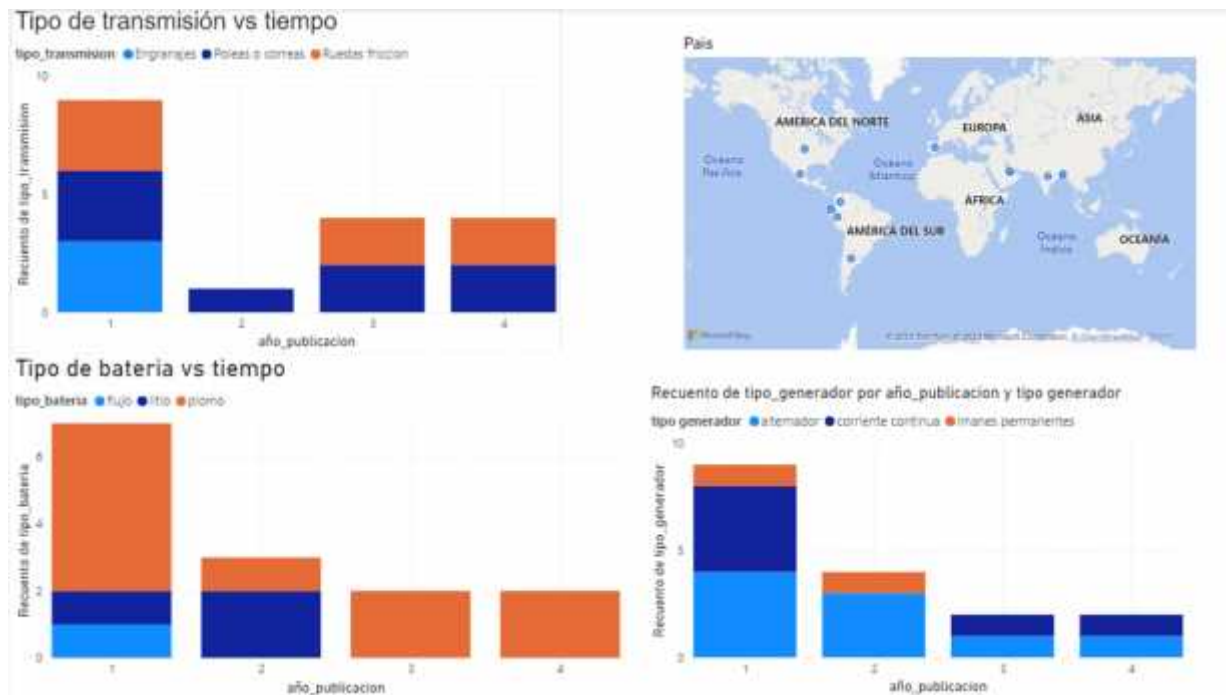


Figura 2. Lienzo ajustado

Finalmente, con la ayuda de los dueños de los establecimientos se pudo consolidar una propuesta de valor que no solo ofrezca la funcionalidad óptima del bien a diseñar, sino que también pueda ir más allá en un servicio de postventa que aumente las ganancias para ambas partes, otro dato curioso fue como en tres

establecimientos de los consultados (Usaquén, suba y barrios unidos) ya conocían la alternativa de aprovechar el ejercicio físico para generar electricidad, no obstante aún quedaban muchas dudas referentes al tema como lo eran: ¿Qué tan costosa es?, ¿Qué tan rentable es? y finalmente ¿Como garantizaría el buen funcionamiento e instalación de los dispositivos? Con base a todas estas interrogantes y a lo que se pudo consultar hablando con los clientes se elabora una matriz de requisitos que será aprovechada para pasarse a una matriz más robusta denominada la matriz de calidad o QFD, que tendrá como objetivo destacar los requisitos funcionales del diseño final.

Prototipos funcionales



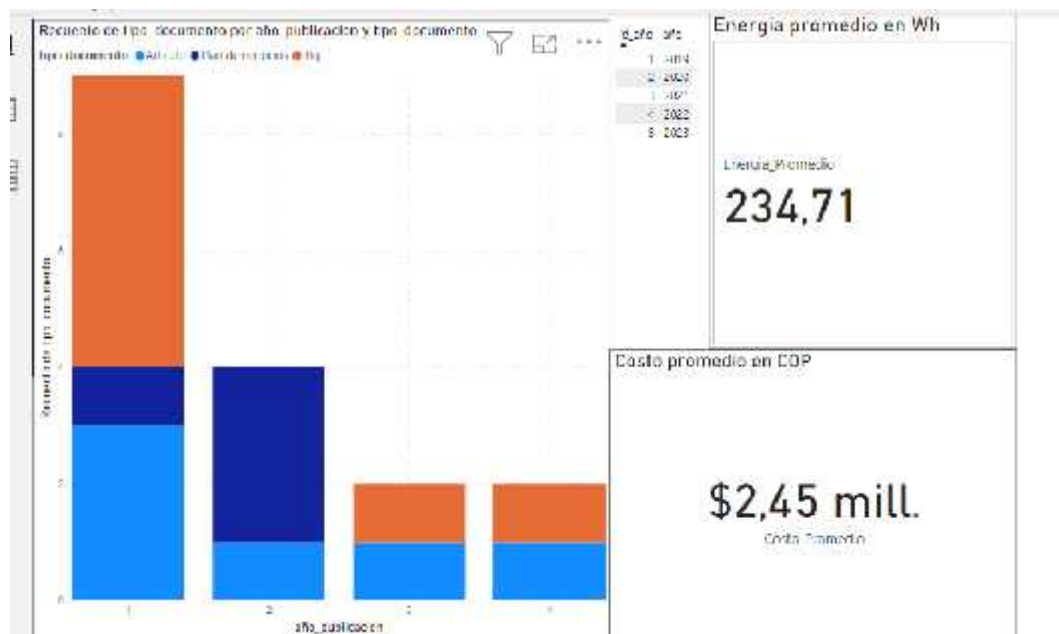


Gráfico 3. Resultados de la consulta académica

A partir del informe de Power BI se evidencia como se tiene un tipo de alternativa predefinida que consiste en el uso de alternador como maquina eléctrica, baterías de ácido o plomo y finalmente el uso de poleas o ruedas de fricción como elemento de transmisión, pero se han dejado de explorar después del fin de la pandemia.

Documentos adicionales: Trabajos que aportan valor al proyecto pero que por diferencias en las palabras clave, alcance o año de elaboración no se incluyeron en la base de datos.

Nombre	Autor	Año	País	Tipo de documento	Problema que resuelve	Resultados
Análisis de Recursos Energéticos Distribuidos: Modelado y Control del almacenamiento de energía térmica	Pablo Pujalte Salmerón	2020	España	TFM	Un análisis de formas de almacenar energía de manera no convencional, como lo son ladrillos cerámicos para guardar calor	Pese a que en viviendas los costos subirían parcialmente al guardar calor de radiadores y bombas de calor son buenas estrategias para reducir los costos asociados

DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE HASTA 150 W A PARTIR DE UNA MÁQUINA MULTIFUNCIONAL PARA GIMNASIO	FERNANDO PUEENTES DIAZ RODRIGO MANCIPE MANCIPE	2020	Colombia	TFG	El acoplamiento de un sistema de transmisión mecánica a una maquina multifuerza para generar electricidad, usando un sistema compuesto por bandas para acoplarlas a un generador	Modelaron un sistema multifuerza que parcialmente puede producir hasta 150 W de energía, otra parte la almacenaron en baterías de acido
Diseño de sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de spinning	Lombardo, Oscar Felipe	2015	Argentina	TFG	El análisis de viabilidad de implementar un sistema fotovoltaico con uno compuesto por varias bicicletas de spinning en un gimnasio de Mar de la plata	La alternativa combinada puede generar hasta 5000 kwh/mes y con un periodo de recuperación de la inversión de 4 años
DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES	M.I. Emmanuel de la Cruz May	2017	México	Artículo científico	Un sistema de microrred compuesto por fuentes de generación fotovoltaica y eólica, cuya operación se apoya del uso de redes neuronales para predecir cubrir la demanda	Se hicieron simulaciones orientadas, a modelar la disponibilidad y variabilidad de cada recurso para predecir los comportamientos de la oferta y también se apoyaron del uso de baterías para suplir energía cuando hace falta
DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN DE RECUPERCIÓN DE ENERGÍA EN UN GIMNASIO PARA PRODUCCIÓN DE AGUA CALIENTE SANITARIA	CLARA ANDRADA MONRÓS	2017	España	TFG	En los gimnasios existe un elevado costo, y es en la parte de calefacción de agua sanitaria, para ello proponen aprovechar la energía de los usuarios e implementar un sistema termoelectrico para ahorrar en las facturas	Las bicicletas generan alrededor de 300 Wh, el gimnasio requiere al menos 50 dispositivos, considerando que usan un sistema de generador síncrono para la tarea definida

Tabla 2. Recopilación de archivos adicionales relacionados con el proyecto

Id requisito	Requisitos de clientes	Requisitos de ingeniería
1	Generen mucha energía	Eficiencia energética alta

2	Se adapten a pequeños espacios	Compacto
3	No genere incomodidad al ejercitarse	Baja resistencia mecánica
4	No debe representar ningún peligro	Instalación segura
5	Debe ser de fácil mantenimiento	
6	Los usuarios la deben ajustar a su gusto	Fácil manipulación
7	Estar a un precio accesible	Barata
8	El ahorro de energía debe ser considerable	Rentable
9	No debe dañar las maquinas con su uso	Desgaste mínimo
10	Debe poseer un sistema que permita a los usuarios saber cuánto generan	Sistema de monitoreo

Tabla 3. Matriz de requisitos de clientes

A parte de los requisitos de clientes traducidos en requisitos de ingeniería que próximamente serán usados para la matriz de calidad, sin embargo, hace falta especificar la competencia potencial que rodea la alternativa a diseñar y como ellos logran satisfacer los requerimientos del cliente.

3	Torque menor a 70 Nm sin resistencia
4	Tiempo de recuperación de inversión (menor a 10 años)
5	Eficiencia igual o superior 56%
6	Espacio menor a 0,25 m2
7	Factor de seguridad superior a 3
8	Tiempo de mantenimiento menor a 4 horas

Tabla 5. Requisitos de ingeniería

Generación de alternativas

Siguiendo la metodología Lean-Startup formulado por Eric Ries en su obra titulada de la misma manera, en la que consiste en un proceso iterativo entre la adquisición de información o aprendizaje, la creación o el diseño de un producto mínimo viable y la medición que se adquiere probándolo en el mercado, para la generación o escoger alternativas se puede adaptar una metodología que permita ser garante en escoger las soluciones formuladas según el tipo de transmisión mecánica: Engranajes y Elementos flexibles, se aclara que el uso de caja multiplicadora se hace para distribuir las cargas presentes en el mecanismo, el cual será descrito a continuación ya que se necesita conocer o delimitar el funcionamiento de la máquina antes de realizar la transmisión mecánica y delimitar las entradas y salidas del sistema de transmisión (entrada es análogo a la bicicleta de spinning y salida es el generador o alternador para este caso).

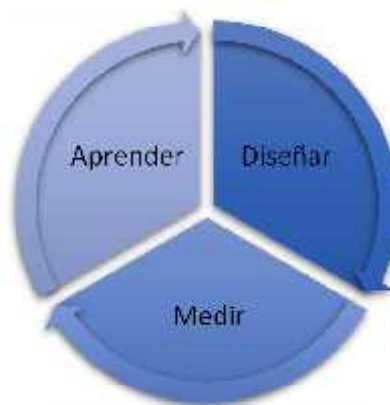


Figura 3. Método lean ajustado a la generación de conceptos

Funcionamiento de la máquina

Las bicicletas de spinning simulan de forma adecuada el ciclismo de ruta, ya que cuentan con un freno adaptable que sirve para aumentar y disminuir la resistencia ejercida por el usuario al momento de pedalear, también posee un volante de inercia que mantiene la velocidad medida relativamente constante y también cuentan con un marco o estructura que permite al ciclista variar entre distintos tipos de posturas que hacen los ciclistas para ejercitar no solo el tren inferior sino otras partes del cuerpo convirtiendo el ejercicio en una mezcla entre aeróbico y anaeróbico, como se ilustra en los anexos (sentado, levantado e inclinado) con eso en mente solo basta tomar medidas a una bicicleta que se tenga disposición y debido a que cuando se realizaron las entrevistas no se tomaron los datos mostrados en el tacómetro de la máquina y algunas ni siquiera contaban con tal dispositivo, por ende se optó por usar una de las bicicletas de spinning presentes en el lugar de residencia del autor del proyecto ver fotografía 1, más específicamente la de la marca sportfitness (de color negro y naranja).



Fotografía 1. Bicicleta de spinning del autor

Teniendo ambas cosas plasmadas se puede tomar como referencia un modelo dentro de la web que cuente con los estándares del ejercicio (variación de resistencias, velocidades, posiciones e intensidad de la música), en el gráfico 5 se puede apreciar un modelo de ruta para spinning delimitado en 5 zonas (entiéndase por zona a cada etapa de la ruta), cada una con distinta intensidad y resistencia mientras que en el 6 ya habiendo recorrido la ruta de ejemplo y con ayuda del tacómetro de la bicicleta se aprecian las variaciones de velocidad.

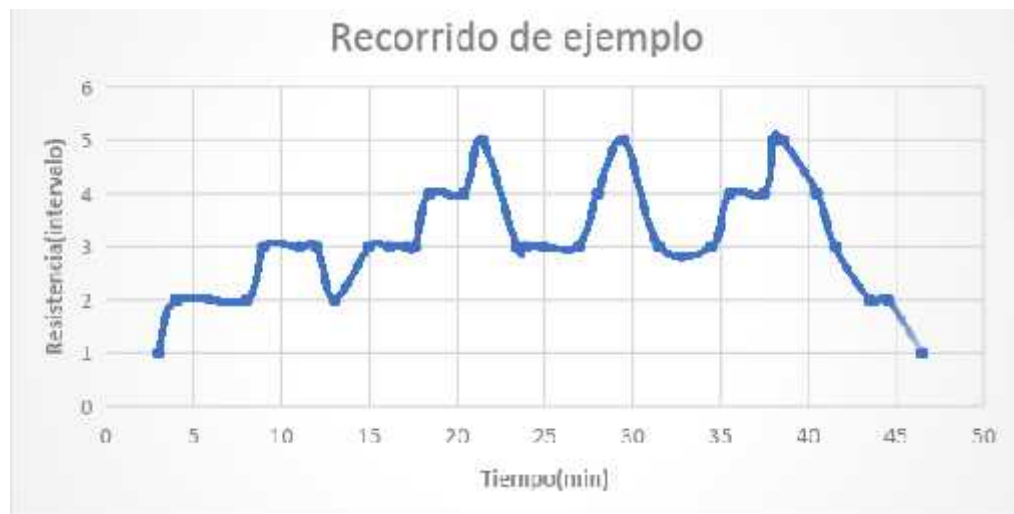


Gráfico 5. Modelo de ruta para spinning

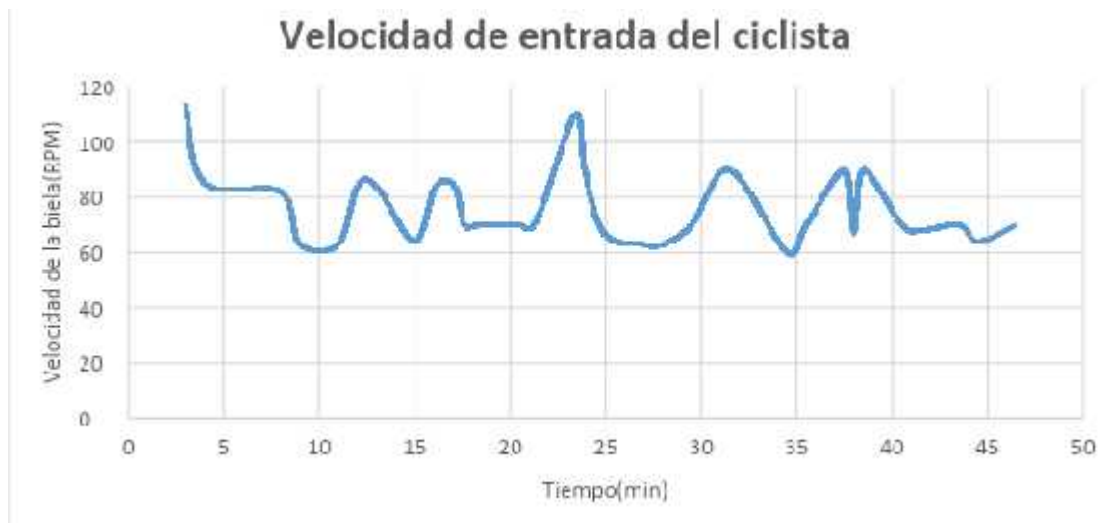


Gráfico 6. Variación de la velocidad de entrada del ciclista

Ya definiendo la velocidad, solo bastaría conocer el torque aplicado al momento de pedalear por los usuarios con la finalidad de conocer la potencia mecánica, para ello se supondrá que el torque al pedalear en una bicicleta tiene valores similares al de una bicicleta de spinning. por eso se usará la fuerza efectiva y las cantidades eficaces.

Mirando la figura 1 se puede denotar que el torque efectivo en la biela puede ser hasta de 60 Nm, sin embargo, el valor puede ser mayor para una bicicleta de spinning, pero para fines prácticos se asumirá un límite de hasta 80Nm que es el

valor medio que puede otorgar el sistema de frenos. Luego con los valores de torque y velocidad se pueden calcular los demás parámetros en las cajas multiplicadoras, en este caso se aplicarán los valores máximos para torque y medios para velocidad de forma iterativa, pero en elementos mecánicos con las especificaciones más bajas del mercado (material, tamaño), con el fin de abaratar los costos.

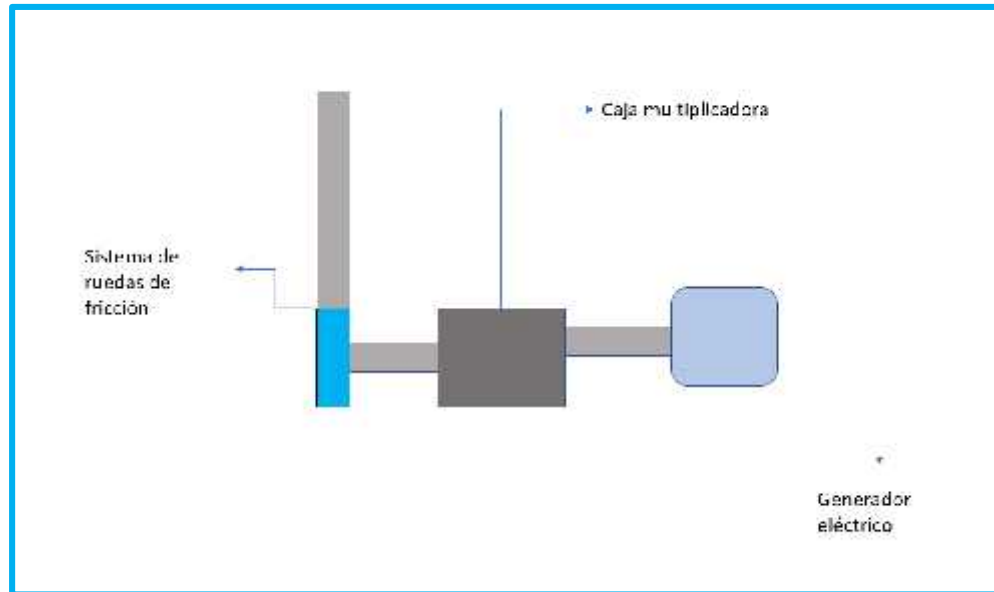


Figura 7. Modelo supuesto para el diseño de la caja multiplicadora

En todas las multiplicadoras se dispondrá el siguiente sistema supuesto en la figura 7, conformado por la rueda de fricción conectada al volante de inercia (reducción de las variaciones en la caja multiplicadora, y además no compromete las partes que conforman la bicicleta de spinning en cuanto a arreglos o cosas externas), la caja multiplicadora que se definirá cual será el elemento mecánico posterior a su simulación y selección y el generador eléctrico, cabe mencionar que se concibe un sistema con multiplicadora distinto a lo que se ideó en un inicio ver figura 8 modelo inicial, ya que no es recomendable una transmisión mecánica para cumplir con relaciones superiores a 7:1, y teniendo en cuenta que según la figura 9 los alternadores alcanzan la zona de estabilidad después de un valor de velocidad superior a los 2000 RPM, lo que pretendería que estuviese en el límite de generación y con posible error para su vida útil.



Figura 8. Modelo inicial de la alternativa

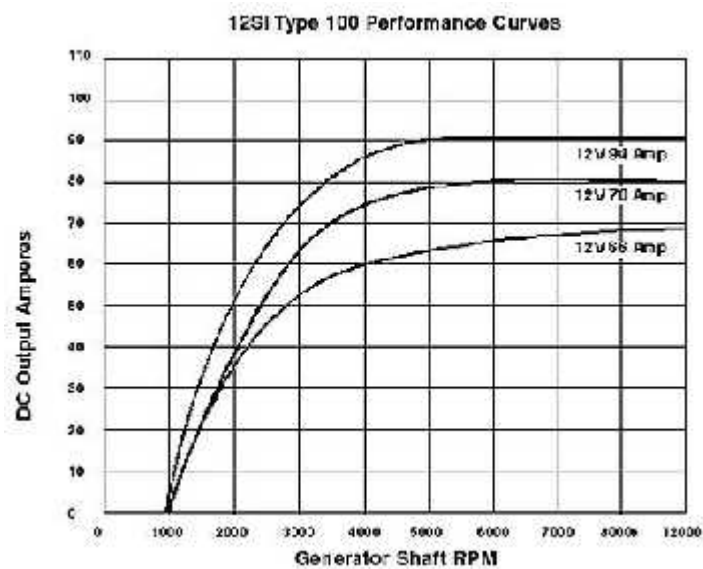


Figura 9. Curvas de alternadores

- a. Multiplicadora con sistema de engranajes: Usando un modelo de ecuaciones planteado por la AGMA (ver código en anexos), para determinar esfuerzos y deformaciones de engranajes rectos (Se debe tener una conversión a unidades del sistema ingles ya que la norma lo plantea hacer así), sometidos a cargas en este caso ocasionadas por una torsión en este caso, para ello se desarrolló un código usando el software Python que después fue pasado a la nube con ayuda del lector de la versión online de Matlab y en la que se calcularon los siguientes parámetros ligados a la resistencia del elemento:

$$\frac{F}{D * J * m} * k * k * k * k \leq \frac{S * R}{R * R} \quad \text{Ecuación 3 esfuerzos en engranajes rectos}$$

Donde

$$\begin{aligned}
 F &= F_t \quad (N, ll) \\
 b &= a_{hd} \quad d_e \\
 j &= M \quad d_{in} \quad p \quad d_e \quad (v_{ti} \quad e_a) \\
 m &= m \quad d_e \\
 k &= f \quad a \quad c_u \quad c_{st} \quad corr \quad (v_a) \\
 S &= E \quad p \quad a \quad l \quad f \quad ó \quad n
 \end{aligned}$$

Después de este cálculo se emplea la fórmula para determinar los desgastes en engranajes.

$$C \sqrt{\frac{F * R * R * R * R}{D * d * I}} \leq \frac{L * S * R}{R * R} \quad \text{Ecuación 4 Esfuerzos de desgastes}$$

Donde

$$\begin{aligned}
 d &= D \quad \text{ám} \quad p \quad d_e \quad m \quad p \quad ñ \quad e \quad l \quad t \quad ó \quad n \\
 S &= E \quad p \quad a \quad d \\
 C &= F \quad d \quad r \quad ó \quad n \quad d \quad d \\
 C &= C \quad e \quad á \quad s \quad i
 \end{aligned}$$

Al final con esos valores se han calculado los factores de seguridad para ambos casos siendo 8 para el caso de engranajes rectos que soportan cargas de flexión y 5 para cuando hay análisis de desgaste (queriendo decir que estaba sobre dimensionado, el código se puede apreciar en los anexos).

Modelado: si se quiere ver la interacción de las fuerzas sobre los dientes de los engranajes ya que son las partes sensibles al desgaste y a la rotura, para ello con las dimensiones mínimas establecidas en el catálogo se realiza usando un aplicativo CAD, se dibujan los engranajes y se acoplan de forma que sus diámetros primitivos entren en contacto como en la figura 10 y figura 11 ilustrando como sería ese modelado.

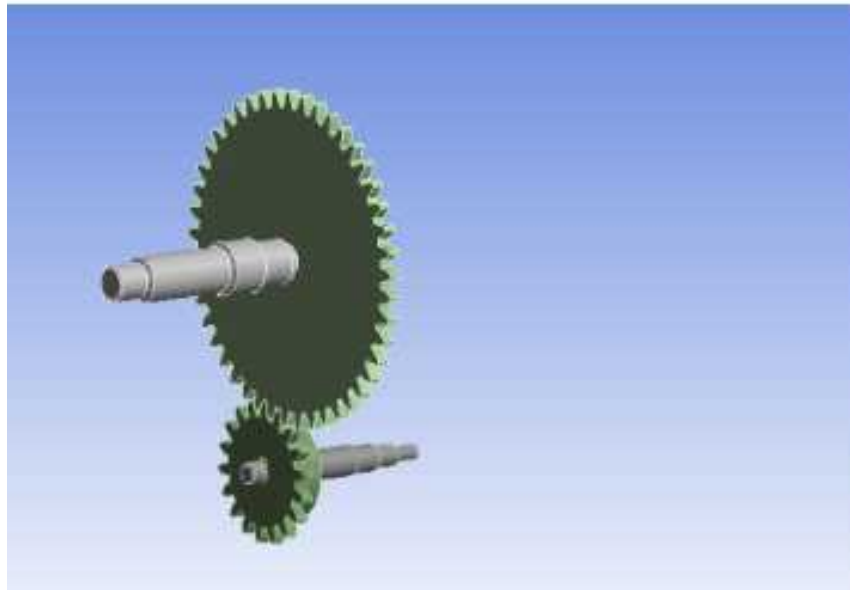


Figura 10. modelado de engranajes

Simulación: Usando el método de elementos finitos, se hace un análisis estático para ello la metodología es la siguiente: Definir las propiedades del material a simular, realizar o importar la geometría desde un software CAD, Comprobar los contactos (si es un ensamble), Crear una malla inicial, Delimitar las cargas a las que se someten los elementos, Simular, Rehacer la malla (con más elementos), Simular, analizar resultados.

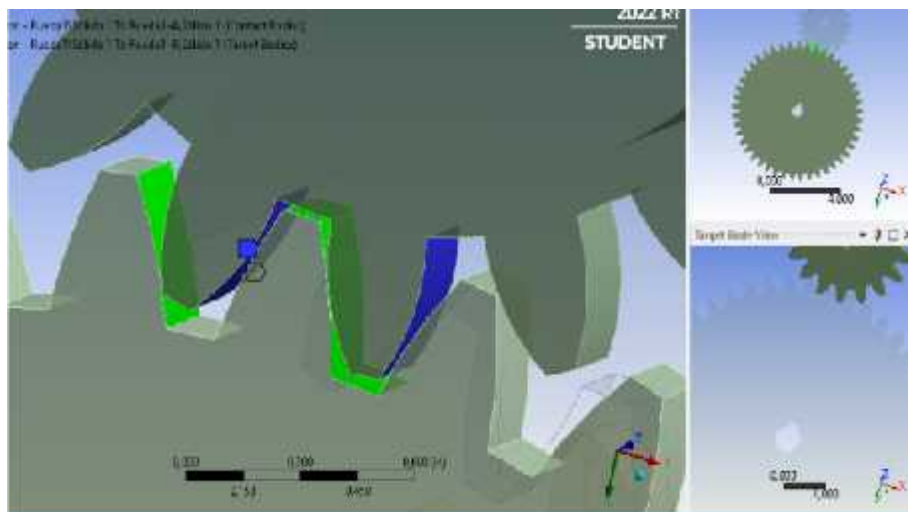


Figura 11. Revisión de contactos de los engranajes

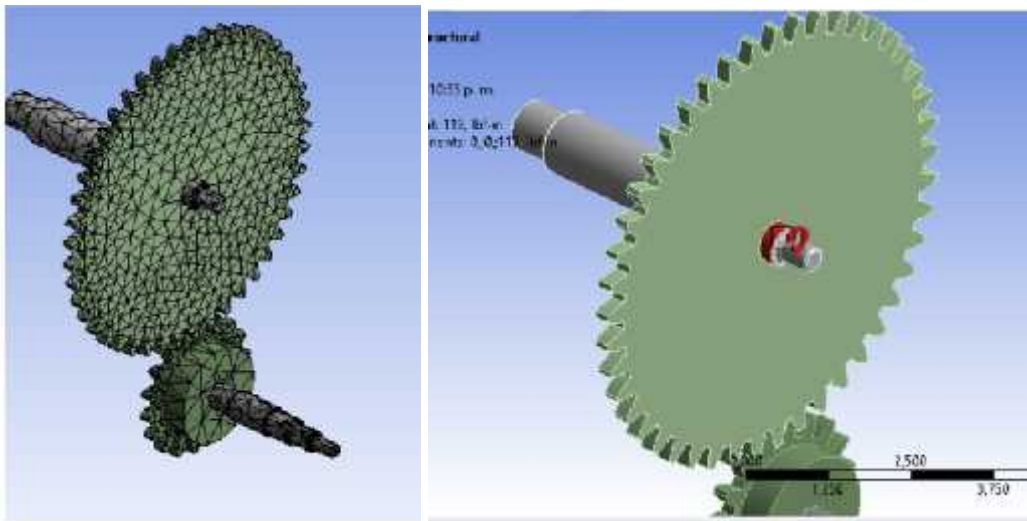


Figura 12. Mallado y Cargas en los engranajes

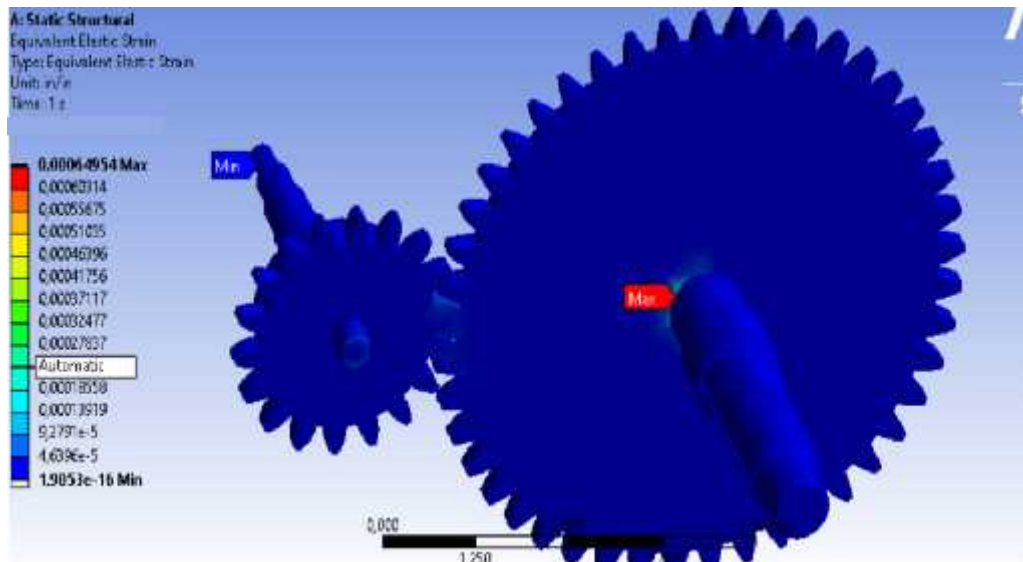


Figura 13. Calculo de esfuerzos máximos en la pieza

Como se ilustra en la figura 13 los esfuerzos, son mínimos a los permisibles para los engranajes denotando que, aunque el sistema cuente con los valores más pequeños geométricamente

- b. Multiplicadora usando elementos flexibles (cadenas o poleas): Con la finalidad de resumir el documento, puede encontrar los cálculos en los anexos junto con las fórmulas de cada apartado, para simular un elemento flexible se deben conocer las cargas inferior y superior que atraviesan al elemento en este caso la simulación se realizó usando datos tanto para

cadenas como para poleas, con una particularidad y es que los elementos mecánicos requerían estar tensionados con una distancia mínima de 500 mm o en el caso de las bandas en V requerían una de casi 4m de longitud, un valor bastante alto comparado con la distancia que puede o debería tener la distribución de bicicletas en un gimnasio.

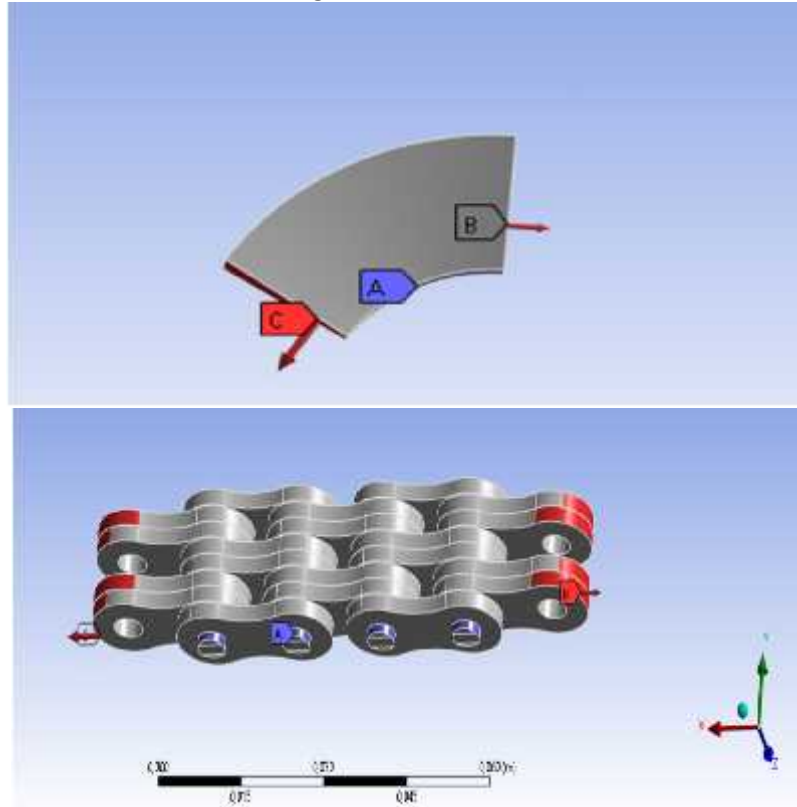
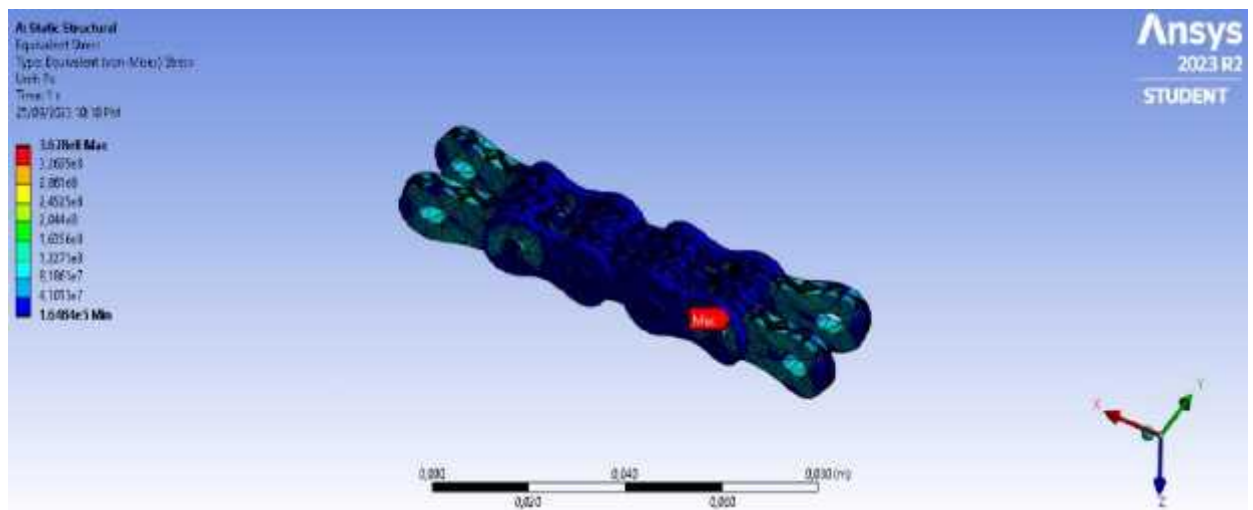


Figura 14. Tensión entre las fracciones de los elementos flexibles



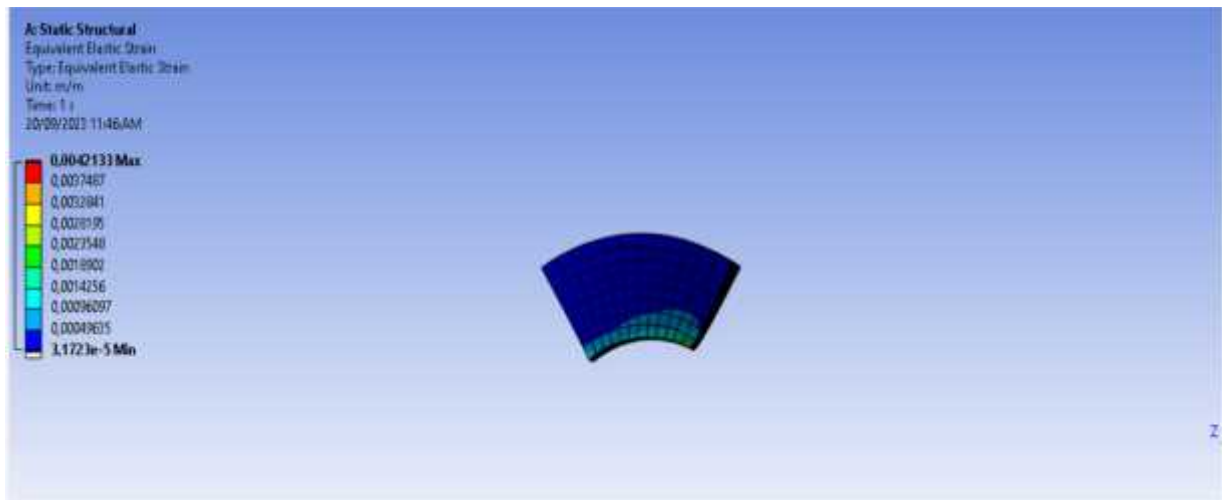


Figura 15. Resultados de esfuerzos por cargas a elementos flexibles

Como se puede notar los esfuerzos en los distintos elementos son también mínimos, del orden de 10^{-8} , en cadenas y 10^{-3} en poleas con banda en V, delimitando que el sistema no sufriría de problemas mecánicos para ninguna alternativa, con eso en mente ya se puede proceder a seleccionar la mejor opción para la transmisión mecánica.

Selección de alternativa de diseño

Usando el método de Pugh se puede elaborar una matriz a partir de los requisitos de ingeniería (ver en anexos), y con base al método lean startup ajustado, se pueden tener conclusiones más elaboradas, dando como resultado la siguiente tabla:

Relativos	Totales
A1	35
A2	30
A3	30

Tabla 4. Selección de alternativas

Donde A1: es la alternativa que usa engranajes, A2 la que usa bandas en V y finalmente A3 la que se vale de transmisión de cadenas y piñones, finalmente siendo escogida la transmisión por engranajes ya se puede continuar a diseñar los otros dos elementos que componen la transmisión mecánica (eje y rodamientos, siendo estos últimos resultado de un proceso iterativo donde si la zona crítica del eje se ajusta perfectamente, los rodamientos supuestos en principio se conservan).

Diseño de ejes

Primero se realiza un análisis estático y luego se hace uno de cargas dinámicas ocasionadas por el fenómeno de la fatiga, el factor de seguridad de un eje esta dado por la siguiente ecuación:

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

Ecuación 5 factor de seguridad en ejes sometidos a fatiga

Donde:

Como siguiente apartado para calcular el diámetro de la zona critica se debe conocer cuál es la zona critica, para determinarlo se hace el análisis de estática del eje donde se calcularán momentos y cargas a las que esté sometido.

- Análisis estático: Se parte elaborando un esquema supuesto de la distribución que tendrá el eje, conociendo los anchos de cara de los engranajes, las fuerzas que estos ejercían y a partir de ese diagrama ver figura 17, luego se toman las medidas de interés y se parte de un sistema de ecuaciones en función de los anchos de engranajes y de rodamientos supuestos, estos últimos siendo un valor en función del diámetro obtenido del catálogo de los rodamientos, que para el caso será de bolas.

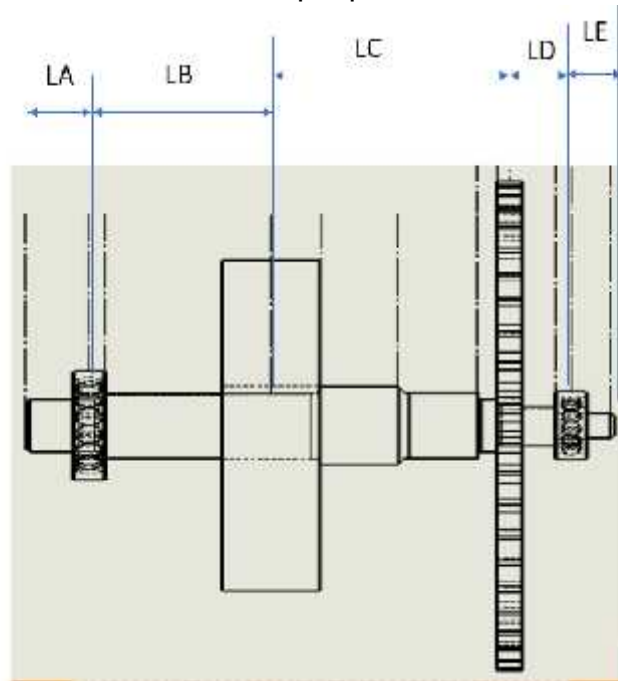


Figura 17. Esquema de eje hipotético.

Luego con base a ese modelo se esquematiza el diagrama de cuerpo libre del eje

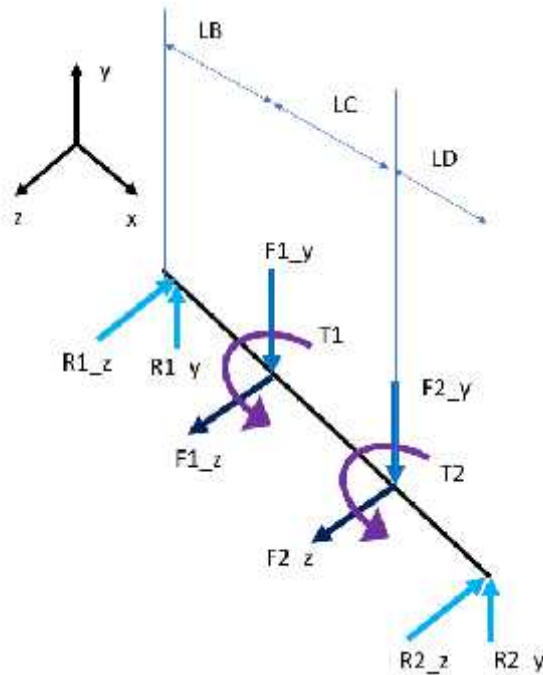


Figura 18. diagrama de cuerpo libre del eje 1

Para facilitar la iteración puede encontrar el código de solución del diagrama de cuerpo libre para el eje 1 y 2 en los anexos, finalmente con el valor de las fuerzas y reacciones calculadas:

$$R1(y, z) = (40, 112)$$

$$R2(y, z) = (62, 22)$$

$$F1(y, z) = (43, 119)$$

$$F2(y, z) = (20, 55)$$

$$T1 = 7,6 \text{ Nm}$$

$$T2 = 3,8 \text{ Nm}$$

Se realizan los diagramas de momentos (flectores, torsión), usando la aplicación MD_SOLID se puede tener ambos diagramas.

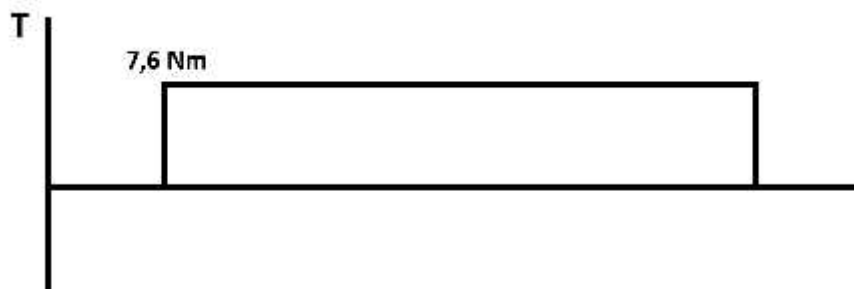
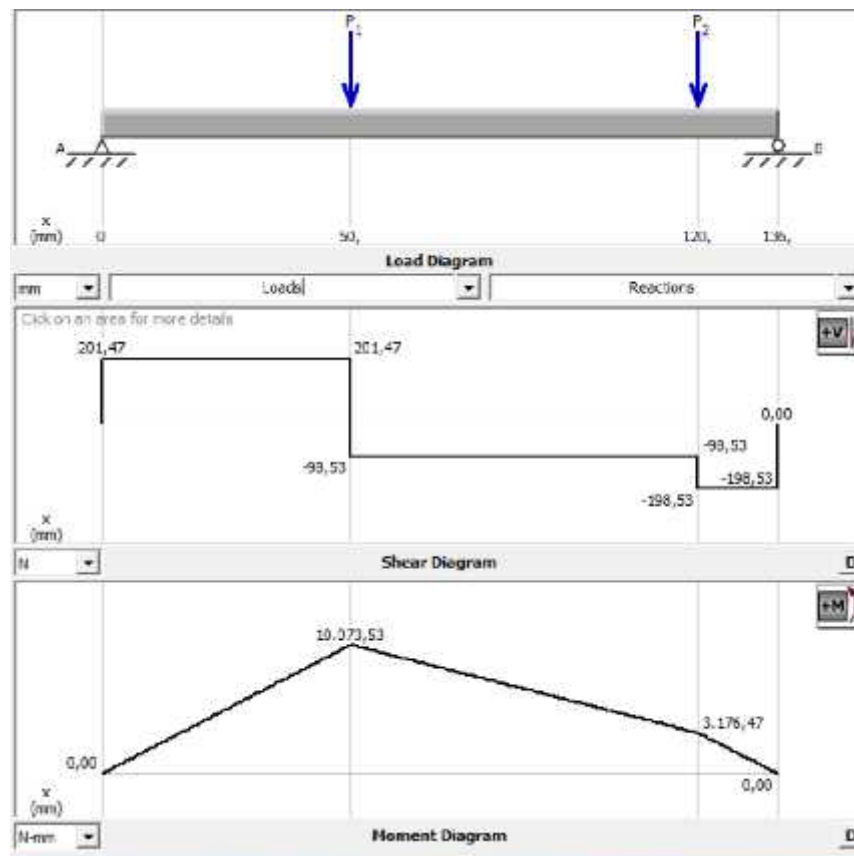


Figura 20. Diagrama de momentos flectores en el eje Y y eje Z y el momento torsor eje X

Luego y exclusivamente para el caso del eje 1 ya que es el que cuenta con dos elementos distintos de transmisión se usa el complemento de ANSYS mechanical para modelar y simular el eje y así corroborar que la zona critica sea donde se ubica la rueda de fricción, pero antes de verificar el estudio se hace una selección del material para ambos ejes.

Figura 21. Geometría y fuerzas en el eje 1

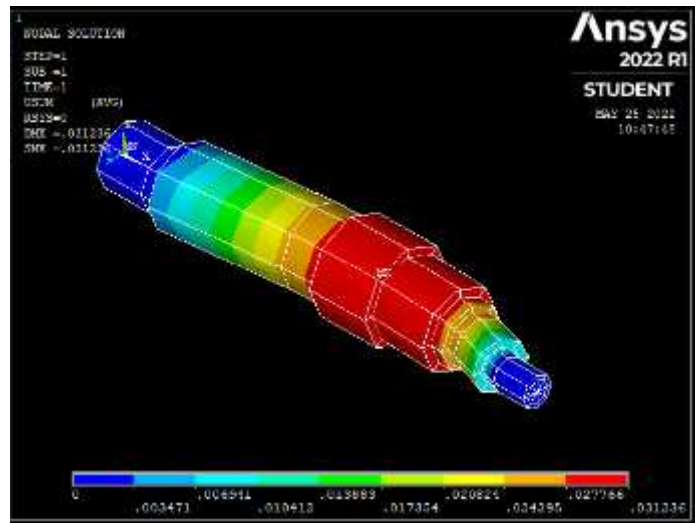
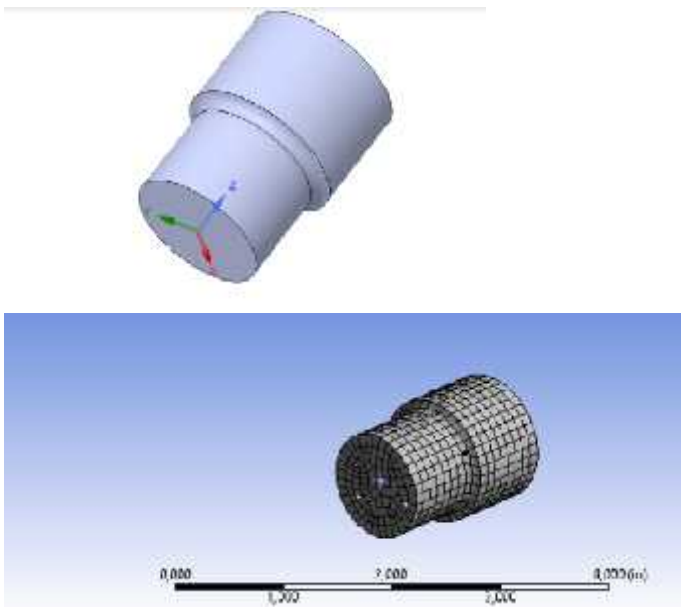


Figura 22. Zona crítica del eje 1

Se verifica que la zona crítica es donde se montara la rueda de fricción y entrara en contacto con el volante de inercia de la bicicleta de spinning, finalmente teniendo esto en mente se procede a separar la zona crítica de las demás y analizarse por separado usando el complemento de ANSYS WORKBENCH el mismo con el que se estudiaron los elementos de transmisión.



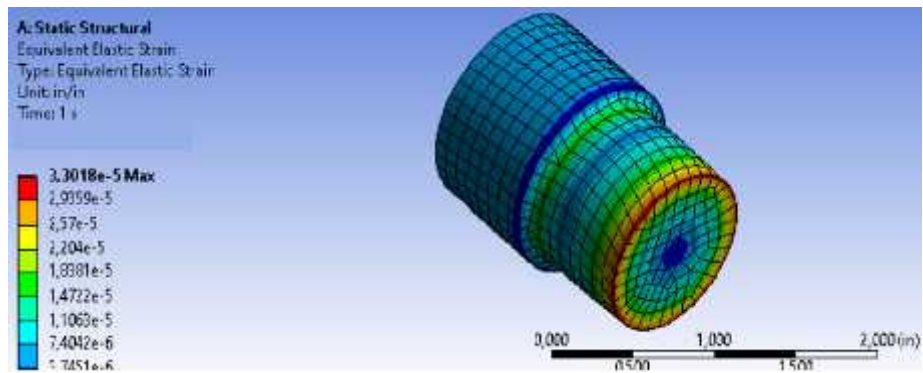


Figura 23. Modelo y malla de la zona critica

Al comprobar que existe una muy buena resistencia se rediseña el modelo haciéndose más compacto con la finalidad de que se aproveche la razón principal de elección de engranajes y retomando la simulación del modelo, pero ya en conjunto y repitiendo el proceso para el eje 2.

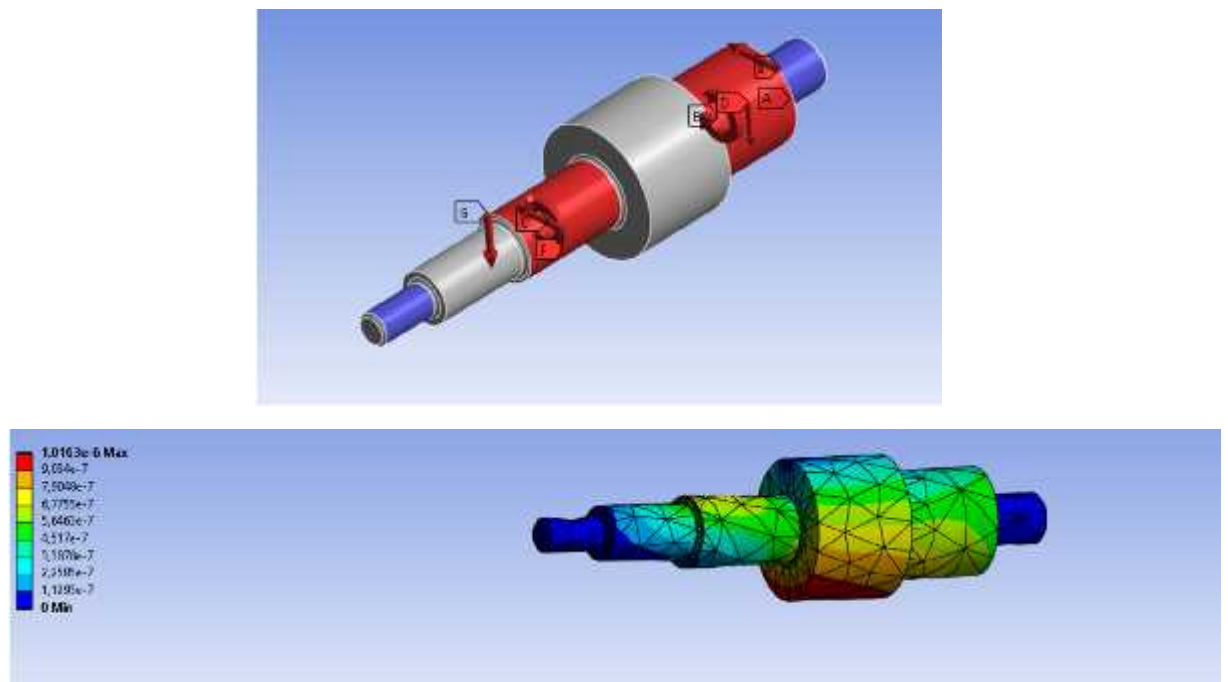


Figura 24. Nueva simulación del eje 1

Finalmente se hace una suavización del modelo de malla incluyendo un numero limite de elementos (la versión educativa lo tiene), para tener un resultado mas preciso en cuanto a esfuerzos del eje:

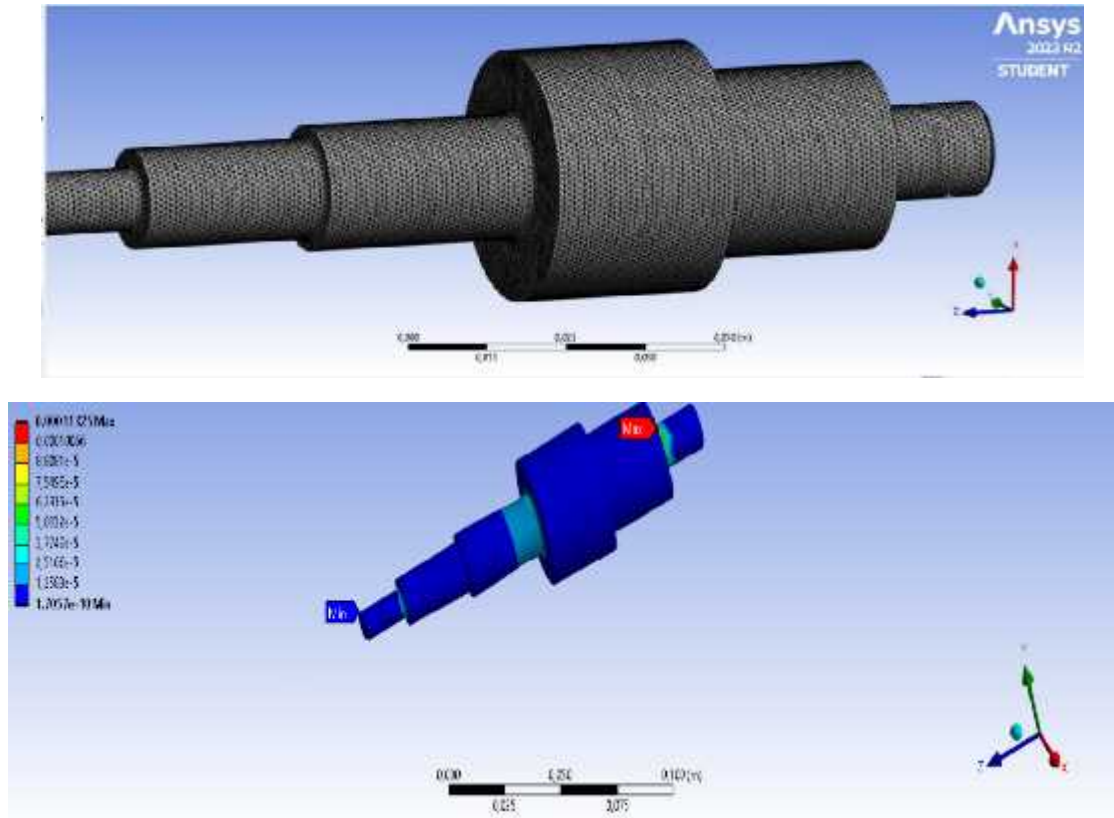


Figura 25. Nuevo mallado para eje 1

Siendo el esfuerzo máximo de 0.00011325 MPa , un valor que está muy lejos del esfuerzo permisible para el Acero a-36, con lo que se puede definir que a estática el eje no va a presentar fallas

Repitiendo el proceso para el eje 2 finalmente queda

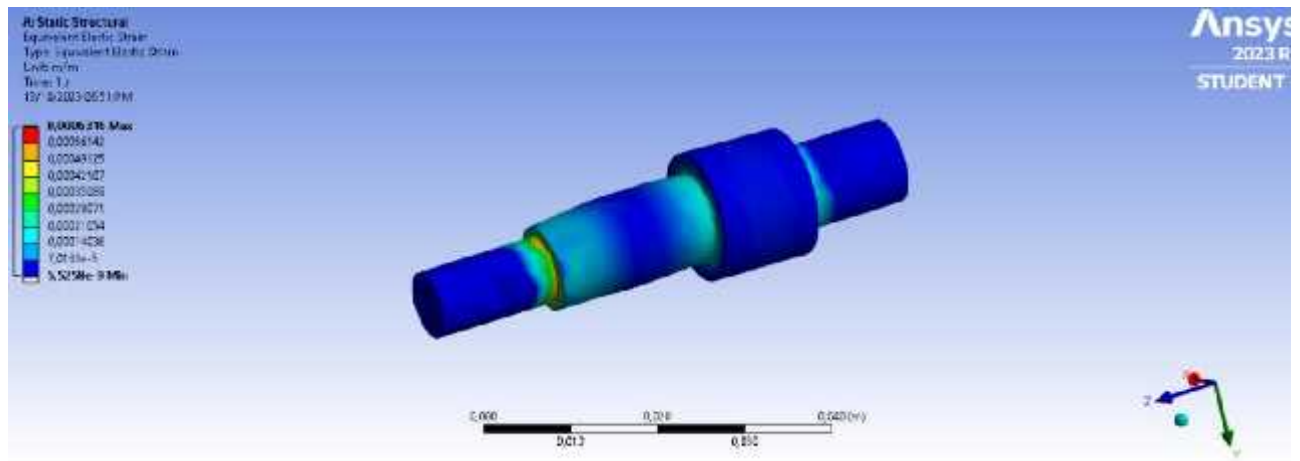


Figura 26. Resultados en eje 2

Se ve que el eje 2 resistirá también a las cargas y momentos que se someta.

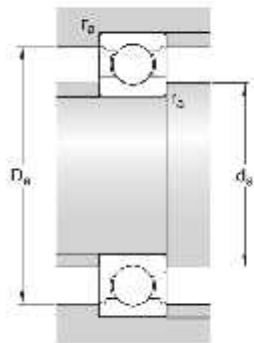
Diseño de eje a fatiga

Los radios de entalle presentes en los cambios de sección de los ejes son lo que se denominan concentradores de esfuerzos, el objetivo de este análisis es concluir que el eje tendrá una vida útil aceptable con lo esperado, sin importar el número de ciclos de uso, aplicando la ecuación 5 y sobredimensionando el factor de seguridad a un valor más alto que dos debido a que las máquinas de gimnasio no tienen problemas o fallas ocasionadas por el fenómeno de fatiga y se requiere mantener esa misma dinámica con los mecanismos del diseño final en este proyecto, se puede obtener el diámetro mínimo en la sección crítica para que el elemento soporte las cargas ya sean estáticas o dinámicas, dicho valor es igual a.

$$d = 5m$$

Elección de rodamientos

El procedimiento se hace siguiendo las especificaciones de SKF que es el mayor fabricante de rodamientos a nivel mundial, lo primero es seleccionar el tipo de rodamiento y este se encuentra en función de la clase de carga que vaya a soportar la caja de transmisión, para el caso se seleccionara un rodamiento rígido de bolas los cuales soportan cargas radiales y axiales, también sirven para velocidades altas o muy altas, de bajo mantenimiento, en conjunto son muy versátiles. El otro criterio de selección se hace en conjunto con los diámetros establecidos por los ejes, los rodamientos son esenciales no solo por el soporte y la disminución de los grados de libertad en el mecanismo, sino que también ayudan a configurar la geometría final del eje analizado tal como se ilustra en la figura 25.



Dimensiones de los resaltes

d_a	min. 14.2 mm	Diámetro del resalte del eje
D_a	max. 25.8 mm	Diámetro del resalte del soporte
r_a	max. 0.3 mm	Radio del eje o acuerdo del soporte

Figura 27. Dimensiones de los resaltes del eje donde se deben montar

Finalmente, con los cálculos de la transmisión realizada basta con la representación esquemática

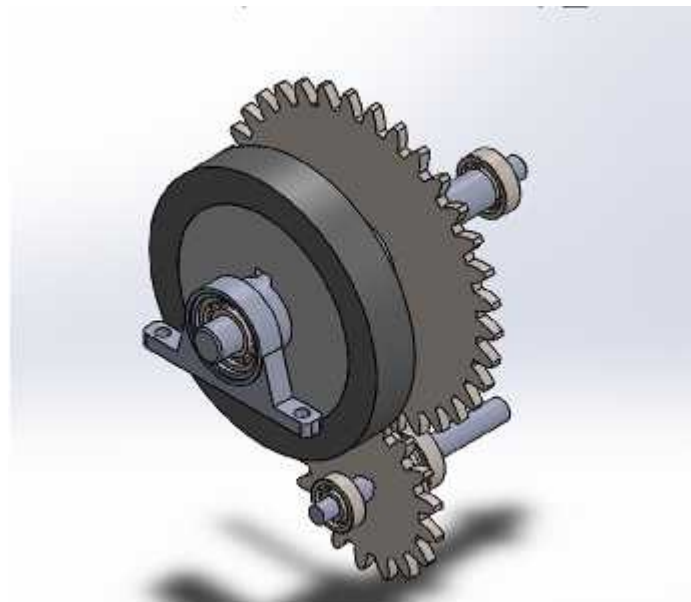


Figura 28. Esquema de la transmisión mecánica

Simulación del sistema de generación eléctrica

Para ello se recurrirá finalmente al software Proteus cuya versión se encuentra instalada en los computadores del laboratorio de electrónica de la sede principal, tomando como referencia a que el generador en principio necesita establecer un voltaje de trabajo en el software para poder simularse, y sin tener uno físico se recurre a valerse de la teoría de control en el que se habla sobre el diseño de sistemas dinámicos que para el caso se puede apreciar un sistema electromecánico (rotación de elementos mecánicos y el sistema eléctrico que compone la generación de energía) tal como se muestra en la siguiente figura:



Figura 29. Sistema dinámico

En un sistema dinámico se busca relacionar el cambio que existe entre una entrada determinada y su salida, para ello es importante delimitarla como esta en el sistema

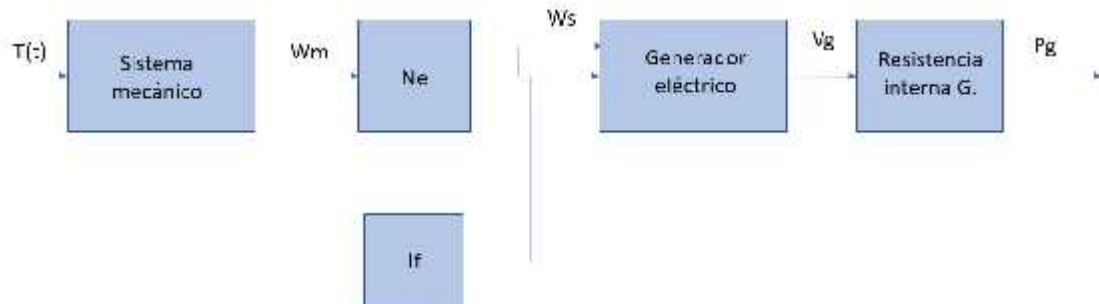


Figura 30. Sistema dinámico desde el pedaleo de entrada hasta el generador eléctrico

Contando con el esquema genérico planteado en la figura 30, donde el sistema mecánico es de tipo rotacional, Ne es la relación de transmisión equivalente del sistema de caja multiplicadora y transmisión inicial de la bicicleta, el generador eléctrico el cual no producirá una diferencia de potencial o voltaje sin que se le aplique una corriente de excitación y finalmente la potencia generada está en función de la resistencia interna del generador.

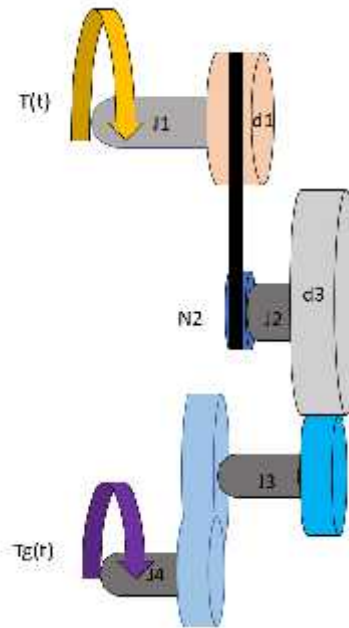


Figura 31. Modelado de la cadena mecánica del sistema

El sistema de rotación puede simplificarse ya que debidamente solo se requieren las relaciones entre la entrada y la salida del mismo, también asumiendo que la caja multiplicadora se puede suponer como un sistema equivalente, así mismo para el sistema eléctrico, con ayuda de la literatura se encuentra que el circuito de excitación del alternador puede ser de la siguiente manera y con los siguientes valores

Aplicando la ley de ohm para circuitos cd se tiene que la corriente de excitación en este caso supuesto tiene un valor de 0,25 A. y con esto en mente solo falta definir la resistencia interna del generador, para ello se recurre al modelo planteado por Behn-Schenburg que formula un diagrama equivalente para el generador eléctrico, siendo de la siguiente manera:

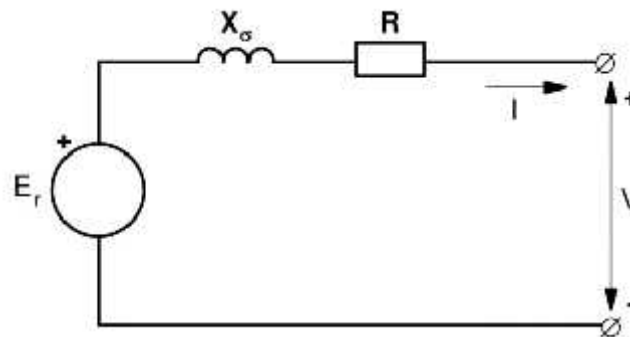


Figura 32. diagrama de circuito equivalente para máquina síncrona

El sistema dinámico quedara de la siguiente manera dividido por una transmisión equivalente la cual se obtiene desde la transmisión de las bielas hasta el volante de inercia, sigue por la caja multiplicadora y el circuito eléctrico equivalente.

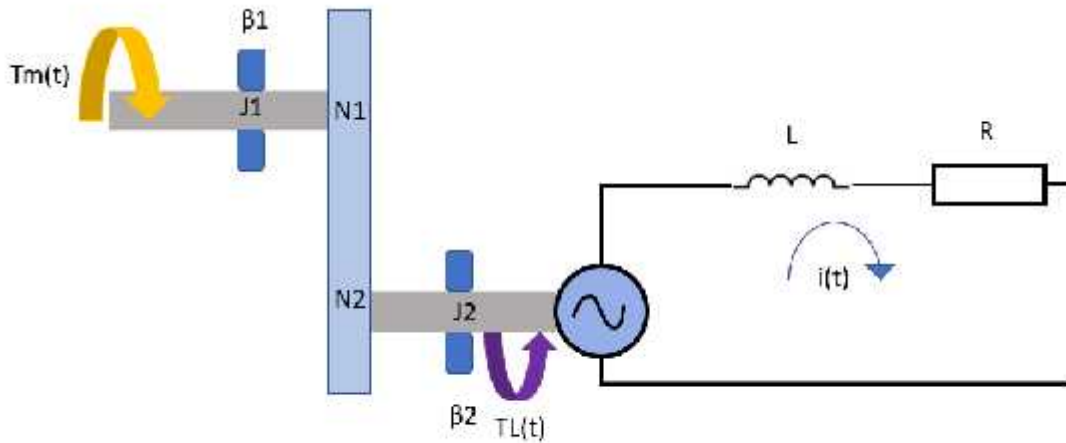


Figura 33. Sistema dinámico Equivalente

Aplicando los principios de modelado de sistemas se usan las ecuaciones seccionadas en dos partes, Mecánica, eléctrica y su relación de la siguiente manera:

Mecánica	Eléctrica
$Tm(t) - T1(t) - \beta 1 \omega m(t) = Im \frac{d\omega m}{dt}$	$Vg(t) = Ri(t) + XiL \frac{di}{dt}$
$T2(t) - TL(t) - \beta 2 \omega L(t) = JL \frac{d\omega L}{dt}$	Relación electromecánica $Vg = Ke * i(t) + \omega L$ $Tg = \frac{Pg}{\eta m + \eta g + \omega L}$
Caja multiplicadora $Ne = \frac{Z1}{Z2}$ $T2 * Ne = T1$	

Ecuación 7. Sistema de ecuaciones diferenciales del modelo dinámico

Donde

Luego se utiliza la transformada de Laplace para linealizar el sistema dinámico y así encontrar la función que relaciona la entrada con la salida, denominada función de transferencia, que para el caso sería de la siguiente manera Salida sobre Entrada:

$$G(s) = \frac{P(s)}{T(s)} \text{ Ecuación 8 Función de transferencia}$$

Una de las ventajas de un sistema lineal es que permite usar el principio de superposición es decir que la mezcla de sus partes individuales compone un todo tal como se ilustró en la figura 27, quedando una ecuación de la siguiente forma

$$G(s) = \frac{K}{J + \beta} * \frac{K}{X + R} * \eta * I * N \text{ Ecuación 9 Función despejada}$$

$$F(s) = \frac{G(s)}{1 + G(s)} \text{ Ecuación 10 función de transferencia}$$

Para completar la simulación se utiliza el complemento de Matlab simulink, en su versión online disponible para estudiantes (correos institucionales) y el sistema queda finalmente así:

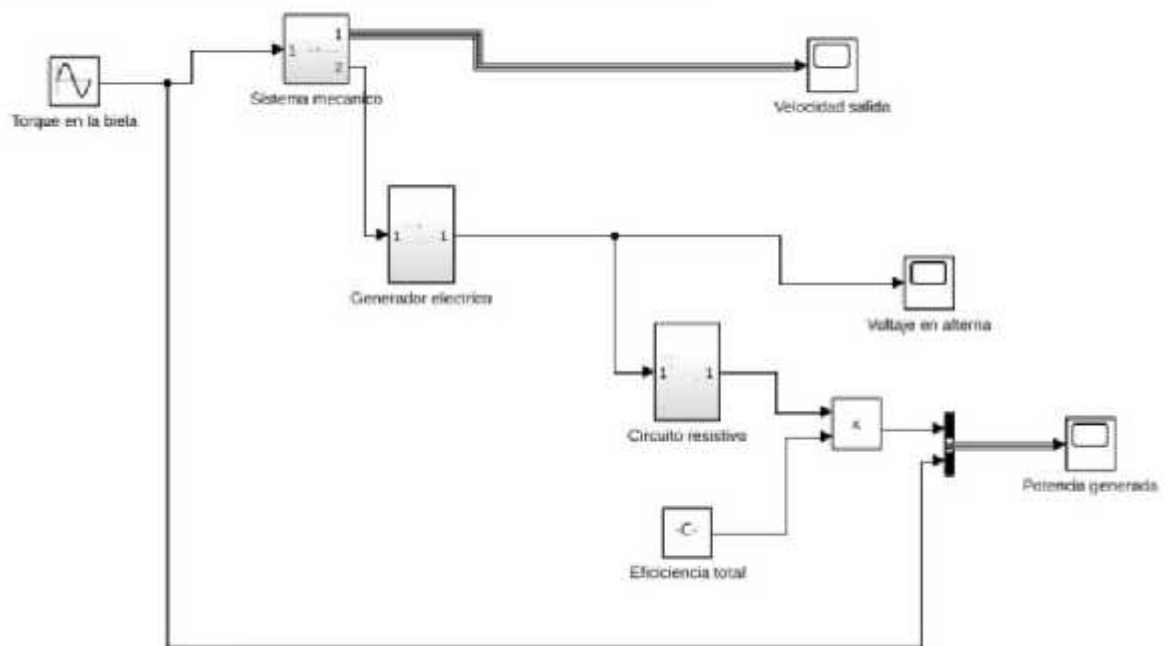


Figura 34. Sistema dinámico representado en simulink

El sistema se analiza como uno en dominio de la frecuencia es decir con la entrada sinusoidal, como resultado se obtendrá una salida también de este estilo para los valores de velocidad, voltaje a la salida y potencia generada.

Voltaje y Potencia generada de salida

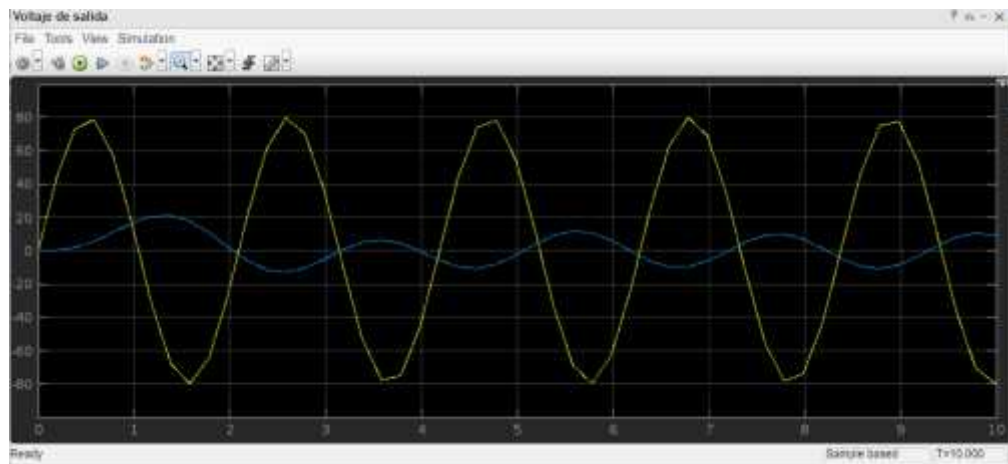


Figura 35. Resultados de voltaje de salida para una entrada de 80 Nm

Siendo el valor máximo de voltaje de 20 V cuando el torque es máximo 80 Nm y mínimo de 5 V, los valores máximos de cada onda son:

$$V = \sqrt{2} * 20 \rightarrow 28V \text{ Ecuación 11 Voltaje máximo de onda sinusoidal}$$

Valor cuando torque es máximo y el mínimo seria aproximadamente de 7 V, finalmente para valores de potencia de salida del generador es:

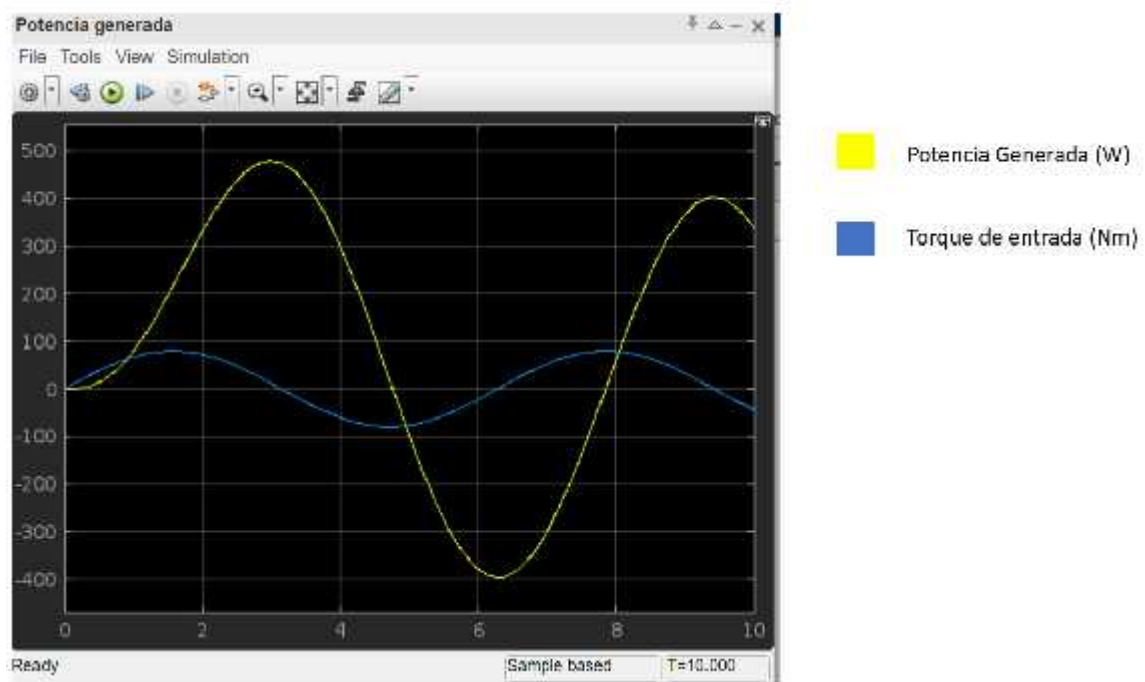


Figura 36. Resultados simulink

Donde el máximo sería de

$$P_i = 400W * \sqrt{2} \text{ Ecuación 12 potencia generada máxima}$$

$$P_i = 565 W$$

Los valores se organizan en la siguiente tabla en función del parámetro de entrada y los valores de salida:

Tm(Nm)	wS(rpm)	Vol.s(V)	Vmax (V)	Pg(W)	Pg max(W)
20	650	5	7,07106781	125	176,776695
40	1250	10	14,1421356	200	282,842712
60	1800	15	21,2132034	320	452,54834
80	2500	20	28,2842712	400	565,685425

Tabla 5. Variables de simulación de sistema

Simulación de sistema eléctrico

Modelar únicamente el generador con su resistencia interna puede ayudar, no obstante, el alternador se compone como se representa en los anexos un estator de bobinas en estrella y el campo electromagnético del rotor. Para la simulación el

software Proteus une el estator con el rotor de la máquina en un solo bloque denominado alternador, solo basta con representar la resistencia, el rectificador y el regulador para tener la simulación del circuito completo, excluyendo las baterías y el sistema de inversor que se representará en el diagrama unifilar, la simulación se esquematiza de la siguiente manera

El valor máximo que puede generar cuando el voltaje es igual a 25 V es:

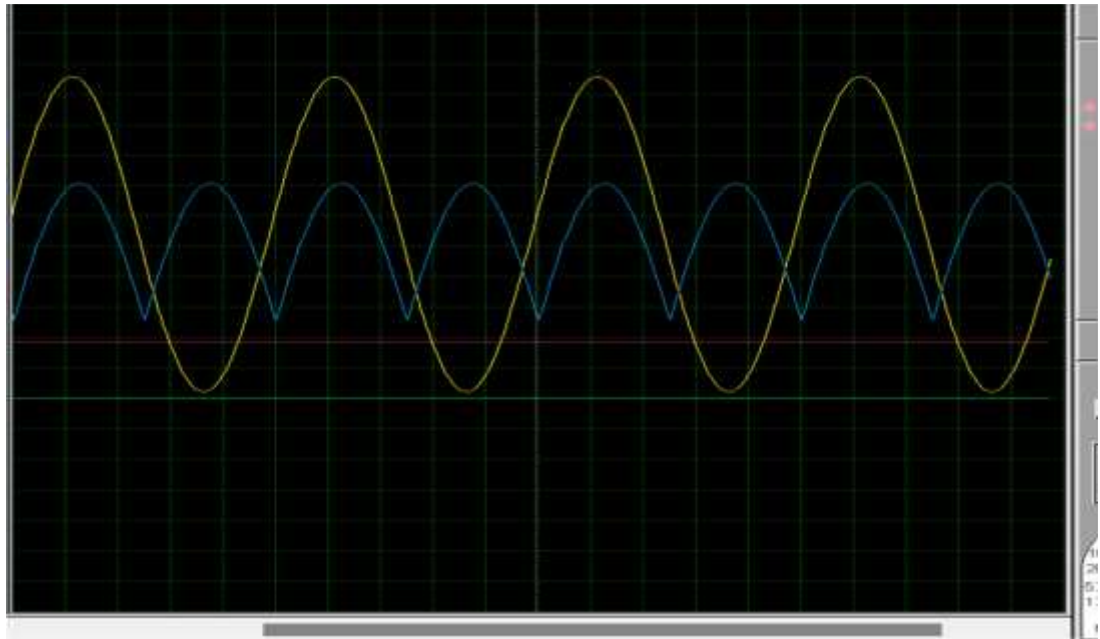
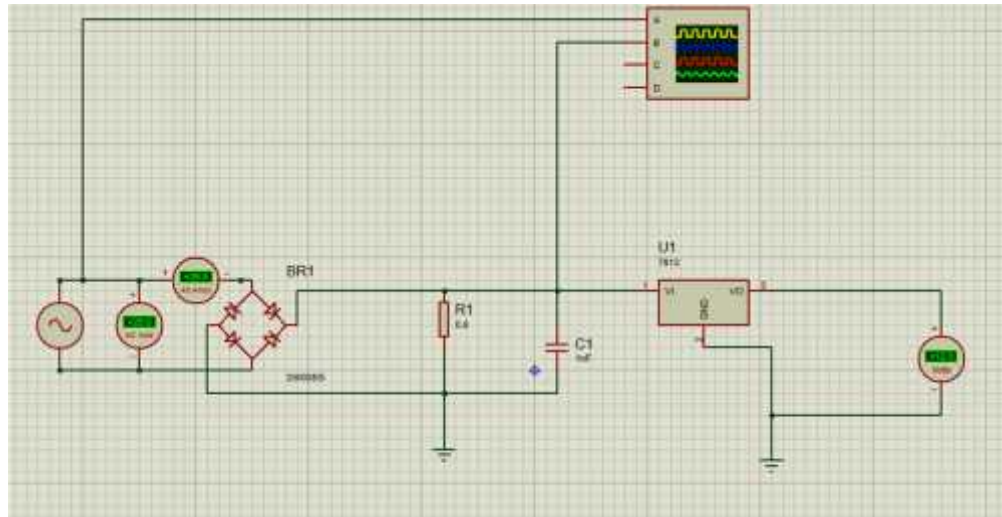


Figura 40. Resultados simulación

$P = V * I$ Ecuación 13 Potencia del generador

Dimensionamiento de componentes electrónicos

El diagrama unifilar ilustra el flujo de energía en una instalación mixta. Comienza con un generador conectado a un transformador, seguido por un regulador y un motor. Se detallan los componentes como el interruptor principal, el interruptor de protección y el interruptor de control. El diagrama también incluye una leyenda para las unidades de potencia (kW) y una escala de longitud.

50

Aplicando las ecuaciones establecidas en los anexos de baterías, sistema de protecciones y de inversor se tienen los siguientes aspectos:

Ítem	Componentes	Cantidades
1	Alternador Chevrolet Spark 12V	1
2	Regulador de alternador 12 V	1
3	Cable 8 AWG x 1m	3
4	Inversor 12 V a 120 V 500 VA (onda pura)	1
5	Batería 12 V 400 Ah	1
6	Cableado 8TW x 5m	1
7	Contador bidireccional	1

Tabla 5. Dimensiones de componentes eléctricos

Estudio Económico

A partir de factores como el dimensionamiento de los componentes de la instalación se parte de una lista de productos con sus precios indicados en pesos colombianos COP, que es lo que corresponde al valor o costo inicial.

Ítem	Producto	Precio	Unidad	Cantidad	Precio Total
1	Alternador de Chevrolet spark 12 V	500000	COP/unidad	1	\$ 500.000,00
2	Batería 40 Ah	450000	COP/unidad	1	\$ 450.000,00
3	Pareja de engranajes	150000	COP/unidad	1	\$ 150.000,00
4	Barra de acero estructural a-36 diam. 20"	200000	COP/metro	1	\$ 200.000,00
5	Inversor onda pura 12 V	700000	COP/Unidad	1	\$ 700.000,00
6	Cableado	100000	COP/Unidad	1	\$ 100.000,00
7	Elementos de protección	200000	COP/Unidad	1	\$ 200.000,00
8	Elementos de sujeción	200000	COP/Unidad	1	\$ 200.000,00
9	Estructura de soporte	400000	COP/Unidad	1	\$ 400.000,00

Tabla 6. Cotización elementos principales

Ítem	Personal	Precio	Unidad	Cantidad	Precio total
1	Ingeniero de instalación	16000	COP/hora	5	\$ 80.000,00
2	Auxiliar de instalación	8000	COP/hora	5	\$ 40.000,00
3	Transporte a lugar	6000	COP/persona	2	\$ 12.000,00
4	Varios	14000	COP/Instalación	1	\$ 14.000,00

Tabla 7. Cotización de mano de obra

Total, parcial	\$ 3.046.000,00
imprevistos	15%
Gran total	\$ 3.502.900,00
Precio del mercado	\$ 6.000.000,00
Margen de ganancia	20%
Precio de venta	\$ 4.203.480,00

Tabla 8. Total, de costos del producto

El costo de venta o precio de venta es el que pagaría un posible cliente por adquirir el producto que se le va a ofrecer, para completar el análisis económico se debe incluir un posible beneficio que traería para los dueños de los gimnasios tras adquirir la solución que se ha modelado, para tal fin se requiere conocer el precio que pagan por la energía y comparar la recuperación de la inversión en términos de años usando indicadores económico como lo son VPN y TIR.

Para el consumo hubo cierta caracterización y es que los gimnasios suelen estar equipados con una serie de elementos determinados que pueden generalizar un estudio aproximado, ya que al momento de hacer las entrevistas no se contaba con un equipo de medida para cada aparato así que se optó por utilizar la caracterización de elementos los cuales se dividen de la siguiente forma:

Tipo de consumo	Elementos ejemplo
Aseo de clientes	Duchas, secador
Adicionales	Sauna, Climatización de agua
Máquinas electrónicas	Trotadora
Iluminación	Luces, lámparas
Audio	Equipo de sonido, parlantes, computadores
Sistema de climatización	Ventilador, aire acondicionado

Tabla 9. Tipos de elementos comunes en un gimnasio

Desglosándolo en una matriz de ejemplo para una instalación que presente un consumo similar al pago de la electricidad que se evidencio en el resultado de las encuestas (ver tabla 10).

Electrodoméstico	Consumo promedio (W)	Horas de uso(h)	Cantidad electrodomésticos	Consumo diario(Wh)
Aire acondicionado	1500	2	1	3000
Calentador de agua	1300	0	1	0
Cargador teléfono móvil	5	2	5	50
Climatización piscina	500	0	0	0
Computador de mesa	200	8	1	1600
Ducha eléctrica	3500	4	2	28000
Equipo de sonido	120	4	1	480
Iluminación	29	6	15	2610
Impresora	32	6	1	192
Licuadaora	450	2	1	900
Microondas	1200	1	1	1200
Nevcras bebidas	200	4	2	1600
Parlantes	23	4	3	276
Router Wifi	8	24	1	192
Secador de pelo	825	1	1	825
Trotadora	1900	4	6	45600
Tv	150	6	1	900
Ventilador	288	0	0	0
Sanduchera	750	0	0	0
Cafetera	720	2	1	1440
Dispensador de agua	50	3	1	150
Consumo total diario (kWh)				89,015

Resultados de matriz de consumo	
Total, consumo diario (wh)	89674
días de operación	30
Total, mensual (kWh)	2690,22
precio kwh (COP)	900
Costo aproximado	\$ 2.421.198,00
Costo anual	\$ 29.054.376,00

Tabla 10. Matriz de consumo para gimnasio teórico

Asumiendo que el costo del kWh en Bogotá fuese de 900 COP en el momento que se planteó el proyecto, y determinando que ese es el precio que debería pagar un gimnasio con ciertas características básicas como: sistema de audio, climatización, agua sanitaria, trotadoras después de tener ese dato se puede calcular o estimar el VPN, TIR asumiendo como tasa de interés para el primer ítem como el valor que incrementó con respecto al kWh durante el 2021 hasta el 2023, también se tomara un tiempo o periodo de 120 meses es decir 10 años y se analizara si se recupera o no la inversión realizada con el ahorro que tengan las maquinas en los cuatro escenarios que se plantearan.

TIR y VPN

Es un parámetro que mide la rentabilidad del proyecto en función a una tasa de interés que ocurre cuando VPN es igual a cero, también dicha tasa se debe comparar con la tasa coste oportunidad en caso de ser mayor que esta última se podrá definir que la inversión será atractiva, para el calculo de tal factor se requiere una inversión inicial, unos pagos en función del tiempo de la tasa de interés, cabe resaltar que en ambas partes hay que garantizar que existan valores negativos, también vale aclarar que el tiempo de recuperación se analizara para periodos de cinco a diez años ya que es el periodo mínimo de ganancias para un sistema fotovoltaico.

Escenarios

Los cuatro escenarios en los que se formularán para analizar la alternativa, cada escenario contempla un precio del 900 COP/kWh, estarán en función del torque, se hará un análisis de retorno de un periodo menor a 5 años, un mantenimiento preventivo anual de aproximadamente 150000 COP, las horas de uso y los días de operación, a todos se les calculará la TIR y el VPN.

- Escenario optimista: cuando se supone que se genera energía a máximos niveles es decir con un torque de 80Nm, un uso de 8 horas o mas durante el día y 30 días de apertura.
- Escenario promedio: Cuando la energía generada es a un torque de 60 Nm, un uso de 5 horas de uso diario, y 24 días de apertura.
- Escenario medio teórico: basado en la potencia promedio que generaron los prototipos funcionales de los trabajos que se consultaron, horas de uso 4 similar a los que daban en las encuestas, y unos 26 días de operación.
- Escenario pesimista: Cuando la maquina opera con un torque de entrada de 20 Nm y que sea usada una hora diaria, durante 20 días de funcionamiento.

Escenario optimista	
Costo (COP/kwh)	950
Horas de uso	10
Producción energía (kWh)	0,45
días de operación	30

Tabla 11. Ejemplo escenario optimista

Indicadores economicos

Tomando como referencia inicial al escenario optimista se hacen los balances de flujo efectivo para un periodo de recuperación de 5 años, en los demás escenarios a excepción del pesimista, los resultados se evidencian en la figura 42, la razón es que este último en lugar de ganancias produjo pérdidas anuales siendo un buen punto de referencia para analizar a futuro.

Escenario Optimista	
Nper (años)	Efectivo (COP)
0	-4.203.480,00
1	\$ 1.389.000,00
2	\$ 1.389.000,00
3	\$ 1.389.000,00

4	\$ 1.389.000,00
5	\$ 1.389.000,00
TIR	19%
Tasa (10%)	\$ 5.265.402,82
VPN	\$ 1.061.922,82

Tabla 12. Resultados de escenario optimista

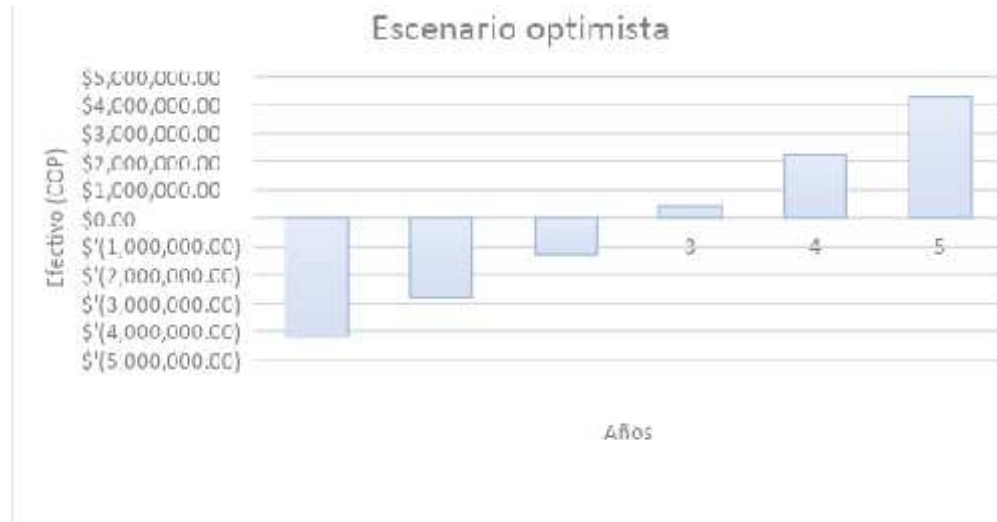


Gráfico 7. Flujo de caja escenario optimista

Se puede apreciar que recuperara la inversión a partir del año 3 con una tasa de interés del 10%, en el escenario más optimista.

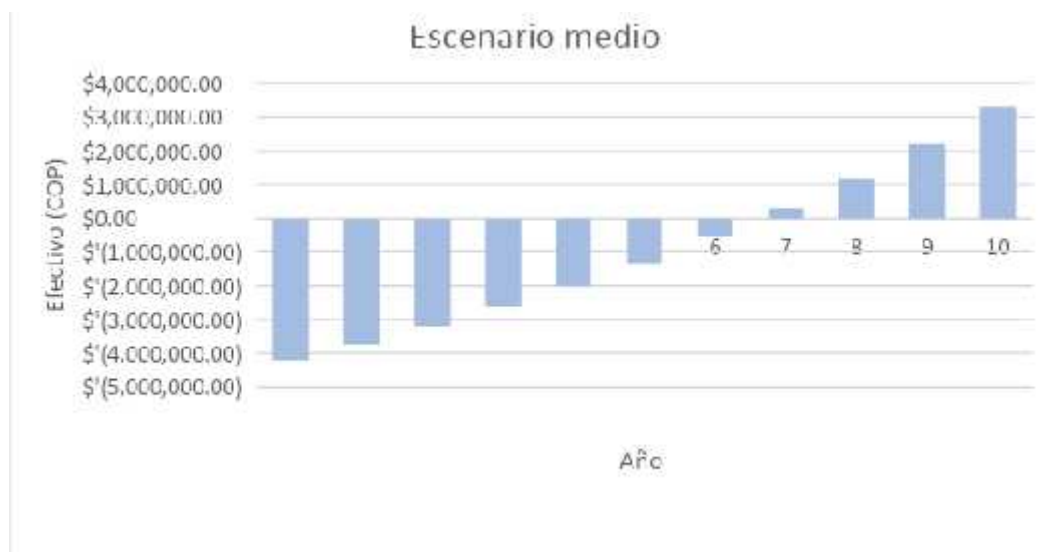


Gráfico 8. Escenario medio

La recuperación se da a partir del año 7 con la tasa de interés del 10%.

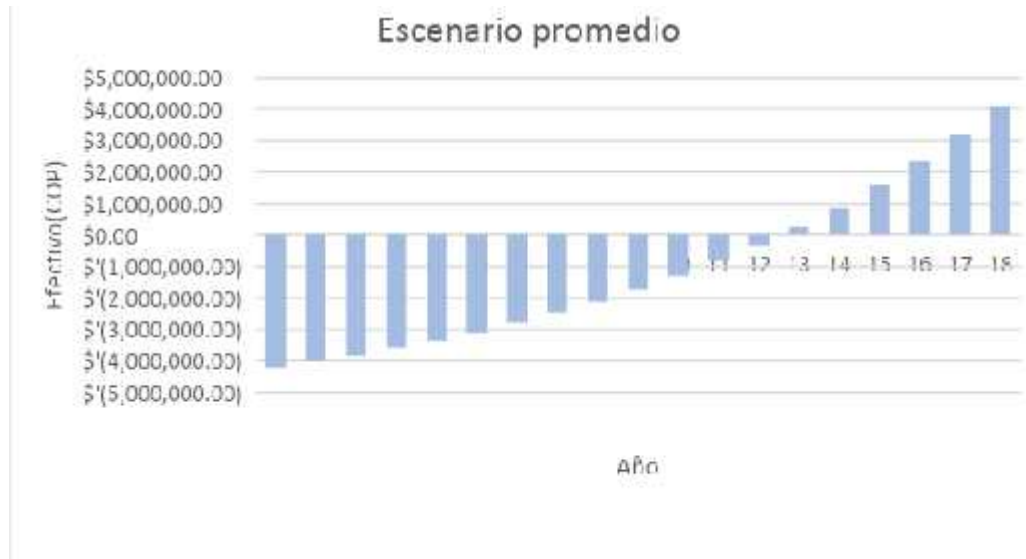


Gráfico 9. Escenario promedio flujo de caja

Analizando las gráficas se puede intuir que la alternativa es parcialmente rentable, no obstante, no se tiene en cuenta la depreciación de las máquinas y elementos, el cambio de baterías por su vida útil limitada, el mantenimiento correctivo de otro equipo y el ciclo de vida de las bicicletas dentro del gimnasio.

IMPACTOS DEL PROYECTO

- **Impacto Social:** Este proyecto busca colaborar en conjunto con un gremio afectado por la pandemia y que actualmente se encuentra en crecimiento, al modelar una solución que parcialmente es viable para lograr ese objetivo de apoyo, se puede escalar a implementarse en los gimnasios de barrio y así aprovechar un tipo de energía que no se está utilizando, lo cual puede ayudar a capacitar indirectamente a las personas en la complejidad de el uso racional de la energía.
- **Impacto Energético:** Los beneficios que aporta esta tecnología que se expone, es aumentar el abanico de posibilidades para satisfacer la demanda eléctrica nacional e internacional ya que, a diferencia de los otros tipos de energía obtenidos por fuentes renovables, esta no depende de factores climáticos, y sus intermitencias pueden ser parcialmente controlables, por ello cuenta con el potencial suficiente de competir contra otras pequeñas alternativas o fuentes de energías renovables no convencionales, no obstante su desarrollo incluirá en el ámbito normativo que se contemple como

otro grupo generador, fuera de los disponibles o contemplados por la ley 1715 de 2014.

- **Impacto Medioambiental:** La solución que se desea implementar hipotéticamente no tiene una afectación negativa en cuanto a producción de emisiones o desechos considerables en su instalación, aún está en fase de modelado pero cuando se construya se pretenderá analizar en profundidad la huella de carbono y ciclo de vida en su elaboración.

CONCLUSIONES

- La metodología iterativa aplicada en el diseño permitió dimensionar los distintos componentes que más se adaptaran a las necesidades del cliente y aunque en el proceso las medidas de los elementos están sobredimensionadas ya que los factores de seguridad exceden el valor de 1, un parámetro que indica que son más del cien por ciento de resistencia a las cargas que se aplicaran durante el funcionamiento del sistema.
- La simulación es una alternativa económica para predecir sucesos que cuentan con cierto grado de incertidumbre como en este caso donde no se contó con un prototipo físico para realizar pruebas, no obstante si se compara con los últimos trabajos de investigación en especial el que se realizó en la Universidad América se puede establecer que la simulación es acertada ya que tiene valores similares a los registrados por el modelo de prueba que fueron para un máximo de 600 Wh de generación, no obstante este valor depende netamente de la intensidad con la que los usuarios pedaleen y el tiempo con que lo hagan.
- El estudio económico analiza la posibilidad de recuperar la inversión en el mejor de los casos en menor de tres años desde la adquisición, solo si se cumplen diferentes condiciones, no obstante, el modelo económico es superficial ya que no considera un posible mantenimiento correctivo de algún componente ni el valor de salvamento por venta del equipo después de cierto periodo de utilidad.

RECOMENDACIONES

- Aún se requiere en conjunto de los dueños plantear un nuevo tipo de entrevista y encuesta, pero esta vez haciendo que ellos conozcan la solución, se pueden usar distintas herramientas audiovisuales y/o de prototipado (imágenes, videos, animaciones, maquetas, modelos de realidad aumentada, modelos de realidad virtual etc.) cualquier herramienta que el pueda disponer para analizar un posible diseño final de la alternativa que se está ofreciendo. Después de contar con la

aprobación del cliente se puede proceder a la fabricación y elaboración del plan de mantenimiento esencial para corregir futuras fallas que requiera el sistema.

- Si se opta por profundizar las simulaciones, se puede idear un nuevo sistema de control que permita mantener la potencia en un rango más regulado que considere las variaciones de torque en cada etapa del spinning.
- El estudio económico abre la posibilidad de que posterior a la fabricación y prueba de un modelo, se pueda iniciar un plan de negocios que rodee este diseño y la propuesta de valor en conjunto, con la finalidad de crear una empresa dedicada a la venta de esos equipos.

REFERENCIAS

Portafolio. (2020, July 6). Sector de Gimnasios perdería 30% de empleos al final de la pandemia. Portafolio.co. Retrieved February 15, 2023, from <https://www.portafolio.co/negocios/empresas/sector-de-gimnasios-perderia-30-de-empleos-al-final-de-la-pandemia-542269>

• Semana, R. (2023, January 15). Inflación en Colombia: ¿Cómo subió mes a mes en el 2022? Semana.com Últimas Noticias de Colombia y el Mundo. Retrieved February 15, 2023, from <https://www.semana.com/economia/macroeconomia/articulo/inflacion-en-colombia-como-subio-mes-a-mes-en-el-2022/202333/>

• Hernández, M., Alejandra, M., Rincón Torres, S. K., & Diaz Piraquive, F. N. (2017) Generación de energía renovable en el gimnasio en la Universidad Católica de Colombia sede el Claustro.

• Benítez, Y. D., González, J. B., & Rosero, J. (2013). Producción energética en un modelo para gimnasios colombianos. Visión electrónica, 7(2), 125-134.

• Comisión de regulación de energía y gas, L. (1997). Costo Unitario de Prestación del Servicio de Energía Eléctrica (CU). CREG. Retrieved March 2, 2023, from

<https://www.creg.gov.co/costo-unitario-de-prestacion-del-servicio-de-energia-electrica-cu>

- Barón Santos, L. X. (2015). Construcción de prototipo de máquina multifuerza para la generación en energía eléctrica por medio de esfuerzo físico como suplemento a la demanda energética.
- Chalermthai, B., Sada, N., Sarfraz, O., & Radi, B. (2015). Recovery of useful energy from lost human power in gymnasium. Paper presented at the 2015 IEEE 15th International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEEIC 2015 - Conference Proceedings, 1700-1705. doi:10.1109/IEEEIC.2015.7165428 Retrieved from www.scopus.com
- SM Mudaliar y AR Soman (2015), "Generación de energía eléctrica aprovechando la energía humana y su análisis", Conferencia internacional sobre sistemas y aplicaciones de energía de 2015 , Pune, India, págs. 333-337, doi: 10.1109/ICESA.2015.7503366.
- Pradeep , K. G., & Gupta, S. (2018). Generation of Green Electricity with Pedal Generator. IEE. Retrieved February 25, 2023, from <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- Flórez, J., Núñez, C., Osma, G., & Ordóñez, G. (2014, June). Design of energy generation system by using spinning bikes. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 59, No. 1, p. 012006). IOP Publishing.
- Ciravegna, L., & Michailova, S. (2022). Why the world economy needs, but will not get, more globalization in the post-COVID-19 decade. Journal of International Business Studies, 1-15.
- Gutiérrez Roa, D. (2016). Implementación y análisis de un prototipo de generación y almacenamiento de energía eléctrica a partir del movimiento de una bicicleta como propuesta para la disminución del consumo energético en la escuela de la comunidad el arroyo: etapa inicial. Universidad Santo Tomás.

- Arellano-Sánchez, M. C., Reyes-Reyes, J., Ponce-Silva, M., Olivares-Peregrino, V., & Astorga-Zaragoza, C. (2020). Static technologies associated with pedaling energy harvesting through rotary transducers, a review. *Applied Energy*, 263, 114607.
- Hindi, B., Atiyah, N., Abdalla, S., Al Ani, O., Abdulla, S., & Tafreshi, R. (2017). The road to sustainable exercise: Using stationary bicycles to power a green gym. Paper presented at the Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering, doi:10.11159/icmie17.111 Retrieved from www.scopus.com
- Osterwalder, A. (2015). El lienzo. In A. Smith (Ed.), *Diseñando la propuesta de valor* (pp. 11–19). essay, Planeta libros.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (2012). In *Probabilidad y estadística para Ingeniería y Ciencias (9a. Ed.)* (pp. 225–230). essay, Pearson Educación.
- Designthinkingespana. (2018, septiembre 7). *Lienzo de la Propuesta de valor, Aprende a utilizarlo con éxito*. Design Thinking España. <https://xn--designthinkingespaa-d4b.com/lienzo-de-propuesta-de-valor>
- Puntilla_Cadena_ J_F y Zuluaga Barón, A. (2022). Diseño de un sistema de producción y almacenamiento de energía eléctrica a través de la transformación de energía motriz humana en un equipo de gimnasio (Bachelor's thesis Fundación Universidad de América)
- Reyes Caiza, N. S. (2021). Sistema de generación de energía eléctrica en gimnasios mediante el diseño de prototipo de aprovechamiento de energía residual en bicicletas estáticas, caso de estudio: Gimnasio de la UTN (Bachelor's thesis).
- Farias Bazán, D. H. (2019). Sistema autogenerado empleado en equipos cardiovasculares de gimnasio.
- Blanco Lozano, M. C. (2019). Plan de negocio para el desarrollo y diseño de máquinas para gimnasios autosuficientes" Green Gym" que disminuyen el consumo

de energía eléctrica, ayuda a la huella de carbono y aprovecha la tendencia fitness en la ciudad de Bogotá.

- Hernández Robledo, L. F., & Pérez Tobón, C. (2021). Estudio de viabilidad para la creación de un sistema que permita transformar la energía cinética que se produce en los gimnasios del Valle de Aburra, en energía eléctrica limpia.
- Maciel-Soto, V. A., Alvarado-Tovar, N., Adame-Delgado, R., Meza-Butrón, J., & Galván, G. (2019). Desarrollo e implementación de prototipo experimental para generación de energía eléctrica mediante una bicicleta estática y un generador eléctrico. *Revista Ciencia*, 1.
- Bernal Vesga, B. F. (2019). Sistema de generación de energía eléctrica por tracción humana asistida con aerogenerador.
- Muñoz Montaña, P. (2020). Plan de viabilidad de un servicio de fitness con vehículos eléctricos.
- Omprakash, K., & Gottawala, T. B. (2019). ELECTRICITY GENERATION THOUGHT GYM EQUIPMENT (GYM CYCLE).
- Ayala, S., Bobadilla, D., Salgado, E., Fuentes, M., & Esquivel, A. (2018). Dimensionamiento de Sistema Fotovoltaico para el Gimnasio Rodrigo Valleen CETYS Universidad.
- Bravo Carrasco, P. (2015). Sistema de Generación de Energía Eléctrica a Partir de Bicicletas Estáticas en un Gimnasio y Viabilidad de Apoyo Fotovoltaico.
- Lombardo, O. F. (2015). Diseño de sistema de generación de energía eléctrica a partir de bicicletas fijas de spinning (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ingeniería. Argentina).

- Harbick, D. (2018). Exercise Machine Generator.
- Thakur, K., Bhovate, P., Deshmukh, V., Datey, A., Dange, B., & Adakane, R. (2022). DESIGN AND FABRICATION OF GREEN POWER APPLIANCE: MECHANICAL ENERGY TO ELECTRICAL ENERGY CONVERSION AND ITS REAL-LIFE USAGE.
- Pujalte Salmerón, P. (2020). Análisis de recursos energéticos distribuidos: modelado y control del almacenamiento de energía térmica.
- Puentes Díaz, J. F., & Mancipe Mancipe, R. (2021). Diseño de un sistema de generación de energía eléctrica de hasta 150 wa partir de una maquina multifuncional de gimnasio.
- De la Cruz May, M. E., Castellanos, L. J. R., Jiménez, M. B. J. C., Coello, M. E. A. P., & Alí, B. (2017). DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA PARA REDES ELÉCTRICAS INTELIGENTES.
- Andrada Monrós, C. (2017). *Diseño de una instalación de recuperación de energía en un gimnasio para producción de agua caliente sanitaria* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- García-López, J., Díez-Leal, S., Rodríguez Marroyo, J. A., Larrazabal, J., De Galceano, I. G., & Villa, J. G. (2009). Eficiencia mecánica de pedaleo en ciclistas de diferente nivel competitivo. *Biomecánica*, 17(2), 9-20.
- Ries, E. (2014). *El método lean startup*. Leader Summaries.

Bibliografía

- Ullman, D. G. (2003). *The mechanical design processes*.
- Shigley, J. E., Mischke, C. R., Bocanegra, F. P., & Correa, C. O. (1990). Diseño en ingeniería mecánica.
- Bolton, W. (2017). *Mecatrónica*. Alpha Editorial.
- Roadstrum, W. H., & Wolaver, D. H. (1999). *Ingeniería Eléctrica para todos los Ingenieros* (No. 621.37 R6Y 1997).
- Moro Vallina, M. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas 2ª edición*. Ediciones Paraninfo, SA.

- Blank, L. T., Tarquin, A. J., & Carlos Freddy Mendoza B. (1991). *Ingeniería económica* (No. 658.15/B64eE). McGraw-Hill.

ANEXOS

- Metodología detallada en base a desarrollar cada objetivo específico del proyecto: Se puede observar en la tabla A1

Tabla A1. Metodología detallada del proyecto

Plantilla de lienzo de propuesta de valor

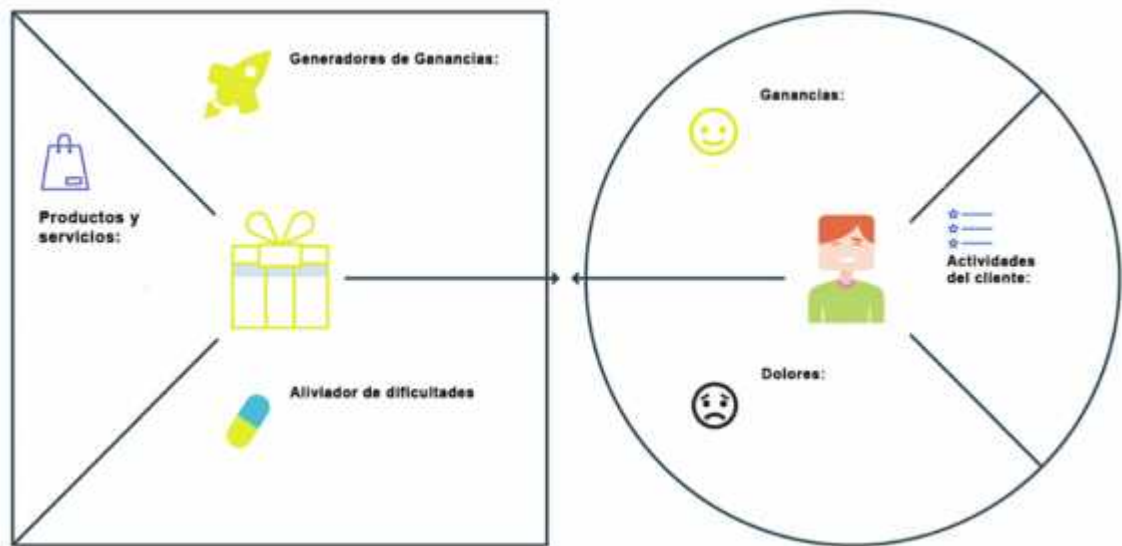


Figura A1. Lienzo cliente-propuesta hipotético. Plantilla tomada de: Design Thinking Spain

Modelo de encuesta

Encuesta de identificación del problema

El propósito de la siguiente encuesta es netamente académico, en caso de que no se haya presentado adecuadamente puede solicitarlo al encuestador su identificación estudiantil para comprobar la autenticidad del mismo.

¿Qué factor o factores considera que han afectado más su establecimiento después de la pandemia?

¿Cuál de los siguientes recibos de servicios básicos llega con mayor costo?

☐ Alquiler
 ☐ Gas
 ☐ Agua
 ☐ Electricidad

¿Conoce el aproximado del costo de factura eléctrica?

☐ Menos de un millón
 ☐ Entre un millón y dos millones
 ☐ Más de dos millones

¿Qué tipo de máquinas usan más los usuarios dentro de su instalación?

☐ Máquinas de cardio
 ☐ Máquinas de peso

¿Con que frecuencia documenta o supone que entran más los clientes al gimnasio?

AM	12	
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
PM	12	
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	

¿Conoce o ha pensado en alguna alternativa para ahorrar energía?

Catálogo ecopower de rocfit (bicicletas de spinning)

Competidores del proyecto



SUBTOTAL	10.621,00
DESCUENTO	5.841,55
BASE IMPONIBLE	4.779,45
IVA	1.003,68
Importe total	5.783,13

Observaciones de la oferta:

Forma de pago: 80% para señalización y 20% en la entrega

Cuenta bancaria Maquinaria Automática Comercial ES28 0182 6205 14 0000090908

Cant.	Foto	Nombre del producto	Descripción características	PPP	% Dis.	Precio unit.	Precio total
1		Bicicleta ciclo G610 Eco Power	Bicicleta de ciclo indoor con sistema Eco-Power, generador de energía en cada entrenamiento. Incluye display informático con datos: entre el entrenamiento: vatios, pedaleadas, tiempo de entrenamiento, nivel de resistencia, ... Resistencia magnética variable. Parada de parada de emergencia. Sistema de pedal Poly V, silencioso y mínimo mantenimiento. Diferentes ajustes y reguladores de asiento y manillar. Pedales de ajuste individual. -Garantía: *Chasis 2,5 años *Pintura y otros 1,5 años * Componentes mecánicos eléctricos y electrónicos: 1,5 años	9.850,00	56,00	1.735,20	1.735,20
1		Bicicleta G575U Eco Power	Equipo de la línea ECO Power, generador de energía. Bicicleta de ciclo vertical con pantalla LED. Incluye dispositivo para conectarse a SmartFit. -Garantía: *Chasis 7 años *Pintura y otros 3 años * Componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos: 3 años	6.755,00	56,00	3.044,25	3.044,25

Nota: Los precios de venta varían conforme a las cantidades y los descuentos se dan para los dueños de establecimientos, como cosa adicional las cantidades mostradas en el catalogo se encuentran en Euros ya que la información fue solicitada a la tienda que está localizada en España.

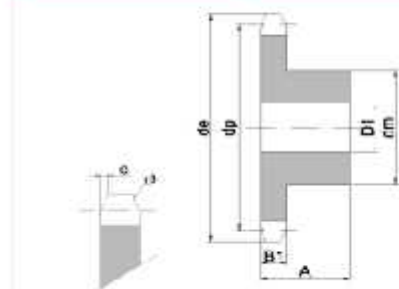
Posiciones adecuadas durante el spinning



Figura A1. Posiciones correctas en el spinning siendo: (1) Levantado (2) inclinado (3) sentado

Catálogo de engranajes: Extraído de roller.es el catálogo denominado Causer, en la figura A2 se ilustra las dimensiones de los engranajes elegidos, las dimensiones se encuentran en mm.

PINONES SPROCKETS		1/2"x3/16"	Z	d _a	d _f	Simple				Doble				Triple			
		083 - 1				d _h	D _f	A	Kg.	d _h	D _f	A	Kg.	d _h	D _f	A	Kg.
Para cadena de rodillos For roller chains		s/ DIN 8187 ISO/R 606	8	30,5	33,10	21	9	14	0,04								
			9	41,5	37,13	25	8	14	0,06								
			10	46,2	41,1	28	8	14	0,08								
			11	49,6	45,07	31	9	16	0,11								
			12	53,9	49,07	35	8	16	0,14								
			13	58,4	53,06	39	8	16	0,17								
			14	62,8	57,07	43	8	16	0,2								
			15	66,0	61,09	47	9	16	0,24								
			16	70,9	65,1	50	10	18	0,3								
			17	74,9	69,11	50	10	18	0,31								
			18	79,9	73,14	50	10	18	0,33								
			19	82,9	77,16	50	10	18	0,34								
			20	86,9	81,19	50	10	18	0,36								
			21	91	85,22	60	12	20	0,51								
			22	95	89,24	60	12	20	0,53								
			23	99	93,27	60	12	20	0,55								
			24	103	97,29	60	12	20	0,57								
			25	107,1	101,33	60	12	20	0,59								
			26	111,2	105,36	70	16	20	0,72								
			27	115,6	109,4	70	16	20	0,76								
			28	119,4	113,42	70	16	20	0,77								
			29	123,4	117,46	70	16	20	0,79								
			30	127,5	121,5	70	16	20	0,80								
			31	131,5	125,54	70	16	20	0,85								
			32	135,5	129,56	70	16	20	0,87								
			33	139,6	133,6	70	16	20	0,9								
			34	143,6	137,64	70	16	20	0,93								
			35	147,6	141,68	70	16	20	0,96								
			36	151,7	145,72	70	16	25	1,14								
			37	155,7	149,74	70	16	25	1,17								
			38	159,8	153,8	70	16	25	1,2								



PINÓN	SPROCKET	mm
Radio diente	Tooth radius	r3 13
Ancho curva	Curve width	12 1,3
Ancho diente	Tooth width	B1 4,5

CADENA	CHAIN	mm
Pase	Pitch	12,7
Ancho interior	Inner width	4,00
Diámetro rodillo	Roller diameter	7,75

Discos Plate wheels		1/2"x3/16"	Z	d _a	d _f	S	D	T	Discos Plate wheels		1/2"x1/4"	Z	d _a	d _f	S	D	T
		083 - 1				D _f	Kg				085 - 1				D _f	Kg	
Para cadena de rodillos For roller chains		s/ DIN 8187 ISO/R 606	8	36,3	33,18	8	0,02		rodillos 7,75 rollers 7,75		s/ DIN 8187 ISO/R 606	8	37,2	33,18	8	0,021	
			9	41,5	37,13	8	0,03		Para cadena de rodillos For roller chains			9	41	37,13	8	0,0315	
			10	46,2	41,10	8	0,04					10	45,2	41,10	8	0,042	
			11	49,6	45,07	8	0,05					11	48,7	45,07	8	0,0525	
			12	53,9	49,07	8	0,06					12	53	49,07	8	0,0625	
			13	58,4	53,06	8	0,06					13	57,4	53,06	8	0,063	
			14	62,8	57,07	8	0,08					14	61,3	57,07	8	0,084	
			15	66,3	61,09	8	0,09					15	65,3	61,09	8	0,0945	
			16	70,3	65,10	8	0,1					16	69,3	65,10	10	0,105	
			17	74,3	69,11	8	0,12					17	73,3	69,11	10	0,116	
			18	78,3	73,14	0	0,13					18	77,3	73,14	10	0,1265	
			19	82,7	77,16	8	0,15					19	81,7	77,16	10	0,1575	
			20	86,3	81,19	8	0,16					20	85,3	81,19	10	0,168	
			21	91	85,22	8	0,18					21	89,7	85,22	10	0,189	
			22	95	89,24	10	0,2					22	93,3	89,24	10	0,21	
			23	99	93,27	10	0,22					23	98,2	93,27	10	0,221	
			24	103	97,29	12	0,24					24	101,8	97,29	10	0,252	
			25	107,1	101,33	12	0,26					25	105,8	101,33	10	0,273	
			26	111,2	105,36	12	0,28					26	110	105,36	12	0,294	
			27	115,4	109,40	12	0,3					27	114	109,40	12	0,315	
			28	119,4	113,42	12	0,33					28	118	113,42	12	0,3465	
			29	123,4	117,46	12	0,35					29	122	117,46	12	0,3775	
			30	127,5	121,50	12	0,38					30	126,1	121,50	12	0,399	
			31	131,5	125,54	12	0,4					31	130,2	125,54	12	0,42	
			32	135,5	129,56	12	0,43					32	134,3	129,56	12	0,4515	
			33	139,6	133,60	12	0,46					33	138,4	133,60	12	0,483	
			34	143,6	137,64	12	0,49					34	142,6	137,64	12	0,5145	
			35	147,6	141,68	12	0,52					35	146,7	141,68	12	0,546	
			36	151,7	145,72	16	0,55					36	151	145,72	16	0,5775	
			37	155,7	149,74	16	0,58					37	154,6	149,74	16	0,609	
			38	159,8	153,80	16	0,62					38	158,6	153,80	16	0,651	
			39	163,8	157,83	16	0,65					39	162,7	157,83	16	0,6825	
			40	167,8	161,87	16	0,68					40	166,8	161,87	16	0,714	

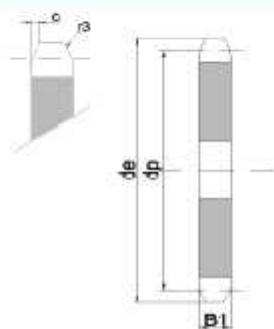
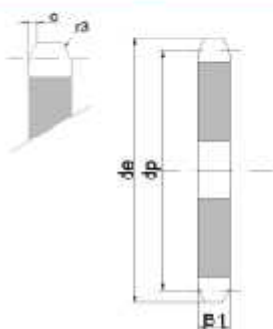


Tabla A3. Catálogo de engranajes

Después de extraer y hacer la geometría como en el catálogo se puede juntar los engranes por medio de los diámetros primitivos y el punto de contacto.

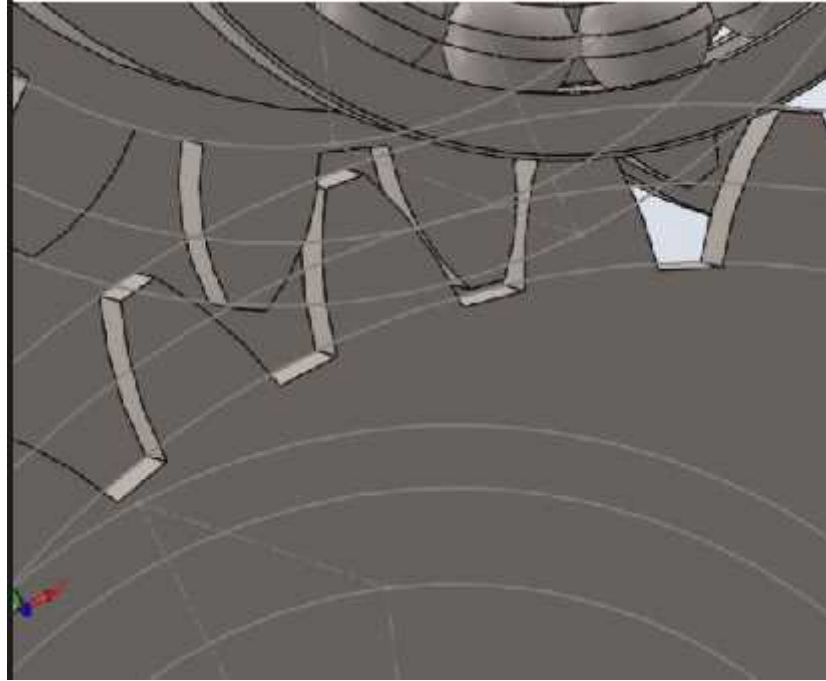


Figura A2. Contacto de engranajes

Factores k de los engranajes

Denominados como factores de Marín cada uno depende de especificaciones distintas que tendrá el engranaje o la pareja de engranajes

- K_a = factor de acabado superficial en función del esfuerzo último del material y del tipo de maquinado con el que se realizo
- $k = a * S_u^b$

Los coeficientes a y b se obtienen gracias a la siguiente tabla:

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

Figura A3. Tipo de acabado superficial

- Factor dinámico kv que para engranajes fresados como es el caso se calcula de la siguiente manera:

$$k = \frac{1200 + V}{1200}$$

- V es la velocidad lineal de los engranajes en ft/min o m/s
- Km factor de distribución de carga , 1 en el caso de engranajes solidos.

Código de engranajes

```
#Programa para calculo de elementos que componen la transmisión mecánica
#Datos de entrada de la bicicleta
vbs=35 #Velocidad de salida de la bicicleta estática en km/h
db=45 #Diámetro de la bicicleta en cm
ws=vbs*(1/3.6)*(1/(db/100))*9.5492965855#velocidad de salida de la bicicleta en RPM
N1=3 #Relación de transmisión pedal-volante
Ts=30#Torque de salida de la bicicleta en Nm
#Primer elemento rueda de fricción
Nr=7/2#Relación de transmisión rueda de fricción
dr=db/Nr
Ftr=(Ts*2)/(db/100)#Fuerza tangencial de la rueda de fricción en N
Ftre=Ftr*0.2248 #Fuerza tangencial de la rueda en Lb
Tr=Ftr*(dr/200)#Torque de la rueda de fricción en Nm
Tre=Ftre*(dr*0.393701)# Torque de la entrada del eje en Lb in
wr=ws*Nr#Velocidad a la salida de la rueda
#Alternativa 1 Tren de engranajes (2 pares de engranajes en la caja multiplicadora)
#Engranajes rectos
#Factores geométricos del engranaje piñón 1
dp1=2.87 #diámetro primitivo del engranaje más pequeño sacado de catálogo (inch)
Zp1=18#número de dientes piñón 1
b1=0.251969#ancho del engranaje en inch catalogo mismo en la rueda
m=dp1/Zp1#módulo de engranajes en inch
Nt1=2#Relacion de transmisión de primer par de engranajes
angulo1=20#angulo de presión en grados
#Factores geométricos rueda1
Zg1=Zp1*Nt1#Numero de dientes de la rueda 1
dg1=Zg1*m #Diámetro primitivo rueda 1
Ft1=(Tre*2)*(1/dg1) #Fuerza Tangencial primer par de engranajes
#Cálculo de esfuerzos ecuaciones AGMA
ka=1.25#factor de sobrecarga
v1=wr*(dp1/2)*(1/12)# velocidad en ft/min
```

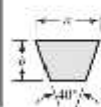
$Qv1=6$ # valor que oscila entre 5 y 12
 $B1=0.25*((12-Qv1)^{0.667})$ #coeff B
 $A1=50+56*(1-B1)$
 $kv1=((A1+(v1^{0.5}))/A1)^{B1}$ #Factor
 $km1=1.6$ #Factor de distribución de carga
 $kb=1$ #Factor de espesor de borde (disco solido)
 $kl1=(10^8)^{-0.0538}*2.3194$ #Factor de vida
 $kr1=1$ #factor de confiabilidad
 $Kt1=1$ #Factor de temperatura
 $Hb1=162$ #dureza Brinell del material A-36
 $sat1=274+167*Hb1-(0.152*(Hb1^2))$ #Esfuerzo permisible a la flexión
 $j1=0.34$ #Factor geométrico de resistencia a la flexión
 $izq1=Ft1*ka*kv1*km1*kb*(1/(b1*m*j1))$ #
 $der1=sat1*kl1*(1/(kr1*Kt1))$ #
 #Resistencia al desgaste
 $vp1=0.32$ #modulo de poisson add
 $Ep1=29000$ #Modulo de elasticidad en psi
 $Cp1=(1/(pi*(2*((1-(vp1^2))*(1/Ep1)))))^{0.5}$ #coeficiente elástico
 $Cf1=1$ #Factor de acabado superficial
 $CH=1$ #Factor de razón de dureza varia si los materiales son distintos
 $dg1=dp1*Nt1$ #diametro de la rueda
 $C1=((dg1+dp1)/2)$
 $Sac1=26000+327*Hb1$ #Esfuerzo permisible al desgaste
 Math.import
 $rp1=dp1*\text{math.sin}(\text{angulo1})*(1/2)$ #radios de curvatura
 $rg1=dg1*\text{math.sin}(\text{angulo1})*(1/2)$ #radios de curvatura
 $l1=(1/rp1)+(1/rg1)$
 $izqd1=Cp1*((Ft1*ka*kv1*km1*kb*(1/(b1*dp1*l1)))^{0.5})$ # Factor de desgaste
 $derd1=Sac1*kl1*(1/(kr1*Kt1))*CH$
 $Ts1=Tr*(1/Nt1)$ #Torque a la salida en Nm
 $ws1=wr*Nt1$ #Velocidad de salida en RPM

Elementos flexibles

Bandas en V

Tabla 17-9

Secciones de bandas en V estándar



Sección de la banda	Ancho a, pulg	Espesor b, pulg	Diámetro mínimo de polea, pulg	Intervalo de potencias (hp), una o más bandas
A	$\frac{1}{8}$	$\frac{11}{32}$	3.0	$\frac{1}{4}$ -10
B	$\frac{3}{16}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 y mayores

Figura A4. Especificaciones geométricas de las bandas en V

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	$(N_1/17)^{1.08}$	$(N_1/17)^{1.9}$

Figura A5. Factores de potencia bandas en V

Bandas en V				
Variable	Valor	Unidad	Conversión	Unidad
Sección tipo	A			
Lado a	0,5	in	0,0127	m
Lado b	0,34375	in	0,00873125	m
Velocidad radial	86,41975	rad/s	825,308642	RPM
Relación de transmisión	2	adimensional		
Velocidad en polea pequeña	172,8395	rad/s	1650,61728	RPM
d	9	in	0,2286	m
D	18	in	0,4572	m
ks	1,3	adimensional		
Potencia nominal	416,6667	W	0,55875911	HP
Pd	0,726387	Hp		

Diámetro polea pequeña	9,25	in	0,23495	m
Diámetro polea grande	18,25	in	0,46355	m
Li	46	in	1,1684	m
Lo	47,3	in	1,20142	m
Distancia entre centros máxima	1,397	m	55	in
Distancia entre centros mínima	0,48895	m	19,25	in
Lp min.	81,96345	in	2,0818716	m
Lp máx.	152,7797	in	3,88060394	m
Longitud total	93,3			
dp/2	4,625	in		
Longitud primitiva max-Lt	59,47968	in		
Longitud primitiva-Lt	11,33655	in		
Velocidad	3997,208	ft/min		
2 fi	22	deg		
k1	0,95			
k2	0,92			
Pt	2,96			
Potencia total	2,58704	HP		
Nc	1	adimensional		
kc	0,561			
Fi	2,998422	lbf	13,1930551	N
Fc	8,963474	lbf	39,439285	N
Factor de seguridad	3,561518	Adimensional		
Delta F	20,52108	N	4,66388262	lbf
F1	14,29384	lbf	62,8928819	N
F2	9,629954	lbf	42,3717984	N

Tabla A4. Transmisión bandas en V cálculos

Cadenas de transmisión

Número de cadena ANSI	Paso, pulg (mm)	Ancho, pulg (mm)	Resistencia mínima a la tensión, lbf (N)	Peso promedio, lbf/ple (N/m)	Diámetro del rodillo, pulg (mm)	Espaciamento de hileras 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)

Figura A6. Especificaciones geométricas de Cadenas de

Transmisión de cadenas				
Variable	Valor	Unidad	Conversión	Unidad
Velocidad de entrada	86,41975	rad/s	825,308642	RPM
Relación de transmisión	2	adimensional		
Velocidad en catrina pequeña	172,8395	rad/s	1650,61728	RPM
Numero de dientes catrina pequeña	17			
Numero de dientes catrina Grande	34			
Paso	0,5	in	0,0127	m
Resistencia mínima	13920	N		
Distancia entre centros	0,381	m	0,4	m
Longitud de cadena mínima	45,47579	pasos	0,57754258	m

velocidad mínima	50	rpm		
Factor de diseño	1,3	adimensional		
Potencia de diseño	0,541667	Hp		
Dp	0,069116	m		
Dc	0,137642	m		
2 SEN-1 (D2-D1) /2C	-		-	
Angulo 1	0,171526	rad	9,82769188	deg
Angulo 2	170,1723	deg		
	189,8277	deg		
Velocidad de cadena	37,52929	m/s	7387,65643	ft/min
m	10	kg		
FV	14084,48	N		
FU	2,419577	lbf	5,32306833	N
FT	14089,8	N		
DC-DP/2C	0,171315	adimensional		
Alpha	9,815649	deg		
FT1	2402,01	N		
FT2	13883,55	N		
K1	2,114036			
k1p	2,828427			
K2	1			
Htab	57,57131			
H1	8,59553	HP		
kr	29			
H2	17,40916	HP		
Límite inf	4116	N		
Límite superior	578000	N		

Tabla A5. Transmisión usando cadenas y catrinas

Matriz de Pugh

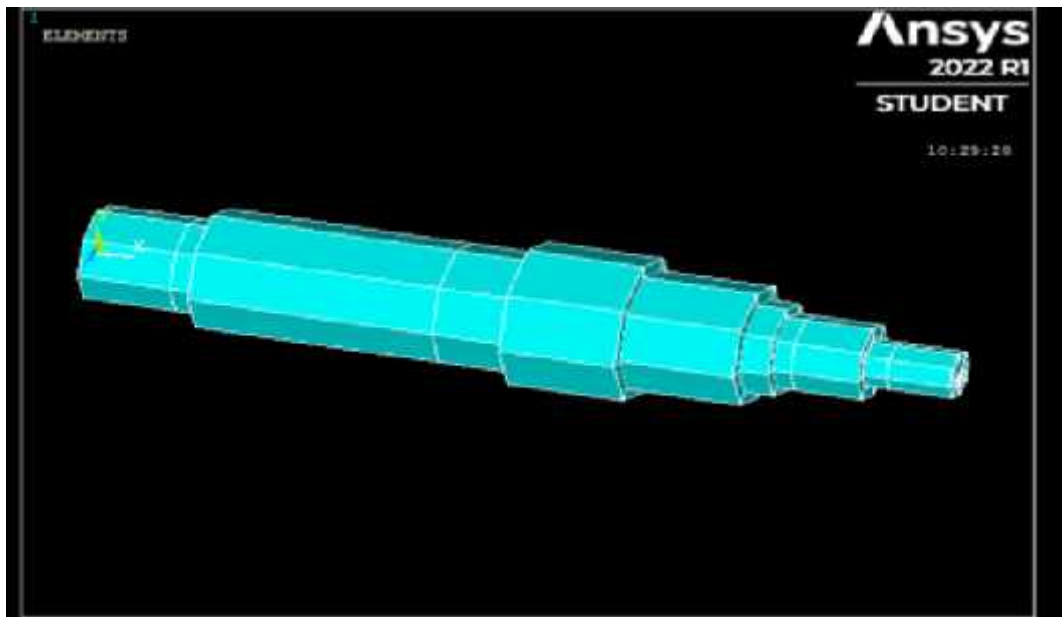
Cuenta con sus puntajes relativos para cada alternativa planteada y analizada cuando se usó el método lean.

Ítem de requerido	Requisitos/ Alternativa	Alternativa (3 ejes de flexión) (grados de libertad)		Alternativa (3 ejes de flexión) (grados de libertad)		Alternativa (3 ejes de flexión) (grados de libertad)	
1	Mínimo 250 da en carga puntual (N/mm²)	1	2	1	2	1	2
2	Costo mínimo de material (USD)	1	1	1	5	1	5
3	Torque mínimo 70 Nm sin resaca más	1	5	1	5	1	5
4	Tiempo de fabricación y diseño sin (menor a 10 días)	1	2	1	5	1	2
5	Diferencia funcional superior 55%	1	5	1	5	1	5
6	Resistencia a 1/25 m?	1	10	1	5	1	5
7	Factor de seguridad superior a 3	1	5	1	5	1	5
8	Tiempo de mantenimiento menor a 1 hora	1	1	1	5	1	5
	Puntuación	Puntuación total Pugh		Puntuación total Pugh		Puntuación total Pugh	

Tabla A6. Método de Pugh

Eje 1. Diagrama de cuerpo libre en ANSYS MECH

Se puede apreciar con más detalle



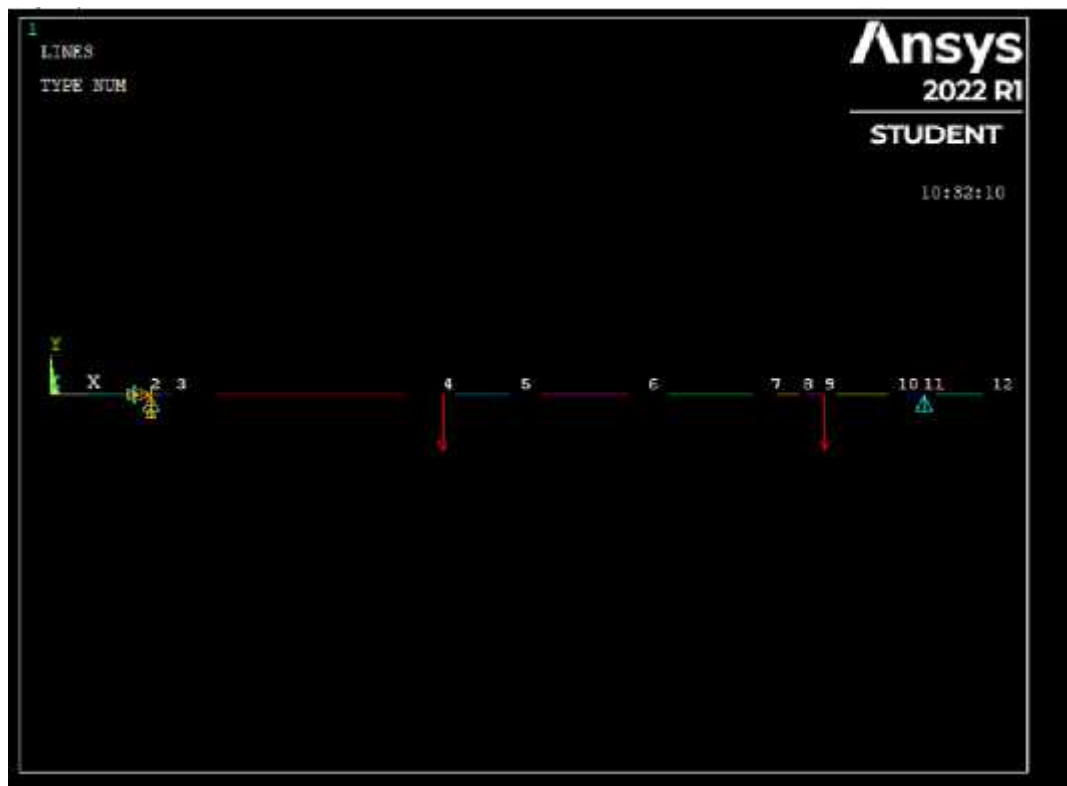


Figura A7. Diagrama de cuerpo libre del eje 1

Eje 2 diagrama de cuerpo libre

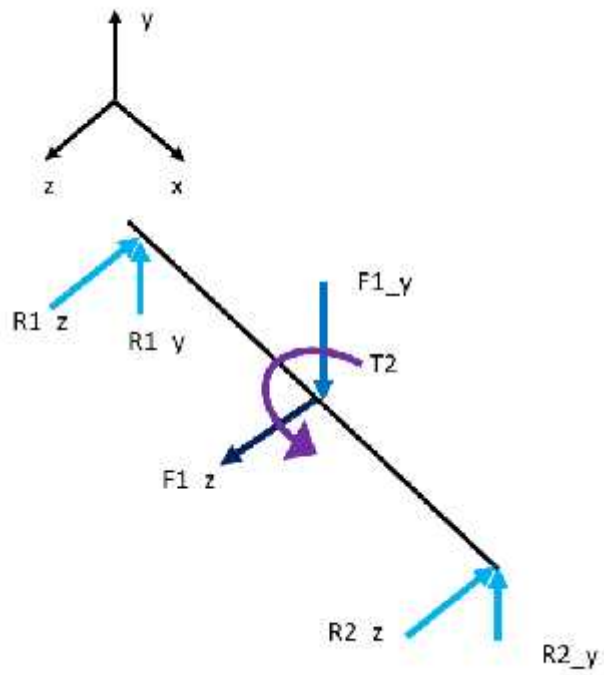


Figura A8. Eje 2 Diagrama de cuerpo libre

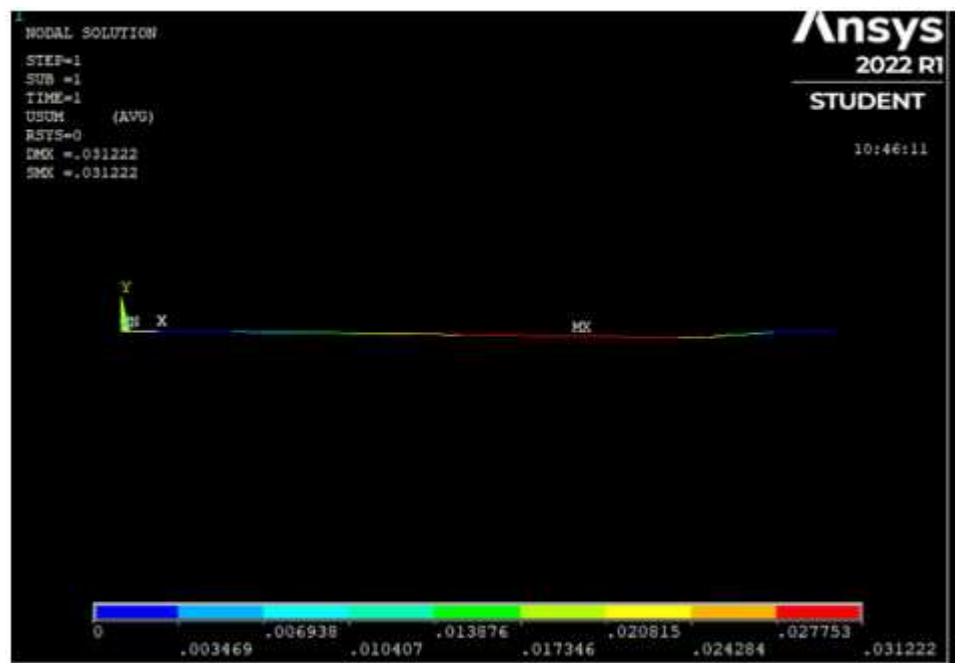


Figura A9. Momento máximo en eje 2

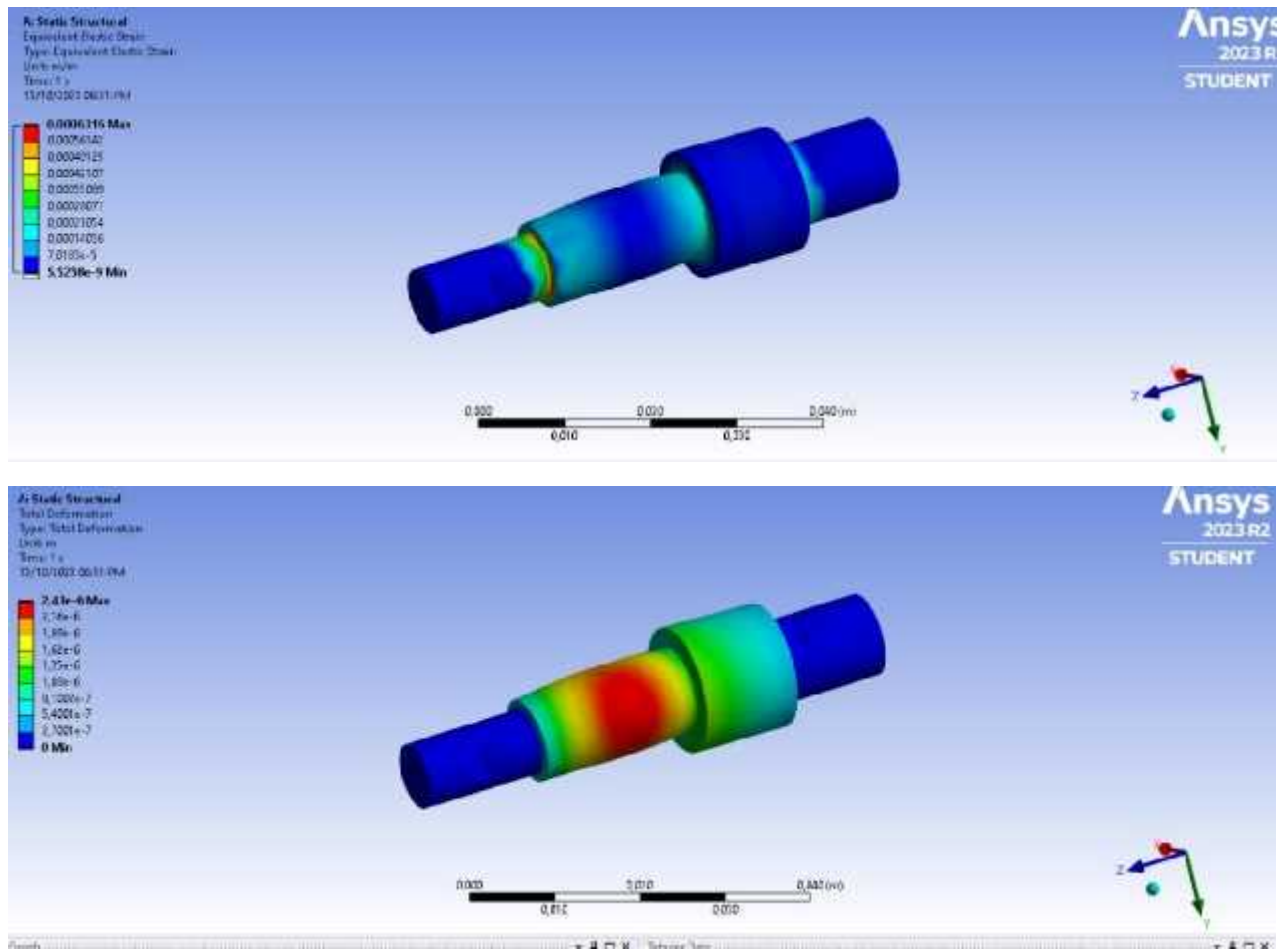


Figura A10. Simulación esfuerzo y deformaciones en ANSYS

Tablas de resistencia de material

Steel	Condition	Yield strength		Ultimate tensile strength		Brinell Hardness
		Ksi	Kgf / mm ²	Ksi	Kgf / mm ²	
1006	Hot rolled	24	17	43	30	86
	Cold drawn	41	29	48	34	95
1010	Hot rolled	26	18	47	33	95
	Cold drawn	44	31	53	37.5	105
1015	Hot rolled	27.5	19	50	35	101
	Cold drawn	47	33	56	39.5	111
1018	Hot rolled	32	22.5	58	41	116
	Cold drawing and annealing	54	38	64	45	126
1020	Hot rolled	30	21	55	38.5	111
	Cold drawn	51	36	61	43	121
1030	Hot rolled	37.5	26	68	48	137
	Cold drawn	64	45	76	53.5	149
1035	Hot rolled	39.5	28	72	50.5	143
	Cold drawn	67	47	80	56	163
1040	Hot rolled	42	29.5	76	53.5	149
	Cold drawn	71	50	85	60	170

Apéndice B. Propiedades típicas de materiales seleccionados usados en Ingeniería¹⁶
(Unidades SI)

747

Material	Densidad, kg/m ³	Resistencia última			Cedencia ²		Módulo de elasticidad, GPa	Módulo de rigidez, GPa	Coeficiente de expansión térmica, 10 ⁻⁶ / °C	Ductilidad, porcentaje de elongación en 50 mm
		Tensión, MPa	Compresión, ¹ MPa	Corriente, MPa	Tensión, MPa	Corriente, MPa				
Acero										
Estructural (ASTM-A36)	7 860	400			250	145	200	77.2	11.7	21
Alta resistencia-aleación baja										
ASTM-A709 Grado 345	7 860	450			345		200	77.2	11.7	21
ASTM-A913 Grado 450	7 860	550			450		200	77.2	11.7	17
ASTM-A992 Grado 345	7 860	450			345		200	77.2	11.7	21
Templado										
ASTM-A709 Grado 690	7 860	760			690		200	77.2	11.7	18
Inoxidable, AISI 302										
Laminado en frío	7 920	860			520		190	75	17.3	12
Recocido	7 920	655			260	150	190	75	17.3	50
Acero de refuerzo										
Resistencia media	7 860	480			275		200	77	11.7	
Alta resistencia	7 860	620			415		200	77	11.7	

Tabla A7. Propiedades de material para ejes

Fuerzas en engranajes hacia ejes

Según la figura F_n sería la fuerza radial y F_t seguiría siendo la tangencial, en todo caso la diferencia con la ilustración es que en ella el ángulo de presión del engranaje es 30 mientras que para el caso de estudio es 20 °.

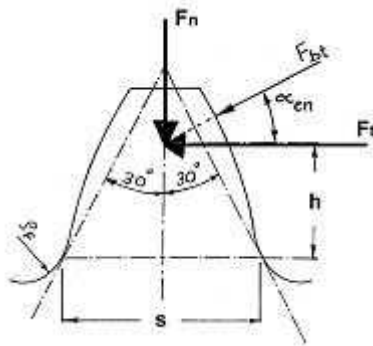
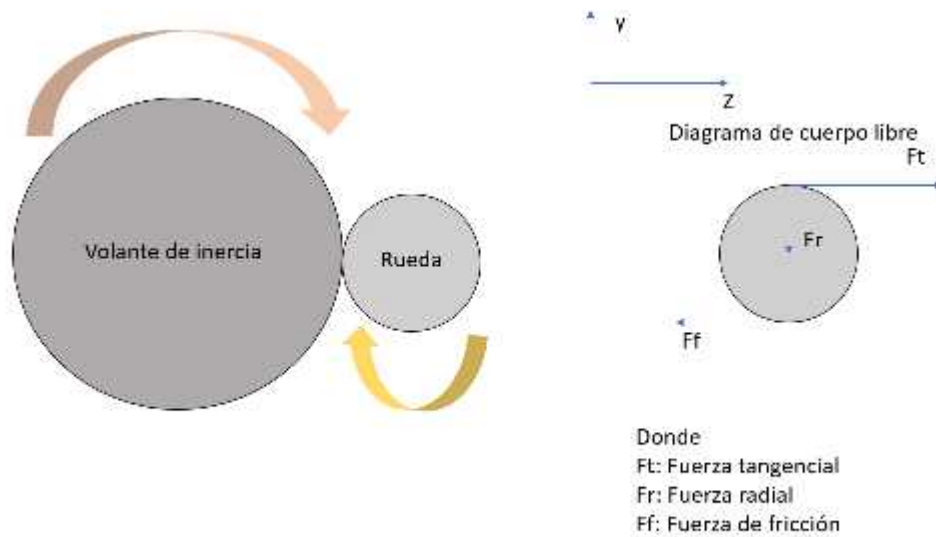


Figura A12. Fuerzas en Diagrama de cuerpo libre en rueda de fricción



Código de ejes

#Software hecho para cálculo de esfuerzos mecánicos y dimensionamiento de ejes

Title="Diseño de ejes"

def eje1():

#datos geométricos

br1=10# Ancho de rodamiento 1

br2=8# Ancho de rodamiento 2

be1=10# Ancho de rueda de fricción (elemento 1 de transmisión)

```

be2=5# Ancho de elemento 2 transmisión
La_s=43
LA=(br1/2)+La_s
Lb_s=22 #Largo supuesto (distancia desde el borde de los elementos de
transmision)
LB=(br1/2)+(be1/2)+Lb_s#Distancia entre la mitad de los elementos de
transmision
Lc_s=32# Longitud supuesta de b
LC=(be1/2)+(be2/2)+Lc_s# Longitud de B
Ld_s=32
LD=Ld_s+(be2/2)+(br2/2)#Longitud C
LT=LB+LC+LD+LA #Longitud del eje
print("La longitud del eje es:",LT,"mm")
#Estatica del eje
Tor=80 #Torque a la entrada (bicicleta estatica)
N1=3 #Relacion de transmisión biela a volante de inercia
N2=3,5 #Relación de transmisión volante a rueda de fricción
T_rf=Tor*(1/3)*(1/3.5)#Torque en rueda de fricción
dp =138 #diametro primitivo engranaje en mm (elemento de transmisión 2)
drf=127 #diametro rueda de friccion en mm
F1_z=T_rf*2*(1/(drf*1/1000)) #Fuerza del elemento 1 en Newtons
N3=2 #Relación de transmision caja multiplicadora
F2_z=(T_rf*2*(1/N3))*(1/(dp*1/1000)) #Fuerza del elemento 2 en Newtons
R2_z=((F1_z*LB)+(F2_z*(LB+LC+LD)))/LT #Reaccion 2 en newtons
R1_z=-R2_z+(F1_z+F2_z) #Reaccion 1 en Newtons
print("Las reacciones en los apoyos son en z:",R1_z,"N","&","R2_z,"N")
import math
F1_y=F1_z*math.tan(0.349066) #Fuerza en Newton

```

```

F2_y=F2_z*math.tan(0.349066) #Fuerza en Newton
R2_y=((F1_y*LB)+(F2_y*(LB+LC+LD)))/LT
R1_y=-R2_y+(F1_y+F2_y)
print("Las cargas en la rueda de fricción son:",F1_z,"N","y",F1_y,"N")
print("Las cargas en los engranajes son:", F2_z,"N","y",F2_y,"N")
print("Las reacciones en los apoyos son en y:",R1_y,"N","&",R2_y,"N")
#Encontrar zona critica
Mmax_y=R1_y*(LA/1000) #Momento maximo en el eje y
Mmax_z=R1_z*(LA/1000) #Momento maximo en el eje z
Ma=((Mmax_y*Mmax_y) +(Mmax_z**2))**(1/2)
print ("El momento alternante es:",Ma,"Nm")

print      ("Los      momentos      flectores      máximos
son:",Mmax_y,"Nm","&",Mmax_z,"Nm")
print ("El momento máximo torsor es:", T_rf,"Nm")
#Cálculos de fatiga en el eje
kf=1.8 #
kfs=1.3 #
sut=248000000# resistencia última del acero a-36 en Mpa
a=2.7 #
b=-0.265
ka=a*(sut**b)
kb=0.9
c=0.5
se=sut*ka*kb*c# Parámetro ecuación Goodman
n=2 #Factor de seguridad
Tm=T_rf*1 #Momento torsor medio

```

```

p=(16*n)/math.pi
d=(p*((2*(Ma*kf))/se) +(((3*((Tm*kfs) **2)) **(0.5))/sut))
print(d)
def eje2():
    dp_p=138/2 # Diámetro primitivo engranaje 2 en mm
    Ts=80*(1/3)*(1/3.5)*(1/2)# Torque de salida en Nm
    print("el torque en el eje de salida es:",Ts,"Nm")
    F1_z= 2*Ts*(1/dp_p)
    import math
    F1_y=math.tan (0.349066) *F1_z
    b1_r=8 #espesor del rodamiento en el eje 2
    LA= (b1_r*(1/2))
    LB=20+2.5
    LC=20
    LT=LA+LB+LC
    #Cálculos estáticos
    R2_z=((F1_z*LA)/1000)/(LT/1000)
    R1_z=F1_z-R2_z
    print("las reacciones en z son:")
    R2_y=((F1_y*LA)/1000)/(LT/1000)
    R1_y=F1_y-R2_y
    #Momentos
    Mmax_y=R1_y*(LA/1000) #Momento maximo en el eje y
    Mmax_z=R1_z*(LA/1000) #Momento maximo en el eje z
    Ma=((Mmax_y*Mmax_y)+(Mmax_z**2))**(1/2)
eje2()
Estudio de movimiento

```

Es un análisis de la cinemática que se puede realizar usando un complemento adicional, presente en diversos softwares CAD, en el caso se uso el SolidWorks Motion para ello, con el objetivo de calcular la velocidad angular de salida cuando en la bicicleta entraban 100 RPM que es una velocidad promedio a la que puede ir en el trayecto

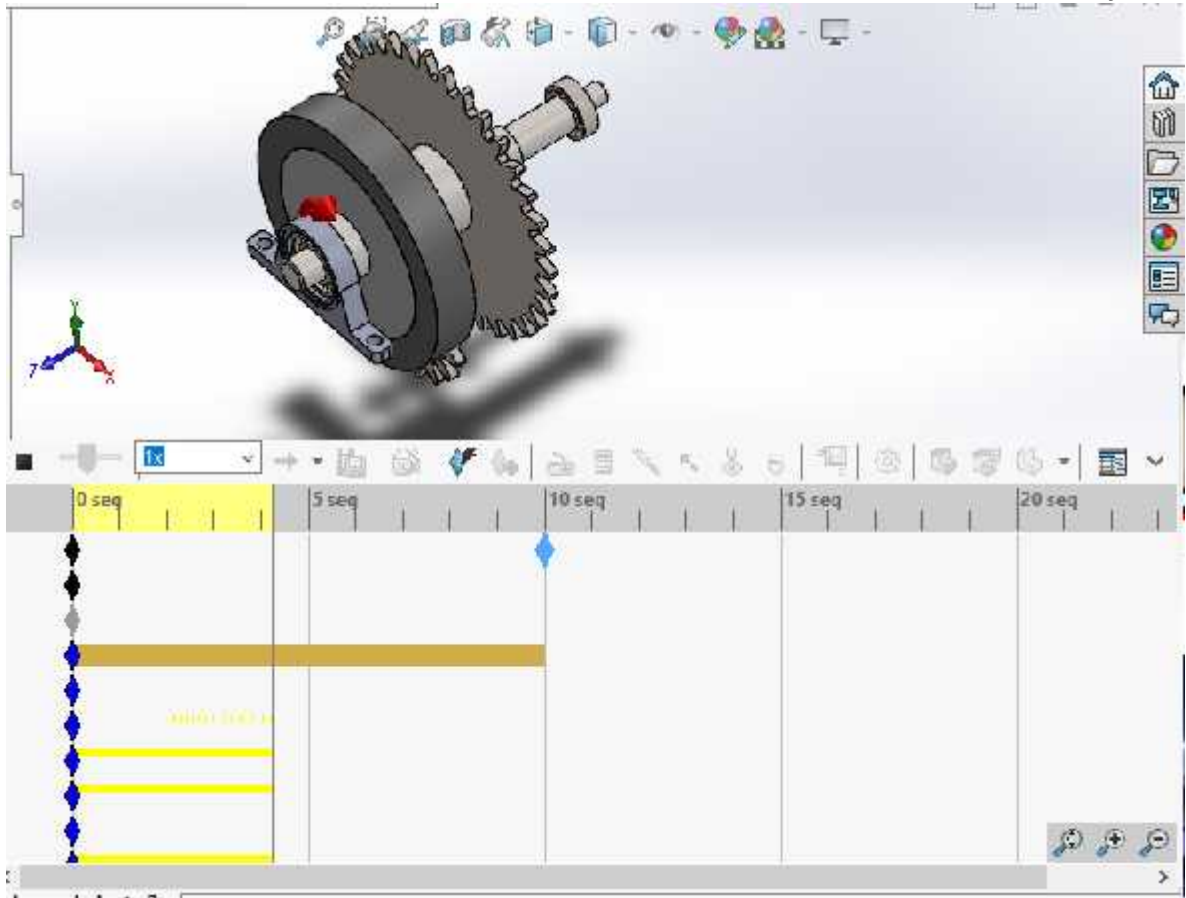
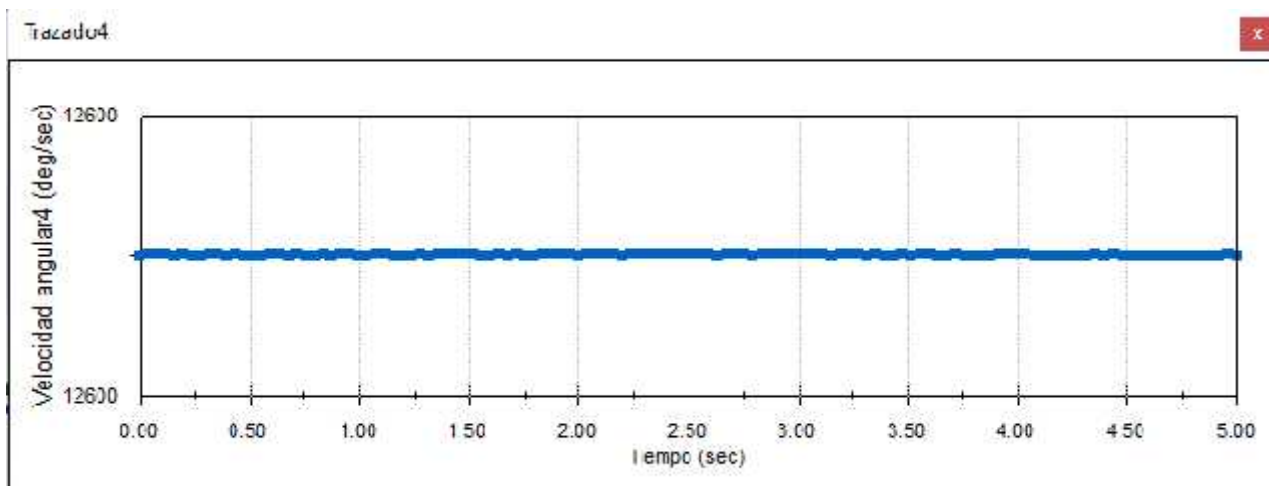


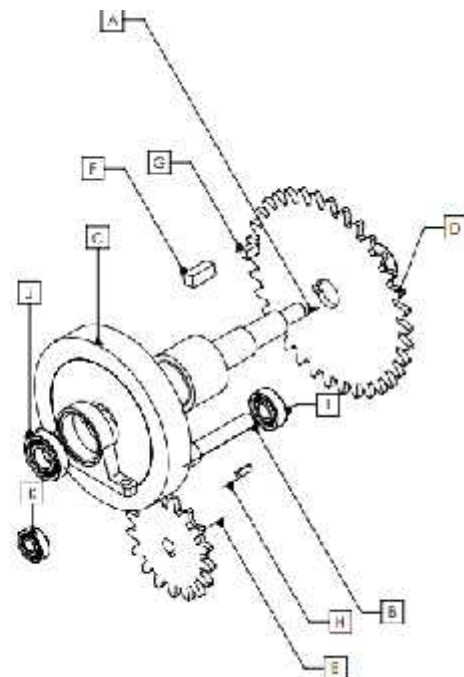
Figura A14. Ajuste del análisis de movimiento



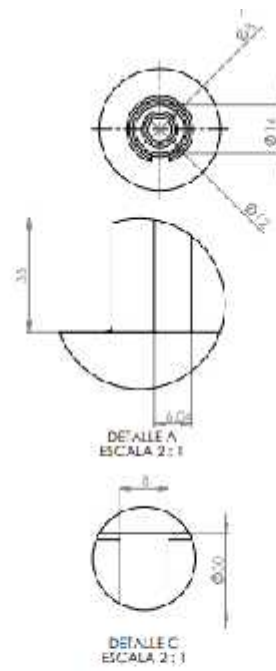
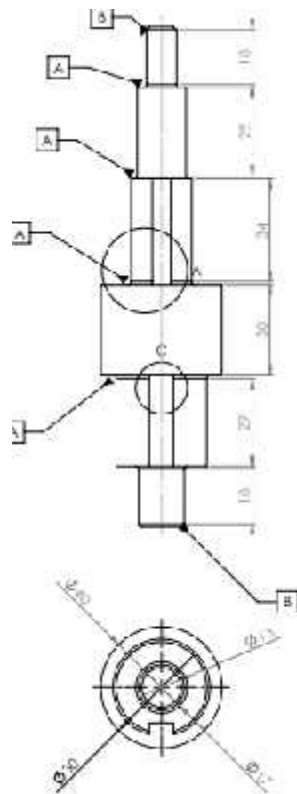
cuando la velocidad de entrada es de 100 RPM, los resultados se muestran en grados/segundo pero haciendo la conversión el valor final es de 2100 RPM.

Planos

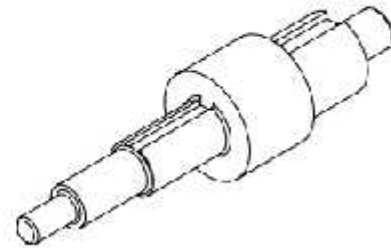
LETRA	NOMBRE	CANTIDAD	TIPO DE PIEZA	REFERENCIA
A	EJE 1	1	DISEÑADA	PLANO 02
B	EJE 2	1	DISEÑADA	PLANO 03
C	RUEDA DE FRICCIÓN 5"	1	ESTÁNDAR	PLANO 04
D	RUEDA FRICCIÓN 16 DIENTES	1	ESTÁNDAR	PLANO 05
E	PIÑÓN 17 DIENTES	1	ESTÁNDAR	PLANO 06
F	CHAVETA 1	1	DISEÑADA	PLANO 07
G	CHAVETA 2	1	DISEÑADA	PLANO 08
H	CHAVETA 3	1	DISEÑADA	PLANO 10
I	RODAMIENTO 2	2	ESTÁNDAR	PLANO 11
J	RODAMIENTO Y CHUMACERA	1	ESTÁNDAR	PLANO 12
K	RODAMIENTO 3	1	ESTÁNDAR	PLANO 13



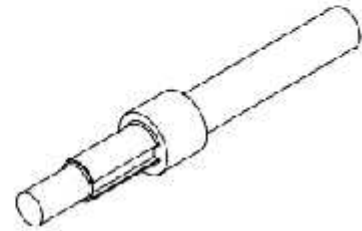
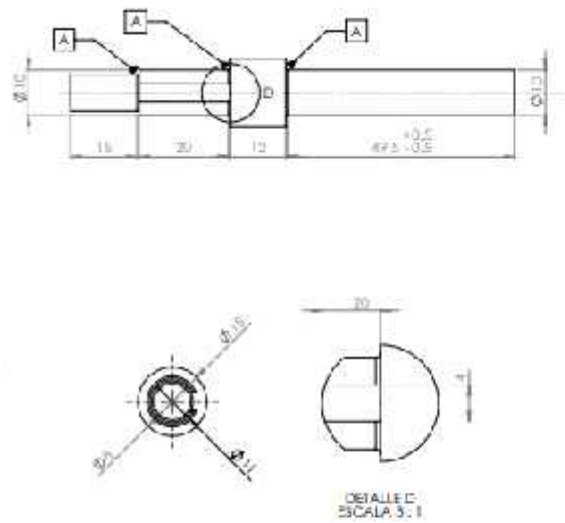
Las piezas estándar corresponden a partes que se encuentran en los catálogos mencionados y compartidos en los anexos.



A: Los radios de entalle son de 1 mm
B: El ángulo es de 45° y de 1 mm

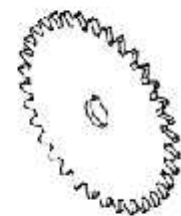
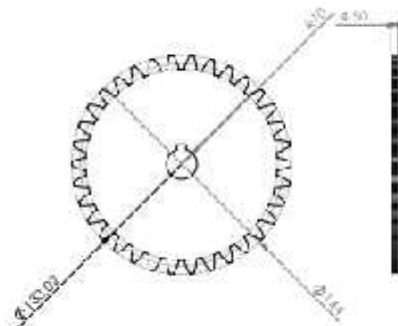


Nombre		Código		Escala 1:2	
Fecha		Dibujante		Universidad Santo Tomás	
Materia		Proyecto		Fje 1	
Título		Material		Plano 02	
Acero 1045		Dibujante		A3	



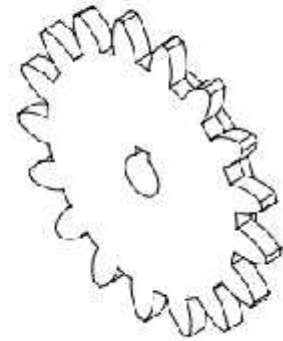
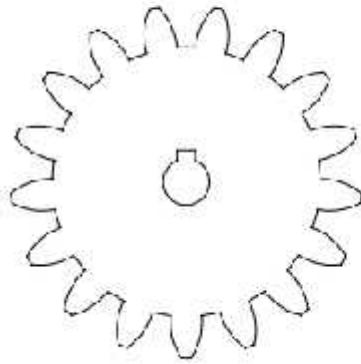
A: los radios de entalle equivalen a 1 mm

UNIVERSIDAD SANTIAGO		UNIVERSIDAD SANTIAGO		UNIVERSIDAD SANTIAGO	
FACULTAD DE INGENIERIA		FACULTAD DE INGENIERIA		FACULTAD DE INGENIERIA	
CARRERA DE INGENIERIA EN MECANICA		CARRERA DE INGENIERIA EN MECANICA		CARRERA DE INGENIERIA EN MECANICA	
NOMBRE DEL ALUMNO		NOMBRE DEL ALUMNO		NOMBRE DEL ALUMNO	
FECHA		FECHA		FECHA	
TITULO		TITULO		TITULO	
EJE 2		EJE 2		EJE 2	
PLANO 03		PLANO 03		PLANO 03	
AUTOR		AUTOR		AUTOR	
REVISOR		REVISOR		REVISOR	
FECHA		FECHA		FECHA	



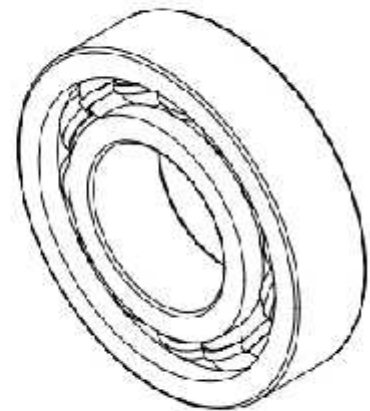
Pieza estándar de catálogo
causer, engranaje recto de 34
dientes

UNIVERSIDAD SANTIAGO		UNIVERSIDAD SANTIAGO		UNIVERSIDAD SANTIAGO	
FACULTAD DE INGENIERIA		FACULTAD DE INGENIERIA		FACULTAD DE INGENIERIA	
CARRERA DE INGENIERIA EN MECANICA		CARRERA DE INGENIERIA EN MECANICA		CARRERA DE INGENIERIA EN MECANICA	
NOMBRE DEL ALUMNO		NOMBRE DEL ALUMNO		NOMBRE DEL ALUMNO	
FECHA		FECHA		FECHA	
TITULO		TITULO		TITULO	
ENGRANAJE 34		ENGRANAJE 34		ENGRANAJE 34	
DIENTES		DIENTES		DIENTES	
PLANO 03		PLANO 03		PLANO 03	
AUTOR		AUTOR		AUTOR	
REVISOR		REVISOR		REVISOR	
FECHA		FECHA		FECHA	

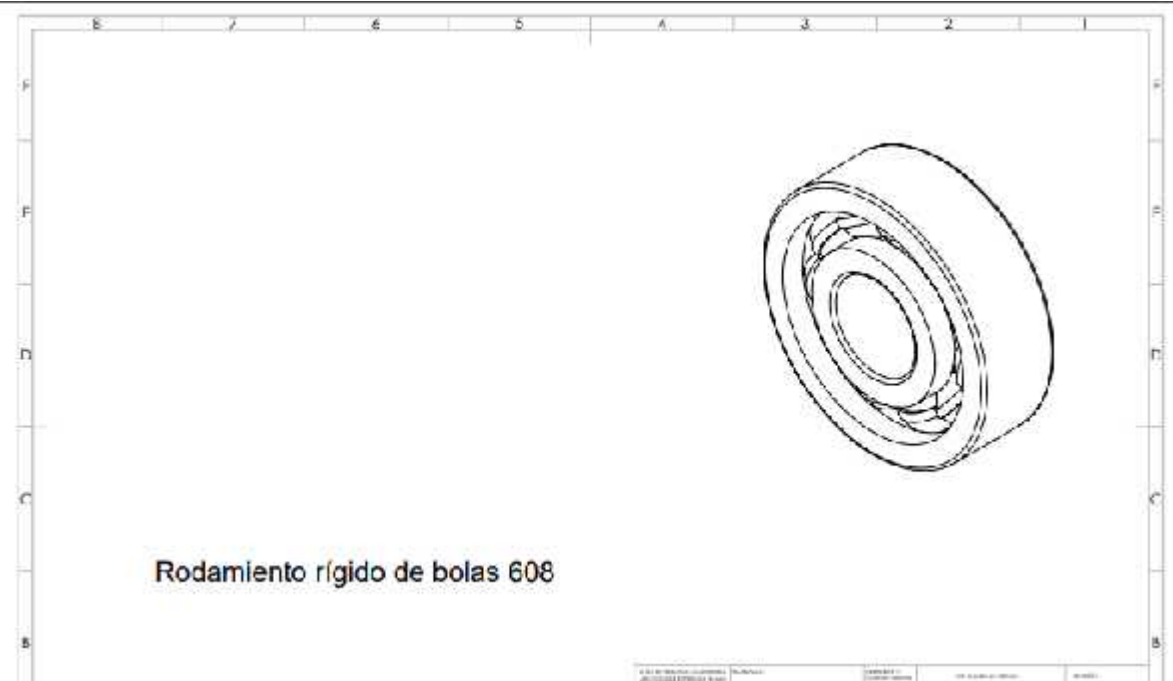
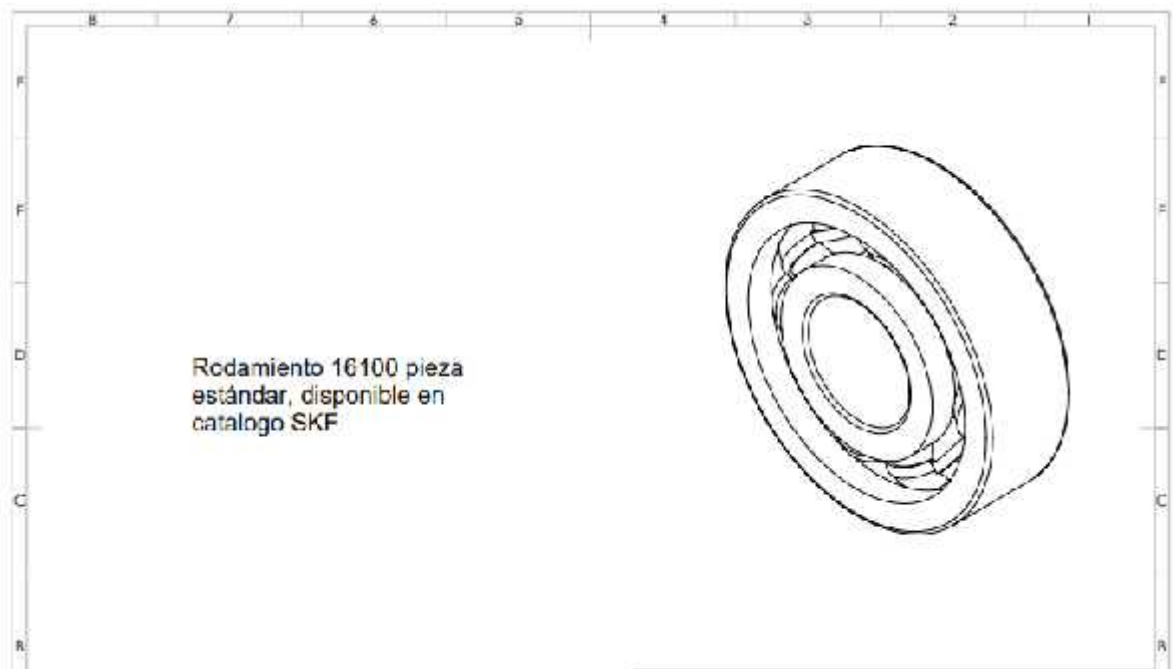


Pieza estándar disponible en el catálogo Causer

Engranaje 17 dentes
Plano 05



Rodamiento rígido de bolas
16002, disponible en el
catálogo SKF, pieza estándar



Esquema eléctrico del alternador

En las dos figuras se puede apreciar un poco el circuito interno y externo del alternador, siendo el externo útil para calcular la corriente de excitación de un modelo teórico de generador síncrono.

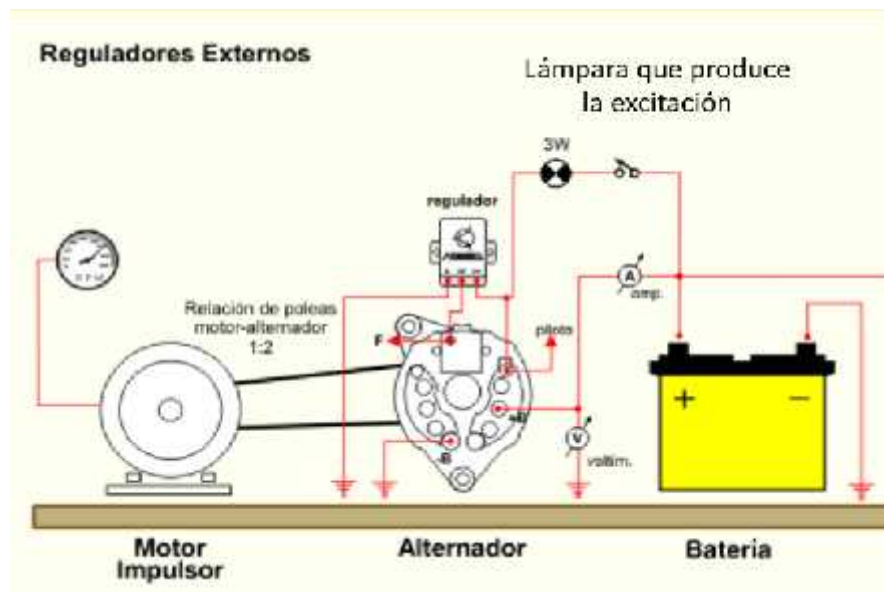


Figura A15. Circuito de excitación del generador

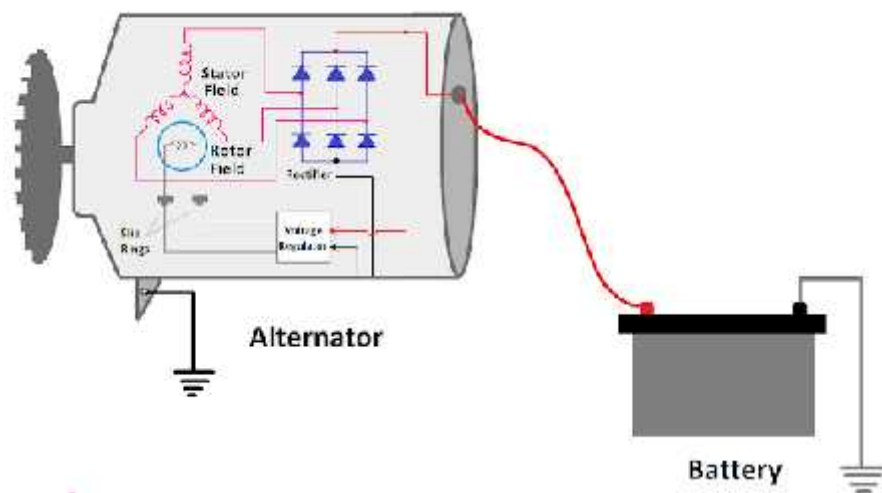
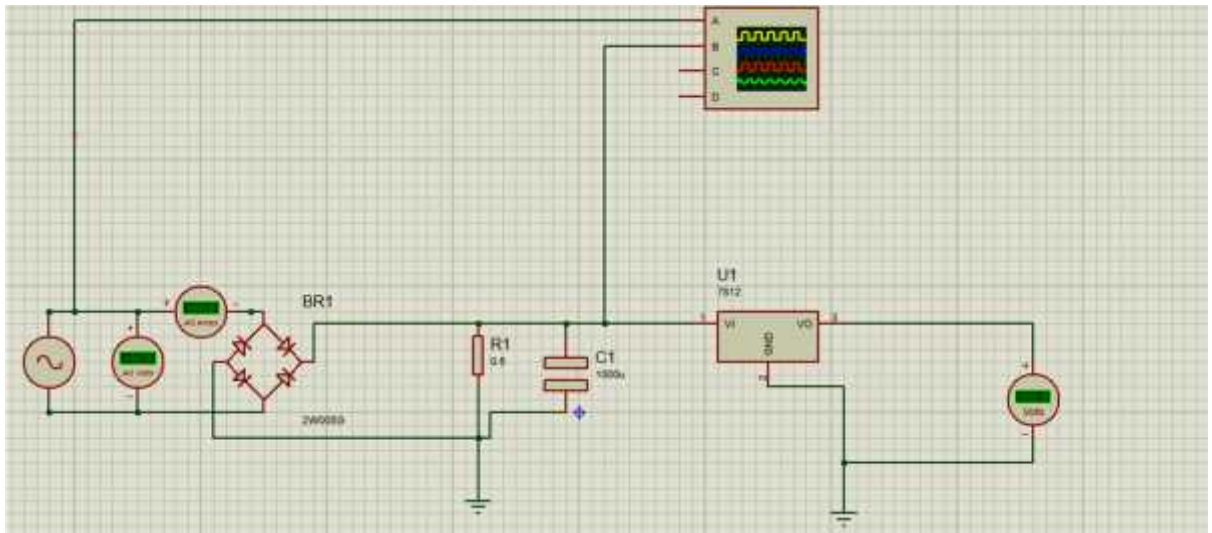


Figura A16. Circuito interno de alternador

En el software proteus el estator y el rotor se unen en un solo bloque de dos terminales, por ende, solo interesara la resistencia interna, el regulador de voltaje y el puente rectificador para obtener un valor de potencia generada por el alternador.



Ecuaciones del sistema dinámico

Mecánica

$$N = \frac{Z1}{Z2}$$

Trabajándolas en el dominio de Laplace

$$T(s) - T1(s) - \beta1\Omega(s) = j\dot{\theta}$$

$$T2(s) - T(s) - \beta2\Omega(s) = j\dot{\theta}$$

$$J\ddot{\theta}(s) = J\dot{\theta}(s) + N_e^2 * J\dot{\theta}(s)$$

$$\beta(s) = \beta(s) + N_e^2 * \beta(s)$$

Finalmente, las ecuaciones mecánicas quedarían junto a su función de transferencia

$$F(s) = \frac{\Omega(s)}{T(s)}$$

$$M(s) = \frac{N}{J\ddot{\theta}(s) + \beta(s)}$$

Eléctrica

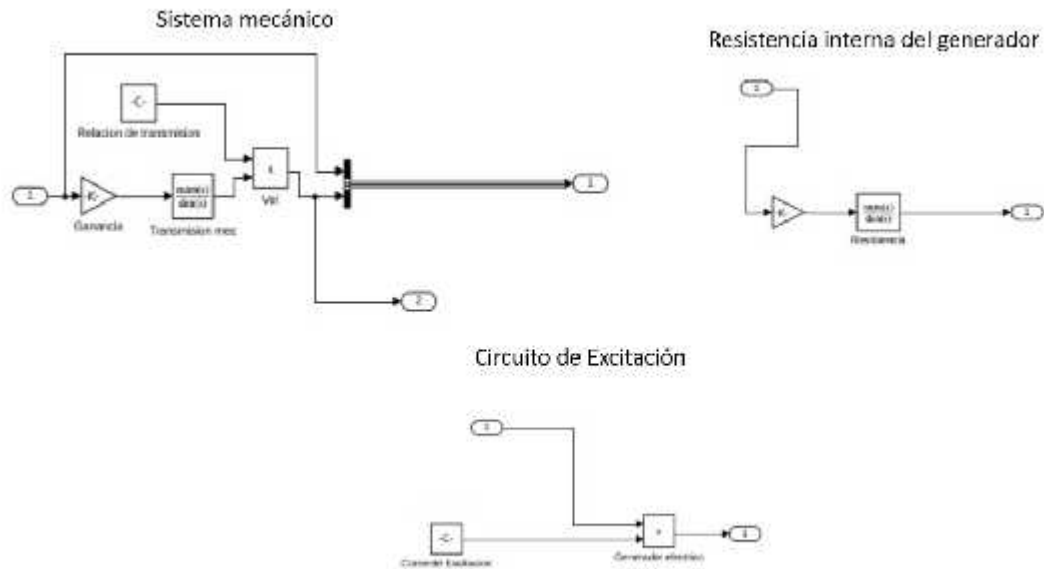
$$E(s) = \frac{R}{X + R}$$

Electromecánica

$$P(s) = M(s) * E(s) * I$$

Al final todo queda en función de constantes y siguiendo el orden lógico de diseño de sistemas dinámicos donde importa el comportamiento de la planta mas que de las constantes o que se adapte a cualquier valor constante se puede decir que todo quedo resuelto.

Descomposición del sistema dinámico

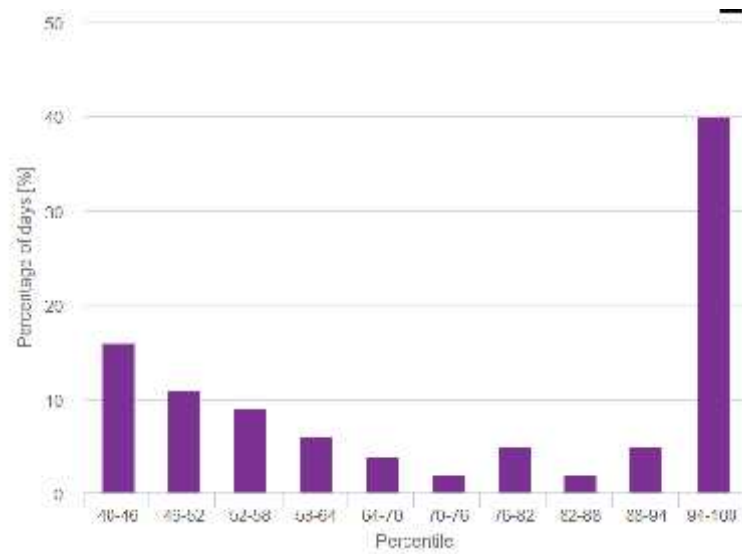


Sistemas de ecuaciones usadas para calcular o dimensionar componentes eléctricos

- Batería**

$$C \quad d \quad c \quad (Wh) = \frac{E}{P} \frac{g}{d} \frac{d}{b} (Wh) * A_1 * 0,8$$

Si se usaran los datos calculados en una instalación solar se tendrían las siguientes estadísticas de acuerdo con pvgis para una instalación que genera 600 Wp



- **Inversor**

$$P(V) = \eta * P(a)$$

d :

$$P = p \quad d s \quad d i$$

$$P = p \quad d e \quad d i \quad (s \quad d \quad a)$$

Matriz de consumos

Los datos de consumo promedio fueron suministrados por la base de datos de electrocalculator.