



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Diseño de un dispositivo de
activación física con generación
de energía eléctrica**

TESINA

Que para obtener el título de
Ingeniera Mecánica

P R E S E N T A

Laura Juditt de los Ángeles Tapia

DIRECTOR DE TESINA

M.I. Antonio Zepeda Sánchez



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado DISEÑO DE UN DISPOSITIVO DE ACTIVACION FISICA CON GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA que presenté para obtener el título de INGENIERA MECÁNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

LAURA JUDITT DE LOS ANGELES TAPIA
Número de cuenta: 314057435

Agradecimientos

A mi abuelo José de los Ángeles Guzmán quien me enseñó con paciencia las primeras bases en mi educación primaria que serán de gran valor en el ejercicio de mi carrera.

A mi madre Caridad Tapia Centeno por apoyarme económicamente en todos mis estudios y siempre motivarme a creer en que podría lograr todo lo que me propusiera.

A mi padre Jorge de los Ángeles Lira por siempre estar al pendiente de mi estado de salud y acompañarme todos los días a tomar el transporte.

A mi tutor Antonio Zepeda Sánchez por toda la ayuda y conocimientos brindados a lo largo de mi formación, no sólo en el ámbito académico, sino también en lo personal. Gracias por estar al pendiente de mi bienestar durante las crisis que viví en algunas clases. Por explicar cada tema con claridad y con la paciencia de volver a explicarlo de distintas maneras hasta asegurarse de que lo comprendiera. Y por ser de los pocos profesores que van más allá de la teoría, motivándonos a aplicar los conocimientos en proyectos reales desarrollados en el taller. Finalmente, gracias por asesorarme en el desarrollo de esta tesina, guiándome en cada etapa hasta lograr concluirla.

Índice

Dispositivo de activación física con generación de energía eléctrica	5
Introducción	5
Antecedentes	6
Estudio de mercado	6
Benchmarking	6
1. Planteamiento del problema	8
2. Objetivo	9
3. Justificación	9
4. Diseño conceptual	10
4.1 Requerimientos y especificaciones del diseño	10
4.2 Propuestas de concepto	11
4.3 Criterios de selección/ Matriz de decisión	12
4.4 Concepto seleccionado	13
5. Diseño de configuración	14
5.1 Selección de cadena o banda	14
5.2 Consideraciones para los cálculos	14
5.3 Memoria de cálculo	15
5.4 Materiales de las piezas	19
6. Diseño de detalle	22
6.1 Diseño inicial	22
6.2 Diseño final	23
7. Propuesta de manufactura y ensamble	23
7.1 Manufactura para la base	23
7.2 Manufactura para el eje	24
7.3 Manufactura para la carcasa	24

7.4 Ensamble del dispositivo	25
8. Costos	25
8.1 Costo de un prototipo	25
8.2 Costo del prototipo por varias piezas	27
Resultados	29
9. Conclusiones.....	30
10. Referencias	30

Dispositivo de activación física con generación de energía eléctrica

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un dispositivo compacto de pedales para su uso en el hogar o en espacios reducidos, que no solo sea capaz de motivar al usuario a realizar ejercicio, sino que también pueda transformar los movimientos en energía eléctrica. Para entender mejor la propuesta, se realizó un estudio de mercado y una comparación para reunir datos de otros productos con características similares, lo que permitió verificar que ninguno de ellos tiene integrado un sistema de generación de energía eléctrica.

Derivado de la investigación, se definieron el problema y el objetivo del proyecto, para después explicar la relevancia técnica y social de desarrollar una solución que combine salud y bienestar con la generación de energía. Así, se llevó a cabo la etapa de diseño conceptual que consiste en especificar las necesidades del usuario, generar tres propuestas de concepto y elegir la más eficiente mediante una matriz de decisión.

El concepto seleccionado se diseñó durante la etapa de diseño de configuración, en la que utilizando un motorreductor de 350W se calculó el sistema de transmisión por cadena y se asignaron materiales a cada componente en función de sus propiedades mecánicas y de la viabilidad de fabricación. Luego, en la fase de diseño de detalle, se elaboraron los planos iniciales y finales de montaje del dispositivo, además se explica el proceso de manufactura de cada componente, así como el orden de fabricación y montaje del sistema completo. Por último, se incluye un análisis de costos que muestra los gastos del prototipo y la viabilidad económica en su punto de equilibrio, mostrando que el dispositivo tiene competitividad en el mercado en términos de producción.

Antecedentes

Estudio de mercado

El mercado de aparatos para realizar ejercicio es grande y de todas dimensiones. Los más económicos y simples solo cumplen su función que es la de realizar ejercicio y otros más costosos tienen integrado un sistema para registrar calorías quemadas, duración del ejercicio, velocidad y distancia.

Benchmarking

Productos en el mercado

Sunny Health & Fitness Ejercitador de Pedales Bajo el Escritorio, Bicicleta Estacionaria Portátil para Cardio en Casa, Ciclo para Brazos/Piernas para Personas Mayores, Conexión Bluetooth con SunnyFit, cuyas características se muestran en la *Tabla 1*.

Tabla 1.

Características del Ejercitador de pedales Sunny Health & Fitness.

Característica	Descripción
Uso versátil	Diseñado para oficinistas, personas mayores, atletas y pacientes en rehabilitación. Movimiento suave de bajo impacto que minimiza la tensión en articulaciones.
Portabilidad	Dimensiones compactas de 52 x 42 x 27 cm, volante de inercia de 1.5 kg. Incluye correas ajustables y pedales antideslizantes, con base resistente para mayor seguridad.
Funcionamiento suave y silencioso	Resistencia magnética con mecanismo de transmisión por correa, garantizando fricción mínima y bajo ruido durante el entrenamiento.
Funciones duales	Se puede usar sobre una superficie a nivel de escritorio para ejercitar brazos, o en el suelo para piernas. Cuenta con 8 niveles de resistencia ajustables.
Bajo impacto	Pedales con altura máxima de 25 cm y zancada de 18 cm. También funcionan como asideros para ejercitar la parte superior del cuerpo.
Monitor digital	Pantalla alimentada por batería que registra velocidad, tiempo, distancia y calorías quemadas.
Montaje fácil	Instalación en solo tres pasos, con manual de instrucciones incluido.
Conectividad	Compatible con la app SunnyFit vía Bluetooth

La *Figura 1* muestra el Ejercitador de pedales Sunny Health & Fitness.



Figura 1. Ejercitador de pedales Sunny Health & Fitness. Tomado de Sunny Healt & Fitness (s. f.). Fuente: <https://www.amazon.com.mx/dp/B07QZHNWK8>

Ejercitador de pedales de bicicleta para debajo del escritorio, portátil, ejercicio en casa, bicicleta de ejercicio, peddler de pies, terapia, cuyas características se muestran en la *Tabla 2*.

Tabla 2.
Características del Ejercitador de pedales Techmoo.

Característica	Descripción
Resistencia ajustable	Perilla de tensión para personalizar el nivel de resistencia. Bajo impacto, ideal para ejercicios ligeros de recuperación de piernas y rodillas.
Pantalla LCD funcional	Muestra tiempo de ejercicio, recuento de revoluciones, RPM, calorías quemadas y cuenta con botón de restablecimiento.
Diseño compacto y plegable	Fácil de transportar y almacenar, se pliega y despliega con facilidad. Cabe debajo de un escritorio o espacios similares.
Uso personalizado	Pensado para ejercicios de recuperación de rodillas y hombros, o ciclismo ligero de piernas y brazos.
Uso versátil	Se puede usar debajo del escritorio, sobre la mesa, en interiores o en la oficina. Ideal para hacer ejercicio mientras hablas por teléfono, ves televisión o trabajas.

La *Figura 2*, muestra una versión comercial de un ejercitador de pedales de la marca Techmoo.



Figura 2. Ejercitador de pedales Techmoo. Tomado de Yaxa Colombia (s. f.). Fuente: <https://colombia.yaxa.co/products/ejercitador-de-pedales-de-bicicleta-para-debajo-del-escritorio-portatil-ejercicio-en-casa-bicicleta-de-ejercicio-peddler-de-pies-terapia>

Tabla 3.*Comparación de Ejercitadores de Pedales Sunny Health & Fitness y Techmoo.*

Característica	Sunny Health & Fitness	Techmoo
Tipo de resistencia	Magnética con transmisión por correa	Mecánica, con perilla de tensión ajustable
Niveles de resistencia	8 niveles definidos	Ajuste continuo con perilla (sin niveles fijos especificados)
Pantalla/Monitor	Digital, alimentada por batería: velocidad, tiempo, distancia, calorías	LCD: tiempo, revoluciones, RPM, calorías, botón de reinicio
Conectividad	Sí, Bluetooth con app SunnyFit	No se menciona conectividad
Dimensiones	52x42x27	No especificadas
Volante de inercia	1.5Kg	No especificado
Portabilidad	Compacto, correas ajustables, base resistente	Compacto, plegable y fácil de guardar
Uso dual (brazos/piernas)	Sí cambia de posición para trabajar tren superior o inferior	Sí, mismo enfoque
Altura/zancada de pedales	Máximo 25cm de altura, 18cm de zancada	No especificado
Enfoque terapéutico	Rehabilitación general, bajo impacto para articulaciones	Enfocado en recuperación de rodillas y hombros
Montaje	3 pasos sencillos, con manual incluido	No se menciona proceso de montaje
Ruido	Silencioso (mecanismo de correa)	No se menciona nivel de ruido

1. Planteamiento del problema

La realización de ejercicio es fundamental para mantener una buena salud y calidad de vida. Sin embargo, actualmente con el incremento de la población en las ciudades es cada vez más difícil encontrar sitios para realizar ejercicio, por lo que es más común que las personas realicen actividad física dentro de sus hogares. Esto ha impulsado el desarrollo de equipos de ejercicio compactos, entre ellos los ejercitadores de pedales, los cuales permiten realizar movimientos de pedaleo desde cualquier silla o sillón sin necesidad de grandes espacios.

Pero, estos dispositivos tienen una limitación importante: toda la energía cinética generada por el usuario durante el pedaleo se no se aprovecha de ninguna forma útil. Actualmente no existe en el mercado un ejercitador de pedales compacto, accesible y diseñado específicamente para el uso en el hogar que sea capaz de convertir ese movimiento en energía eléctrica aprovechable para cargar celulares o alimentar pequeños aparatos electrónicos.

Por lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Se puede diseñar un dispositivo de pedaleo compacto que, además de promover la actividad física, genere energía eléctrica suficiente para cargar celulares o alimentar pequeños aparatos electrónicos?

2. Objetivo

Diseñar un dispositivo compacto de activación física con generación de energía eléctrica para cargar pequeños dispositivos electrónicos.

3. Justificación

Actualmente, las conductas sedentarias se encuentran entre los principales problemas de salud pública en el mundo. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), la inactividad física es el cuarto factor de riesgo más importante para la mortalidad en el mundo, causando alrededor de 3.2 millones de muertes por año (Socionorte, 2013). Esta preocupación surge especialmente en México, dado que muchas personas no realizan suficiente ejercicio de manera regular debido a la sobrecarga de las tareas cotidianas, las largas jornadas de trabajo y el uso excesivo de dispositivos electrónicos en casa.

Por otra parte, el consumo de electricidad en los hogares mexicanos ha ido aumentando gradualmente en los últimos años, debido principalmente al incremento de dispositivos electrónicos de uso cotidiano como los teléfonos celulares, las tabletas y los aparatos de bajo consumo. Un enfoque para la solución es la búsqueda de recursos energéticos alternativos y sostenibles, considerando que los recursos energéticos no convencionales podrían utilizarse, ya que el consumo de energía aumenta y también causa daños al medio ambiente.

Considerando lo anterior, el proyecto propone una máquina de activación física que, a través del pedaleo genera electricidad para el uso personal. Este dispositivo resuelve ambos problemas a la

vez: fomenta el ejercicio en casa, sin la necesidad de ir hasta un gimnasio; y, además, convierte la energía cinética del movimiento en electricidad que puede utilizarse para cargar celulares o alimentar pequeños dispositivos electrónicos.

La importancia de este proyecto es que, además de generar beneficios para la salud, lo convierte en una fuente de energía para el usuario. A diferencia de otros productos que existen actualmente en el mercado, estos suelen ser costosos o solo orientados al rendimiento deportivo, este dispositivo busca ser una opción accesible y funcional, enfocado en las necesidades de personas cotidianas.

4. Diseño conceptual

4.1 Requerimientos y especificaciones del diseño

Para identificar los requerimientos y especificaciones del diseño, se siguió la metodología propuesta por Ulrich y Eppinger en su libro *Diseño y desarrollo de productos* (2013), en la que se establece que los requerimientos del usuario deben ser identificados y luego convertidos en especificaciones técnicas que orienten el desarrollo del producto. A partir de esto, los requerimientos se clasificaron en obligatorios y deseables, donde los primeros corresponden a características que el dispositivo debe cumplir de forma indispensable, mientras que los segundos no son estrictamente necesarios, pero contribuyen a mejorar la experiencia del usuario. Los requerimientos definidos para este proyecto se muestran en la *Tabla 4*.

Tabla 4.
Requerimientos y especificaciones según Ulrich y Eppinger

Requerimiento	Tipo
Compacto	Obligatorio
Cargar dispositivos móviles	Obligatorio
Precio accesible	Obligatorio
Ligero	Deseable
Duradero	Deseable

Nota. Elaboración propia basada en Ulrich y Eppinger (2013).

4.2 Propuestas de concepto

El concepto A: Dispositivo tipo bicicleta estática con carcasa semicircular cerrada la cual mejora la seguridad al proteger los mecanismos como el sistema de transmisión por cadena y el motorreductor, pero incrementa la complejidad y el costo de manufactura. Cuenta con un manubrio central y asiento fijos, además de pedales. Al tener asiento y manubrio ofrece mayor estabilidad, no obstante, su tamaño y la presencia de estos dos componentes lo hacen menos compacto y más costoso de fabricar. La *Figura 3* muestra el boceto del concepto A y la *Figura 3.1* muestra una imagen hiperrealista del dispositivo creada con IA.

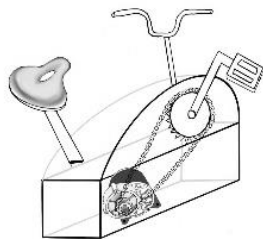


Figura 3. Concepto A



Figura 3.1 Concepto A recreado con IA

El concepto B: Variante del Concepto A sin manubrio y asiento, pero aquí se incorpora una separación en la base que servirá para alojar la parte eléctrica y fijar el motor. Al eliminar el manubrio y asiento se reduce el tamaño, sin embargo, el costo no varía mucho con respecto al concepto A. La *Figura 4* muestra el boceto del concepto B y la *Figura 4.1* muestra una imagen hiperrealista del boceto creada con IA.

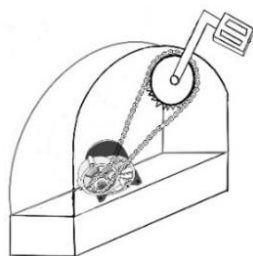


Figura 4. Concepto B



Figura 4.1 Concepto B recreado con IA

Concepto C: Dispositivo con base y carcasa trapezoidal semicerrada, sistema de transmisión por cadena y pedales en posición inclinada. Es el concepto más compacto de los tres, Optimiza el espacio en la base para agregar el cableado necesario de la parte eléctrica y al mismo tiempo la carcasa proporciona una altura recomendable para que el usuario mantenga una buena ergonomía física y tener un pedaleo libre sin roce en el suelo. Su diseño sencillo facilita tanto su uso como su mantenimiento y reduce su costo. La *Figura 5* muestra el boceto del concepto C y la *Figura 5.1* muestra una imagen hiperrealista del boceto creada con IA.

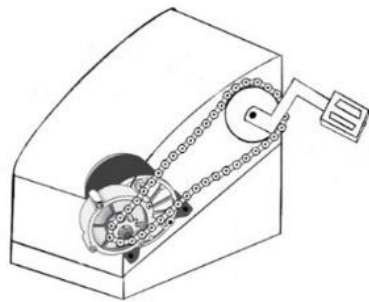


Figura 5. Concepto C



Figura 5.1 Concepto C recreado con IA

4.3 Criterios de selección/ Matriz de decisión

Para seleccionar el concepto más adecuado entre las propuestas generadas, se utilizó una matriz de decisión siguiendo la metodología propuesta por Ulrich y Eppinger en *Diseño y desarrollo de productos*. Cada concepto fue calificado en una escala del 1 al 10, donde 1 es una condición desfavorable y 10 muy favorable, obteniendo la mejor alternativa para continuar con las etapas de diseño. Los resultados de esta evaluación se presentan en la *Tabla 5*.

Tabla 5.
Matriz de decisión

Criterio	Peso	Concepto A	Concepto B	Concepto C
Facilidad de manufactura	25%	9	9	9
Compacto	20%	6	7	9
Eficiencia mecánica	25%	9	9	9
Costo de producción	20%	6	7	9
Durabilidad	10%	8	8	8
Total	100%	7.7	8.1	8.9

4.4 Concepto seleccionado

Con base en los resultados de la matriz de decisión, el **Concepto C** obtuvo la puntuación más alta con **8.9 puntos**, seguido del Concepto B con 8.1 y el Concepto A con 7.7. El Concepto C destaca por obtener la calificación más alta en los criterios de mayor peso: facilidad de manufactura, eficiencia mecánica y costo de producción, todos con una puntuación de 9. Además, su diseño compacto con carcasa semicerrada lo hace la mejor opción para el uso doméstico, ya que protege los mecanismos internos, ocupa menos espacio y resulta más accesible económicamente tanto para su fabricación como para el usuario final. Por estas razones, el **Concepto C**, mostrado en la *Figura 5*, será la base para las etapas de Diseño de Configuración y Diseño de Detalle.

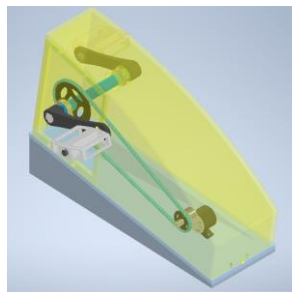


Figura 6. Diseño inicial del concepto C

5. Diseño de configuración

5.1 Selección de cadena o banda

En un inicio se consideraron las opciones de transmisión por banda o cadena. Sin embargo, se descartó el uso de banda debido a que ocuparía un mayor espacio, su vida útil es menor y son más propensas a deslizarse con cargas elevadas o variaciones en la tensión lo que afecta la estabilidad de la transmisión y con ello la generación de energía eléctrica constante. Otro punto importante es que las bandas en un inicio requieren de un tensado preciso y un mantenimiento más frecuente para evitar que se deforme, ya que en condiciones de operación variables como humedad o cambios de temperatura su degradación es más temprana.

En cambio, la cadena ofrece mayor eficiencia en la transmisión de potencia, no presenta deslizamiento, permite una relación de transmisión más precisa, lo cual es importante para garantizar la generación de energía eléctrica de manera estable y su mantenimiento es en periodos de tiempo más largos.

5.2 Consideraciones para los cálculos

5.2.1 Selección del motorreductor

Se utilizará un motorreductor de 350W y 24V debido a que cumple con nuestros requerimientos necesarios de transmisión de potencia para lograr generar energía eléctrica. Además de su costo accesible, tamaño compacto y bajo peso.

5.2.2 Condiciones antropométricas

Por otra parte, fue necesario investigar el número de pie promedio más grande con el que cuenta la población mundial encontrando un número de pie 27-30cm (Bucanero Calzados, 2025). Este dato es relevante debido a que con éste se estimará la distancia al suelo y entre centros necesaria para que el pedaleo no tenga roce con el suelo.

5.3 Memoria de cálculo

A continuación, se presenta el procedimiento de cálculo para la selección y dimensionamiento del sistema de transmisión por cadena.

Datos de entrada:

- Potencia del motorreductor: 350W (0.469 hp)
- Velocidad de entrada: $n_1 = 3200$ rpm
- Relación de transmisión: 9.78:1
- Velocidad de salida: $n_2 = 327.198$ rpm
- Jornada de operación: 8 h/día

Selección de Cadena

Datos:

$$Pot_W := 350 \quad [W]$$

$$rel = 9.78:1 \quad g_r := 9.78$$

$$Pot_{req} := \frac{Pot_W}{745.7} = 0.469 \quad [hp]$$

$$n_1 := 3200 \quad [rpm]$$

$$jornada := 8 \quad [h/día]$$

$$n_2 := \frac{n_1}{g_r} = 327.198 \quad [rpm]$$

Selección del Factor de Servicio

$$FS := 1.3$$

$$Pot_{diseño} := FS \cdot Pot_{req} = 0.61 \quad [hp]$$

TABLA 7-8 Factores de servicio para transmisiones por cadenas

Tipo de carga	Tipo de impulsor		
	Impulsor hidráulico	Motor eléctrico o turbina	Motor de combustión interna con transmisión mecánica
Uniforme (agitadores, ventiladores, transportadores con carga ligera y uniforme)	1.0	1.0	1.2
Choque moderado (máquinas herramienta, grúas, transportadores pesados, mezcladoras de alimento y molinos)	1.2	1.3	1.4
Choque pesado (prensas de troquelado, molinos de martillos, transportadores alternos, accionamientos de molino de rodillos)	1.4	1.5	1.7

Selección del Tamaño de Cadena

Con la velocidad angular=327.198rpm y la potencia de diseño=0.61hp

Tenemos una tamaño de cadena #35

RS35

$\frac{3}{8}"$ Pitch

U.S. TSUBAKI	ANSI No.	Pitch	Bushing Diameter	Width Between Inner Link Plates	Link Plate	Pin Diameter		
Chain No.	P	B	W	T	H	h	D	
RS35	35	.375	.200	.188	.050	.354	.307	.141

U.S. TSUBAKI	Number of Strands	Pin	Transverse Pitch	Standard Type of Pin	Minimum Ultimate Strength ANSI Standard	Average Tensile Strength	Maximum Allowable Load	Approx. Weight lbs./ft.	Number of Links per 10 ft.		
Chain No.	L ₁ +L ₂	L ₁	L ₂	L	C						
RS35	1	.500	.230	.270	.531	Riveted	1,760	2,530	480	.22	320
RS35-2	2	.898	.429	.469	.965	Riveted	3,520	5,060	810	.46	
RS35-3	3	1.295	.630	.665	1.362	Riveted	5,280	7,590	1,200	.70	

Note: * Refer to page A-23, "Selection for Slow Speed."

Resistencia de la cadena

Con mi número de cadena 35 tenemos:

Un paso=3/8"

Resistencia promedio a la tensión=2100Lb

Peso por pie=0.21lb

Figure 7. Chain Selection Chart

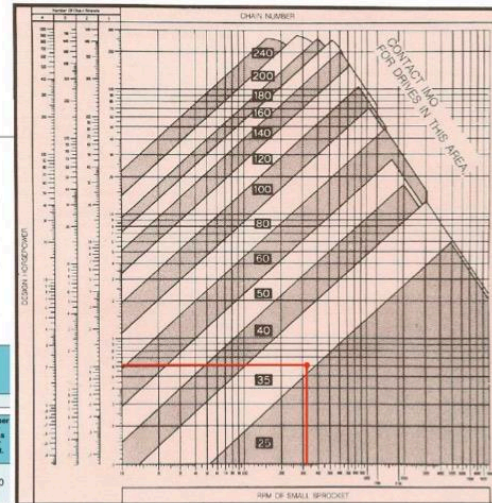


TABLA 18.10 Tamaños estándares y resistencia de cadenas de rodillos.

Número de cadena	Paso, p, pulg.	Díámetro, pulg.	Ancho, pulg.	Díámetro del pasador, d, pulg.	Espesor de la placa de entablamiento, e, pulg.	Resistencia a la rotura promedio S _u , lbf	Peso por pie, lbf
25	1/4	0.130	1/8	0.0905	0.030	875	0.024
35	3/8	0.200	3/16	0.141	0.050	2,100	0.21
41	1/2	0.306	1/4	0.141	0.050	2,000	0.28
50	5/8	0.516	5/16	0.156	0.060	3,700	0.41
60	3/4	0.732	1/2	0.234	0.094	6,100	0.68
80	1	1.000	3/4	0.312	0.125	14,500	1.09
100	1 1/4	1.312	1	0.375	0.156	24,000	2.40
120	1 1/2	1.575	1 1/4	0.437	0.187	34,000	3.67
140	1 3/4	1.840	1 1/2	0.500	0.219	46,000	4.93
160	2	2.106	1 3/4	0.562	0.250	58,000	6.43
180	2 1/4	2.372	2	0.625	0.281	76,000	8.30
200	2 1/2	2.638	2 1/4	0.687	0.312	95,000	10.21
240	3	3.200	3	0.837	0.375	130,000	16.90

* Sin rodillos.

** Cadena de peso ligero.

Número de dientes de la catarina pequeña

Buscando la tabla con mi número de cadena 35 3/8", utilizando una Pdis=0.61hp y la velocidad=327.198rpm:

Interpolando

1. Proporción dentro del rango

$$\frac{327.198 - 300}{500 - 300} = 0.136$$

2. Interpolando cada fila

$$HP = HP_{300} + 0.136 \cdot (HP_{500} - HP_{300})$$

$$HP_{11 \text{ dientes}} := 0.78 + 0.136 \cdot (1.23 - 0.78) = 0.841$$

$$N_1 := 11$$

Número de dientes de la catarina grande

$$g_r = 9.78$$

La relación total esperada es de 20:1

$$R_{GT} := 9.78 \cdot g$$

$$R_{2aEtapa} := \frac{20}{g_r} = 2.045$$

Despejando N2 de la Ecuación de Velocidad

$$g_r = \frac{d_2}{d_1} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$N_2 := N_1 \cdot R_{2aEtapa} = 22.495$$

$$N_2 := 22$$

Diámetros

$$Paso := \frac{3}{8}$$

$$D_1 := \frac{Paso}{\sin\left(\frac{\pi}{N_1}\right)} = 1.331 \quad [\text{plg}]$$

$$D_{1_cm} := D_1 \cdot 2.54 = 3.381 \quad [\text{cm}]$$

$$D_2 := \frac{Paso}{\sin\left(\frac{\pi}{N_2}\right)} = 2.635 \quad [\text{plg}]$$

$$D_{2_cm} := D_2 \cdot 2.54 = 6.693 \quad [\text{cm}]$$

Longitud de la cadena

$$C_{supuesta} := 60$$

$$L := 2 \cdot C_{supuesta} + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot C_{supuesta}} = 136.551 \quad [\text{pasos}]$$

Maximum Horsepower Ratings

No. of Teeth Small Sprocket	Maximum Speed - Small Sprocket (rpm)															
	Lubrication System															
	50	100	300	500	700	900	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4500	5000
11	0.16	0.30	0.78	1.23	1.66	2.09	2.71	3.31	3.90	4.48	5.06	5.64	6.22	6.80	7.38	7.96
12	0.17	0.32	0.86	1.35	1.84	2.29	2.98	3.63	4.29	4.92	5.55	6.17	6.79	7.41	8.03	8.65
13	0.19	0.35	0.94	1.48	2.00	2.51	3.25	3.97	4.68	5.38	6.08	6.78	7.48	8.18	8.88	9.58
14	0.20	0.38	1.01	1.60	2.16	2.71	3.51	4.30	5.07	5.82	6.55	7.27	7.99	8.71	9.43	10.15
15	0.21	0.40	1.09	1.72	2.33	2.92	3.80	4.63	5.46	6.26	7.03	7.79	8.55	9.31	10.07	10.83
16	0.23	0.43	1.17	1.85	2.49	3.16	4.06	4.96	5.85	6.72	7.57	8.41	9.24	10.07	10.89	11.71
17	0.25	0.47	1.25	1.97	2.67	3.35	4.33	5.30	6.25	7.17	8.06	8.94	9.81	10.67	11.53	12.39
18	0.27	0.50	1.33	2.09	2.84	3.57	4.61	5.65	6.64	7.60	8.53	9.45	10.36	11.26	12.15	13.04
19	0.28	0.52	1.41	2.23	3.02	3.77	4.89	5.98	7.04	8.09	9.11	10.11	11.10	12.08	13.05	14.02
20	0.30	0.55	1.49	2.35	3.18	4.00	5.16	6.32	7.44	8.56	9.64	10.71	11.77	12.82	13.86	14.89
21	0.31	0.58	1.57	2.49	3.35	4.21	5.44	6.66	7.84	9.01	10.17	11.32	12.46	13.59	14.71	15.83
22	0.32	0.62	1.65	2.60	3.53	4.43	5.73	7.00	8.25	9.48	10.69	11.89	13.08	14.26	15.43	16.59
23	0.35	0.64	1.73	2.74	3.70	4.64	6.01	7.35	8.66	9.95	11.21	12.46	13.70	14.93	16.15	17.36
24	0.36	0.67	1.81	2.86	3.88	4.85	6.29	7.70	9.07	10.42	11.75	13.07	14.38	15.68	16.97	18.26
25	0.38	0.70	1.89	2.99	4.05	5.08	6.57	8.05	9.48	10.91	12.31	13.69	15.05	16.40	17.74	19.07
26	0.39	0.74	1.97	3.12	4.22	5.30	6.87	8.39	9.88	11.33	12.75	14.15	15.53	16.90	18.26	19.61
28	0.43	0.79	2.13	3.38	4.57	5.74	7.43	9.09	10.71	12.33	13.93	15.51	17.07	18.62	20.16	21.69
30	0.46	0.86	2.31	3.65	4.93	6.18	8.01	9.79	11.53	13.26	15.00	16.72	18.43	20.13	21.82	23.51
32	0.50	0.91	2.47	3.90	5.28	6.62	8.58	10.5	12.4	14.2	16.0	17.8	19.5	21.2	22.9	24.6
35	0.54	1.01	2.72	4.30	5.82	7.31	9.45	11.6	13.7	15.7	17.6	19.5	21.4	23.2	25.0	26.8
40	0.63	1.17	3.14	4.98	6.73	8.44	10.9	13.4	15.7	18.1	20.4	22.6	24.8	26.9	29.0	31.1
45	0.71	1.33	3.57	5.65	7.64	9.57	12.4	15.2	17.8	20.5	23.0	25.4	27.7	29.9	32.1	34.3

Note: 1. Multiply the value given above by the multiple strand factor (page A-22, Table II) in order to obtain the transmission horsepower of multiple strand chain.
2. For lubrication systems A, B & C, refer to page A-77 for explanation. Please consult U.S. Taubaki for use of horsepower ratings to the right of the boundary line.
3. Refer to page A-22, "Procedures for Selecting Roller Chain."

Longitud de la cadena en pasos enteros

$$L_{final} := 136 \quad [\text{pasos}]$$

Distancia entre centros exacta

$$C := \frac{1}{4} \left(L_{final} - \left(\frac{N_2 + N_1}{2} \right) + \sqrt{\left(L_{final} - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{8 (N_2 - N_1)^2}{4 \cdot \pi^2}} \right) = 59.724 \quad [\text{pasos}]$$

$$C_{exacta} := 59 \quad [\text{pasos}]$$

Distancia entre centros del ensamble

$$C_{ensamble} := C_{exacta} \cdot 0.99 = 58.41 \quad [\text{pasos}]$$

$$C_{ensamble_in} := C_{ensamble} \cdot Paso = 21.904 \quad [\text{in}]$$

$$C_{ensamble_cm} := C_{ensamble_in} \cdot 2.54 = 55.636 \quad [\text{cm}]$$

Ángulo de contacto cadena-catarina

$$\theta_1 := 180^\circ - 2 \cdot \text{asin} \left(\frac{(D_2 - D_1)}{2 \cdot C_{exacta}} \right) = 178.734 \quad \text{deg}$$

$$\theta_2 := 180^\circ + 2 \cdot \text{asin} \left(\frac{(D_2 - D_1)}{2 \cdot C_{exacta}} \right) = 181.266 \quad \text{deg}$$

5.3.1 Resultados obtenidos

Tabla 6.

Resultados para la selección del número de cadena

Parámetro	Resultados
Factor de servicio	1.3
Potencia de diseño	0.61hp
Número de cadena seleccionada	RS35 (paso 3/8")
Dientes catarina pequeña (N_1)	11
Dientes catarina grande (N_2)	22
Diámetro catarina pequeña	3.381cm
Diámetro catarina grande	6.693cm
Longitud de la cadena	136 pasos
Distancia entre centros	55.636cm
Ángulo de contacto catarina pequeña	178.734°
Ángulo de contacto catarina grande	181.266°

5.4 Materiales de las piezas

Las piezas que se fabricarán para el dispositivo son tres: la base *mostrada en la Figura 7*, el eje (que contiene la maza) *mostrado en la Figura 8* y la carcasa *mostrada en la Figura 9*. A continuación, se describe el material seleccionado para cada una y la razón de su elección.

5.4.1 Para la base

Acero y acero galvanizado

Se seleccionó acero para la fabricación de la base debido a su alta resistencia mecánica y rigidez, propiedades fundamentales en un componente que debe soportar el peso del usuario y las cargas dinámicas generadas durante el pedaleo. (Budynas y Nisbett, s.f). Además, su bajo costo,

amplia disponibilidad en el mercado y facilidad de maquinado y soldado lo convierten en el material más adecuado para esta pieza, garantizando la estabilidad y durabilidad del dispositivo durante su vida útil.

Por otro lado, para las patas de la base se seleccionó **acero galvanizado** debido a su resistencia a la corrosión, característica importante en un componente que estará en contacto directo con el suelo y expuesto a la humedad del entorno. El recubrimiento de zinc que posee el acero galvanizado actúa como barrera protectora, prolongando significativamente la vida útil de las patas sin requerir tratamientos superficiales adicionales. (Budynas y Nisbett, s.f.).

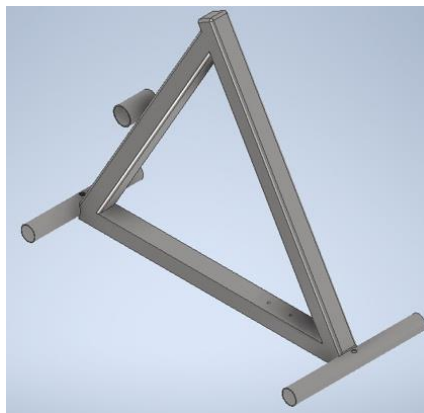


Figura 7. Base

5.4.2 Para el eje

Acero cromado o cromo-molibdeno (CroMo)

Se eligió este material por su alta resistencia mecánica y a la fatiga, características indispensables en un eje sometido a cargas rotativas continuas durante el pedaleo. (Metal Zenith, 2025). El acero CroMo ofrece además buena maquinabilidad y resistencia al desgaste, lo que garantiza la durabilidad del componente más crítico del sistema de transmisión.

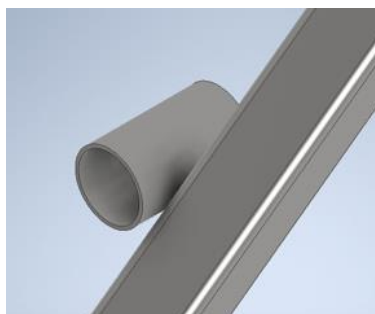


Figura 8. Eje que contiene la maza

5.4.3 Para la carcasa

Para la selección del tipo de plástico, se investigaron los que pueden ser utilizados con el proceso de termoformado. Una vez identificados se compraron sus propiedades mostradas en la *Tabla 7*.

Tabla 7.

Propiedades de los plásticos para termoformado

Material	Temperatura de termoformado (C)	Contracción (%)	Transparencia	Resistencia al impacto (J/M)	Resistencia química	Reciclable	Dificultad del proceso
ABS	150-180	0.4-0.9	Opaco	100-400	Media	Si (#7)	Media
PET (A-PET)	130-160	0.2-0.4	Transparente	13-35	Alta	Si (#1)	Alta
PETG	140-170	0.2-0.4	Transparente	60-150	Alta	Parcial	Fácil
PVC rígido	140-180	0.2-0.5	Transparente	20-40	Alta	Difícil	Media
PP	160-190	1.0-2.5	Opaco/Semitransparente	30-100	Muy alta	Si (#5)	Media
HIPS	140-165	0.4-0.7	Opaco	35-130	Media	Si (#6)	Muy fácil
PC	175-230	0.5-0.7	Transparente	600-900	Media	Parcial	Alta
HDPE	130-270	1.5-3.0	Opaco	32-250	Alta	Si (#2)	Media

ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)

Se seleccionó ABS para la carcasa por su ligereza, resistencia mecánica superior y facilidad para obtener acabados estéticos adecuados para un producto de uso doméstico (Protolabs, s.f). Su compatibilidad con procesos de impresión 3D, maquinado y termoformado lo hace ideal para la fabricación del prototipo.

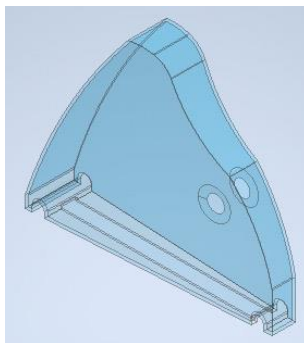


Figura 9. Carcasa

6. Diseño de detalle

6.1 Diseño inicial

6.1.1 Planos de detalle del diseño inicial

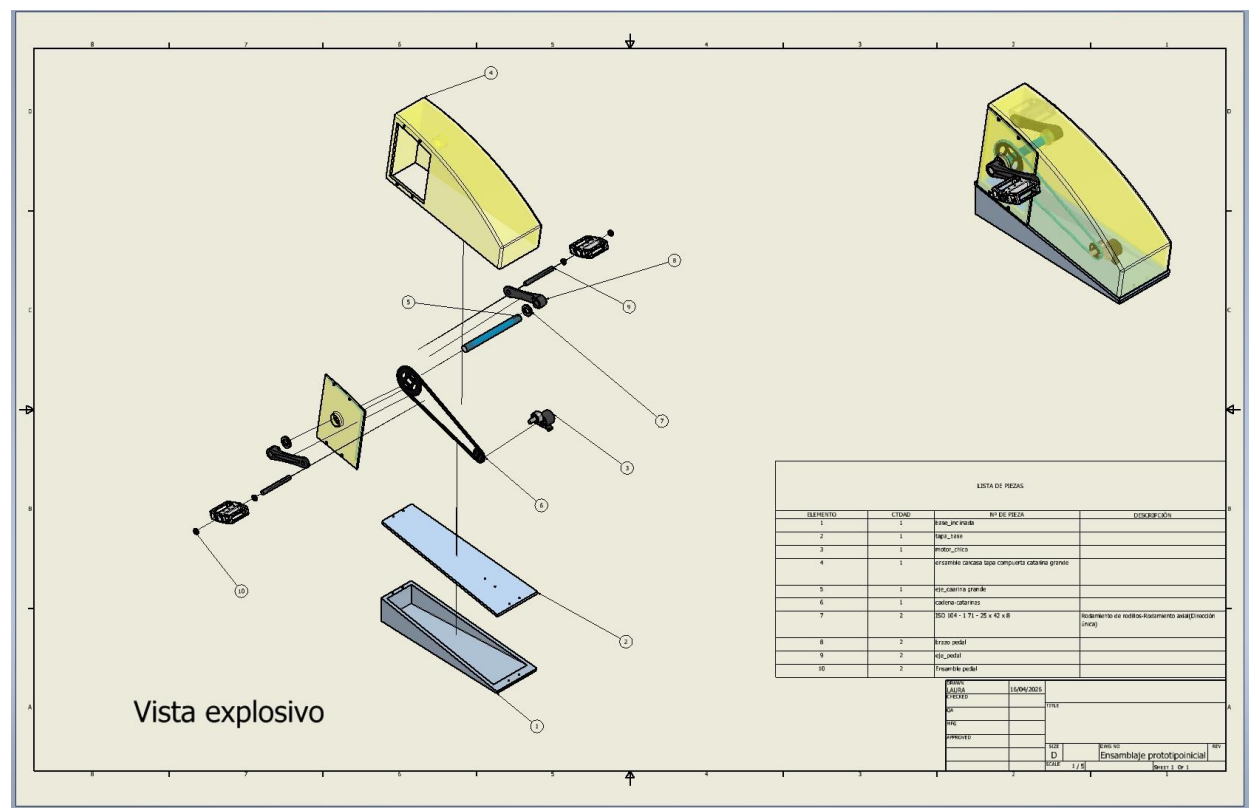


Figura 10. Explosivo del plano de ensamble del dispositivo de activación física con generación de energía eléctrica

6.2 Diseño final

6.2.1 Planos de detalle del diseño final

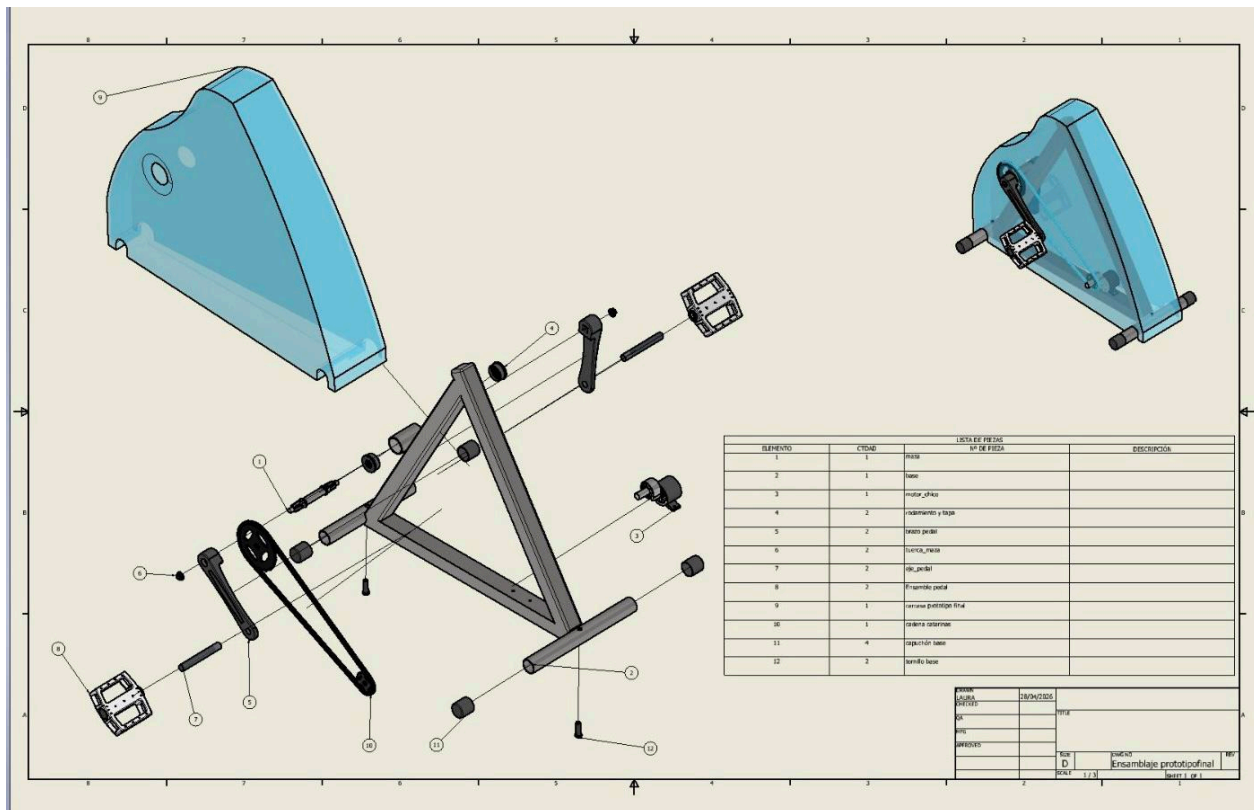


Figura 11. Explosivo del plano de ensamble del dispositivo de activación física con generación de energía eléctrica

7. Propuesta de manufactura y ensamble

A continuación, se describe el proceso de manufactura propuesto para cada una de las piezas que conforman el dispositivo, considerando los materiales seleccionados y la viabilidad de producción a nivel prototipo.

7.1 Manufactura para la base

La base del dispositivo se fabricará a partir de tubo rectangular de acero de 40 mm x 31.9 mm y tubo de acero galvanizado de 1" para las patas, siguiendo el proceso descrito a continuación:

1. Selección y corte del tubo rectangular de 40 mm x 31.9 mm a las longitudes requeridas según las dimensiones del diseño final.

2. Selección y corte del tubo de acero galvanizado de 1" para las patas del dispositivo.
3. Limpieza de las superficies de contacto para una unión correcta durante el proceso de soldadura.
4. Posicionamiento y alineación de las piezas conforme a los planos de detalle del diseño final.
5. Soldadura de las piezas para conformar la estructura de la base, garantizando la perpendicularidad y alineación correcta de los elementos.
6. Inspección visual de las uniones soldadas para verificar la calidad del ensamble.
7. Acabado superficial mediante lijado o esmerilado de las zonas soldadas para eliminar irregularidades.

7.2 Manufactura para el eje

El eje se fabricará en acero CroMo mediante **fresado**, proceso que permite obtener la geometría cilíndrica y los detalles necesarios para el montaje de la maza y los brazos de los pedales. Los pasos principales son:

1. Selección y corte del material en la longitud requerida
2. Sujeción del material en la fresadora
3. Maquinado del perfil del eje
4. Perforaciones para fijación de componentes
5. Inspección dimensional y de acabado superficial

7.3 Manufactura para la carcasa

La carcasa, se fabricará mediante **termoformado** de lámina de ABS. Este proceso es especialmente adecuado para la carcasa ya que permite reproducir su forma semicircular de manera eficiente. Los pasos principales son:

1. Preparación del molde con la geometría de la carcasa
2. Calentamiento de la lámina de ABS hasta su punto de ablandamiento
3. Conformado de la lámina sobre el molde
4. Enfriamiento y desmoldeo
5. Recorte de bordes, perforaciones para ensamble y acabado superficial

7.4 Ensamble del dispositivo

Una vez fabricadas todas las piezas, el ensamble se realizará en el siguiente orden:

1. Instalación de los tapones de las patas de la base
2. Montaje del motor
3. Montaje de la maza
4. Ajuste de la catarina mayor en la maza, la catarina menor y la cadena al motor
5. Colocación y fijación de la carcasa con tornillos
6. Montaje de los brazos y pedales sobre la maza
7. Verificación del sistema de transmisión y prueba de funcionamiento

8. Costos

8.1 Costo de un prototipo

Para estimar el costo total del prototipo se identificaron todos los componentes y materiales necesarios para su fabricación y ensamble. La *Tabla 8*, presenta el desglose de cada pieza con su respectiva cantidad y costo unitario, considerando precios de mercado accesibles. Es importante señalar que los costos presentados corresponden a la fabricación de una única unidad, por lo que representan el costo más alto posible, ya que en una producción a mayor escala estos valores disminuirían considerablemente.

Tabla 8.*Costo de cada pieza*

Pieza	# de unidades	Costo por pieza (MXN)	Costo total
tubo de acero de (1 ½" x 1 ¼")	1 (6 metros)	\$415	\$123.58 (178cm)
Tubo de acero galvanizado de 1"	1 (3 metros)	\$275	\$55 (60 cm)
Tubo de acero al Como-Molibdeno calibre 14	1 (1 metro)	\$926	\$6.19 (6.5cm)
Maza	1	\$166.25	\$166.25
Pedales	2 piezas	\$166.25	\$166.25
Brazo de pedal	2 piezas	\$174.13	\$174.13
Cadena No. 35	1 (1.5m)	\$311.32	\$267.74 (1.29m)
Catarina de 11 dientes	1	\$120	\$120
Catarina de 22 dientes	1	\$185	\$185
Lamina de ABS (1.22m x2.44m)	1 (1.22m x2.44m)	\$1197.32	\$201.11 (0.50 m)
Tornillo CL 8.8 – M20-2.50x30	4	\$20.48	\$81.92
Motorreductor 350W 24V	1	\$1039	\$1039
Tuerca M20 paso 2.5	4	\$8.44	\$33.76
Tapón redondo para tubo de 1"	50 piezas	\$80	\$7 (4piezas)
Puente rectificador de diodos 400V a 4A	1	\$41	\$41
Condensadores electrolíticos	5	\$8	\$40
Regulador de voltaje LM7805	1	\$8	\$8
Batería recargable o banco de energía	1	\$110	\$110
Diodo de protección 1N4007	4	\$1	\$4
Fusible 5A	2	\$5	\$10
Puerto USB	1	\$30	\$30
Cables y conectores kit básico	1	\$80	\$80
Total			\$3007.35

Además del costo de los materiales, es necesario considerar los costos asociados a los procesos de manufactura requeridos para la fabricación de cada pieza del dispositivo. La *Tabla 9* presenta el desglose de los costos estimados en México para cada proceso de manufactura.

Tabla 9.
Costo de procesos de manufactura

Proceso	Costo por hora (MXN)	Costo total
Corte tubo/metal	\$150-250	10 minutos \$3
Soldadura (SMAAW/MIG)	\$200-350	20 minutos \$5
Lijado/acabado superficial	\$100-180	15 minutos \$7
Fresado convencional	\$300-500	30 minutos \$200
Termoformado de ABS	\$400-600	\$500
Total		\$715

El costo total estimado para la fabricación del prototipo del dispositivo es de **\$3722.35**, de los cuales \$3007.35 son correspondientes a los materiales necesarios para su construcción, y \$715.00 MXN asociados a los procesos de manufactura requeridos. Este costo representa una estimación inicial basada en precios de mercado en México y tiempos de manufactura estimados, por lo que podría variar dependiendo del proveedor, la disponibilidad de los materiales y las condiciones del taller donde se lleve a cabo la fabricación del prototipo.

8.2 Costo del prototipo por varias piezas

Para determinar si es viable económicamente el dispositivo, es necesario analizar el punto de equilibrio, el cual representa el número de unidades que deben venderse para que los ingresos obtenidos sean iguales a los costos totales de producción, es decir, el punto en que no se generan ganancias ni pérdidas. Para realizar este análisis, se toma como referencia el costo unitario de fabricación del prototipo, que es de aproximadamente \$3722.35, y se compara con el rango de precios de mercado de dispositivos existentes, el cual oscila entre \$2369 y \$4270 para aparatos de pedaleo básicos. Sin embargo, dado que el dispositivo desarrollado incorpora componentes adicionales como un motorreductor, un sistema de generación y almacenamiento

de energía, y electrónica integrada, se propone un precio de venta de \$5000 MXN para el análisis, reconociendo que será necesario una reducción de costos mediante la producción en serie o en la selección de materiales para alcanzar un porcentaje de ganancia.

Como el prototipo desarrollado contempla costos fijos estimados, estos se desglosarán en la *Tabla 10*, suponiendo una jornada de 8hrs y 5 días a la semana para un total de 22 días laborales al mes.

Tabla 10.
Costos Fijos estimados

Concepto	Desglose	Detalle	Monto mensual estimado
3 trabajadores	Ensamblador=\$315.04 Operador de fresadora=\$8000-10000 Corte/Soldadura/Lijado=\$11118	Según el Indeed actualizados a mayo de 2026 para 1 trabajador con salario mínimo y dos con salario especializado	\$6930.288+9000+11118 =27048.88
Energía eléctrica	Horas de operación: 8hrs/díax22días=176hrs/mes Consumo total:4kWx176hrs=704kWh/mes Costo estimado:704x\$0.65=\$457.60/mes	Según tarifas publicadas en el DOF del 20 de febrero de 2025 por la CRE y CFE para el Valle de México \$0.6469pesos/kWh	\$457.60
Renta del taller	\$8000-12000/mes	Taller pequeño de 50-80m2 en Nezahualcóyotl	\$11000
Total			\$38506.48

Una vez con nuestros costos Fijos estimados, se puede realizar el cálculo del punto de equilibrio de producción, para ello, se utilizarán los valores resumidos en la *Tabla 11*.

Tabla 11.
Punto de equilibrio

Elemento	Valor
Costo por unidad	\$3722.35
Precio de venta propuesto	\$5000
Costos fijos	\$38506.48
Punto de equilibrio	$PE = CF \backslash (PV - CU)$ $PE = 38506.48 / (5000 - 3722.35) = 30.14 \text{ unidades}$
Margen sobre costo	$\text{Margen} = ((PV - CU) / CU) \times 100$ $\text{Margen} = ((5000 - 3722.35) / 3722.35) \times 100\% = 34.32\%$

Con base en los datos presentados en la *Tabla 11*, se determinó que el punto de equilibrio del proyecto es de 30.14 unidades mensuales, esto nos indica que se deben producir y vender al menos 31 unidades al mes para comenzar a generar utilidades. También se calculó el margen sobre costo dando un valor de 34.32% lo que nos dice que por cada peso que se invierta en la producción de una unidad se recupera ese peso más un 34.32%, demostrando que es viable la producción del producto.

Resultados

En este trabajo se logró realizar el diseño de un dispositivo compacto de activación física con generación de energía eléctrica. Para alcanzar ese resultado, se siguió el proceso de diseño, en el que primero se identificaron los requerimientos del usuario y con ello poder generar tres propuestas de concepto, seleccionando el concepto C por obtener la mayor puntuación en la matriz de decisión con 8.9 puntos.

Una vez seleccionado el concepto C, se realizaron los cálculos para dimensionar el sistema de transmisión por cadena con base en la utilización de un motorreductor de 350W, obteniendo una cadena RS35 con catarinas de 11 y 22 dientes, una distancia entre centros de 55.636cm y una longitud de 136 pasos.

También, se definieron los materiales para cada pieza: acero y acero galvanizado para la base, acero CroMo para el eje y ABS para la carcasa.

Posteriormente se elaboraron los planos de detalle y la propuesta de manufactura y ensamble del dispositivo.

Finalmente se realizó una estimación del costo de realizar un prototipo dando un valor de \$3722.35 y se propuso un precio de venta de \$5000.00, con esto, por cada \$3722.35 invertidos se recupera la misma cantidad y se obtiene una ganancia de un 34.32% por unidad.

9. Conclusiones

Se logró diseñar un dispositivo compacto que permita al usuario hacer ejercicio y al mismo tiempo generar energía eléctrica para cargar pequeños aparatos electrónicos. Demostrando que es posible combinar ambas funciones en un solo producto de uso doméstico, algo que no ofrecen los ejercitadores de pedales existentes actualmente en el mercado.

Para concluir, me parece importante mencionar que, mediante la realización de este trabajo, reforcé los conocimientos que poseía en el uso de software para el diseño de cada pieza y ensamble del prototipo, también puse en práctica el método aprendido para el cálculo correcto del sistema de transmisión. Además, adquirí conocimientos más completos en cuanto a la parte de estimación del precio de venta, el análisis de todos los factores involucrados para la producción de un prototipo y con ello la obtención del punto de equilibrio.

10. Referencias

Sunny Health & Fitness. (s. f.). *Bicicleta mini magnética de escritorio con 8 niveles de resistencia magnética sin fricción SF-B0891*. Amazon.com.mx.
<https://www.amazon.com.mx/dp/B07QZHNWK8>

Yaxa Colombia. (s. f.). *Ejercitador de pedales de bicicleta*. Yaxa Colombia.
<https://colombia.yaxa.co/products/ejercitador-de-pedales-de-bicicleta-para-debajo-del-escritorio-portatil-ejercicio-en-casa-bicicleta-de-ejercicio-peddler-de-pies-terapia>

Socinorte. (2013, 15 de abril). *La inactividad física es el cuarto factor de riesgo en mortalidad mundial*. <https://socinorte.com/la-inactividad-fisica-es-el-cuarto-factor-de-riesgo-en-mortalidad-mundial/>

Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2013). *Diseño y desarrollo de productos* (5ª ed.). McGraw-Hill.

Bucanero Calzados. (2025, 1 de marzo). *Número de zapato promedio en México*.
<https://www.bucaneroshop.com.ar/numero-zapato-promedio-en-mexico/>

AM Group Maquinaria. (2019, 21 de mayo). *El proceso de termoformado en plásticos: Qué es y cómo funciona*. <https://amgroupmaquinaria.com/el-proceso-de-termoformado-en-plasticos/>

Formlabs. (s. f.). *Guía de termoformado*. <https://formlabs.com/latam/blog/thermoforming/>

GDS Ivite. (s. f.). *¿Cuáles son los mejores materiales para la termoformación?*. https://www.gdsivite.com/lang_spa/Product-Knowledge/What-are-the-best-materials-for-thermoforming_3995.html

Plastico.com. (s. f.). *Guía completa del termoformado: funcionamiento, materiales y aplicaciones*. <https://www.plastico.com/es/noticias/guia-completa-del-termoformado-funcionamiento-materiales-y-aplicaciones>

WeProFab. (2025, 14 de agosto). *Plásticos comunes utilizados en termoformado*. <https://www.weprofab.com/es/plasticos-comunes-utilizados-en-el-termoformado/>

Vacuumac. (2025, 26 de mayo). *¿Qué tipos de plásticos se utilizan en el proceso de termoformado?*. <https://www.vacuumac.com/es/what-types-of-plastics-are-used-in-the-thermoforming-process/>

Protolabs. (s. f.). *ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno)*. <https://www.protolabs.com/materials/abs/>

Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* (9ª ed.). McGraw-Hill.

Metal Zenith. (2025, 17 de mayo). *13 acero cromado: propiedades y aplicaciones clave*. <https://metalzenith.com/es/blogs/steel-properties/13-chrome-steel-properties-and-key-applications>

Chan, V. (2022, 28 de julio). *Fresado CNC: Definición, procesos, aplicaciones*. RapidDirect. <https://www.rapiddirect.com/es/blog/what-is-cnc-milling/>

Innovet. (2024, 15 de mayo). *¿Qué es el termoformado? Proceso y tipos de materiales*. <https://innovet.com.mx/blog/que-es-el-termoformado-proceso-y-tipos-de-materiales>

Plastics Technology México. (2025). *Termoformado de plástico: proceso, maquinaria y aplicaciones*. <https://www.pt-mexico.com/articulos/que-es-el-termoformado-de-plastico-proceso-maquinaria-y-aplicaciones>

Termovac. (s. f.). *Termoformado en Estado de México*. <https://www.termovac.mx/termoformado-en-estado-de-mexico.html>

Comisión Nacional de los Salarios Mínimos. (2025, diciembre 3). *Salarios mínimos generales y profesionales vigentes a partir del 1 de enero de 2026*. Littler. <https://www.littler.com/news-analysis/asap/mexico-aumenta-el-salario-minimo-para-el-2026>

Indeed México. (2026). *Sueldo de soldador/a en Ciudad de México*. <https://mx.indeed.com/career/soldador/salaries/Ciudad-de-M%C3%A9xico>

Talent.com México. (2026). *Salario para operador fresadora convencional en México*. <https://mx.talent.com/salary?job=operador+fresadora+convencional>

Comisión Reguladora de Energía / CFE Distribución. (2025, febrero 20). *Tarifas reguladas del servicio de distribución de energía eléctrica aplicables del 1 de enero al 31 de diciembre de 2025* [DOF]. [https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/Transmision/\(DOF%202025-02-20%20CFE\)%20Tarifas%20de%20Distribuci%C3%B3n%202025.pdf](https://www.cenace.gob.mx/Docs/16_MARCOREGULATORIO/Transmision/(DOF%202025-02-20%20CFE)%20Tarifas%20de%20Distribuci%C3%B3n%202025.pdf)

Vivanuncios. (2025). *Bodegas en renta en Nezahualcóyotl, Estado de México*. <https://www.vivanuncios.com.mx/s-renta-bodegas/nezahualcoyotl/v1c1282l10712p1>