

Diseño de una máquina de remo

Güemez García Guillermo
*Instituto Tecnológico de Estudios
Superiores de Monterrey*
Campus Santa Fe
Ciudad de México, México
a01024457@itesm.mx

López Lena Vargas Juan
Emiliano
*Instituto Tecnológico de Estudios
Superiores de Monterrey*
Campus Santa Fe
Ciudad de México, México
a01026795@itesm.mx

Vázquez González Miguel
*Instituto Tecnológico de Estudios
Superiores de Monterrey*
Campus Santa Fe
Ciudad de México, México
a01028322@itesm.mx

Chávez Vélez Juan Pablo
*Instituto Tecnológico de Estudios
Superiores de Monterrey*
Campus Santa Fe
Ciudad de México, México
a01024522@itesm.mx

Rodríguez Cantón Jesús
*Instituto Tecnológico de Estudios
Superiores de Monterrey*
Campus Santa Fe
Ciudad de México, México
a01025112@itesm.mx

Abstract— This project will include a vast variety of activities and exhaustive investigations in order to achieve a functional design proposal for a rowing machine that meets the vast majority or rather all the requirements established by the training partner. The project will take place over a whole semester and will be divided into stages, starting with an initial investigation of the most common characteristics of this type of exercise equipment as well as important concepts such as ergonomics, usability and safety, all surrounding the rowing machine. Subsequently, a sketch of the structure and mechanism of the product will be made. In future stages, a more detailed design of the systems to be incorporated and their possible interaction with the user will be carried out. This product will be divided into two large areas: mechanics and electronics. In the mechanical part, different designs will be evaluated for the chassis structure and the variable resistance mechanism as well as all their mathematical models. Tools such as SolidWorks will be used to evaluate the feasibility of the most suitable components and the materials for each one, taking into account their physical and chemical characteristics. In the electronics area, we will design a telemetry system, with the help of sensors and logic circuits, which the user will be able to access through an interface that is easy to use and that provides useful information to the person in real time such as caloric consumption, power, distance, time, heart rate, among others. The great variety of sensors and actuators will be evaluated to be incorporated in the mechanical system so that both aspects of the project have cohesion.

In this first design stage, we will come up with a proposal for the beam that will carry the user's weight, taking into consideration its cross section, the loads it must carry and the material with which it will be made of. In the electronics department we will establish the variables to measure as well as an adequate sensor to do so in each case, taking into account the machine's expected functions.

Keywords—*rowing machine, training partner, ergonomics, design, mechanics, electronics, feasibility, cross section, loads, interface, sensor*

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto incluirá una gran variedad de actividades e investigaciones exhaustivas con el fin de lograr una propuesta de diseño funcional para una máquina de remo que cumpla con la gran mayoría o mejor dicho con todos los requisitos establecidos por el socio formador. El proyecto se desarrollará durante todo un semestre y se dividirá en etapas, comenzando con una investigación inicial de las características más comunes de este tipo de equipos de ejercicio, así como conceptos importantes como ergonomía, usabilidad y seguridad, todo en torno a la máquina de remo. Posteriormente se realizará un croquis de la estructura y mecanismo del producto. En etapas futuras se realizará un diseño más detallado de los sistemas a incorporar y su posible interacción con el usuario. Este producto se dividirá en dos grandes áreas: mecánica y electrónica. En la parte mecánica se evaluarán diferentes diseños para la estructura del chasis y el mecanismo de resistencia variable, así como todos sus modelos matemáticos. Se utilizarán herramientas como SolidWorks para evaluar la viabilidad de los componentes más adecuados y los materiales para cada uno, teniendo en cuenta sus características físicas y químicas.

Dentro del área de electrónica se diseñará un sistema lógico capaz de ser accedido por el usuario mediante una interfaz que sea sencilla de utilizar y que proporcione información útil a la persona en tiempo real como su consumo calórico, potencia, distancia, tiempo, ritmo cardíaco, entre otros. Se evaluará la gran variedad de sensores y actuadores para ser incorporados en el sistema mecánico y que ambos aspectos del proyecto tengan cohesión.

En esta primera etapa de diseño se elaborará una propuesta para el riel del asiento tomando en cuenta su sección transversal, las cargas que debe soportar y el material del cual estará hecho. En la parte de electrónica se establecerán las variables físicas a medir y un sensor apropiado para cada una tomando en cuenta la usabilidad de la máquina.

II. CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE UNA MÁQUINA DE REMO

A. Manubrio

Este está conectado por medio de una cinta, cadena o cordón al mecanismo de resistencia. Se utiliza goma antiderrapante para mejorar el agarre.

B. Asiento

El asiento queda suspendido del suelo sobre uno o dos rieles y con ruedas lo cual le permite un desplazamiento lineal. Normalmente se acolchonan para adaptarse mejor al usuario, algunos se pueden fijar a cierta distancia del manubrio.

C. Apoyo para pies

Se encuentran a un extremo de los rieles y permiten al usuario apoyar sus piernas para realizar el movimiento de remo. Estos suelen ser ajustables para acomodarse a todos los usuarios.

D. Volante

Un disco o eje donde se enrolla la cadena, cinta o cordón y que convierte el movimiento lineal del manubrio en movimiento circular para el sistema de resistencia.

E. Sistema de resistencia variable

Un mecanismo que se opone al esfuerzo ejercido por el usuario para aumentar la intensidad del ejercicio. Este puede venir en varias formas (freno de aire, freno magnético, freno de agua, freno hidráulico).

F. Sistema elástico

Un mecanismo que regresa el manubrio a su posición inicial durante la etapa de recuperación de cada repetición. Se suelen usar cuerdas bungee o muelles de espiral.

III. ETAPAS DEL MOVIMIENTO DEL REMO

Una buena técnica de movimiento de remo consta de 4 etapas:

A. Catch

En esta posición el usuario se encuentra agarrado del manubrio, lo más cercano a la máquina, con las espinillas verticales, los hombros delante de las caderas, espalda recta y abdomen duro (Flood, 2019).

B. Ataque

En esta etapa el usuario aplica esfuerzo para extender sus piernas, apoyadas sobre el soporte para pies, manteniendo la espalda recta y haciendo el torso ligeramente para atrás, utilizando también su peso para jalar el manubrio.

C. Salida

Aquí se tienen las piernas completamente extendidas y el usuario jala el manubrio con sus brazos hasta tocar la base de su esternón, manteniendo el abdomen duro y la espalda recta.

D. Recuperación

En esta última etapa el usuario relaja los brazos, deja que el manubrio regrese hacia adelante, flexionando las piernas, manteniendo la espalda recta y abdomen duro (Shiffer, 2020). El manubrio debe pasar por encima de las rodillas antes de flexionarlas. Esta etapa termina en la misma posición que la primera y se debe ir a la mitad de la velocidad de la etapa de ataque para permitir que los músculos se recuperen.

IV. SISTEMAS DE RESISTENCIA VARIABLE

A. Freno de aire

Algunos modelos emplean un freno que utiliza la resistencia del aire para oponerse a la entrada del usuario. Esta resistencia es proporcional al esfuerzo realizado por la persona y se da gracias a un ventilador conectado al eje giratorio. La desventaja de este método es que la resistencia varía debido a la velocidad angular y no a petición del usuario. Si este quisiera realizar un movimiento lento, no quedaría más que resignarse a una baja resistencia. Por esto mismo, utilizar este mecanismo en conjunto con el siguiente sería una mejor propuesta.

B. Freno de corriente Eddy (Freno electromagnético)

Este tipo de freno consiste en un material conductor que al moverse con componente perpendicular dentro de un campo magnético, presenta una corriente circular inducida llamada corriente de Eddy. Esta corriente a su vez, genera un campo magnético que se opone al del imán y por lo tanto, desacelera al material conductor, disipando su energía cinética en forma de calor. Las ventajas de este sistema son que al no haber contacto entre piezas, su desgaste por fricción es casi nulo. Por otro lado, si se utilizan imanes permanentes, la resistencia variará únicamente por la razón de cambio del flujo magnético al conductor (la velocidad angular del disco conductor). Para poder darle más control al usuario con respecto a la resistencia que se le opone, lo más conveniente sería utilizar un electroimán cuyo campo magnético pueda controlarse por medio del flujo de corriente que, a su vez, podría controlarse por medio de un microcontrolador.

C. Freno de fricción

Un sistema mecánico similar al de una bici estática donde el usuario hace girar una perilla la cual ejerce presión sobre una pieza curvada que se desliza sobre el disco giratorio y lo detiene por medio de la fricción.

D. Frenado por resistencia de agua

Una variante del mecanismo de remo consta de un ventilador cuyo eje se encuentra perpendicular al suelo. El ventilador está contenido en una cámara sellada y parcialmente sumergida en agua. Su principio es similar al del freno de aire pues mientras mayor sea el esfuerzo ejercido por el usuario, más se opondrá el agua al movimiento del mecanismo. Una

manera para variar la resistencia podría ser aumentando o disminuyendo la cantidad de agua en la cámara sellada.

V. REQUISITOS DE DISEÑO

A. Ergonomía

En este trabajo el concepto de ergonomía quedará entendido como la habilidad de un producto, servicio o trabajo para adaptarse a las condiciones físicas o psicológicas del usuario con el fin de facilitar su uso, acomodar a su usuario o reducir el riesgo de lesión.

La ergonomía puede incorporarse de diversas maneras en el diseño de una remadora, por ejemplo, un manubrio que se adapte al agarre de la mano o un asiento que de buen soporte. Un apoyo ajustable al tamaño del pie o un display que ofrezca información de una manera organizada y fácil de entender. Altura de asiento ajustable, un sujetador para botella/toalla, un diseño plegable y de fácil ensamblaje.

B. Requisitos de diseño

Tras una junta con nuestro socio formador, el equipo directivo de actividades deportivas del Tecnológico de Monterrey Campus Santa Fe, recibimos una lista puntual de requerimientos que el diseño deberá satisfacer para poder ser considerado una buena propuesta de valor. Hemos separado estos requisitos en algunas áreas:

a) Estructura

- Compacta y fácil de mover (máx. 3 x 3 m).
- Que se pueda almacenar verticalmente.
- De material resistente y que soporte cargas variables, máximo 150 kilogramos y 15 horas de uso diario promedio.
- Ajustable para personas de 1.4 a 2 metros de alto.

b) Seguridad

- Cinturón de seguridad para el asiento
- Paro de emergencia

c) Ergonomía

- Apoyo ajustable para los pies.
- Barra de remo con cubierta antiderrapante de hule.
- Asiento ligeramente acolchado que se ajuste a la forma del usuario y con freno para facilitar el abordaje al mecanismo.
- Asientos intercambiables (para personas con discapacidades o de avanzada edad).

d) Funcionalidad

- Que cuente con al menos 3 niveles de resistencia
- Manubrios intercambiables con distinto peso/agarre
- Que sea capaz de medir el consumo de calorías, la potencia, distancia, ritmo cardiaco, tiempo, etc.

- Consumo energético reducido o nulo (de una toma externa)

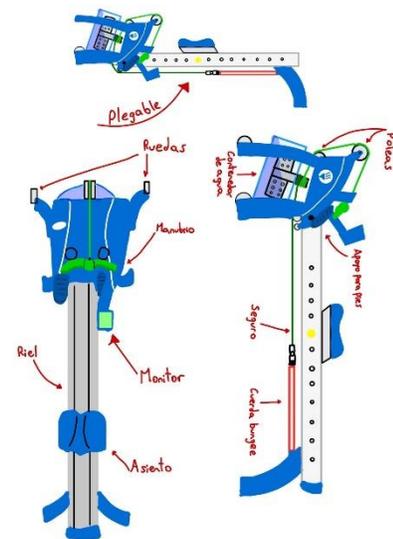


Fig. 1. Primer bosquejo de nuestra remadora.

VI. CASOS DE APLICACIÓN

A. Concept2 Rower

Este modelo de máquina para remar funciona a base de un sistema de freno de aire. El volante que se hace girar al realizar el ejercicio tiene incorporada una serie de aspas que, al girar, tratan de desplazar el aire que entra por una rejilla lateral. Este sistema ofrece resistencia proporcional al esfuerzo hecho por el usuario. El Concept2 Rower le permite a la persona variar el flujo de aire mediante una palanca que, al girar, aumenta o disminuye la entrada de aire al mecanismo. Este tipo de remadoras es la más común dada su simplicidad de diseño. Suelen ser las más baratas, pero también las más ruidosas. Este modelo en particular puede almacenarse verticalmente, cuenta con dos versiones de distintas alturas, tiene apoyo para pies ajustable, utiliza dos pilas para el monitor y puede, además, prolongar la vida de estas obteniendo energía del volante. También aguanta 227 kilogramos de peso y sus dos versiones (altura baja y alta) pesan 26 y 31 kg respectivamente.



Fig. 2. Concept2

*NOTA: Existe un aditamento para esta línea de modelos llamado Concept2 Slide, el cual le permite al usuario sentir un movimiento más parecido al de un remo en agua, haciendo que la máquina se mueva debajo del individuo en lugar de que la persona sea quien se mueva. esta incluso se puede utilizar en conjunto con otras máquinas de la misma marca para simular un remo en equipo.



Fig. 3. Concept2 Slide

B. WaterRower

El modelo WaterRower es una remadora con un sistema de resistencia de agua. El cuerpo de la máquina puede estar fabricado de distintas maderas o metales lo cual le da una apariencia más elegante o rústica. El remo está conectado al eje de la turbina por medio de una cinta que pasa por una serie de poleas. El remo regresa a su posición inicial gracias a un cable bungee que se tensa con el movimiento del ejercicio. La máquina cuenta con dos ruedas en uno de los extremos de la base para darle al usuario la capacidad de moverlo fácilmente. La resistencia variable es dada por el agua que se opone al movimiento de la turbina. A mayor sea el esfuerzo, mayor será la oposición del líquido al movimiento. En términos de realismo se dice que este tipo de remadoras son las que mejor simulan el remo en agua, tanto por la fluidez del movimiento como por el sonido que produce. Una de sus desventajas es el gran espacio que ocupa en comparación con muchos otros modelos, así como lo bajo que se encuentra el asiento lo cual dificulta su uso para algunas personas con impedimentos físicos.



Fig. 4. Remadora WaterRower.

C. Matrix

La Matrix Rower es una máquina remadora que funciona con base en un sistema de resistencia variable electromagnético. Este modelo cuenta con 10 niveles de resistencia, un monitor que le permite al usuario personalizar su rutina de ejercicio ya sea en modo manual, por intervalos o de

alta dificultad (así como consultar su quema de calorías, velocidad, remos por minuto, potencia, frecuencia cardíaca, distancia y tiempo), un asiento que puede deslizarse o fijarse, agarre de talón ajustable y la opción de colocarse de manera vertical para ocupar menos espacio. Toda la máquina pesa 60 kg y puede aguantar un peso de 160 kg. En la comunidad de remadores existe el consenso de que este tipo de remadoras es el más silencioso de todos.



Fig. 5. Remadora Matrix.

VII. PROPUESTA DE DISEÑO

A lo largo de las primeras 4 semanas se llevó a cabo un extenso trabajo de investigación para comenzar con el diseño de la propuesta solución. Se realizaron avances en los dos aspectos principales del proyecto, la mecánica y la electrónica. A continuación, se presentarán los resultados obtenidos en cada área.

A. Usabilidad de la máquina

La máquina de remo a diseñar debe ser capaz de proporcionarle al usuario, una rutina de ejercicio de cuerpo completo a la intensidad que este desee. El usuario debe ser capaz de colocarse sobre el asiento de manera cómoda y segura, sin sentirse en riesgo de caer, y debe tener espacio suficiente para apoyar los pies y un manubrio cómodo para el agarre. Al tirar de la cinta, se debe sentir que la máquina se opone al movimiento hasta cierto punto. Mientras más rápido se tira del manubrio, más trabajo debe costarle al usuario. Sentado y con los pies apoyados, el usuario debe ser capaz de estirar las piernas completamente sin que se termine la carrera del asiento, es decir, sin que el asiento haya llegado a un extremo del riel. Al completar el movimiento, el manubrio debe volverse a enrollar por sí solo con una fuerza moderada.

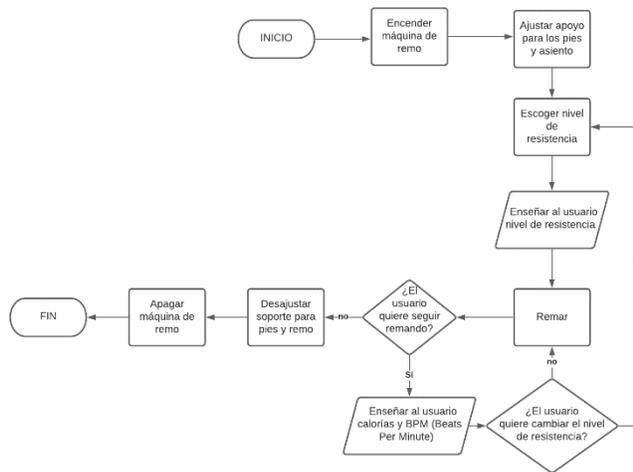


Fig. 6. Diagrama de flujo del funcionamiento de la máquina de remo.

B. Condiciones de operación

Una condición de operación principal será que el usuario tiene que pesar más de 15 Kg para poder encender la máquina y poder tener acceso a todas sus funcionalidades de software. Otra condición de operación es que para que la máquina no se bloquee (el bloqueo básicamente no muestra información en el display), el usuario debe de tener las correas ajustadas en sus pies en todo momento.

C. Restricciones y requerimientos

Una de las principales restricciones que se han impuesto para nuestra máquina es que el usuario no puede pesar más de 150 Kg, esto es para prevenir que se dañe la máquina debido al peso excesivo y también para prevenir accidentes. También se nos indicó que las dimensiones de la máquina no debían de exceder los 2 metros de ancho ni de largo.

Por otro lado, se nos recomendó que la máquina fuera apta para personas de hasta 2 metros de altura y que fuera fácil de moverla y guardarla. Otro requerimiento sumamente importante es la capacidad de variar la resistencia del agua. Preferiblemente, mientras más niveles de resistencia tenga el mecanismo, mejor será para el usuario.

D. Análisis de Diseño Estructural

En el área de mecánica se comenzó con el diseño de la máquina en CAD. En este trabajo se consideran ciertos requisitos como las dimensiones, facilidad para moverlo, integridad estructural, etc.

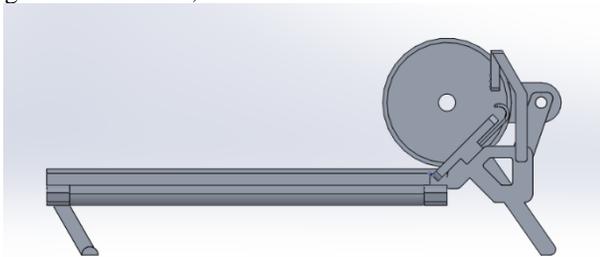


Fig. 7. Vista lateral de la remadora (hecha en la herramienta SolidWorks)

Como parte del módulo de mecánica de materiales realizamos un primer estudio para determinar las fuerzas cortantes y los momentos flexionantes a los que se somete el riel, esto con el fin de determinar el esfuerzo cortante máximo y el momento flexionante máximo, y para posteriormente determinar los esfuerzos máximos de tensión y compresión y la viabilidad de nuestra propuesta.

Como primer paso se dibujan los diagramas de cuerpo libre de la estructura:

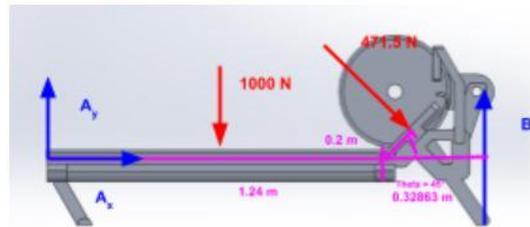


Fig. 8. DCL general en nuestra remadora (2D).

Debido a que uno de los requerimientos era que la máquina pudiese soportar a una persona de 150 kg, en este diagrama se considera que una persona de 150 kilogramos está ejerciendo un peso de 1471 N distribuido en dos puntos de la máquina: el asiento que se encuentra a la mitad de la viga (0.62 m) y el apoyo para los pies (la fuerza de 471.5 N actúa perpendicular al apoyo para los pies el cual abre un ángulo de 45° con respecto al eje longitudinal de la viga). Tenemos dos puntos de apoyo con sus fuerzas de reacción en A y B.

Debido a que la viga acaba a los 1.24 m pero el segundo soporte se encuentra más hacia la derecha, debemos obtener un sistema de fuerzas equivalente para realizar el análisis de esfuerzos:

Para llegar a este sistema equivalente se realizó lo siguiente: Primero vemos que la fuerza en el apoyo de los pies actúa perpendicularmente al brazo de palanca que la relaciona con la estructura de la viga. Se obtiene el momento resultante (en sentido de las manecillas, por lo tanto, negativo) con una simple multiplicación ($F \times d$). Por otro lado, la fuerza debe descomponerse en X y Y y el componente que actúa perpendicular a la viga (el componente Y) se coloca en el punto donde se quiere obtener el sistema equivalente.

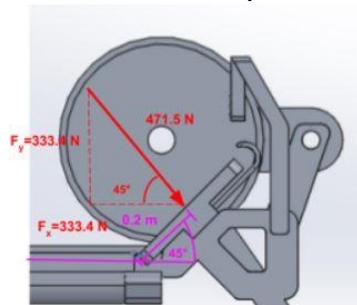


Fig. 9. Descomposición de las fuerzas en el apoyo para los pies.

$$M_p = F \cdot d = (471.5 \text{ N})(0.2 \text{ m}) = -94.3 \text{ Nm}$$

$$F_x = F_y = (471.5 \text{ N})\cos(45^\circ) = 333.4 \text{ N}$$

Ahora, se hace lo mismo con la fuerza de reacción en el punto B. Debido a que esta fuerza no tiene componentes pues actúa

de manera perpendicular al eje longitudinal de la viga, el momento resultante se obtiene con una simple multiplicación ($F \times d$) y como va en sentido antihorario, se marca como un momento positivo. La fuerza se traslada del punto B al punto B' sin modificaciones a su magnitud o dirección.

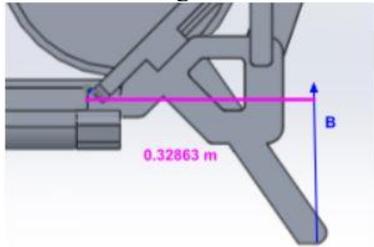


Fig. 10. Descomposición de la fuerza de reacción en B.

Si se suman ambos momentos y se colocan las fuerzas y reacciones a los 1.24 m de la viga, se obtiene el siguiente sistema equivalente. El momento resultante en ese punto se pone como positivo en el diagrama. Esto es una suposición que se validará más adelante.

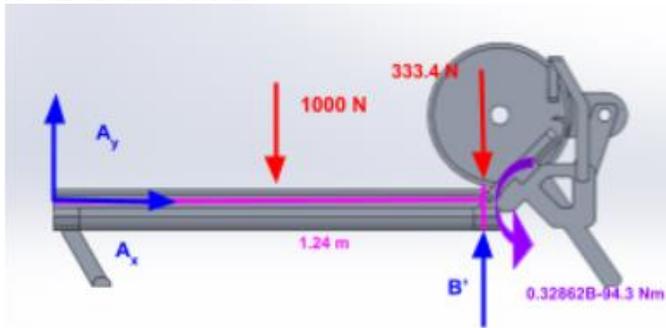


Fig. 11. DCL con sistema de fuerzas y momentos equivalentes.

Teniendo ya nuestro sistema equivalente de fuerzas y momentos, se procederá a realizar el análisis de esfuerzos en la viga.

Comenzamos con las tres condiciones de equilibrio de un sistema estático:

$$\sum F_y = 0$$

$$A_y + B' - 1000 \text{ N} - 333.4 \text{ N} = 0$$

$$A_y + B' = 1333.4 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$A_x + F_x = 0$$

$$A_x = -F_x$$

$$A_x = -333.4 \text{ N}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$1.24B' + 0.33B' - 94.3 - 1000(0.62) - 1.24(333.4) = 0$$

$$B' = 718.91 \text{ N}$$

$$A_y + B' = 1333.4 \text{ N}$$

$$A_y = 1333.4 \text{ N} - 718.91 \text{ N}$$

$$A_y = 614.5 \text{ N}$$

$$M = 0.33B' - 94.3$$

$$M = 0.33B' - 718.91$$

$$M = 142.8 \text{ Nm}$$

El momento equivalente resultó ser positivo, tal y como lo habíamos supuesto. Ahora se utiliza la herramienta de MDSolids para corroborar el valor de las reacciones:

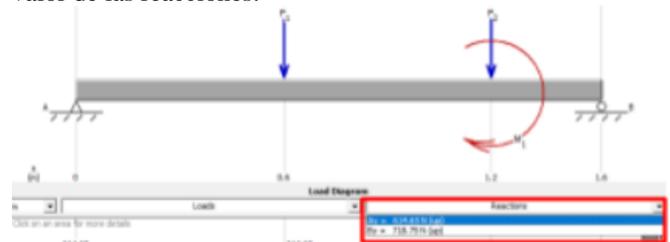


Fig. 12. Validación de las fuerzas en la herramienta MDSolids.

Debido a ciertas restricciones de la herramienta, se planteó un sistema equivalente para obtener los diagramas de fuerza cortante y momento flexionante. La longitud de la viga se extendió hasta llegar al soporte B, respetando la fuerza y el momento negativo provocado por el apoyo de los pies. Al realizar la simulación se obtuvieron los siguientes diagramas:

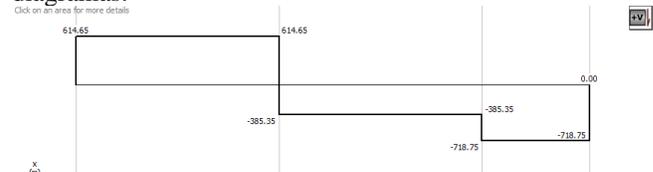


Fig. 13. Diagrama de la fuerza cortante en la viga (con MDSolids).

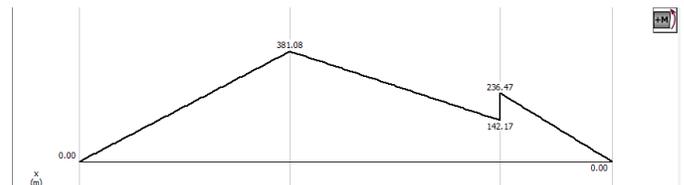


Fig. 14. Diagrama del momento flexionante en la viga (con MDSolids).

De acuerdo con los diagramas, la fuerza cortante llega a un punto crítico a los 0.62 m de la viga con un valor máximo de 614.5 N y el momento flexionante máximo de 381.08 Nm se da a los 0.62 m de la viga.

Habiendo encontrado el momento flexionante máximo, procedemos a obtener los esfuerzos máximos de tensión y compresión.

Para conocer estos esfuerzos sobre la viga debemos tomar en cuenta la geometría de su sección transversal (Beer F., Johnston E., Dewolf J., et.al., 2017), primero se obtiene el centroide de la figura compuesta:

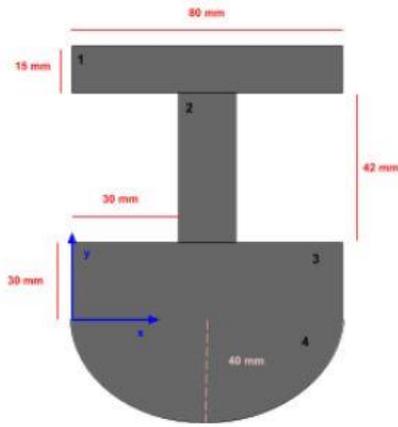


Fig. 15. Longitudes y figuras del asiento y la viga vistas de manera frontal.

Para obtener el centroide de la figura compuesta se debe obtener el centroide y el área de cada figura individual.

TABLA I. CENTROIDE Y ÁREA DE CADA FIGURA INDIVIDUAL

Figura	Área	X_c	Y_c
1	1200 mm ²	40 mm	79.5 mm
2	840 mm ²	40 mm	51 mm
3	2400 mm ²	40 mm	15 mm
4	2513.27 mm ²	40 mm	-16.97 mm

Una vez teniendo estos datos se obtiene el centroide de la figura compuesta:

$$\bar{X}_c = \frac{A_1X_1 + A_2X_2 + A_3X_3 + A_4X_4}{\sum A}$$

$$\bar{X}_c = \frac{40(6953.27)}{6953.27} = 40 \text{ mm}$$

$$\bar{Y}_c = \frac{A_1Y_1 + A_2Y_2 + A_3Y_3 + A_4Y_4}{\sum A}$$

$$\bar{Y}_c = \frac{(2513.27)(-16.97) + 2400(15) + 840(51) + 1200(79.5)}{6953.27} = 18.92 \text{ mm}$$

Podemos corroborar estos datos usando la herramienta de SolidWorks.

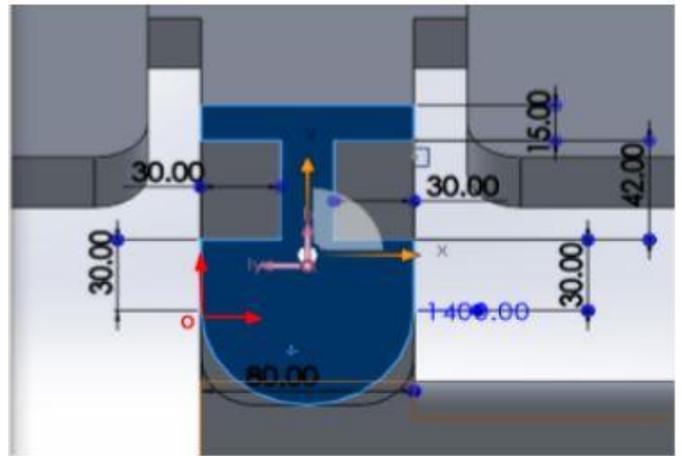


Fig. 16. Centroide de la sección transversal (rosa) con respecto al sistema de referencia (rojo).

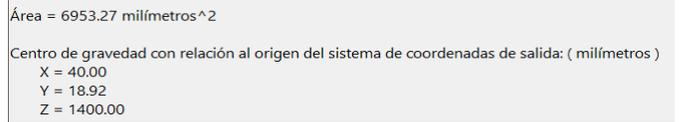


Fig. 17. Distancias del centroide a los extremos en el eje vertical.

Esto quiere decir que nuestro plano neutro, el cual no sufrirá ninguna tensión o compresión (Beer F., Johnston E., Dewolf J., et.al., 2017), se encuentra a 68.08 mm de la cara superior y a 58.92 mm de la cara inferior.

Ahora se calcula el momento de área de la figura compuesta en el centroide. Para esto se debe calcular el momento de área de cada figura individual.

El momento de área de un rectángulo está dado por la siguiente ecuación:

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 + Ad^2$$

Donde b es la base del rectángulo, h es su altura, A es su área y d es la distancia de su centroide al origen del sistema de referencia (en este caso el origen es el centroide de la figura compuesta).

El momento de área de un círculo de radio r está dado por la siguiente ecuación:

$$I_x = \frac{1}{8}\pi r^4$$

TABLA II. FIGURAS Y SU RESPECTIVO MOMENTO DE ÁREA.

Figura	Área	d	I_x
1	1200 mm ²	60.58 mm	22500 mm ⁴
2	840 mm ²	32.08 mm	123480 mm ⁴
3	2400 mm ²	3.92 mm	180000 mm ⁴
4	2513.27 mm ²	35.9 mm	1005309.65 mm ⁴

Así mismo, podemos obtener este resultado utilizando nuevamente la herramienta de SolidWorks.

Las propiedades de sección de la cara seleccionada de BASE		
Área = 6953.27 milímetros ²		
Centro de gravedad con relación al origen del sistema de coordenadas de salida: (milímetros)		
X = 40.00		
Y = 18.92		
Z = 1400.00		
Momentos de inercia, del área, en el centro de gravedad: (milímetros ⁴)		
Lxx = 9150733.18	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00
Lyx = 0.00	Lyy = 2953309.65	Lyz = 0.00
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 12104042.83
Momento polar de inercia, del área, en el centro de gravedad = 12104042.83 milímetros ⁴		
Ángulo entre ejes principales y ejes de pieza = 90.00 °		
Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (milímetros ⁴)		
lx = 2953309.65		
ly = 9150733.18		
Momentos de inercia del área, en el sistema de coordenadas de salida: (milímetros ⁴)		
LXX = 13640057710.48	LXY = 5262933.33	LXZ = 389383350.88
LYX = 5262933.33	LYY = 13642495829.07	LYZ = 184202666.67

Fig. 18. Propiedades de la sección transversal de la viga.

Teniendo ya el centroide de la sección transversal, el momento flexionante máximo y el segundo momento de área, podemos calcular los esfuerzos máximos de tensión y compresión sobre las caras de la viga:

El esfuerzo normal máximo por flexión que sufre la viga está dado por la siguiente ecuación:

$$\sigma_m = \frac{Mc}{I}$$

Donde M es el momento flexionante máximo, c es la distancia vertical del centroide de la sección transversal a la cara que sufre fuerzas de compresión e I es el primer momento de área con respecto al eje x. Si evaluamos con los datos obtenidos, obtenemos el esfuerzo máximo de compresión:

$$\sigma_c = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma_c = \frac{(381.08 \text{ Nm})(0.06808 \text{ m})}{295331.65 \times 10^{-12} \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_c = 8.784 \text{ MPa}$$

Para sacar el esfuerzo máximo de tensión repetimos el procedimiento, pero ahora tomamos la distancia del centroide al punto más alejado de la sección semicircular:

$$\sigma_t = \frac{My}{I}$$

$$\sigma_t = \frac{(381.08 \text{ Nm})(0.05892 \text{ m})}{295331.65 \times 10^{-12} \text{ mm}^4}$$

$$\sigma_t = 7.602 \text{ MPa}$$

Para tener una imagen más clara de los desplazamientos sobre la viga, así como sus esfuerzos internos, se realizó una simulación en SolidWorks. Habiendo elegido un aluminio 7075 T6 para el material, podemos que con una carga puntual sobre

la mitad de la viga de 1000 N y una fuerza distribuida sobre el apoyo para los pies de 471.5 N, el mayor desplazamiento se da en el punto medio de la viga, teniendo un valor de 0.07709 milímetros.

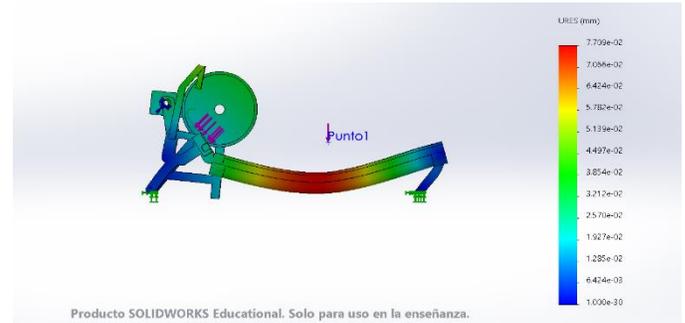


Fig. 19. Elongaciones sobre la viga (material 7075 T6).

De acuerdo con este estudio estático, el punto que más sufre tensión es el apoyo del lado derecho con una magnitud de 4,883,000 N/m² o 4.883 MPa.

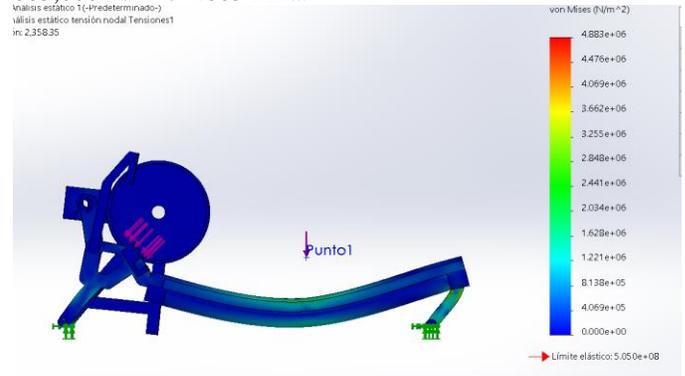


Fig. 20. Esfuerzos sobre la viga (material 7075 T6).

De este estudio de mecánica de materiales se puede concluir que el diseño actual de la viga soportará la carga máxima de 150 kg y mucho más por lo que sería conveniente reducir la cantidad de material en la sección transversal, pensar en un diseño más pequeño o ahuecar la viga e incluso considerar usar otro material, esto con el propósito de reducir costos de material y manufactura y también para reducir el peso de la estructura.

VIII. PROPUESTA DE DISEÑO ELECTRÓNICO

Para complementar las funciones mecánicas de la máquina se ha contemplado el uso de sensores que sean capaces de recabar información relevante acerca del usuario, esto con el fin de servir como retroalimentación de su rendimiento y su progreso al hacer ejercicio. Los datos que buscamos recabar son:

A. Peso de la persona

Conocer el peso del individuo nos permitirá implementar algunas funciones como el encendido automático de la máquina por detección de peso, una mejor personalización de programas para la quema de grasa, activación de alarmas en caso de caída, llevar un registro de la pérdida de peso del usuario si así se desea.

B. Ritmo cardiaco

Para el cálculo de quema de calorías, conocer el ritmo cardíaco de la persona podría ayudar a tener un estimado más preciso. También esta información es vital para gente que busca hacer ciertos tipos de ejercicio a ciertos niveles ya sea por cuestiones médicas o deportivas.

C. Aceleración del manubrio

Como función adicional, incorporar un sistema capaz de corregir el movimiento del usuario en tiempo real sería posible conociendo la aceleración del manubrio en tres ejes.

D. Velocidad angular de las aspas

Datos como la potencia del usuario, la distancia recorrida y la quema de calorías provendrían, en gran parte, de la velocidad con la que se realiza el trabajo de remo.

E. Nivel del agua

Para poder monitorear el nivel de agua que se encuentra dentro del tanque en todo momento y de esta forma sonar una alarma para indicar el nivel bajo o alto de agua. Igualmente poder dar la resistencia aplicada al sistema para el cálculo de la potencia.

F. Sensores

Los sensores que pensamos incluir para medir todas las variables físicas ya mencionadas son:

1) Codificador óptico absoluto J38

Este componente estaría conectado directa o indirectamente al eje de las aspas y mediante señales binarias, se conocería su posición y velocidad angular en todo momento, permitiéndonos calcular distancia, potencia, resistencia, quema de calorías, etc. Este equipo es de bajo costo, bajo peso y cubre las necesidades de resolución y consumo de energía.

2) XKC-Y25 Sensor de Nivel de Líquido sin contacto

Este sensor brinda una señal digital al detectar la presencia de agua, se monta en el contenedor de manera que es capaz de visualizar el nivel requerido.

3) Sensor de peso Load Cell Straight Bar-200kg

Este sensor análogo nos brinda valiosa información sobre el usuario. El sensor no solo sirve para determinar las calorías quemadas con más precisión sino también nos permite implementar sistemas de seguridad.

4) Sensor de Pulso cardiaco Rantex DH11

Este sensor óptico de pulsaciones le permite al usuario tener un mejor control sobre su ritmo en el ejercicio. El sensor nos da una señal análoga.

5) Acelerómetro de 3 ejes ADXL335

Finalmente, el acelerómetro nos permite saber cómo está siendo jalado el manubrio y hacer recomendaciones o correcciones pertinentes a la técnica de remo del usuario.

Adicionalmente, pensamos incorporar un par de sensores más como medida adicional de seguridad: Un broche con cordón de seguridad parecido al que usan las caminadoras y un interruptor que conecta un circuito a la hora de abrocharse las correas para pies.

TABLA III. DESPLIEGUE DE SENSORES, CONSUMOS ELÉCTRICOS Y PRECIOS.

Dispositivo	Corriente continua de operación (mA)	Rango de Voltaje de operación (Volts DC)	Potencia (mW)
Codificador óptico Absoluto J38	100	5-24	2.400,00
XKC-Y25 Sensor Nivel Líquido Agua Sin Contacto	5	5-24	120,00
Sensor de peso Load Cell Straight Bar- 200kg	37	10-15	555,00
Sensor De Pulso Ritmo Cardiaco Rantec DH11	40	5	200,00
Acelerómetro 3 ejes ADXL335	0,350	1,8 -3,6	1,26
TE765 high performance monitor			
765-XT TGT95-MT TGT95-UT 7 INCH HMI (pantalla)	200	22-26	4.800,00
7.0 40-pin Tr Display - 800x480 Without Touchscreen (pantalla 2)	180	10.50	1.890,00
Total con pantalla 1	382,35		8.076,26
Total con pantalla 2	362,350	77,1	5.166,26
LYFJXX Generador de DC Dynamo	1500 mA (máx.)	5 -24 V	20 W (máx.)

Se realizó una tabla para visualizar las potencias que utilizan los sensores para poder obtener las corrientes y los voltajes necesarios para la operación del sistema. Basados en estos resultados podemos concluir que nuestro sistema requiere una fuente de alimentación de 10 Volts. En planes futuros se piensa incluir a la remadora un pequeño generador de corriente directa el cual nos permita cargar la batería cuando el dispositivo está en operación.

G. Simulación de los componentes y sistemas eléctricos

Para simular el funcionamiento de los sistemas eléctricos se utilizaron dos softwares distintos; Tinkercad para simular la acción de los sensores y su código con un microcontrolador y Multisim para modelar las resistencias del sistema y obtener el voltaje y corriente necesarios para operar el sistema.

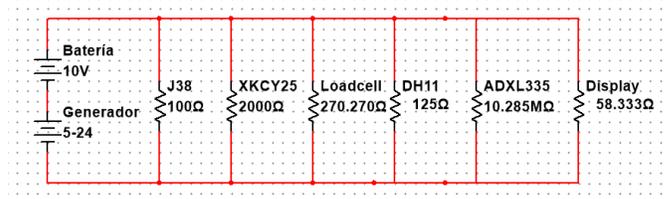


Fig. 21. Simulación de cableado de los componentes en Multisim.

Con esta simulación fuimos capaces de obtener las resistencias que ofrece cada uno de nuestros componentes sensoriales, las cuales los sacamos con ley de Ohm.

1) Simulación de los sistemas lógicos en Tinkercad

Debido a las limitaciones del simulador no fue posible congregarse todas las simulaciones en un solo esquema. Nuestros sistemas tienen más variables de entradas y salidas de las que son permisibles en un microcontrolador Arduino UNO por lo que se decidió separar en tres sistemas independientes: el sistema de seguridad, el sistema de aceleración y finalmente el sistema de nivel de agua y pulso cardiaco.

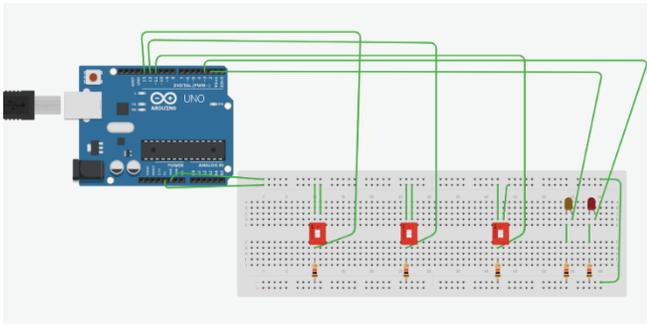


Fig. 22. Simulación del sistema de seguridad.

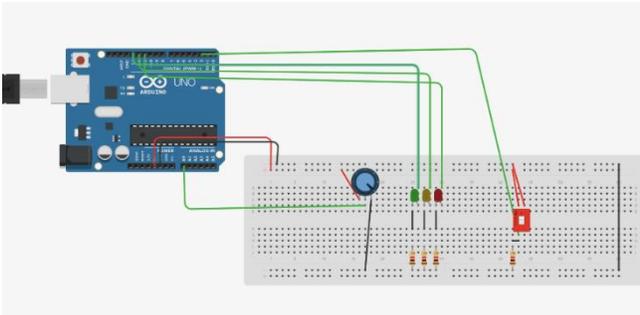


Fig. 23. Simulación del sistema de aceleración.

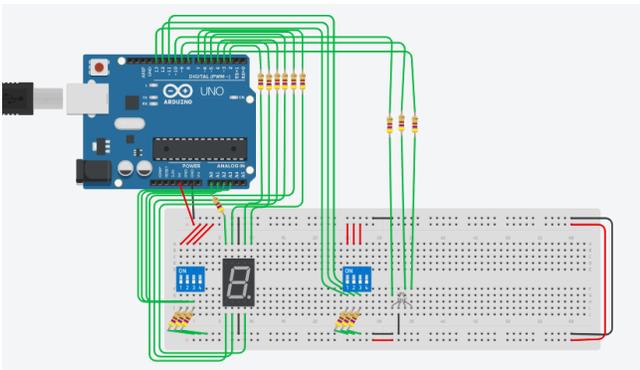


Fig. 24. Simulación del sistema de pulso y de nivel del agua.

En estas simulaciones podemos observar los tres sistemas actuales de nuestra máquina. Nuevamente, debido a limitaciones en el simulador reemplazamos algunos de los componentes por sencillas contrapartes: los sensores que cuentan con entradas digitales fueron cambiados por switches, mientras que los sensores con entradas analógicas fueron reemplazados con simples potenciómetros o sus rangos de operaciones fueron suplementados con switches. Los códigos de los tres sistemas serán incluidos en los Anexos del documento.

a) Sistema de seguridad

En el sistema de seguridad incorporamos tres sensores: el sensor de presencia de correa, el sensor de peso en el asiento y el sensor de caída. En el sistema hay también dos salidas de señal: alarma y bloqueo. El sistema de seguridad actúa de tal manera que cuando una persona se sienta en la máquina, pero no se pone las correas el sistema se encuentra bloqueado, pero sin alarma,

cuando una persona se pone las correas de seguridad el sistema se desbloquea y está listo para el uso normal. Finalmente tiene una función para detectar que la persona se ha caído del aparato y esta acción bloquea el sistema y hace sonar la alarma.

b) Sistema de aceleración

El sistema de aceleración utiliza una variable de tipo analógica para descifrar la aceleración del manubrio en uso regular, con la intención de medir y corregir la técnica de remo del usuario. El sistema utiliza el potenciómetro como si fuese un acelerómetro para obtener un valor de entrada al igual que el switch como si fuera el sensor de peso para saber si hay alguien utilizando la máquina. Al mover el manubrio dentro de un rango adecuado de velocidad y en la dirección correcta el LED verde se prende, si este valor se aleja un poco se prende el LED verde y el amarillo, finalmente, si nos vamos muy lejos de este valor, el LED rojo se prende. Ninguno de los LED's se debe prender si no se detecta una presencia en el sistema, por lo que el manubrio puede ser jalado a la velocidad que sea.

c) Sistema de pulso y de nivel del agua

En este sistema se incluyen dos sistemas independientes, el sistema de sensor de pulso y el sistema de nivel del agua. el primer sistema nos indica, con base en una variable digital el rango de pulso que tiene el usuario. Este sistema tiene tres modos: cuando se detecta un pulso entre 0 y 60 ppm el display de siete segmentos muestra la letra 'b' (pulso bajo), cuando el sistema detecta un pulso entre 60 y 100 ppm el display muestra la letra 'n' (pulso normal) finalmente, cuando detecta un pulso mayor a 100 ppm, muestra la letra 'A' (pulso alto).

El segundo sistema muestra el nivel del agua basado en el input de tres sensores digitales. Estos sensores se encienden al detectar la presencia del agua en un cierto nivel. El sistema también cuenta con tres modos: cuando se detecta agua en el primer sensor se enciende el LED verde, cuando se detecta en el segundo sensor se prende el LED azul y en el último sensor se prende el LED rojo. Con esto el usuario tiene una clara indicación del nivel en el que se encuentra y podemos usar esta información más adelante para calcular la resistencia que ofrece el sistema.

d) Encoder

Fórmulas para la obtención de la potencia, distancia, quema de calorías.

Para poder traducir las variables físicas medidas a información relevante para el usuario como su rendimiento, su potencia o su distancia, debemos encontrar las relaciones entre estas variables. Una de estas relaciones que pensamos, puede ser vital para el cálculo de esta información es la ecuación de arrastre:

$$D = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2$$

Esta ecuación relaciona la fuerza de oposición D de un fluido con la densidad del fluido ρ , la velocidad del objeto v, el área de referencia A (el área de superficie perpendicular al flujo del fluido) y un coeficiente de arrastre C_d . (nasa.gov, 2015) Esta última variable equivale a la función del número de Reynolds (Re) (el cual no tiene dimensión). Este número es la razón entre fuerzas inerciales y fuerzas de viscosidad. El cálculo de este número es complejo, pero en términos generales, mientras mayor sea el número de Reynolds menor será el papel de las fuerzas de viscosidad en el cálculo del arrastre y viceversa. (cabe mencionar que la variable A afecta directamente el valor de C_d). (nasa.gov, 2014)

¿Cómo se relaciona esta ecuación con la situación problema?

Si el encoder nos puede indicar su velocidad angular en tiempo real podemos transformar esa velocidad angular a velocidad lineal mediante la ecuación:

$$v = w * r$$

Utilizando la fórmula anterior, se puede pasar de una velocidad angular a una lineal, considerando el radio de giro de las aspas. Este dato sería incluido en la ecuación de arrastre. De esta manera podríamos obtener la resistencia del agua. Dicho esto, calculando las fuerzas y los momentos a lo largo de todo el sistema de transmisión de potencia (poleas, bandas de tracción, embragues, etc.) y la velocidad angular de las aspas, se puede estimar la potencia y la quema de calorías.

Para la distancia, tendríamos que saber cuántas revoluciones ha dado el encoder desde el inicio de su operación (lo cual implica tratar con un sistema secuencial), y como probablemente este sensor no estará fijado al eje de las aspas directamente sino por medio de engranajes, tendríamos que tomar en cuenta su relación de dientes o diámetros para obtener el número de revoluciones de las aspas.

$$\text{relación de transmisión} = \frac{\# \text{ de dientes del engranaje de entrada}}{\# \text{ de dientes del engranaje de salida}}$$

Para un cálculo más preciso de las calorías consumidas durante una rutina de ejercicio se utiliza la siguiente fórmula:

$$E = t * \frac{MET * 3.5 * M}{200}$$

Esta ecuación nos estima el número de calorías quemadas en función de nuestra masa, el tiempo de ejercicio en

minutos y el MET. Esta última variable es propia del tipo de actividad física que se realiza. (Loria, 2017) Un solo MET equivale a la energía utilizada cuando se está en reposo y su unidad es mililitros de oxígeno consumido por kilo de masa corporal por minuto. Este valor se obtiene experimentalmente para cada actividad. (Roland, 2019)

A pesar de que cada persona tiene distintos metabolismos y que esta ecuación no contempla variables como % de grasa corporal, edad, sexo, altura al nivel del mar, es la manera más simple de obtener un estimado de las calorías usadas durante una actividad.

IX. PLANES A FUTURO

Con los comentarios que se han realizado hacia nuestro proyecto, además de nuestras propias ideas realizamos una lista de cosas que incluiremos en el futuro a la remadora para hacer su diseño aún más competente. Estas modificaciones no fueron realizadas por motivos de falta de conocimientos técnicos o simplemente porque su implementación no entraba en el lente de nuestros planes para esta etapa.

- Diseño de asientos y mangos intercambiables
- Diseño de colores
- Implementación de un sistema de generación eléctrica propio
- Implementación de un sistema de transmisión de potencia
- Programación del display
- Compatibilidad con dispositivos externos y apps (telemetría)
- Sistema para el cambio de agua
- Sistema elástico para el regreso del manubrio
- Mejora del sistema de frenado
- Análisis estructural completo
- Cableado y calibración de sensores
- Diseño de manual de uso y avisos de seguridad (código QR)
- Incluir sistemas secuenciales dentro del sistema para poder medir el nivel de calorías y la distancia recorrida (no únicamente combinatorios)

X. CONCLUSIONES INDIVIDUALES

Juan Pablo Chávez:

Durante esta primera etapa de diseño se logró plantear una propuesta inicial tanto para la funcionalidad de la máquina y su estructura, como para las variables físicas a medir, el sistema sensorial y un poco de la lógica detrás de la

programación de los sensores. En la parte de mecánica de materiales se determinó que la viga diseñada para el riel del asiento cumple con la capacidad de soportar una carga máxima de 150 kg sin sufrir deformaciones y mucho menos fallas. Por otro lado, el factor de seguridad de la viga puede haber quedado demasiado alto por lo cual se deberá replantear un rediseño con el propósito de balancear la capacidad de carga, la dificultad de manufactura, los costos de manufactura y el peso de la estructura. En el área de sensores se plantearon las variables a medir y los dispositivos para realizar las mediciones, así como los usos de cada variable. Teniendo ya la ubicación de cada componente en la máquina de remo, queda pendiente plantear el sistema para el cableado de potencia e incorporar una fuente de energía y la interfaz hombre máquina. En el área de lógica se realizaron algunas simulaciones para plantear la interacción entre los sensores y tener más aterrizado su funcionamiento y el procesamiento de información. En pocas palabras, aún queda mucho por hacer, pero ha sido un buen comienzo.

Juan Emiliano Lopez Lena:

A lo largo de esta primera etapa llevamos a cabo diversas simulaciones dentro de las diferentes áreas que conllevan este gran proyecto, que nos permitieron obtener los resultados esperados para decir con certeza que tenemos los cimientos de nuestra remadora para continuar en la siguiente etapa de este proyecto retador, y así sucesivamente con lo aprendido en esta etapa y lo que se aprenderá en las siguientes podemos lograr nuestro objetivo a cumplir. Por supuesto quedan detalles dónde están abiertos a oportunidades de mejoras y que quedan por pulir para que nuestro resultado final sea la mejor versión de toda, pero claro todavía hay un gran camino por recorrer.

Miguel Vázquez:

Al haber realizado todas las pruebas, tanto las de esfuerzos en nuestros materiales como las simulaciones electrónicas realizadas en tinkercad podemos observar los primeros indicios de nuestra máquina y cómo esta entra en un mercado de competencia real junto con otras remadoras, aunque es necesario todavía considerar muchos aspectos, el costo por nombrar alguno. Tenemos una gran distancia por recorrer en las siguientes etapas del semestre, pero podemos hacer eso con seguridad basados en nuestros resultados.

Jesús Rodríguez:

Al haber concluido esta etapa de diseño, logramos llegar a una toma de decisiones en cada área, tanto en la parte mecánica como en la parte eléctrica y electrónica. Dentro del área de mecánica de materiales, cumplimos nuestro objetivo principal, el cual era aguantar un peso de al menos 150 kg. Dos herramientas que fueron clave en este proceso fueron SolidWorks y MDSolids. Sin la ayuda de estos softwares, no habiéramos podido calcular las deformaciones, los esfuerzos, la fuerza cortante y el momento flexionante al cual está sujeta la viga de nuestra remadora. Otra conclusión a la cual llegamos es que en un futuro también podría ser viable

cambiar el material de la viga, ya que en términos de manufactura y costo es muy elevado, además de ser un material pesado. Por otro lado, en el área de la electrónica decidimos escoger únicamente sensores que estuvieran dentro del rango de sistemas combinatorios (por esto mismo no llevamos a cabo un sistema lógico del encoder, ya que forma parte de los sistemas secuenciales). Así mismo, una vez escogidos dichos sensores buscamos modelos que además de ser económicamente viables, tuvieran un consumo energético moderado. Un área de oportunidad que pudimos identificar es la ubicación de dónde irían algunos de estos sensores, ya que con relación a algunos de ellos el panorama era ambiguo.

Guillermo Güemez:

Después de haber simulado nuestra viga en solidworks con múltiples materiales encontramos un material capaz de sostener la viga con el peso límite que se le había permitido a este, junto con eso se encontró el cómo era la manera óptima pero que sin duda todavía puede mejorar de la construcción de la maquina en relacion a esta fuerza que se le aplica. Al mismo tiempo se encontraron todos los sensores con los que se van a trabajar, que sean óptimos para el beneficio de la máquina y el usuario, asimismo una fuente de energía temporal que le da energía a estos ya que en el futuro se va a cambiar esta fuente de energía. Finalmente tenemos los sistemas lógicos de estos sensores los cuales nos indican cómo operan entre ellos para hacer el sistema asimismo como la utilidad que aportan. Juntando todo esto tenemos esta entrega total que es la unión de todos los resultados particulares de cada sección para dar una máquina final.

XI. CONCLUSIONES GENERALES

A través de estas últimas semanas nos hemos dado cuenta de las grandes implicaciones que conlleva el hacer un sistema de este calibre, el cual nos pide no solo que obtengamos esfuerzos mecánicos sino también eléctricos y de control lo cual convierte este sistema en un clásico ejemplo de ingeniería mecatrónica. Al observar nuestros resultados obtenidos tanto en SolidWorks, y en MDSolids como en los simuladores electrónicos podemos decir con confianza que nuestro sistema cumple con los requisitos que nos han solicitado para esta etapa del reto.

ANEXOS

Tabla de Datos de Sistema Sensorial:

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1KpVqNEZmM-zn7ITzlxESSP3xD7qtI_sel3jwqbFy9t4/edit?usp=sharing

Sistema de Seguridad

https://www.tinkercad.com/things/cvRAPIxvXYo-bodacious-allis-duup/editel?sharecode=x4wiB_-9YuGINi9uA039RK0rCcTkm1P588SyASri_wQ

Sistema de Aceleración

https://www.tinkercad.com/things/7f6MmoytjB4-brilliant-gogo/editel?sharecode=CT3_w5dKTICxzpmTyX0kh8k2Ft_O7800zYibIWP_bnR4

Sistema de pulso y nivel de agua

<https://www.tinkercad.com/things/9zk74vve8ZD-final/editel?sharecode=Nmky-7GHtPz4WM7HvrWdLKnMchHuKIEUII97PuqPiM>

Modelo CAD completo

<https://drive.google.com/drive/folders/1SKCUDx13CanOD0kDNoJnfVnOHChObeSB?usp=sharing>

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los profesores Juan Álvarez López, Alfredo Salas Ramírez y Ricardo Méndez Hernández, por haber puesto en todo su entusiasmo en las clases y por habernos guiado en la creación de nuestra remadora. En todo momento estuvieron dispuestos a brindar su ayuda, al igual que se mostraron muy pacientes en el transcurso del proyecto. Así mismo, también queremos agradecer a la Organización Socio Formadora del área de deportes por haber brindado parte de su tiempo y por ofrecer retroalimentación en etapas del proyecto. Se mostraron muy interesados y, además, nos mostraron desde un inicio cuáles eran las especificaciones que debía de llevar nuestra remadora. Finalmente, quisiéramos agradecer al aliado formador de *LifeFitness*, el ingeniero Raúl Campos. Con su presentación se aclararon varias dudas que teníamos, y logramos llegar a una toma de decisiones mucho más rápida.

REFERENCIAS

- [1] Using Slides. (2019, 4 septiembre). Recuperado de <https://www.concept2.com/indoor-rowers/training/technique-videos/using-slides>
- [2] Shiffer, E. (2020, 21 diciembre). Which Muscles You Work With a Rowing Machine. Recuperado de <https://www.menshealth.com/fitness/a34988939/rowing-machine-muscles-worked/>
- [3] Matrix Fitness. (s. f.). Recuperado de <https://matrixfitness.com/eng/group-training/cardio/rower>
- [4] University of North Carolina at Chapel Hill. (2020, 25 diciembre). Ergonomics. Recuperado de [Ergonomics](#)
- [5] Eddy-current magnetic track brakes for highspeed trains Jan 1987 95-99 G Gagarin U Kroger E Saunweber Gagarin, G., Kroger, U. and Saunweber, E., "Eddy-current magnetic track brakes for highspeed trains," Joint ASME/IEEE/AAR Railroad Conference, pp. 95-99, 1987.
- [6] Parts. (s.f.). Recuperado de <https://www.waterrowerservice.com/drawings/#a1-gen-assy-drawings>
- [7] Flood, J., & Simpson, C. (2019). The Complete Guide to Indoor Rowing: Complete Guides. (S.F), United States: Bloomsbury Sport.
- [8] Concept2 (s. f.). Recuperado de <https://www.concept2.com/indoor-rowers/concept2-rowerg>
- [9] Saldívar, A. (2018, 7 noviembre). BrakeOne | Información Sobre Frenos. Recuperado de <https://www.brakeone.mx/informacion-sobre-frenos/>
- [10] Luis R., J. (2020, 19 diciembre). Sistema de FRENOS NEUMÁTICOS | Partes y funcionamiento. Recuperado de <https://como-funciona.co/frenos-neumaticos/>
- [11] <https://lucid.app/lucidchart/invitations/accept/3a4d6e25-092c-4926-8c93-b65f72d810d2>
- [12] Beer F., Johnston E., Dewolf J., et.al. (2017). Mecánica de Materiales. Séptima Edición. Capítulo 5. Ciudad de México: McGrawhill. Recuperado de: <https://0-elibro-net.biblioteca-ils.tec.mx/es/ereader/consorcioitesm/93514>
- [13] nasa.gov.. (2015). The Drag Equation [Página Web]. Recuperado el 9 de marzo de 2021 de: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/drageq.html>
- [14] nasa.gov. (2014). Reynolds Number [Página Web]. Recuperado el 9 de marzo de 2021 de: <https://www.grc.nasa.gov/www/BGH/reynolds.html>
- [15] Loria K. (22 de agosto de 2017). How to calculate the number of calories you burn doing anything, from running to sex [Página Web]. recuperado el 10 de marzo de 2021 de: <https://www.businessinsider.com/how-to-calculate-calories-burned-exercise-met-value-2017-8?r=MX&IR=T#:~:text=Here's%20your%20equation%3A%20MET%20value,divide%20that%20number%20by%20two.>
- [16] Roland J. (21 de octubre de 2019). What Exactly are METs, and What Should You Know About Them? [Página Web]. recuperado el 10 de marzo de 2021 de: <https://www.healthline.com/health/what-are-mets>