



ESCUELA DE DISEÑO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO
Y ESTUDIOS URBANOS

YIRO

YIRO: máquina de ejercicios multifuncional compacta

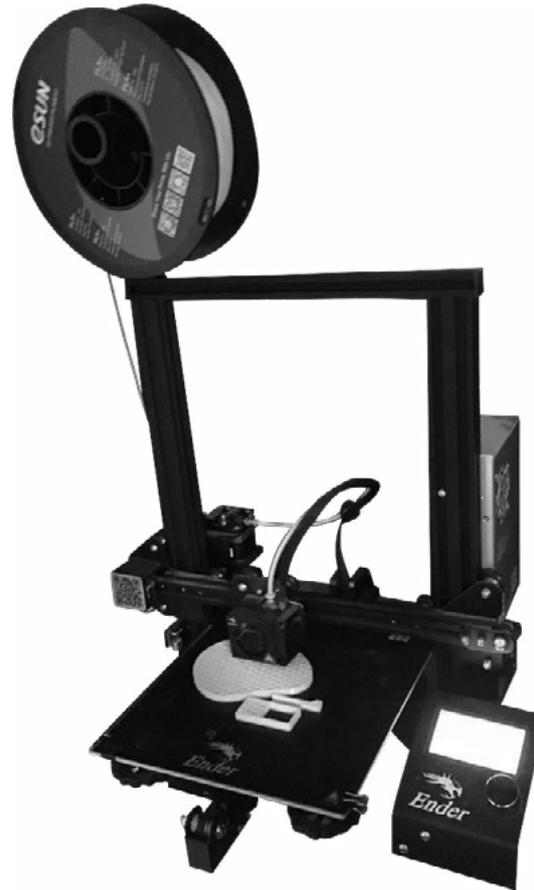
Autor: **Pablo José Larraín Lyon**

Tesis presentada a la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al título profesional de Diseñador.

Profesora guía: **Natalia Oviedo**

Diciembre 2022
Santiago, Chile

A Mushu, mi impresora; la única que trabajó más horas que yo en este proyecto...



...y a mis papás.

INDICE

01 INTRODUCCIÓN	6	REFERENTES	39	PROPUESTA FINAL	86
INTRODUCCIÓN	7			MATERIALIDAD	89
MOTIVACIÓN PERSONAL	8	05 PROCESO DE DISEÑO	40	PROTOTIPO FUNCIONAL FINAL	90
02 MARCO TEÓRICO	9	ANATOMÍA DEL VOLANTE DE INERCIA	41	GUARDADO Y TRANSPORTE	91
HABITAR EN ESPACIOS REDUCIDOS	10	MECANISMO DEL VOLANTE	42	APLICACIÓN	93
ACTIVIDAD FÍSICA Y BIENESTAR	14	MORFOLOGÍA DEL VOLANTE	43	VALIDACIÓN	97
ASISTENCIA A LA ACTIVIDAD FÍSICA	18	CARRETE	46	CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS	101
VOLANTES DE INERCIA	19	PESOS	48	07 IDENTIDAD	102
03 FORMULACIÓN DEL PROYECTO	22	PIOLA	51	IDENTIDAD DE MARCA	103
OPORTUNIDAD DE DISEÑO	23	PROTOTIPO FUNCIONAL 1	52	08 IMPLEMENTACIÓN	107
OBJETIVOS	24	ROLDANA-PIVOTE	55	PROCESO DE PRODUCCIÓN	108
PERFIL DE USUARIO	26	MORFOLOGÍA DE LA BASE	58	COSTOS DE PRODUCCIÓN	109
CONTEXTO DE IMPLEMENTACIÓN	28	MONTAJE	60	ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN	111
METODOLOGÍA PROYECTUAL	29	PROTOTIPO FUNCIONAL 2	65	MODELO CANVAS DE NEGOCIOS	112
04 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	30	AGARRE MÓVIL	68	08 CONCLUSIONES	113
LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO	31	AGARRE	72	REFLEXIÓN CRÍTICA	114
ENTREVISTAS A USUARIOS	32	TAPA	73	PROYECCIONES	115
EQUIPO DE TRABAJO	34	APLICACIÓN	75	08 BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS	116
PATRONES DE MOVIMIENTO FUNDAMENTALES	35	PROTOTIPO FUNCIONAL 3	81	BIBLIOGRAFÍA	117
ANTECEDENTES	37	LÍNEA DE TIEMPO DEL PROCESO DE DISEÑO	84	ANEXOS	120
		06 PROPUESTA FINAL	85		

01 INTRODUCCIÓN

- INTRODUCCIÓN
- MOTIVACIÓN PERSONAL



INTRODUCCIÓN

A medida que las labores manuales son reemplazadas por roles intelectuales, el trabajo en línea va tomando un rol cada vez mayor en el mercado, y los servicios como las compras y la comida se perfilan hacia la comodidad, las personas pierden la necesidad de trasladarse y el hogar pasa a tener un rol más allá que el de pernoctar, es el espacio de trabajo, de socialización y de ocio.

Estos espacios habitacionales han ido acomodando su tamaño y sus precios a la creciente densificación de la ciudad, llevando a sectores completos de la población a optar por alternativas de vivienda de espacio reducido. Esta realidad compromete la calidad de las interacciones que se dan en el hogar, el trabajo es más incómodo, la socialización se tiene que externalizar o se pierde, y el ocio se ve relegado a actividades sedentarias.

Este proyecto trabaja con la problemática del sedentarismo en los contextos de espacios reducidos, sus efectos sobre la salud física y mental en las personas, y las principales causantes que se le atribuyen. El rol del diseño aquí no es solo presentar una alternativa que permita a las personas realizar actividad física recreativa, sino enfrentar desde la raíz las dolencias que llevan a los usuarios al sedentarismo.



Edificación en Chile, (2018) La Tercera. <https://www.latercera.com>

MOTIVACIÓN PERSONAL

Me considero una persona bastante activa, he realizado deporte en distintos formatos durante toda mi vida, sin ser especialmente talentoso para ninguno, pero me he mantenido consistentemente activo y cómodo con mis propias capacidades.

Esta realidad proviene casi exclusivamente de una situación de privilegio, mis padres han hecho actividad física toda su vida y me han expuesto a ella durante toda la mía,

siempre he tenido acceso a localidades, implementos, y ayuda profesional para la realización del deporte, y en mi contexto social y personal se han generado instancias en donde he tenido tiempo libre, compañía y apoyo.

Durante el encierro de la pandemia se despertó la primera inquietud que me llevó a la realización de este proyecto, perdí el acceso a las instalaciones deportivas que

usaba durante unos meses y, con ello, mi capacidad de realizar actividad física. No estaba en una situación especialmente precaria, tenía acceso a espacios relativamente amplios, tiempo de sobra, y amplios conocimientos de técnicas y ejercicios; sin embargo, la pérdida de un factor como el acceso a implementos dedicados me llevó a perder la consistencia de la rutina, con ella la motivación, y con la motivación la capacidad, generando un círculo vicioso del que, francamente, no pude salir.

Esta situación en donde yo, con múltiples ventajas, vi como rápidamente perdí mis hábitos con el cambio de un solo factor, puso en perspectiva la dificultad de la realidad de aquellas personas que no tienen el beneficio de los privilegios que tuve yo, y que encima de eso tienen que sortear las barreras del tiempo, acceso a implementos, restricciones del espacio, conocimientos, capacidades y factores psicológicos para la realización de actividades físicas; lo que me llevó a la búsqueda de una solución que pudiese ayudar a estas situaciones.



Stuck At Home. (2019). Heather Ryerson. <http://www.ryeillustration.com>

02 MARCO TEÓRICO

- **HABITAR EN ESPACIOS REDUCIDOS**
- **ACTIVIDAD FÍSICA Y BIENESTAR**
- **ASISTENCIA A LA ACTIVIDAD FÍSICA**
- **CASO DE ESTUDIO: VOLANTES DE INERCIA**

HABITAR EN ESPACIOS REDUCIDOS

Fig. 1: Distribución de la población en Chile.

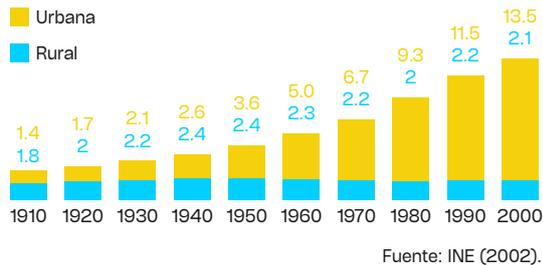


Fig. 2: Población total en Chile (1960-2020).

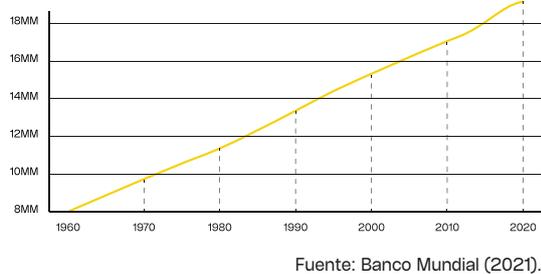
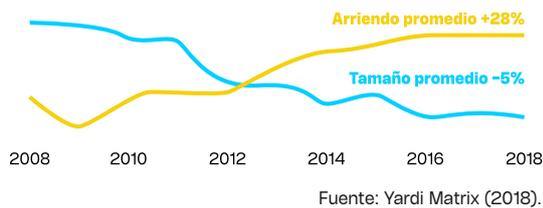


Fig. 3: Costo de arriendo vs tamaño de vivienda.



El sostenido aumento poblacional en nuestro país y en el mundo, junto a la tendencia hacia la urbanización de la población (Fig. 1 y 2) ha llevado a una densificación de nuestras ciudades, propiciando el desarrollo de la edificación vertical y la construcción de espacios habitacionales de tamaño reducido (Satoshi, 2017).

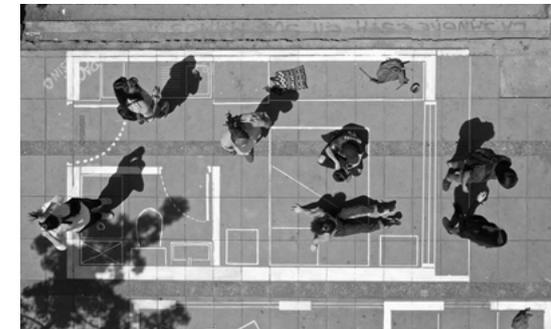
Esto combinado con los crecientes precios inmobiliarios, que no han sido acompañados por aumentos al tamaño proporcionales (Fig. 3), han llevado a sectores completos de la población a:

- 1) Arrendar en vez de comprar, por la incapacidad de acumular suficientes ahorros, generando así un círculo vicioso donde los mismos costos de arriendo impiden la capacidad de seguir ahorrando.
- 2) Optar por espacios reducidos como una alternativa más económica.

Estas soluciones son efectivas en términos cuantitativos de urbanización, pero levantan problemáticas en aspectos cualitativos y consecuencias indirectas, teniendo efectos negativos sobre la calidad de vida de los usuarios (Foye, 2016).

Vivir en espacios reducidos, especialmente en situaciones de cohabitación, trae consecuencias directas sobre la salud mental y física de los usuarios, está

asociado con problemas de ansiedad, depresión, irritabilidad, aumento de presión arterial y fatiga crónica (Gulf News, 2017). Estas problemáticas se ven potenciadas por las situaciones de conflicto entre residentes dentro de una misma vivienda o dentro del mismo complejo de viviendas, donde las implicancias negativas personales son extrapoladas a la relación con el resto de los habitantes (Levin, Arthurson. 2020). Una de las principales causales de los efectos negativos que conllevan los espacios habitacionales reducidos es la falta de acceso a áreas de recreación, ocio e interacción social (Foye, 2016).



Intervención evidenciando las condiciones de los micro-departamentos en Chile. (2020). Colectivo por un habitar digno. <https://revistaplano.cl>

HABITAR EN ESPACIOS REDUCIDOS: ACTIVIDAD FÍSICA

Dentro de las actividades recreativas y de ocio afectadas por la falta de espacio en la vivienda, este proyecto se enfoca en la realización de actividad física, esto por 2 razones:

- 1) Las actividades de ocio “pasivas” (leer, jugar, consumir contenido multimedia, interacciones sociales sedentarias, etc.) son más dependientes del acceso al tiempo libre que al espacio (Swapp, 1979).
- 2) La actividad física de cualquier tipo, al requerir un espacio mínimo para realizar los movimientos correspondientes, entra en conflicto directo con los espacios reducidos, lo que la hace un caso crítico dentro de las problemáticas levantadas.

La limitación del espacio y la falta de acceso a áreas de recreación en espacios habitacionales reducidos está directamente relacionado con hábitos sedentarios en general (Svensson et al., 2017); en estudios realizados con gemelos idénticos, se concluyó que los factores ambientales cercanos son un determinante directo sobre la realización de actividad física (Aaltonen et al, 2014). Las posibles soluciones a este problema las agruparemos en dos categorías: internas y externas. Internas son aquellas que trabajan dentro del mismo espacio habitacional, aprovechando al máximo los recursos disponibles; externas son aquellas que suplementan la falta de espacio en la

vivienda con alternativas fuera de ella. Este proyecto presenta una solución interna a la problemática, sin embargo, es relevante presentar los argumentos a favor y en contra de la alternativa.

CONTRAARGUMENTO: SOLUCIONES EXTERNAS

Casos de estudio que buscan el espacio mínimo necesario para vivir recaen en la interacción entre la esfera pública y la privada como sustento para mantener una buena calidad de vida para los usuarios (Shen, Sun y Sun, 2017).

El simple acceso a áreas públicas de uso recreativo es el mayor factor de incidencia sobre la práctica de actividades físicas de ocio, con un 25% de aumento entre aquellos que declaran tener cercanía y aquellos que no (Mackenbach, et al., 2018). En la actualidad, el 83% de los habitantes del gran Santiago tienen acceso a un área verde a una distancia menor de 400 metros (CNDU), cumpliendo con el estándar de la American Planning Association (2007). Sin embargo, la mayoría de las comunas presenta una o más problemáticas graves de mantención asociadas a la calidad del suelo, la infraestructura, vegetación y alumbrado, esto lleva a un desuso de las zonas verdes; de la misma manera, según los Planes de Desarrollo Comunal (PLADECO), solo 7 comunas (Recoleta, Providencia, Las Condes, Vitacura, Ñuñoa, La Reina, y Colina) cumplen con un nivel

satisfactorio de acceso a áreas verdes (Guzman, 2017); con un total de 4,5 m² por habitante promedio, la mitad de los 9 m² recomendados para una ciudad como Santiago, la brecha entre la comuna con mayor (Vitacura, 21,8 m²) y la con menor superficie de áreas verdes (El Bosque, 1,9 m²) muestran una reflexión de la situación socioeconómica de las comunas y las repercusiones que estas tienen sobre sus habitantes (Atisba, 2011).

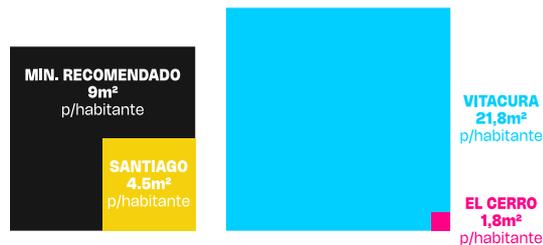
Por otro lado, en un lugar intermedio entre lo público y lo privado, la proximidad a recintos dedicados a la realización de actividades deportivas, como canchas, estudios y gimnasios, tiene efectos directos positivos sobre la tendencia hacia realizar ejercicio (Reed, Phillips, 2005).



Actividad física en los espacios públicos. (2018). Emol. <https://emol.com>

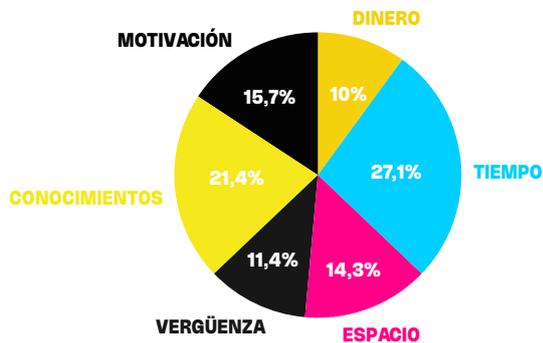
HABITAR EN ESPACIOS REDUCIDOS: ACTIVIDAD FÍSICA

Fig. 4: áreas verdes por habitante según PLADECO (m²).



Fuente: INE (2018).

Fig. 5: ¿Cuáles son tus principales barreras a la hora de realizar deporte?.



Fuente: Encuesta en línea (27 respuestas).
Elaboración propia (2022).

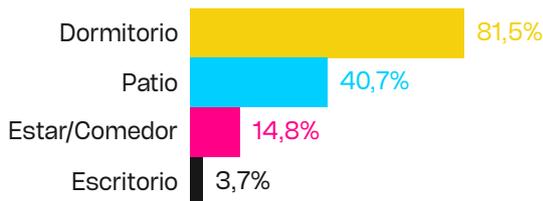
Si bien las soluciones espaciales externas a la falta de espacio en la vivienda demuestran ser efectivas, para motivos de este proyecto se decidió trabajar con una solución interna por 3 razones:

tipo de suelo, infraestructura disponible y acceso a financiamiento, se determinó que una solución adaptable al contexto habitacional podía ser más viable.

- 1) La brecha socioeconómica (Fig. 4) implica una mayor urgencia en el acceso a áreas verdes de calidad que las infraestructuras que puedan haber en ellas, si bien esta es una problemática interesante, esta está principalmente asociada a factores de planeación urbana y financiamiento, por lo que se consideró que quedaba fuera del alcance de las dimensiones del proyecto.
- 2) Ignorando el contexto del acceso, factores personales como la vergüenza, la falta de conocimientos y la motivación entran en conflicto con la realización de actividades en espacios públicos (Fig. 5); la combinación de variables entre la interacción del ejercicio y la interacción con el medio social se consideró que quedaba, nuevamente, fuera del alcance de las dimensiones del proyecto.
- 3) La intención del proyecto es presentar una solución aplicable de manera transversal en múltiples iteraciones del contexto de uso elegido. Por la alta variabilidad de los espacios públicos, tanto en tamaño,

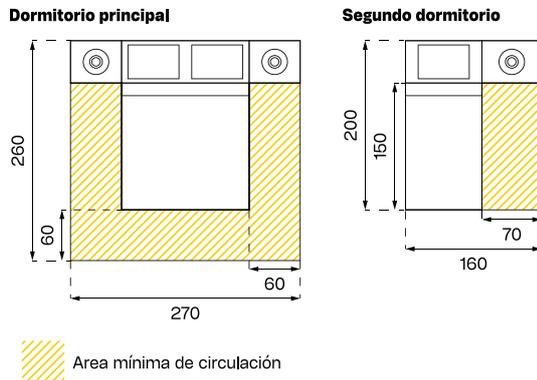
HABITAR EN ESPACIOS REDUCIDOS: ¿QUÉ ES UN ESPACIO REDUCIDO?

Fig. 6: Si realizaras deporte en tu hogar ¿en qué pieza lo harías?.



Fuente: Encuesta en línea (27 respuestas).
Elaboración propia (2022).

Fig. 7: Dimensiones mínimas dormitorios (cm).



Fuente: MINVU (2017).

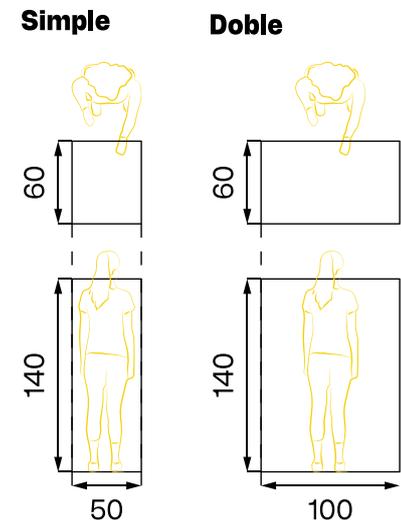
Establecer qué se considera como espacio reducido es una tarea compleja, considerando que no existe una denominación definida a nivel nacional, ni global, para los distintos tamaños de viviendas. Sin embargo, podemos utilizar estadísticas para determinar si alguien se encuentra en el sector inferior o superior de la superficie de suelo promedio en nuestro contexto de implementación; dentro de la Región Metropolitana, los departamentos promedian 82,3 m² y las casas 97,3 m², lo que, ajustando por volumen, nos da un promedio de 87,7 m² por hogar, con un promedio de 3,5 personas por hogar tenemos un total (aproximado) de 25 m² por persona en promedio (INE, 2015). Determinamos así que **todo aquel que habite en un espacio de >25 m² por persona cumple el criterio espacial para ser considerado dentro del perfil de usuario.**

Por otro lado, para establecer parámetros de trabajo para el proyecto se decidió trabajar con los casos más críticos, es decir, que la propuesta se pueda utilizar en las condiciones de menor espacio posible. Para esto no es suficiente entender las dimensiones totales de una vivienda, sino las de la pieza en la cual se vaya a realizar la actividad; según una encuesta realizada durante el levantamiento de información personal, la mayoría de los usuarios utilizaría su propio dormitorio para la realización de actividades deportivas en casa (Fig. 6), considerando esto sumado a que el dormitorio suele tener una menor

dimensión que los espacios comunes de un hogar (MINVU, 2017), utilizaremos el cuadro normativo dictado por el MINVU para determinar el espacio mínimo permitido para un dormitorio a modo de parámetro de uso para la propuesta de proyecto (Fig. 7).

Así, llegamos a la conclusión que **el espacio de uso en un dormitorio principal es de 2,7 m², y en un segundo dormitorio es de 1,05 m².** Por otro lado, para motivos de guardado, utilizaremos como parámetro las dimensiones mínimas de un closet simple, para segundos dormitorios, y doble, para dormitorios principales (Fig. 8).

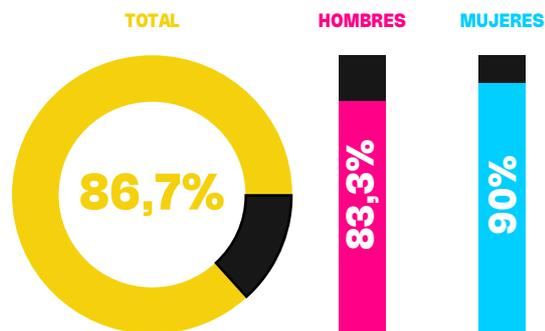
Fig. 8: Dimensiones mínimas closets (cm).



Fuente: MINVU (2017).

ACTIVIDAD FÍSICA Y BIENESTAR

Fig. 9: Nivel de sedentarismo en Chile.



Fuente: Encuesta Nacional de Salud (2017).

La actividad física está vinculada directamente con un incremento en la calidad de vida, contribuyendo en múltiples aspectos:

Fisiológicos: prevención de enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer, hipertensión, obesidad, depresión, osteoporosis, entre otras. Aumento de los niveles de energía a corto plazo (Warburton et al., 2006).

Psicológicos: prevención, tratamiento y rehabilitación de trastornos psicológicos como depresión, ansiedad y esquizofrenia. (Saxena et al., 2005).

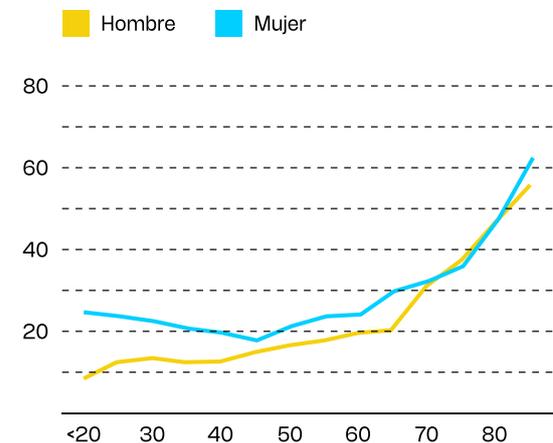
Emocionales: mejora en la percepción personal del estado de ánimo, integración social y regulación de las emociones. (Rodríguez de la Vega, Toscano, 2018)

La literatura indica que el aumento de la actividad física en la población es algo a lo que deberíamos apuntar, sin embargo, las estadísticas muestran una situación precaria en ese ámbito. En Chile, el 86,7% de la población es considerada sedentaria (Fig. 9), es decir, no realiza actividad física (MINSAL, 2017).

Los beneficios de realizar deporte son la cara opuesta de los efectos negativos que trae la inactividad, tanto el mantenimiento del sistema musculoesquelético (Stewart, 2005) como de la capacidad cognitiva se ven gravemente afectadas por el sedentarismo en la vejez (Watson, 2017).

Si bien es beneficioso comenzar a realizar actividad física en cualquier etapa de la vida, el mayor predictor de sedentarismo en un individuo es la consistencia, es decir, si realizaba o no deporte en el pasado es un indicador del nivel de actividad actual (Ortega, 2013). Con esto en mente, vemos como los altos niveles de inactividad física en los adultos jóvenes de Chile apunta a un predecible deterioro posterior de la población (Fig. 10) y levanta una problemática a solucionar (Garrido et al., 2019).

Fig. 10: % de prevalencia de inactividad en Chile por tramo etario.



Fuente: Encuesta Nacional de Salud (2010).

ACTIVIDAD FÍSICA Y BIENESTAR: EJERCICIO ANAERÓBICO

La actividad física no es un ejercicio en particular, puede tomar la forma de cualquier movimiento voluntario del cuerpo que requiera esfuerzo, incluye desde a un deportista compitiendo en las olimpiadas hasta al estimado lector cuando tiene que limpiar su casa (WHO, 2022). Para motivos de esta investigación, nos enfocaremos en la realización consciente de actividad física con motivos de salud y cuidado personal (sin necesariamente dejar de lado los aspectos de ocio de la interacción); dentro de esta categoría, podemos establecer 2 grandes ramas de ejercicios: aeróbicos y anaeróbicos.

Ejercicios aeróbicos: “con oxígeno”, actividad física de condicionamiento cardiovascular. Incluye nadar, correr, caminar, andar en bicicleta, saltar la cuerda, en fin, todo ejercicio que después de un par de minutos te deja sin aliento (para algunos, como el autor, reemplazar minutos por segundos); además de los beneficios al acondicionamiento físico, previene enfermedades cardiovasculares, ayuda a controlar el azúcar en la sangre, asiste con el manejo del peso corporal, mejora el funcionamiento de los pulmones, y disminuye la frecuencia cardiaca (Cleveland Clinic, 2019).

Ejercicios anaeróbicos: “sin oxígeno”, son aquellos ejercicios de menor duración que requieren una mayor concentración de esfuerzo por parte del sistema musculoesquelético, generalmente asociado a movimientos

explosivos como carreras cortas, o levantamientos de fuerza. Traen beneficios al condicionamiento físico, mantención del sistema musculoesquelético, prevención de lesiones, salud mental y funcionamiento hormonal (U.S National Library of Medicine, 2022).

Si bien los dos tipos de ejercicios son beneficiosos (y necesarios), su ejecución es lo suficientemente distinta como para imposibilitar la entrega de una solución efectiva que cubra ambos; dicho esto, para este proyecto se tomó la decisión de trabajar con los ejercicios anaeróbicos por 3 razones:

- 1) Dentro del contexto de la investigación, el ejercicio aeróbico entra en conflicto directo con la falta de espacio y, si bien la problemática puede ser una oportunidad de diseño, en este caso las alternativas externas públicas como los parques y plazas son extremadamente efectivas.
- 2) En el caso de la salud mental y autopercepción, el ejercicio anaeróbico es más efectivo a la hora de mejorar la imagen mental del propio cuerpo, y con ello aumenta la posibilidad de que el individuo sea consistente y realice otros tipos de ejercicios (Reel et al., 2007), sin embargo, aquellas personas que tienen una mala imagen corporal son menos propensas a realizar

ejercicios anaeróbicos (Prichard, Tiggermann, 2008), presentando una oportunidad de mejora.

3) Si bien para ambos tipos existen soluciones tanto en el ámbito privado como en el público, el ejercicio anaeróbico presenta una problemática interesante en sus barreras de entrada para nuevos usuarios (profundizado a continuación).

Ejercicio anaeróbico de fuerza. (2015). Cottonblo Studio
<https://www.pexels.com>



ACTIVIDAD FÍSICA Y BIENESTAR: BARRERAS DE ENTRADA

Toda actividad tiene barreras de entrada, son aquellos requisitos mínimos que se deben cumplir para completar satisfactoriamente una acción; en el caso del ejercicio, las barreras se dividen en internas y externas. Internas son todas aquellas que se asocian a la toma de decisiones del individuo, guiadas por la motivación, el miedo, la vergüenza y el desconocimiento; externas son aquellas asociadas a factores inamovibles en un punto determinado del tiempo, como la capacidad física, los recursos, y los implementos e infraestructura disponibles (Korkiakangas et al ., 2009).

En el caso del ejercicio anaeróbico, múltiples de estas barreras de entrada son difíciles de sortear:

Implementos, infraestructura y recursos: a diferencia del ejercicio aeróbico (donde la primera imagen que se puede venir a la mente es trotar por las calles), el anaeróbico suele estar asociado a una serie de implementos e infraestructuras particulares, ya sea pesas, máquinas de musculación, sistemas de barras, etc. Esto implica que se requieren recursos para obtenerlos, en promedio las mensualidades a gimnasios en Chile cuestan 3,5% del sueldo promedio (INE); en caso de querer realizar el ejercicio en la vivienda (en lo que se enfoca este proyecto), los precios varían radicalmente según el tipo de implemento (Tabla 1).

Existe, sin embargo, una alternativa

completamente gratuita y a disposición de la mayoría de la población: la calistenia, o ejercicios en base al propio peso corporal, lo que nos lleva a la segunda barrera de entrada.

Tabla 1: Benchmark implementos para ejercicios anaeróbicos en el mercado Chileno.

Implemento	\$P promedio aprox.
Bandas elásticas	\$15.000
Mancuernas básicas	\$35.000
Máquina multifuncional	\$225.000
Máquina de pilates	\$200.000
Barra de dominadas	\$15.000

Fuente: Elaboración propia (2022).

Capacidad Física: toda actividad física requiere un cierto nivel de capacidad mínima para realizar la acción, en el caso del deporte, su naturaleza progresiva permite a los individuos partir con movimientos que requieren una mínima capacidad física previa y avanzar paulatinamente desde ahí, hoy corres 5 minutos, mañana 6; los ejercicios anaeróbicos son una excepción a esto, puesto que, a pesar de efectivamente tener una sistema de progresión de dificultad, muchos de los movimientos básicos quedan fuera del alcance de la población no entrenada (Kraemer, Ratamess, 2014).

A nivel nacional, las mediciones de capacidad física en menores de edad predicen una falta en la población a futuro (Tabla 2), que son consistentes con la relación entre rangos etarios expuesta anteriormente.

Esto genera un círculo vicioso donde la falta de capacidad física impide el progreso y la falta de progreso impide desarrollar la capacidad física.

Tabla 2: Resultados pruebas de fuerza.

Ejercicio	No cumple	Cumple	Destaca
Flexión de abdomen	19%	81%	-
Salto a pies juntos	68%	14%	18%
flexo extensión de codo	77%	10%	13%

Fuente: SIMCE (2018).

CONTINÚA...



ACTIVIDAD FÍSICA Y BIENESTAR: BARRERAS DE ENTRADA

Conocimientos y retroalimentación: la manera más efectiva de superar la barrera de la capacidad física es con asistencia directa por parte de una persona o sistema experto que pueda guiar al usuario hacia una ruta de progresión paulatina (Oliveira et al., 2017). La falta de conocimientos previos e incapacidad de emitir un juicio informado respecto al propio rendimiento en individuos no entrenados es una de las principales causas de estancamiento, frustración, y abandono de las rutinas de ejercicios (Dishman et al., 1985).

Tiempo: El factor más común como barrera, especialmente en la población adulta, son aquellas actividades que ya se están haciendo; las responsabilidades de mantenimiento del hogar, carga laboral y obligaciones sociales toman precedente por sobre la realización de ejercicio (McArthur et al., 2014), la falta (o percepción de falta) de tiempo en la rutina diaria obstaculiza la disposición a comenzar a hacer deporte.



Ejercicio anaeróbico de fuerza. (2019). Jonathan Borba. <https://www.unsplash.com>

ASISTENCIA A LA ACTIVIDAD FÍSICA

A la hora de promover la realización de actividad física existen 3 variables a considerar: cantidad, intensidad y duración. Todas estas se encuentran vinculadas entre sí, pero es importante mencionar que no es necesario alterar las 3 para lograr un resultado positivo, cualquier aumento en alguna de ellas trae consigo los beneficios asociados a la realización de deporte (Pollock et al., 1998). Entonces ¿Cómo propiciamos un aumento en la cantidad, intensidad y/o duración del ejercicio?

Fueron expuestas previamente las barreras y dificultades a las que se enfrentan los individuos; evidentemente, superar cualquiera de estas tendría un efecto positivo sobre la realización de actividad física, sin embargo, la mayoría de estas variables, el espacio, el acceso a equipamiento, el tiempo, etc., son estáticas y dicotómicas, en una situación determinada tienes o no el espacio mínimo, tienes o no el equipamiento necesario, tienes o no el tiempo suficiente.

Por otro lado, la variable asociada al conocimientos y la retroalimentación es dinámica, se debe adaptar a la situación actual del individuo y planear una ruta a seguir a continuación; es altamente sensible a la calidad de la información, más que si se recibe o no retroalimentación (porque siempre se recibe de alguna o otra forma, ya sea por la propia percepción o por observación externa), lo importante es qué factores se están tomando en cuenta, cómo es entregada la información y qué

tan aptas son las recomendaciones que se dan a partir de los datos levantados (Normand, 2008)

Existen múltiples recursos para prestar este apoyo, ya sea desde el método tradicional de un entrenador supervisando la actividad y administrando su continuación, hasta la autorregulación individual asistida por tecnología. En la actualidad (y en el contexto aislado del ejercicio en casa), sistemas digitales que trabajan en conjunto con el usuario han demostrado ser efectivos en incentivar la realización de actividades deportivas y propiciar una correcta ejecución de estas mismas; esto se logra poniendo al usuario al centro y extrayendo información tanto literal como implícita de su actividad (Fig. 11) (op den Akker et al., 2014).

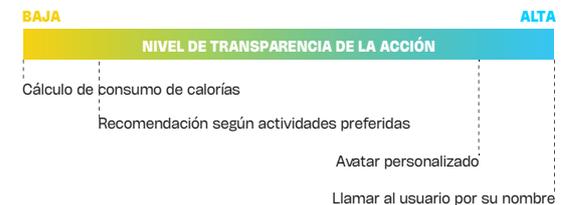
Entregarle la capacidad al usuario de visualizar su progreso y darle retroalimentación instantánea según su rendimiento, así como la capacidad de adaptar rutinas a sus niveles actuales de aptitud física y energía, y proponer según estas una ruta de progresión a seguir, tiene efectos positivos directos sobre la relación del usuario con el ejercicio; siendo los factores más importantes la manera en que se entrega la información y la presentación de metas claras y alcanzables a corto-mediano plazo (op den Akker et al., 2014).

En el contexto de la actividad física en el hogar, estudios realizados sobre el

comportamiento de usuarios en situación de encierro durante la reciente pandemia de COVID-19 demuestran una relación positiva entre el autorregulación asistido del ejercicio y el nivel de adherencia a rutinas, la calidad percibida de la actividad, y los niveles de motivación (Newbold et al., 2021).

En fin, existe un vínculo entre la presencia de equipamiento deportivo y espacio para utilizarlo en el contexto de vivienda (Jakicic et al., 1997), pero la mayor correlación solo se encuentra al aislar la variable de motivación individual, la cual puede ser trabajada a través del apoyo directo en el caso de personas no activas.

Fig. 11: Acciones por tipo de información recopilada en asistentes virtuales.



Fuente: op den Akker et al. (2014).

CASO DE ESTUDIO: VOLANTES DE INERCIA

Esta sección va a parecer adelantada y fuera de lugar, por lo que creo que merece una explicación: este proyecto es la continuación de una investigación similar conducida previamente por el autor para el proceso de titulación, pero enfocada en el deporte en los espacios públicos como respuesta a los espacios reducidos privados, más específicamente en la modificación de la infraestructura de máquinas anaeróbicas ya existentes en las plazas (Fig. 12). Esta contaba con un marco teórico, levantamiento de información, y formulación ya concretados; a la hora de desarrollar el proyecto se comenzó a trabajar con un mecanismo llamado volante de inercia que presentaba beneficios por su adaptabilidad a distintos movimientos y rangos de esfuerzo, volumetría compacta, y facilidad de uso. Sin embargo, este sistema resultó no ser ideal para la aplicación en plazas por 2 razones:

- 1) No resolvía una de las principales problemáticas que se habían levantado para el desarrollo del deporte en las áreas públicas: la vergüenza e inseguridad.
- 2) El mecanismo de volante de inercia presentaba un gran potencial en el aspecto de adaptabilidad, tanto a distintos espacios como a usuarios, que estaba siendo parcialmente desperdiciado al ser aplicado en una infraestructura estática con un rango de movimiento fijo.

Por esto, se decidió cambiar el enfoque hacia trabajar directamente con el usuario en el contexto del espacio reducido, evitando en cierta medida la problemática de la vergüenza e inseguridad pública y aprovechando lo más posible el potencial de los volantes de inercia. Así, el mecanismo pasó a ser un pilar fundamental del marco teórico del nuevo proyecto.

Fig. 12



Máquinas en plazas públicas de Santiago. (2015). Gobierno Regional de Santiago. <https://www.gobiernosantiago.cl>

VOLANTES DE INERCIA

Históricamente utilizados como método de almacenamiento de energía, los volantes de inercia son un elemento rotacional que agrega inercia adicional a un mecanismo. Esencialmente, es una rueda que rota junto al mecanismo cuando este está activo, pero que continúa rotando sobre el eje luego de que este frena (Fig. 13).

Esta energía cinética adicional generada por el volante de inercia es utilizada como método de frenado regenerativo en vehículos eléctricos, en prensas mecánicas, generadores eólicos, y, junto a múltiples otros mecanismos a lo largo de la historia, en máquinas de ejercicio.

Los volantes de inercia en el contexto deportivo tienen una aplicación distinta a la tradicional de almacenamiento de energía, son utilizados como método de generar resistencia a través de la energía cinética restante en reemplazo de los métodos tradicionales que utilizan fuerza gravitacional, roce o elasticidad.

La aplicación del mecanismo en el ámbito deportivo genera la rotación inicial al tirar de una cuerda adherida al eje de la máquina, y utiliza la inercia rotacional restante para volver a enrollar la cuerda hasta su posición inicial, como un gran juguete yo-yo; Así, el usuario debe hacer un esfuerzo tanto para hacer girar el volante de inercia como para controlar su frenado, esto implica una excursión similar en la parte concéntrica como excéntrica del movimiento.

Un mecanismo de volante de inercia genera fuerza según su energía cinética, la cual responde (de manera simplificada) a 3 variables: la masa del volante, el radio de giro, y la velocidad angular. Es decir que, manteniendo el objeto constante, mientras mayor sea la velocidad a la que el usuario hace girar el volante, mayor será la fuerza necesaria para controlar el frenado, permitiendo así que un solo producto se adapte a múltiples niveles de esfuerzo.

energía cinética = $1/2 \times$ momento de inercia \times velocidad angular²

$$E = 1/2 \times (I \times \omega)^2$$

donde:

momento de inercia = masa \times radio de rotación²

$$I = (m \times r)^2$$

La utilización de máquinas de ejercicios basadas en volantes de inercia presenta una posible solución para los usuarios que habitan en espacios reducidos, puesto que permite concentrar el equivalente a múltiples máquinas deportivas en un solo objeto, y a la vez entrega beneficios a la salud física y el desarrollo deportivo únicos (los cuales caracterizamos a continuación). Sin embargo, las alternativas actuales en el mercado presentan una serie de problemáticas relacionadas a la accesibilidad, la optimización de su volumetría, y a la falta de variedad en sus aplicaciones.

DIFFÍCIL DE IMAGINAR, HAZ CLICK EN EL ICONO PARA VER UN VIDEO

Fig. 13



Volante de inercia deportivo. (2020). Exerfly. <https://exerflysport.com>

VOLANTES DE INERCIA: BENEFICIOS DEPORTIVOS



Volante de inercia deportivo en uso. (2016). Athletic Lab. <https://www.athleticlab.com/>

La implementación de los volantes de inercia en el ámbito deportivo a demostrado tener beneficios comparables y en instancias superiores a los métodos tradicionales de acondicionamiento físico anaeróbico (peso libre, elásticos, y peso corporal) en materias de hipertrofia, fuerza, rendimiento físico, y prevención de lesiones.

La realización de ejercicios con volantes de inercia, según un conglomerado de estudios realizados en usuarios sanos, a resultado en aumentos de 5-13% de masa muscular, 11-39% en contracción voluntaria máxima, 12-25% en 1 repetición máxima 21-90% en fuerza excéntrica, 10-33% en poder muscular, 6-15% en capacidad de salto vertical, 2-10% en velocidad de carrera, y hasta 35% en actividad electromiográfica (Maroto-Izquierdo et al., 2017).

Los resultados indican una mayor translación a la ejecución de movimientos "funcionales", con efectos directos sobre el desarrollo de la musculatura inferior y su aplicación en capacidad de saltos y carreras (Arsenis et al., 2021), la musculatura superior y la capacidad de empuje y lanzamiento en jugadores de handball (Maroto-Izquierdo et al., 2020), y la coordinación general de movimientos complejos en jugadores de fútbol como movimientos laterales, frenos bruscos y giros (Fiorill et al., 2020); adicionalmente, la práctica regular de estos ejercicios demostró promover la prevención de lesiones al realizar actividades deportivas,

y reducir los tiempos de recuperación (de Hoyo et al., 2015).

Los estudios comparativos entre los ejercicios con volantes de inercia y los entrenamientos tradicionales determinan que la curva de aprendizaje y la progresión para los usuarios no entrenados es similar, sin embargo, en el caso de los ejercicios de inercia, estos pueden ser autorregulados (sin la asistencia de especialistas externos) con resultados comparables a los tradicionales (Westblad et al., 2021). Por otro lado, incluso para aquellos individuos entrenados en métodos tradicionales, la adición de entrenamiento excéntrico lleva a un incremento en resultados de ejecución de fuerza (Walker et al., 2016), cuantificables incluso después de una sola sesión de entrenamiento con volantes de inercia (Annibalini et al., 2019).

03 FORMULACIÓN DEL PROYECTO

- OPORTUNIDAD DE DISEÑO
- OBJETIVOS
- PERFIL DE USUARIO
- CONTEXTO DE IMPLEMENTACIÓN
- METODOLOGÍA PROYECTUAL



OPORTUNIDAD DE DISEÑO

Del análisis de la investigación realizada en el marco teórico se levanta la siguiente problemática de diseño: Existe un alto nivel de sedentarismo en la población, causado en parte por la falta de implementos para el desarrollo de la actividad física, específicamente el ejercicio anaeróbico, en los espacios habitacionales de tamaño reducido, y la ausencia de opciones que permitan a los usuarios inexpertos realizar deporte por su cuenta sin importar su nivel de habilidades.

De esto se desprende la oportunidad de diseño:

Necesidad de un sistema producto adaptable al espacio habitacional que pueda ser usado por usuarios inexpertos con cualquier nivel de capacidad física y los apoye en toda instancia de su progreso.



Torres de estación central. (2019). CIPER. <https://www.ciperchile.cl>

OBJETIVO GENERAL

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un producto compacto que facilite a usuarios inexpertos la realización de actividades físicas anaeróbicas de resistencia en espacios habitacionales reducidos en Chile.

¿QUÉ?

Sistema compacto para la realización de deporte anaeróbico, que permita un mayor rango de ejerción de esfuerzo, mejores resultados de activación muscular, y, junto a un apoyo virtual, fomente y facilite el aprendizaje de los ejercicios.

¿POR QUÉ?

Las alternativas actuales en el mercado para la realización de deporte anaeróbico en el espacio privado son costosas, requieren espacios amplios para su utilización y almacenaje, y requieren de un alto nivel de entrenamiento previo para su correcta realización.

¿PARA QUÉ?

Para estimular y potenciar el bienestar físico de la población con alternativas que tengan resultados efectivos y sean viables desde un punto de vista económico y de potencial físico individual; beneficiando así su calidad de vida, y evitando potenciales problemas a la salud futuros.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Otorgar una alternativa compacta para la realización del ejercicio anaeróbico.

IOV

Medición de las dimensiones de guardado y uso de la propuesta. Las limitantes a utilizar son las medidas mínimas para los espacios de habitación y closets impuestas por el MINVU.

OBJETIVO ESPECÍFICO 2

Fomentar el aprendizaje y la ejecución de posturas y movimientos correctos al hacer ejercicios anaeróbicos.

IOV

Análisis visual por parte de profesionales del área de la medicina deportiva.

OBJETIVO ESPECÍFICO 3

Presentar una propuesta que permita a los usuarios inexpertos realizar ejercicio anaeróbico desde cualquier nivel de habilidades.

IOV

Medición del nivel de esfuerzo y su variación dentro de una serie.

OBJETIVO ESPECÍFICO 4

Facilitar el montaje del implemento para ejercicio anaeróbico en múltiples contextos de uso.

IOV

Análisis cuantitativo de las superficies y espacios de uso donde se puede implementar la propuesta.

PERFIL DE USUARIO

Si bien los beneficios del entrenamiento físico anaeróbico no están limitados a ningún sector poblacional, ya sea etario, por nivel de actividad, socioeconómico o según factor de riesgo (Feigenbaum, Pollock, 1999); este proyecto busca presentar soluciones en los casos más afectados por la falta de espacio, tiempo y recursos para la realización del entrenamiento de resistencia.

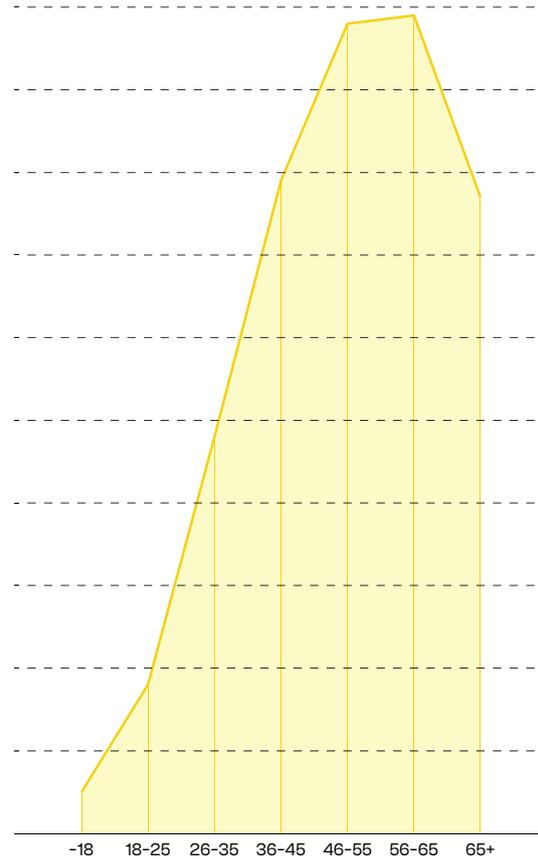
A nivel global, la población adulta joven es la que reside mayoritariamente en espacios de menor tamaño tras la edad de independización (Fig. 15), a su vez, son el rango etario con menores ingresos (Fig. 14) y, a nivel nacional, la mayor tasa de arriendo de vivienda (Fig. 16). Esto delimita la edad de nuestro usuario.

Por otro lado, el enfoque como incentivo a la realización de actividad física de resistencia de este proyecto tiene como principal desafío permear en la rutina de aquellos usuarios que **no** son actualmente activos, enfocarse en personas que ya hacen deporte regularmente podría dificultar discernir cuáles son las variables claves que determinan la actividad física de aquellos que no la realizan. De esta manera establecemos el nivel de actividad de nuestro perfil de usuario. Finalmente, concluimos que nuestros usuarios críticos son:

Adultos jóvenes ocupados entre 25 y 35 años, que habitan en departamentos con espacio reducido en la ciudad Santiago,

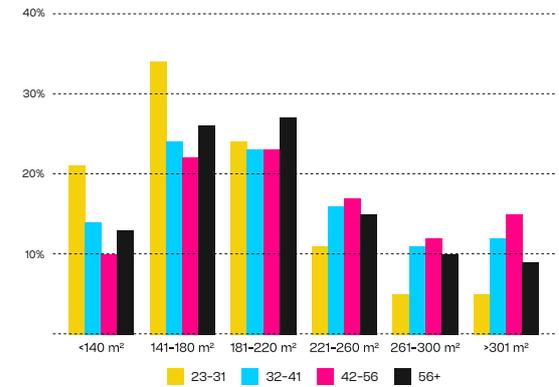
y no realizan actividad física de manera regular.

Fig. 14: Cambio en el ingreso promedio por edad.



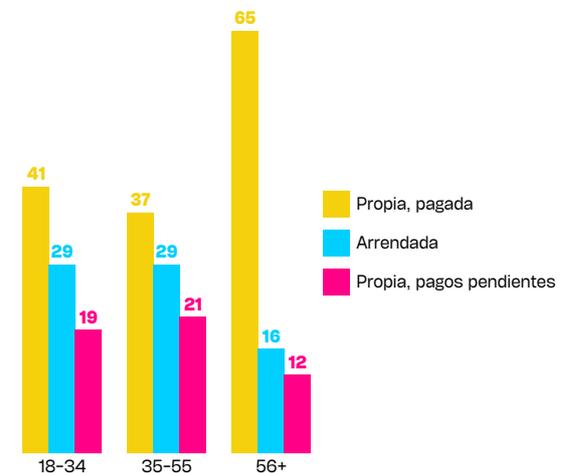
Fuente: IRS (2017).

Fig. 15: Tamaño de la vivienda por edad.



Fuente: Statista (2021).

Fig. 16: Propiedad sobre la vivienda por edad.



Fuente: Cadem (2022).

PERFIL DE USUARIO

CAROLINA (30)

VIVE CON AMIGOS/PAREJA

SIN HIJOS

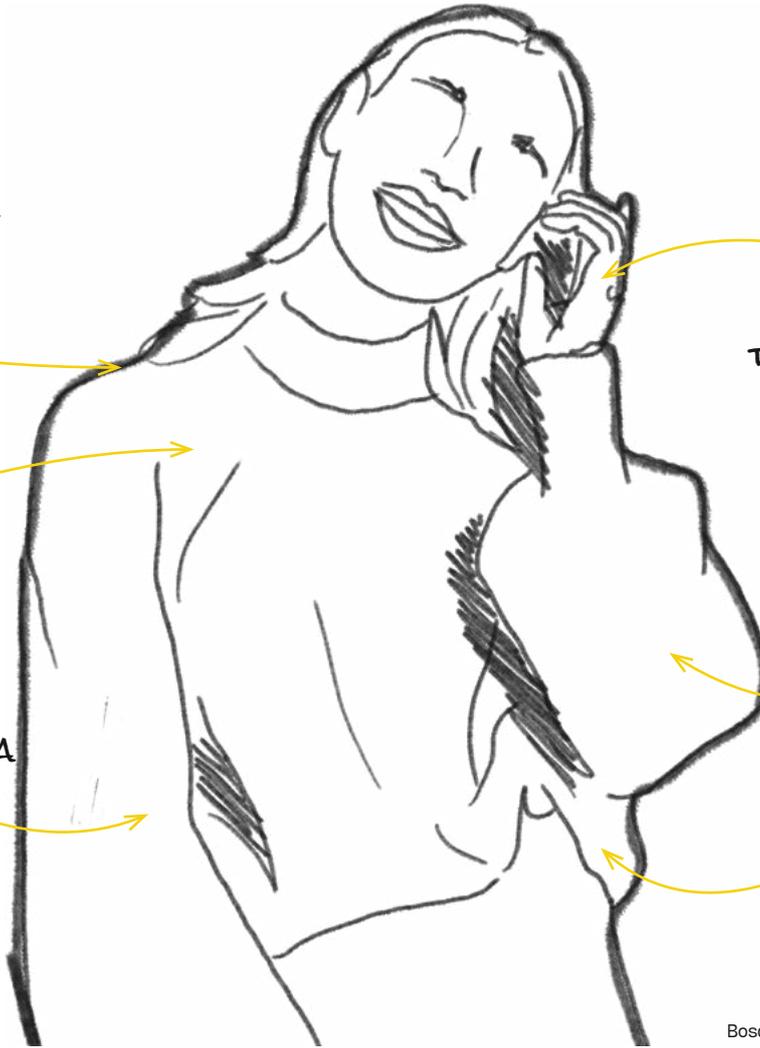
HOBBIES: MANUALIDADES,
MÚSICA, JUEGOS Y LECTURA

TRABAJA SEMI-PRESENCIAL

Y SENTADA TODO EL DÍA :(

NO HACE DEPORTE

FUERTE PRESENCIA ONLINE



Bosquejos representativos de usuario. (2022). Elaboración propia.

CONTEXTO DE IMPLEMENTACIÓN



Departamentos pequeños de la ciudad de Santiago. (2022).
Elaboración propia.

El proyecto está pensado para ser implementado en el contexto de departamentos habitacionales de espacio reducido (según lo establecido anteriormente en base a las limitaciones impuestas por el MINVU) de la ciudad de Santiago, específicamente en la habitación principal de los usuarios.

Dentro de este contexto, el sistema propuesto está dirigido para su uso esporádico en espacios temporales de baja actividad durante la rutina de los usuarios, esta cualidad oportunista implica que la propuesta debe considerar un proceso eficiente de instalación y guardado, por lo que se considera dentro del contexto de implementación los espacios de almacenamiento dentro de las habitaciones, a modo de estandarización, se trabajó de manera específica con los closets.

Si bien los espacios habitacionales son el principal foco del proyecto, la capacidad de traslado y adaptación a distintos contextos se considera crucial para acoplar la propuesta a la rutina dinámica de los usuarios. Como presentar todos los distintos contextos posibles de uso se considera fuera de los alcances de este proyecto, se enfocó en trabajar con el más transversalmente accesible a todos los usuarios: las plazas y parques públicos; el contexto de implementación de las áreas verdes trae consigo desafíos espaciales y estructurales radicalmente distintos a los de los espacios habitacionales.

Si bien este proyecto trabaja dentro de un sector acotado considerando el volumen nacional y global de espacios privados y públicos con potencial de ser usados para la realización de actividad física, su diseño fue desarrollado con el objetivo de poder extrapolar sus resultados dentro del contexto de implementación determinado a múltiples otros espacios que compartan características similares.

METODOLOGÍA PROYECTUAL

Para determinar la metodología a utilizar en el proyecto se tomaron en cuenta 3 factores limitantes:

1) Tiempo: los productos suelen pasar por procesos extensos de desarrollo antes de llegar a una solución apta para el mercado, por las limitaciones de tiempo de este proyecto se requiere una metodología que permita acelerar el proceso para acercarse lo más posible a un resultado final viable.

2) Recursos: al ser una proyecto en etapas tempranas de desarrollo y con una fuente de financiamiento basada en el salario de un estudiante de pregrado, el proceso de prototipado debe ser acotado a múltiples iteraciones de bajo costo que permitan validar rápidamente cada parte individual del proyecto.

3) Usuario: poner la interacción con el usuario como cimiento del desarrollo de cada parte del proyecto, para no trabajar múltiples partes individuales que al ser aplicadas en contexto de uso no cumplan con los objetivos estipulados.

Tomando esto en cuenta, se decidió trabajar con una versión modificada del "agile design" (Fig. 17), puesto que esta satisface los factores limitantes principales levantados. Se dice modificada porque ciertos aspectos de la metodología ágil

original no aplican de manera literal a este proyecto, tales como la colaboración con clientes, reemplazada por la interacción con usuarios, y el enfoque en diseño de software, reemplazado por diseño de objetos (Beck et al., 2001).

Fig. 17



Ilustración de la metodología "agile design" modificada. (2022).
Elaboración propia.

04

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

- LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO
- ENTREVISTAS A USUARIOS
- EQUIPO DE TRABAJO
- PATRONES DE MOVIMIENTO FUNDAMENTALES
- ANTECEDENTES Y REFERENTES



LEVANTAMIENTO FOTOGRÁFICO



Closets en departamentos de espacio reducido en Santiago. (2022). Elaboración propia.

Se realizaron visitas a las viviendas de personas dentro del perfil de usuario y un levantamiento fotográfico de sus habitaciones y espacios de guardado privados. Esto para complementar la información bibliográfica del marco teórico respecto a la conceptualización de qué es un espacio reducido.

De este proceso se observó que las limitaciones del espacio son aún más acotadas de lo previamente visto, si bien el plan de una vivienda puede seguir las normativas impuestas por el MINVU, la adición de mobiliario extra y la imposibilidad de mantener constantemente las áreas de tránsito despejadas y limpias, así como la falta de espacio en los closets, hace

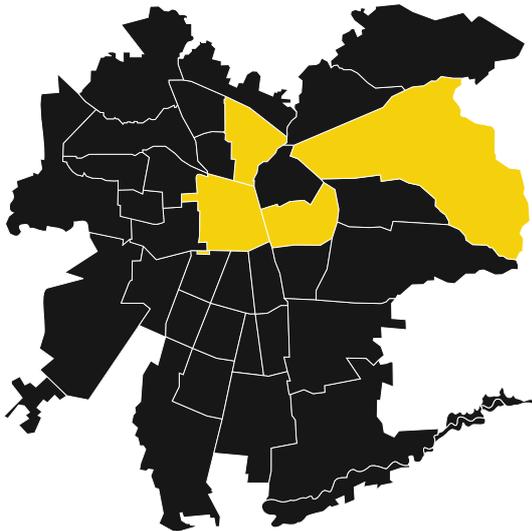
hincapié en la necesidad de entregar una propuesta lo más compacta posible tanto en su uso como en su guardado.



Dormitorios en departamentos de espacio reducido en Santiago. (2022). Elaboración propia.

ENTREVISTAS A USUARIOS

Se realizaron entrevistas presenciales semi estructuradas a 6 personas que estaban dentro del perfil de usuario definido para determinar sus rutinas, su nivel de actividad física, y sus principales dolencias y expectativas a la hora de hacer ejercicio.



Mapa de residencia de usuarios entrevistados. (2022).
Elaboración propia.

CAROLINA (32) **SANTIAGO**

“Desde que volvió mi compañera [cohabitante] no me gusta poner la colchoneta en la mitad de la salita.”

“En el cuarto me tropiezo, no son solo muebles tengo todas mis cosas ahí.”

CAROLINA (30) **SANTIAGO**

“Trabajo en las noches y de repente vuelo toda una semana, entonces no me sirve comprarme pesas o pagar un gimnasio si casi nunca lo voy a poder usar.”

ANDRÉS (29) **LAS CONDES**

“Hay un árbol abajo del edificio, pero me da vergüenza estar haciendo [ejercicio] en la vereda.”

“Como es arrendado [su departamento] no podemos cambiarle nada, estaba buscando comprarme una barra para la puerta pero se tiene que atornillar y no nos dejan.”

“Parto rutinas, super emocionado, siento que no hago nada o que no avanzo y las dejo de hacer.”

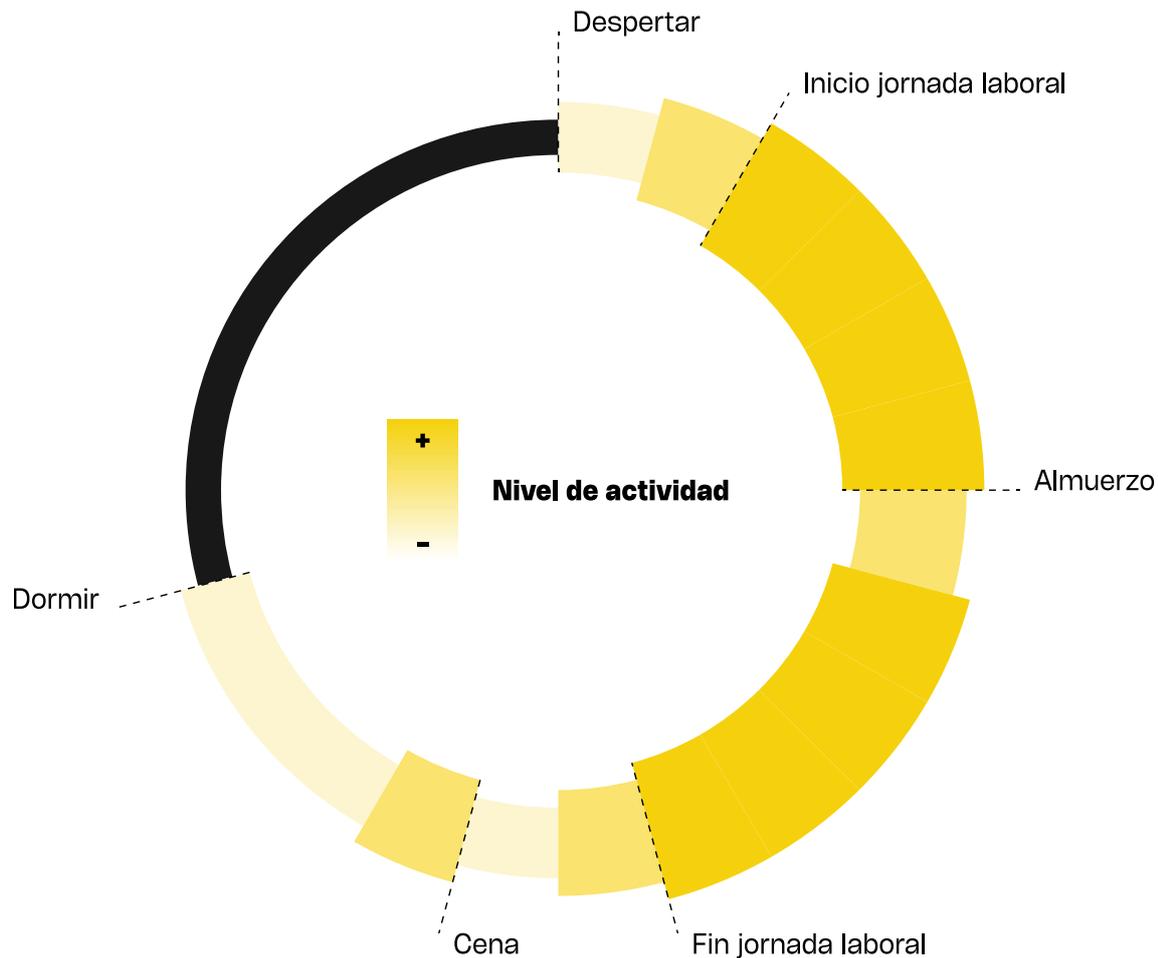
FRANCISCO (27) **ÑUÑO A**

“En general lo encuentro súper fome, si tengo tiempo libre lo prefiero ocupar en otra cosa”

BETTY (35) **RECOLETA**

“No, yo ya no tengo tiempo, antes claro uno se preocupaba de uno misma, pero ahora llevo y tengo que cuidar la casa, ver a mis niñas.”

ENTREVISTAS A USUARIOS



De las entrevistas a usuarios, sumado al levantamiento de información visual en terreno, se sacaron las siguientes conclusiones con respecto a la propuesta:

- 1) No puede requerir ningún elemento de montaje permanente, tanto por las limitaciones de los usuarios a modificar su vivienda como arrendatarios, como para evitar invadir su espacio de habitabilidad.
- 2) El tiempo es clave, la propuesta debe ser rápida y fácil de instalar y desinstalar, la interacción en su totalidad debe poder ser ejecutada en 30 minutos o menos.
- 3) La propuesta debe poder guiar e incentivar al usuario con una progresión clara.
- 4) Los espacios de tiempo libre de los usuarios no son consistentes en su locación ni en su horario, si bien el contexto principal de uso es el espacio habitacional, la propuesta debe ser trasladable y utilizable en múltiples contextos.

EQUIPO DE TRABAJO

La temática del deporte es una ciencia, tiene componentes de biomecánica, bioquímica y patrones de comportamiento psicológicos que simplemente no pueden ser cubiertos por una serie de entrevistas y una recopilación bibliográfica de alguien inexperto. Por esto, se decidió trabajar con un equipo de expertos en ciencias de la salud, conformado por dos licenciados de medicina de la Pontificia Universidad Católica y el kinesiólogo deportivo, Alfonso Cusicanqui.

Los roles del equipo se pueden dividir en 3 campos:

- 1) Complementar desde la perspectiva de las ciencias deportivas los fundamentos y limitaciones de diseño sobre los que se desarrolla el proyecto.
- 2) Dar su opinión y retroalimentación en partes clave del proceso de diseño.
- 3) Emitir un juicio de valor sobre la propuesta final y proponer posibles proyecciones.

Estos roles se traducen en tareas como elaborar la rutina básica para presentar el proyecto, comprobar la correcta ejecución de los ejercicios para la validación del cumplimiento de los objetivos, y presentar una perspectiva que cambia por completo el enfoque de uso que se le da al producto (presagio para el final de este informe). La

primera de estas tareas fue determinar cuáles son los movimientos claves sobre los que la propuesta debería trabajar; al no existir una prueba estándar para comprobar el funcionamiento de cierto implemento deportivo, se decidió trabajar con los grupos musculares más utilizados en el día a día y en contextos deportivos, y los movimientos que más se enfocan en cada uno de ellos; así, se establecieron los patrones de movimiento fundamentales, caracterizados a continuación.



Trinidad L. y Vicente E., licenciados de medicina asesores del proyecto. (2022). Elaboración propia.



Alfonso Cusicanqui, kinesiólogo deportivo asesor del proyecto. (2022). Elaboración propia.

PATRONES DE MOVIMIENTO FUNDAMENTALES

EMPUJÓN

Músculos: gran pectoral, deltoides, tríceps braquial, trapecio.

Ejercicios empujón vertical: levantamiento sobre la cabeza, levantamiento lateral, levantamiento frontal.

Ejercicios empujón horizontal: flexiones de brazos, press de pecho, voladores.

SENTADILLA

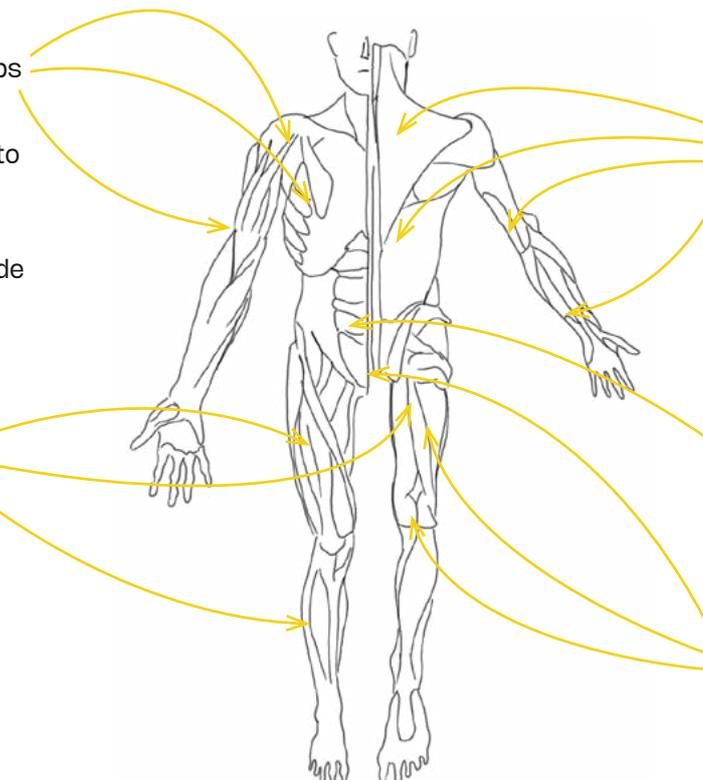
Músculos: glúteo, cuádriceps femoral, sartorio, aductor largo, gemelos.

Ejercicios: sentadillas.

ESTOCADA

Músculos: glúteo, cuádriceps femoral, sartorio, aductor largo, gemelos.

Ejercicios: estocadas de una pierna.



TIRÓN

Músculos: dorsal ancho, redondo mayor, trapecio, bíceps braquial, extensor de los dedos.

Ejercicios tirón vertical: barras, remo vertical.

Ejercicios tirón horizontal: remo.

ROTACIÓN DE TORSO

Músculos: oblicuo del abdomen, recto del abdomen, serrato anterior.

Ejercicios: Rotación de torso.

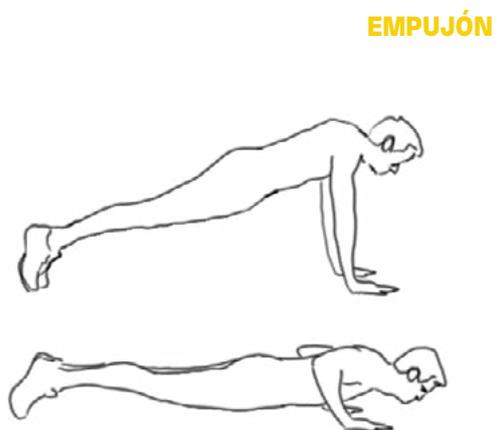
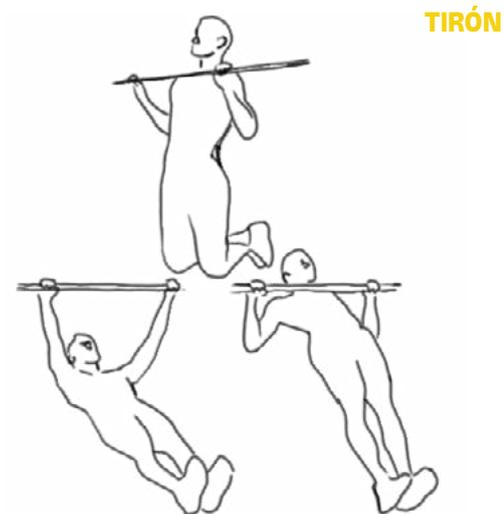
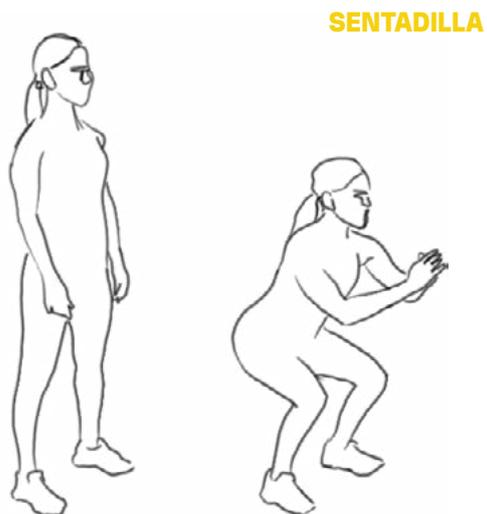
FLEXO-EXTENSIÓN DE CADERA

Músculos: glúteo, cuádriceps femoral, erectores de la columna-músculos lumbares, recto femoral.

Ejercicios: Peso muerto, puente de gluteo.

Bosquejo sistema esquelético muscular. (2022).
Elaboración propia.

PATRONES DE MOVIMIENTO FUNDAMENTALES



Bosquejos representativos de los patrones de movimiento fundamentales. (2022). Elaboración propia.

ANTECEDENTES

BANDAS ELÁSTICAS

Probablemente la principal solución ya existente a la problemática de diseño levantada, las bandas elásticas utilizan una morfología dinámica y se aprovechan de las propiedades físicas de la elasticidad para permitir un amplio rango de movimientos en una solución compacta.

Si bien amplían su rango de esfuerzo con bandas de múltiples resistencias distintas, un desafío a superar es en la capacidad de adaptarse instantáneamente al esfuerzo generado por el usuario, en vez de presentar una resistencia estática. Por otro lado, las bandas suelen tener dificultades para adaptarse a rangos de movimientos de distinta amplitud y dirección, por lo que necesitan la atención directa de un especialista.



Bandas elásticas. (2020). Pavel Danilyuk. <https://pexels.com>



Garmin Epix. (s.f.). Garmin. <https://www.garmin.com>

RELOJES GARMIN

Garmin, junto a otros relojes inteligentes, se utilizó como base para el desarrollo de un asistente virtual para el desarrollo del deporte. Demuestra que con unas pocas métricas claves, como un podómetro y un localizador GPS, se puede entregar al usuario información valiosa tanto durante la ejecución de la actividad física como de manera global, tal como su nivel de esfuerzo, su progreso, y recomendaciones a seguir.

Se extrae de la interfaz de los relojes Garmin el valor de entregar la información en datos concisos, transparentes, y con una visualización fácil de entender en contextos de atención dividida (como cuando se está haciendo deporte).

TONAL

Una máquina de musculación multiuso, funciona a través de resistencia electromagnética mediante el control de imanes cargados; muestra la capacidad de generar rutinas completas de ejercicio con el acceso a unos pocos puntos de anclaje y un peso controlable. Además, se utilizó su interfaz integrada como modelo a seguir para la comunicación de información en tiempo real al usuario.

Si bien Tonal soluciona por completo la falta de acceso a implementos deportivos, y la guía durante el progreso y la realización de las rutinas; presenta graves problemáticas para el perfil de usuario desde una perspectiva de costos, necesidad de montaje permanente, uso del espacio y falta de portabilidad.



Tonal. (s.f.). Tonal. <https://www.tonal.com>

ANTECEDENTES: VOLANTES DE INERCIA

EXXENTRIC KBOX

La principal marca de volantes de inercia para fines deportivos, Exxentric kBox utiliza una base dentro de la que se encuentra el mecanismo. Al igual que el resto de los referentes directos se utilizó como punto de inicio para comprender el mecanismo de volantes de inercia, y sus morfologías y materialidades más comunes.

La kBox tiene la problemática de ocupar mucho espacio, especialmente considerando lo compacto del mecanismo mismo, no presentar soluciones para el guardado, y depender de un solo punto de ancla, lo que disminuye la cantidad de movimientos que se pueden realizar.



Exxentric kBox. (s.f.). Exxentric. <https://exxentric.com>



Kynett ONE. (s.f.). Kynett. <https://www.kynett.com>

KYNETT ONE

Kynett presenta una alternativa transportable y de menor tamaño que el resto de las opciones en el mercado, a través de un montaje con cintas el volante se puede acoplar a múltiples superficies, siempre y cuando exista un punto de apoyo firme alrededor del cual se pueda pasar la huincha. Esta portabilidad y versatilidad de uso fue el componente principal a rescatar para el desarrollo de la propuesta.

Si bien presenta soluciones a parte de las problemáticas levantadas, ONE sigue teniendo una morfología incómoda para el guardado, y la limitante de requerir un punto de anclaje con una forma específica para su instalación dificulta su implementación en contextos habitacionales reducidos.

EXERFLY RACK MOUNT

Este volante de inercia se monta sobre un perfil de fierro perforado, permitiendo adoptar múltiples puntos de anclaje y, con ello, expandiendo el potencial de movimientos que se pueden realizar.

Si bien la integración de múltiples partes permite facilitar el proceso de guardado, la necesidad de acoplar el perfil a una muralla o a un conjunto deportivo de mayor peso trae nuevamente problemáticas en el contexto de los espacios habitacionales reducidos.



Exerfly Rack Mount. (2020). Exerfly. <https://www.exerfly.com>

REFERENTES

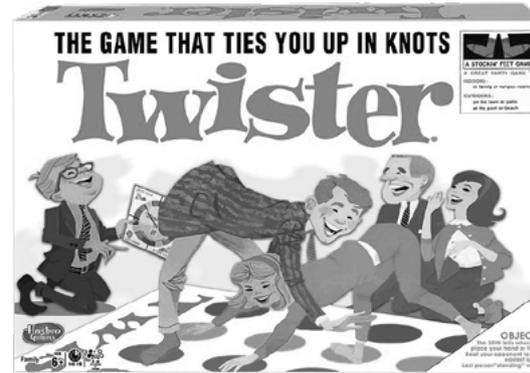
BARCODE ROOM

Hablar de micro departamentos en el proyecto para espacios habitacionales reducidos puede parecer redundante, pero el valor que Barcode Room y otros similares traen a la propuesta es la capacidad de utilizar la morfología como un elemento dinámico en vez de estático.

En esta pieza, todo elemento cumple múltiples funciones según las necesidades del momento, si un organizador comparte parte de su geometría con una silla, se pueden combinar; si se tiene acceso a una superficie amplia de muro se puede construir un closet en ella. Barcode Room muestra que para presentar una solución realmente eficiente al problema del espacio no basta reducir el tamaño, hay que buscar cómo hacer mucho con poco.



Barcode Room. (s.f.). Studio 01. <https://architazer.com>



Twister. (s.f.). Hasbro. <https://shop.hasbro.com>

TWISTER

Twister es un juego que tiene la capacidad de, a través de breves instrucciones de un solo movimiento, generar un patrón de juego complejo y forzar a los usuarios a adoptar ciertas posturas, interacciones entre ellos, y actitudes lúdicas. Esta es una teoría común a múltiples juegos, donde el sujeto en vez de ser encasillado en una acción particular, es guiado por una seguidilla de múltiples acciones.

De este ejemplo se extrajo la capacidad de que el producto interactúe con el usuario en forma de varios pequeños pasos fáciles de comprender para que ejecute los movimientos correspondientes.

UPHOLD CUP

Vasos de café inspirados en el origami que utilizan su morfología para fácilmente plegarse y desplegarse. Este referente se utilizó como inspiración para diseñar en la forma misma la cantidad mínima posible de cortes o ejes de rotación que le permitieran al objeto plegarse y ser trasladado o guardado.

De la misma manera, se tomó el valor que se le da no sólo a la capacidad de cambiar la forma y reducir el tamaño, sino también a la interacción del usuario con la acción de pliegue y despliegue, preocupándose que sea cómoda, rápida, e intuitiva.



Uphold Cup. (2022). Uphold. <https://www.yankodesign.com>

05 PROCESO DE DISEÑO

Para la presentación del desarrollo del proceso de diseño se realizó una descomposición de las partes principales de la propuesta y se analizaron individualmente, manteniendo la composición de la sección lo más fidedigna posible a la línea de tiempo del proceso de diseño.



ANATOMÍA DEL VOLANTE DE INERCIA

VOLANTE DE INERCIA

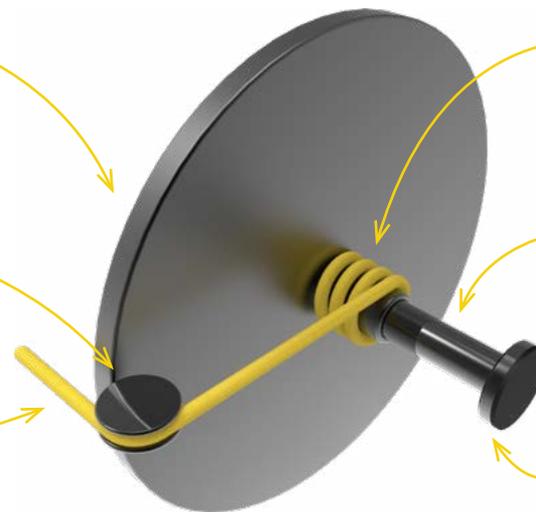
Problemáticas levantadas: pesada, costosa de producir, morfología estática e incómoda, requiere cambio para aumentar la resistencia percibida.

ROLDANA-PIVOTE

Problemáticas levantadas: falta de adaptabilidad a múltiples movimientos y posiciones.

PIOLA

Problemáticas levantadas: la falta de control sobre su extensión dificulta el posicionamiento durante el ejercicio.



Render esquemático de un mecanismo de volante de inercia. (2022). Elaboración propia.

CARRETE

Problemáticas levantadas: demora en enrollarse en el movimiento excéntrico, interrumpe la fluidez del ejercicio.

EJE DE ROTACIÓN

Problemáticas levantadas: Roce con el carrete disminuye la velocidad de rotación y con ella la energía generada.

MONTAJE

Problemáticas levantadas: requiere de instalaciones permanentes para ser montado, limita las posiciones y el rango de movimiento.

MECANISMO DEL VOLANTE

Fig. 18



Prototipo rápido de mecanismo de volante de inercia. (2022).
Elaboración propia.

El primer paso de fabricación del proceso de diseño fue la replicación del mecanismo base del sistema de volantes de inercia, es decir, comprender y construir las partes básicas necesarias para provocar un movimiento concéntrico de rotación que genere suficiente energía para forzar un consecuente movimiento excéntrico.

Para esto, se desarrolló en primer lugar una prueba rápida amarrando un cordón al aro interno de una bicicleta invertida (Fig. 18), este sencillo ejercicio permitió comprobar:

- 1) Cómo la inercia rotacional almacenada en la rueda de la bicicleta al desenrollar el cordón disipa su energía cinética en volver a enrollarlo.
- 2) Mientras más rápido se jala el cordón, mayor energía rotacional y más fuerte es el tirón excéntrico.

Luego, se construyó un prototipo rápido imitando el funcionamiento de los volantes de inercia deportivos existentes, con discos de acero acoplados a un tubo rotando sobre un eje, con una cuerda amarrada (Fig. 19). De este prototipo se sacaron 3 conclusiones:

- 1) El sistema base es fácilmente replicable, lo que valida la continuación del desarrollo del proyecto.
- 2) Además de la variable velocidad, el

cambio en el peso de la rueda tiene efectos notorios sobre la excersión de fuerza tanto en el movimiento concéntrico como en el excéntrico.

- 3) Es un factor fundamental en el almacenamiento de la energía cinética rotacional disminuir al mínimo el roce en todo momento del movimiento.

Fig. 19



Prototipo rápido de mecanismo de volante de inercia. (2022).
Elaboración propia.

MORFOLOGÍA DEL VOLANTE

Fig. 20



Prototipo rápido de volante de inercia con aspas. (2022).
Elaboración propia.

La primera gran problemática de los referentes existentes al aplicarlos al contexto de los espacios reducidos es el volumen que ocupan; esto se puede adjudicar principalmente a dos componentes: el acople, que será profundizado posteriormente en este informe, y la morfología del volante, que analizaremos a continuación.

En teoría, el único requisito que tiene un volante de inercia es rotar de manera uniforme sobre un eje, esto se traduce normalmente en una solución en forma de rueda, pero podría funcionar simplemente con un sistema de aspas con pesos en sus extremos, lo que permitiría disminuir la cantidad de material.

Para comprobar esto se realizó un prototipo rápido (Fig. 20) que demostró que se puede replicar el mismo movimiento con aspas que con ruedas, sin embargo, también trajo a luz que la cantidad de aspas no es irrelevante.

Para determinar el número ideal de aspas a utilizar recurrimos al diseño ya explorado de formas similares: los molinos de viento.

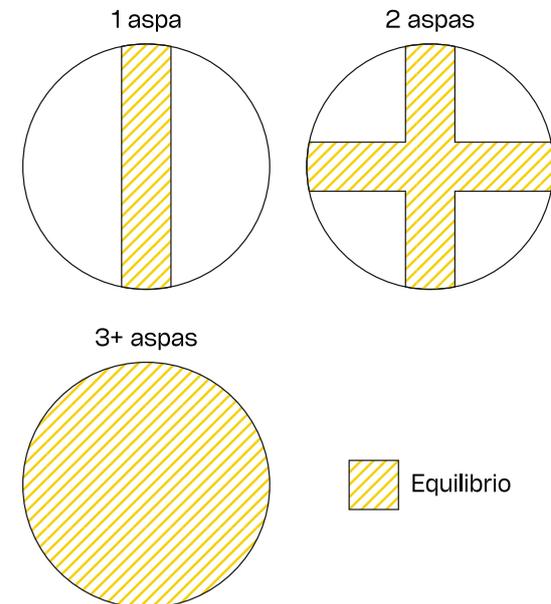
¿POR QUÉ NO 1 O 2?

Las aspas en reposo buscan un punto de equilibrio entre ellas (Fig. 21), esto implica que sistemas con 1 o 2 aspas se generan desbalances que interfieren con una rotación fluida y generan que los sistemas se tambaleen (Adeyeye, et al, 2021).

¿POR QUÉ NO 4 O MÁS?

Una vez logrado un equilibrio pasivo entre las aspas, cada unidad extra agregada presenta un rendimiento decreciente en fluidez de movimiento y aumenta el roce con el aire, lo que ralentiza la velocidad angular y, con ella, el esfuerzo total alcanzable (Adeyeye, et al, 2021).

Fig. 21: Posiciones de equilibrio pasivo.



Fuente: Elaboración propia (2022).

MORFOLOGÍA DEL VOLANTE: ASPAS

Fig. 22



Prototipo rápido de volante de inercia con aspas móviles. (2022).
Elaboración propia.

El cambio de discos a aspas no solo reduce la cantidad de material, sino también permite modificar la forma en pos de generar volumetrías más cómodas para el guardado y traslado. En esta línea, se trabajó la posibilidad de rotar las aspas sobre un eje en su base con el fin de lograr una posición activa o de uso, y una pasiva o de reposo.

Para esto se realizó en primer lugar un prototipo rápido para comprobar que el funcionamiento básico y la fluidez del mecanismo no se veían interrumpidos por el cambio (Fig. 22), confirmado esto, se procedió a trabajar la aplicación del sistema de aspas móviles al volante de inercia.

Primero, se determinó las dimensiones requeridas para cada aspa, para esto se utilizó la información ya existente en otros sistemas de volante de inercia con aplicaciones deportivas; esto con la intención de cubrir un rango similar de esfuerzo al de los antecedentes exitosos en el mercado. El proceso fue el siguiente: con el listado de antecedentes levantado anteriormente y la fórmula para calcular la energía cinética rotacional se establecieron los Joules mínimos y máximos que ofrecen con sus distintos discos para una velocidad de rotación dada (Tabla 3), para luego llevarlos al equivalente en un peso móvil (en realidad uno multiplicado por tres, para tomar en cuenta la presencia de tres aspas iguales) trasladándose sobre una línea recta (este sistema será profundizado en la próxima sección de pesos).

Considerando una distancia mínima base de 5 cm como espacio para el sistema de rotación, se concluyó que un largo de 10 cm para la traslación de un peso de 1 kg* a lo largo de las aspas permite trabajar en un rango de ± 5 Joules del mínimo y máximo de las alternativas disponibles en el mercado (Fig. 23).

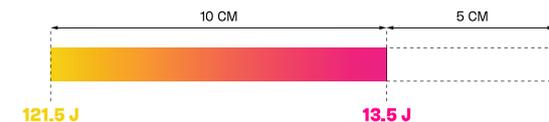
*Las medidas base de 5 cm y 1 kg fueron elegidas como supuesto por su viabilidad considerando las medidas con las que se trabajó hasta este momento y la densidad de los materiales comúnmente usados en estas aplicaciones; son sujetas a cambio según las necesidades del proyecto.

Tabla 3: Rango de energía cinética en volantes de inercia comerciales.

	Peso mínimo	Peso máximo
Energía cinética rotacional	9 J	126 J

Fuente: Elaboración propia (2022).

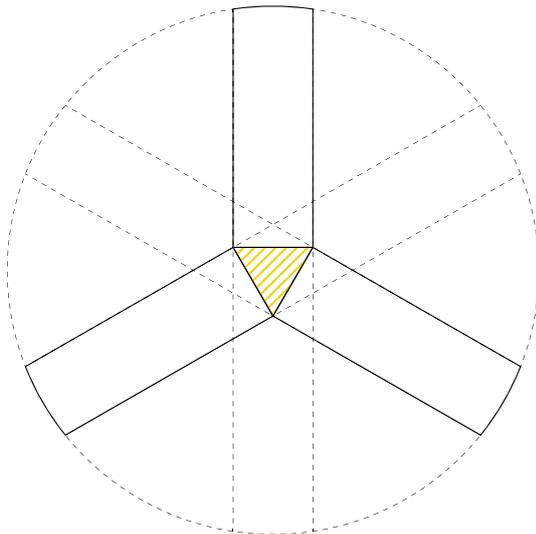
Fig. 23



Rango de energía cinética teórico trasladando pesos de 1 kilo sobre aspas de 100 cm. (2022). Elaboración propia.

MORFOLOGÍA DEL VOLANTE: ASPAS

Fig. 24

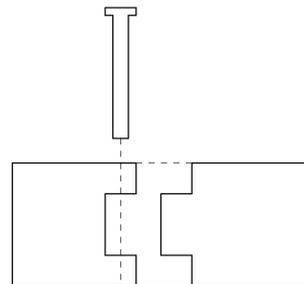


Área mínima del sistema de unión al eje de rotación. (2022).
Elaboración propia.

Una vez determinado el rango de dimensiones sobre el que se va a trabajar, se procedió a elaborar el sistema de unión entre las aspas y el eje de rotación. En primer lugar se dibujó el área de trabajo para el desarrollo del sistema de unión; siguiendo el objetivo de crear un producto lo más compacto posible se realizó una intersección entre las 3 aspas para determinar el espacio mínimo a utilizar (Fig. 24).

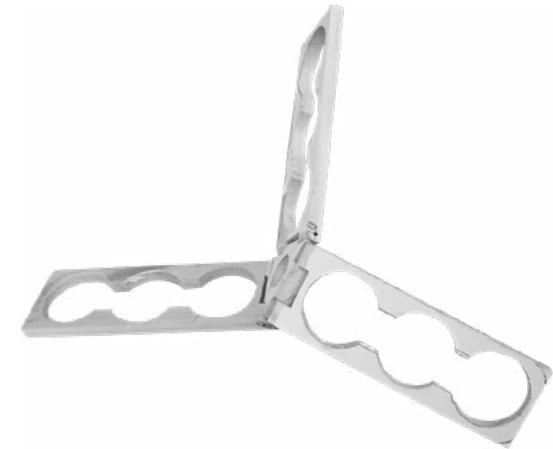
Con esto en mente, se realizó un prototipo rápido con una unión de horquilla (Fig. 25 y 26). Este reveló que, si bien el sistema era eficiente y cómodo para mover cada aspa individualmente en distintas posiciones, hacía falta un sistema de bloqueo que permitiese mantener el mecanismo en una posición estática al momento del uso, para lo que se desarrolló una barrera física que no permitiese mover las aspas más allá de 90° (Fig. 27).

Fig. 25



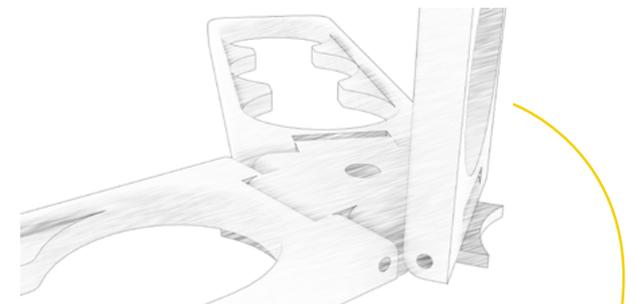
Unión de horquilla. (2022). Elaboración propia.

Fig. 26



Prototipado rápido de aspas móviles. (2022). Elaboración propia.

Fig. 27



Bosquejo del sistema de unión de aspas con barrera de bloqueo. (2022). Elaboración propia.

¿QUÉ SON ESOS HOYOS? EL DESARROLLO DEL PROYECTO NO FUE TAN LINEAL COMO ES EXPUESTO EN ESTA MEMORIA ¡NO TE PREOCUPES, HABRÁ EXPLICACIÓN!

CARRETE

Teniendo la morfología básica con la que se va a trabajar y comprendiendo el funcionamiento del sistema de volante de inercia, se procedió a resolver el mecanismo sobre el cual las aspas van a girar. El concepto de esta pieza es simple: un carrete unido al volante alrededor del cual se enrolla una piola, el cual rota sobre su eje al jalar; al momento de diseñarla se tomaron en consideración 3 variables:

- 1) **Fluidez de rotación:** disminuir al mínimo el roce y con ello la pérdida de energía cinética rotacional.
- 2) **Fluidez de desenrollado:** que la piola pueda fácilmente enrollarse y desenrollarse alrededor del carrete.
- 3) **Control de la piola:** que en el movimiento de enrollado y desenrollado la piola se mantenga dentro de los límites del carrete, evitando el roce/enganche con otras partes.

Para responder a la primera variable se determinó que el carrete debía rotar libremente junto al eje, no sobre un eje fijo como en el prototipado rápido anterior, esto para mantener al mínimo el roce; para esto se propuso una serie de partes básicas sobre la que trabajar: un eje central al que se amarra la piola, rodamientos en la parte superior e inferior del eje, para facilitar el giro con un mínimo de pérdida de energía, y superficies base en ambas caras que mantengan fijos los rodamientos al

resto de la estructura (Fig. 28).

Con este sistema básico propuesto se realizó un prototipado rápido de madera para probar la fluidez del movimiento (Fig. 29 y 30), demostrando ser muy superior a los anteriores en cuanto a la facilidad de romper la inercia y la conservación de la energía.

Fig. 28

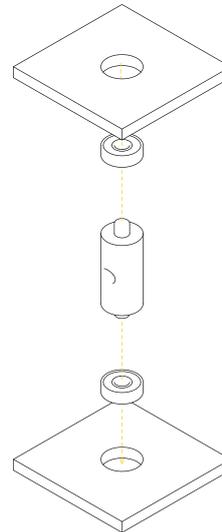


Diagrama partes carrete. (2022). Elaboración propia.

Fig. 29



Prototipo rápido de mecanismo de volante de inercia. (2022).
Elaboración propia.

Fig. 30



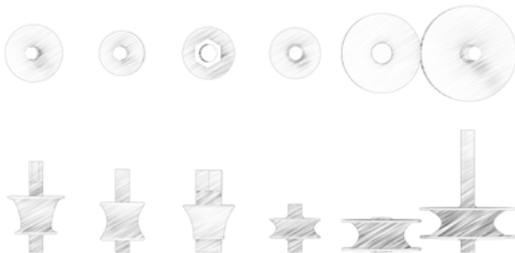
Prototipado rápido de mecanismo de volante de inercia. (2022).
Elaboración propia.

CARRETE

Para las variables de interacción directa entre el carrete y la piola, se desarrollaron una serie de variantes de un diseño de carrete tradicional (radio interior de menor tamaño que los radios inferiores y superiores) (Fig. 31), estos fueron testeados junto a prototipos completos a lo largo de todo el proceso de diseño, con variaciones en el ángulo de la curva interior, las dimensiones de los radios, y la altura entre ellos.

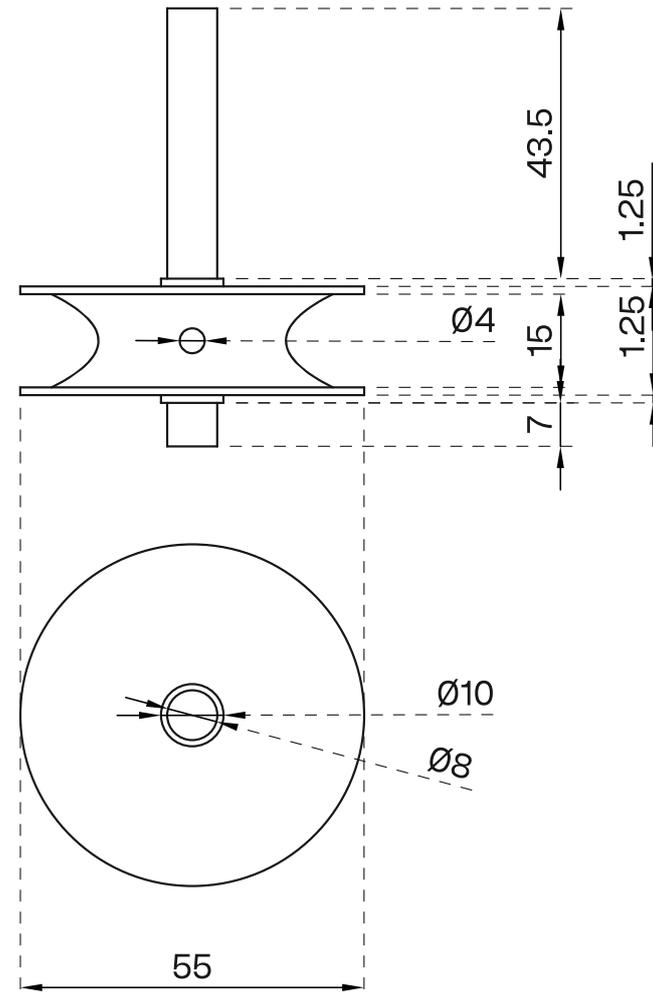
Finalmente, se llegó a una geometría horizontalmente simétrica con discos sobresalientes en la parte superior e inferior del carrete para guiar la piola hacia el centro en caso de que esta no se enrollarse correctamente, y golletes a lo largo del eje de rotación para forzar un espacio de separación entre el carrete y el resto de las piezas del mecanismo, reduciendo la superficie de roce (Fig. 32).

Fig. 31



Exploración de la forma del carrete. (2022). Elaboración propia.

Fig. 32



Planimetría del carrete final (mm). (2022). Elaboración propia.

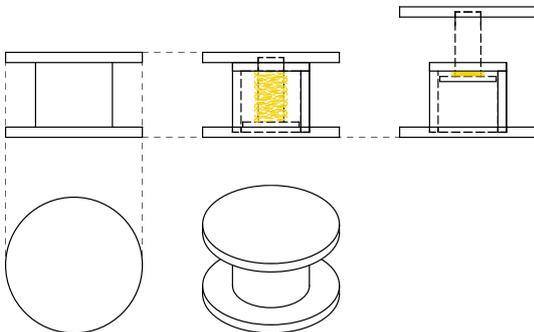
PESOS

Fig. 33



Sistema de pesos de volante de inercia. (2011). Exxentric. <https://exxentric.com>

Fig. 34



Planimetría mecanismo de pesos intercambiable. (2022). Elaboración propia.

La segunda gran problemática de los volantes de inercia con aplicaciones deportivas existentes es la forma en la que manejan el control sobre la “dificultad” de los ejercicios. Volvamos a revisar la ecuación que rige el mecanismo:

$$E = 1/2 \times (I \times w)^2$$

$$I = (m \times r)^2$$

Ya que el esfuerzo escala infinitamente con la velocidad angular “w” se podría argumentar que es innecesario cambiar el peso, sin embargo, para llegar a niveles altos de esfuerzo se requerirían velocidades proporcionalmente altas, lo que presenta 3 problemas:

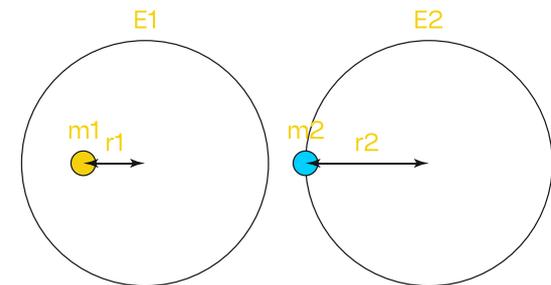
- 1) En un cierto nivel de revoluciones por minuto se produce fatiga de material que puede comprometer la integridad estructural del producto.
- 2) Los movimientos corporales muy acelerados pueden incurrir en malas posiciones y el reclutamiento erróneo de músculos, lo que produce peores resultados y aumenta el riesgo de lesión (Gabbett, 2016)

Es por esto que es necesario presentar una solución a la escalabilidad de la dificultad a través de la modificación del momento de inercia “I”, es aquí donde los antecedentes a este proyecto han optado por variar la masa “m” a través de un sistema de discos intercambiables (Fig. 33), lo que tiene

como problemática la necesidad de tener múltiples discos, aumentando el volumen y el peso total del producto, lo que lo hace más costo, y menos apto para el traslado, guardado y uso en contextos de espacios reducidos.

Como alternativa se diseñó un sistema que permite mantener fija la masa y variar la distancia de esta al centro (variable “r”), a través de una pieza móvil con un resorte interior que pueda ser expandida, generando tensión en el resorte y permitiendo que sea trasladada de un punto del volante a otro, y vuelva naturalmente a su posición bloqueada al ser soltada (Fig. 34 y 35).

Fig. 35



Si: $m1 = (2 \times m2)$ y $r1 = (2 \times r2)$ entonces: $E1 = E2$

Sistema de pesos de volante de inercia. (2011). Exxentric. <https://exxentric.com>

PESOS: PROTOTIPO

Fig. 36



Prototipo rápido de mecanismo de pesos intercambiable. (2022).
Elaboración propia.

Para probar el sistema de pesos móviles se realizó un prototipo rápido del mecanismo utilizando una tuerca de bloqueo de mancuernas como pieza central (Fig. 36), esto por su materialidad (acero) de alta densidad, pequeño tamaño y morfología especialmente diseñada para ser háptica. (posteriormente esta pieza pasará a ser reutilizada reiteradas veces a lo largo del proyecto por su eficiencia como modelo de prototipado).

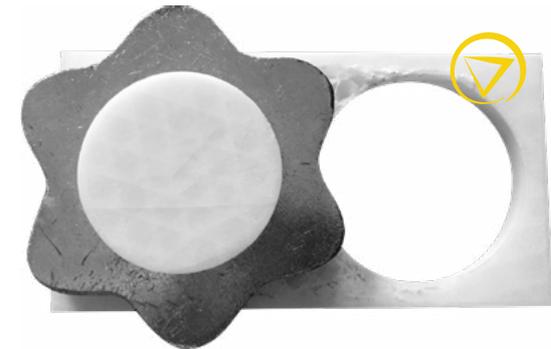
Posteriormente se construyó una maqueta para simular el traslado del prototipo entre dos posiciones (Fig. 37), para así extrapolar su aplicación a sistemas con múltiples puntos de enganche. De este ensayo se extrajo la necesidad de crear un sacado dentro de las aspas que permitiese guiar el movimiento de los pesos (Fig. 38), para disminuir el roce y desgaste de material, y permitir una mayor fluidez de movimiento.

RESULTADOS

Al ser un mecanismo relativamente simple, ya dentro de las primeras iteraciones se pudo comprobar que este funcionaba; ahora bien, los detalles de su forma, tales como las tolerancias entre piezas, la fuerza generada por el resorte, y los radios interiores, fueron explorados en concordancia con las limitaciones de la materialidad y el método de fabricación. La propuesta final de esta parte se realiza en base a extrapolaciones y, si bien busca mantenerse lo más fidedigna posible a los resultados empíricos obtenidos, requiere

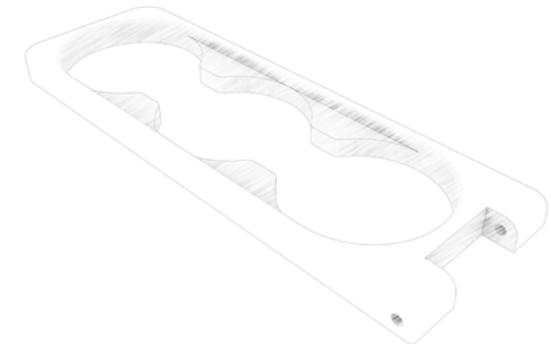
necesariamente de pruebas posteriores con los materiales finales aplicados.

Fig. 37



Prototipo rápido de mecanismo de pesos intercambiable. (2022).
Elaboración propia.

Fig. 38

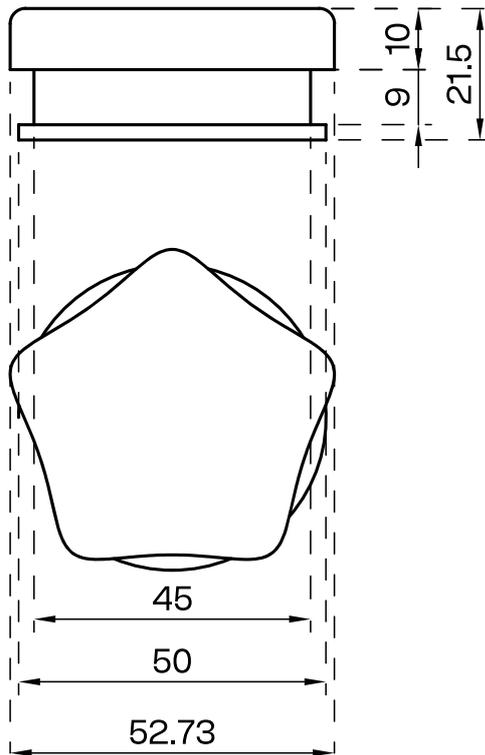


Bosquejo aspa con surcos. (2022). Elaboración propia.

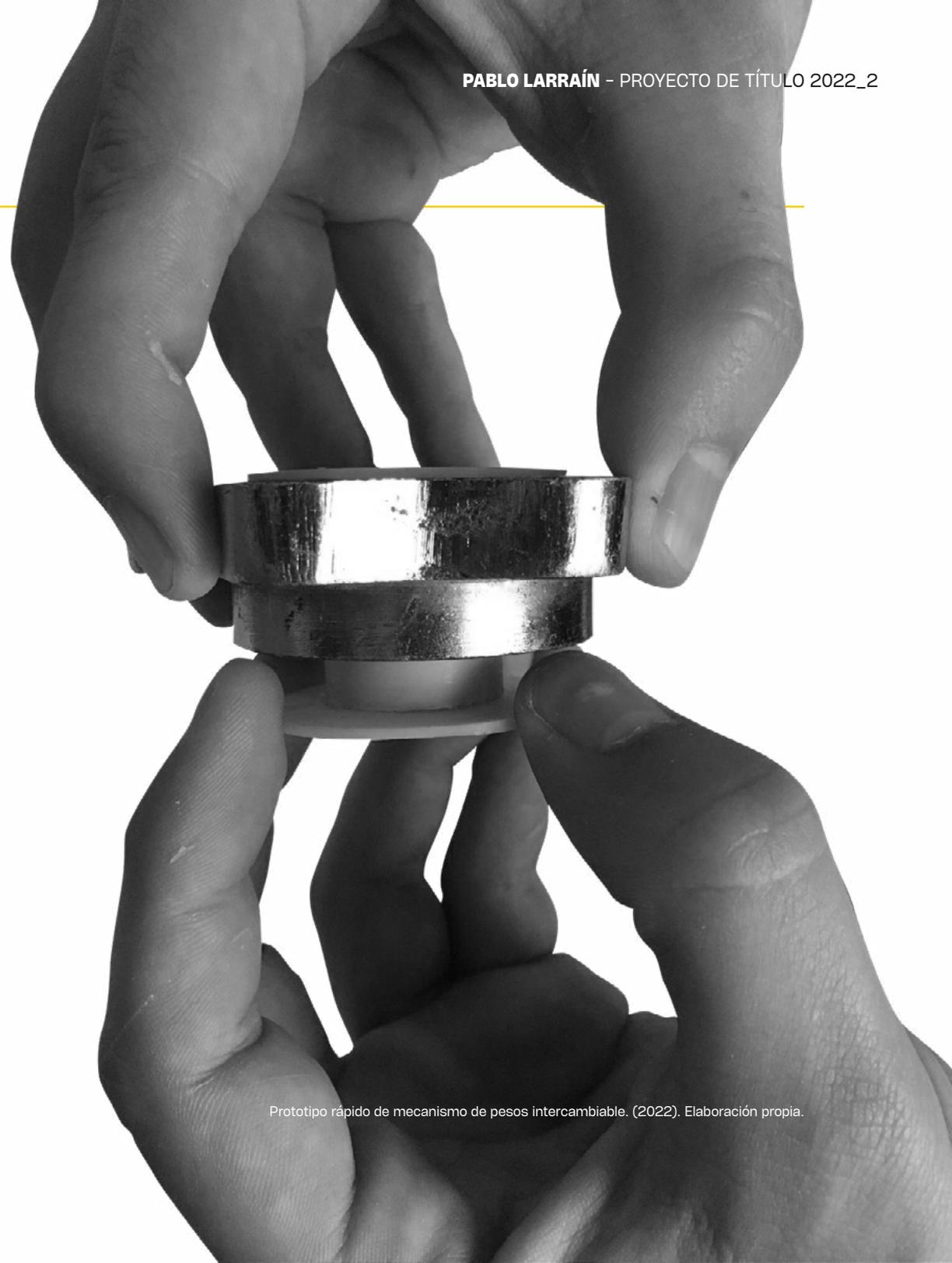
PESOS

Finalmente se tomó la decisión de utilizar la medida estándar de las tuercas de bloqueo como punto de referencia para la elaboración de los pesos, las aspas, y consecuentemente el resto de la morfología del producto (Fig. 39).

Fig. 39



Planimetría mecanismo de pesos intercambiable (mm). (2022).
Elaboración propia.



Prototipo rápido de mecanismo de pesos intercambiable. (2022). Elaboración propia.

PIOLA

Fig. 40



Piola de acero trenzado topando con las paredes del mecanismo. (2022). Elaboración propia.

La piola en el mecanismo de volante de inercia tiene una función indispensable pero simple; debe tener la capacidad de resistir el tirón en el uso, tanto concéntrico como excéntrico, y de enrollarse y desenrollarse fluidamente alrededor del carrete. Por esto, para la decisión de materialidad, forma y grosor se tomaron en cuenta 3 variables: resistencia, flexibilidad, y comodidad de uso.

La idea inicial fue trabajar con acero trenzado de 3 mm recubierto de PU, es el principal (o único) material usado en máquinas de ejercicios existentes por su alta resistencia, sin embargo, en este caso fue una ilustración de porqué es importante prototipar. Si bien la piola de acero es lo suficientemente flexible como para enrollarse en el carrete, sigue teniendo una rigidez que la hace topar contra las paredes del mecanismo (Fig. 40), lo que genera roce y evita la correcta rotación de las espas.

Descartada la opción evidente, se procedió a comparar los materiales más utilizados en contextos de alto movimiento y cargas pesadas (Tabla 4). Este levantamiento de materiales fue basado en los conocimientos de las industrias de navegación y escalada, por sus similitudes a este proyecto en los requerimientos de propiedades mecánicas de los materiales a utilizar (McLaren, 2006).

Finalmente, se optó por utilizar nylon trenzado de 3 mm por su alta resistencia, flexibilidad, durabilidad, baja densidad, y

facilidad de obtención. Cabe mencionar que la forma circular de la piola fue determinada por su capacidad de contorsionarse en distintos ángulos sin generar un roce excesivo, cosa que morfologías de cinta planas no cumplían.

Tabla 4: Propiedades mecánicas de materiales para piolas más comunes.

Material	Tenacidad (g/d)	Densidad relativa
Cáñamo	5.0-6.0	1.38
Algodón	2.0-3.0	1.54
Poliéster	7.0-9.5	1.38
Nylon	7.0-9.5	1.14

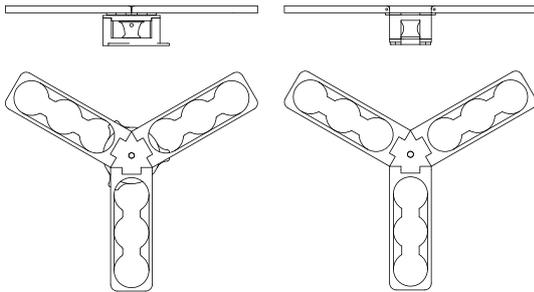
Fuente: Machovec (2020).



Piola de nylon trenzado 3 mm. (2021). Cordrope. <https://cordrope.com>

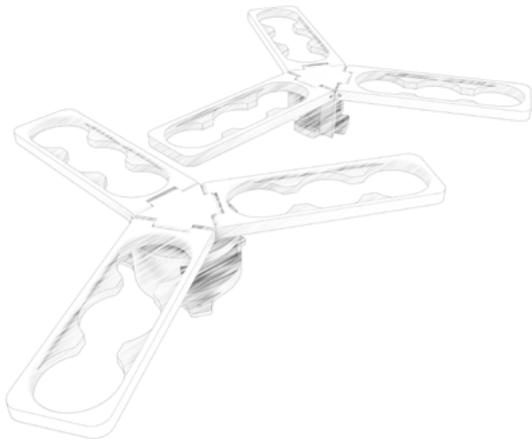
PROTOTIPO FUNCIONAL 1 ...Y MEDIO

Fig. 41



Planimetrías prototipo funcional 1.1 y 1.2. (2022).
Elaboración propia.

Fig. 42



Bosquejo prototipo funcional 1.1 y 1.2. (2022). Elaboración propia.

El primer prototipo funcional elaborado con la suma de las partes ya desarrolladas tuvo como objetivo testear la viabilidad del mecanismo a la fecha. Si bien los procesos de prototipado rápido anteriormente realizados validaron las partes de manera individual, se busca en esta instancia probar su funcionamiento al interactuar entre ellas y con los usuarios.

Ante la preocupación de que agregar demasiados factores aumenta las probabilidades de que alguno falle, enturbiando los resultados, se tomó la decisión de fijar las variables de:

- 1) Pesos intercambiables: por la fragilidad de esta pieza y el alto potencial de ruptura se decidió realizar una fijación mecánica de los pesos al mecanismo.
- 2) Montaje: al ser un componente aún no resuelto, se fijó el prototipo a una base estable soportada por el mismo peso del usuario.
- 3) Roldana-pivote: de igual manera, al ser un componente aún no resuelto, se fijó a la base una roldana externa al prototipo.

Las debilidades del prototipo, tanto por su diseño como por su materialidad, se hicieron evidentes en los primeros usos, por lo que se construyó un segundo completamente idéntico excepto por una base de montaje más sólida, con

la intención de aumentar su integridad estructural (Fig. 41 y 42).



Prototipo funcional de volante de inercia. (2022).
Elaboración propia.

PROTOTIPO FUNCIONAL 1: PROTOTIPADO

El proceso de prototipado se realizó con usuarios del perfil determinado, pero, por las limitaciones volumétricas y de adaptabilidad asociadas a las variables fijas del prototipo, se decidió no considerar el contexto de uso.

Para la realización del prototipado se pidió al usuario que ejecutara un movimiento de remo horizontal, un ejercicio simple que permite poner a prueba el prototipo sin exigir, ni a la persona ni al producto, que se realicen movimientos bruscos o complejo de aprender; esto con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del mecanismo, su fluidez de uso, y las primeras reacciones de los usuarios al ejercicio.

Para medir los resultados se recopiló información audiovisual del prototipado, la cual fue analizada por un lado por el equipo experto para corroborar la correcta ejecución del movimiento de remo horizontal, y por otro por el diseñador para comprobar la viabilidad de las partes del objeto en sus distintas funciones. De la misma manera, se realizaron entrevistas cortas mixtas (puntuación y comentarios libres) a los usuarios después del prototipado para evaluar su experiencia de uso:

- ¿Fue sencillo llegar a la posición inicial?**
- ¿Fue sencillo realizar el movimiento?**
- ¿Fue fluido el movimiento en todo su recorrido?**



Prototipo funcional de volante de inercia. (2022).
Elaboración propia.

Tabla 5

Usuarios	2
Duración	2 semanas.
Materialidad y fabricación	PLA, acero, madera. Impresión 3D.
Resultados a medir	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionamiento básico del mecanismo. • Fluidez de uso.
Metodología de medición	Observación visual y entrevistas.



Proceso de prototipado. (2022). Elaboración propia.

PROTOTIPO FUNCIONAL 1: RESULTADOS

Fig. 43



Intento de patricido. (2022). Elaboración propia.

Fig. 44



Pérdida de tensión en la roldana. (2022). Elaboración propia.

“Me gustaría sentir más el tirón de vuelta, lo siento un poco forzado.”

“Mirándolo nomás no habría podido hacer nada, pero cuando me lo explicaste entendí bien.”

Del proceso de prototipado se obtuvieron los siguientes resultados:

1) El mecanismo funciona, las aspas giran al jalar la piola y esta vuelve a enrollarse sobre el eje de rotación en la parte excéntrica del movimiento.

2) Tiene problemáticas en su fluidez, esto se atribuye principalmente al roce interno del mecanismo y a la falta de rigidez en la roldana-pivote.

3) La ejecución del ejercicio, si bien no es óptima, es aceptable. Se observa que al incrementar el esfuerzo la posición mejora de manera forzosa.

4) La exposición directa de los usuarios a las aspas girando es incómoda, peligrosa, y los hace reacios a adoptar la posición correcta frente al objeto (Fig. 43).

De estos resultados se sacaron las siguientes conclusiones:

1) Se deben trabajar las partes internas del mecanismo para disminuir al mínimo el roce.

2) La roldana-pivote debe ser fijada en una posición estática, de lo contrario esta pierde tensión en el cambio de la parte concéntrica a la excéntrica, interrumpiendo el movimiento (Fig. 44).

3) Se refuerza la necesidad de un sistema de apoyo que guíe a los usuarios durante la interacción.

4) Se requiere algún sistema de cobertura sobre el objeto que haga de barrera entre las aspas y el usuario.

¿Qué tan sencillo fue llegar a la posición inicial?



¿Qué tan sencillo fue realizar el movimiento?



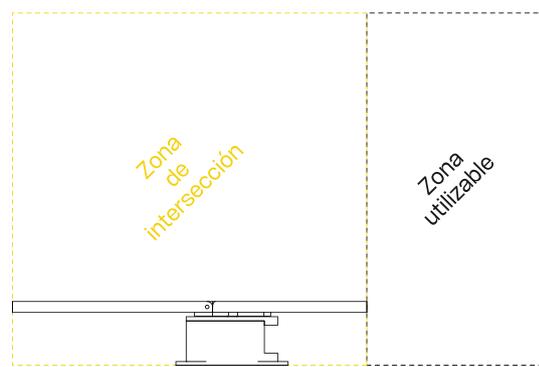
¿Qué tan fluido fue el movimiento en su recorrido?



Resultados cuestionario a usuarios. (2022). Elaboración propia.

ROLDANA-PIVOTE

Fig. 45



Delimitación del espacio posible para la integración de la roldana-pivote. (2022). Elaboración propia.

La principal barrera a la fluidez del mecanismo en el primer prototipado fue la pérdida de tensión en la roldana-pivote, esto se adjudica al hecho de que la pieza no es autosostenible y requiere del movimiento de la piola para mantenerse erguida; por esto, se decidió que el diseño de la roldana-pivote debía adoptar una posición estática respecto del resto del mecanismo, incluso si esto implicaba una leve pérdida en la libertad de movimiento de la piola.

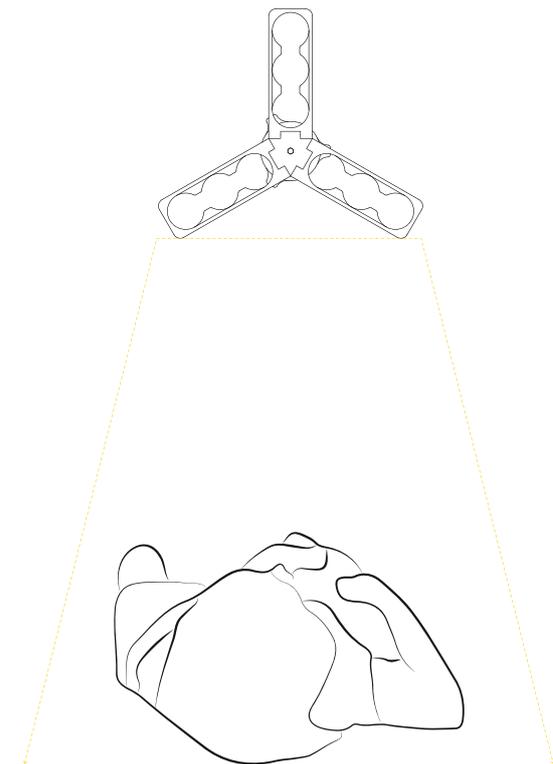
Con esto en mente se procedió a integrar la roldana-pivote al producto, tomando en cuenta 3 consideraciones claves:

- 1) Evitar la pérdida de tensión en el movimiento.
- 2) Mantener al mínimo el roce entre las partes.
- 3) Integrar armónicamente la parte al resto de la geometría, respetando las dimensiones compactas de la volumetría alcanzadas hasta el momento.

Para decidir las dimensiones mínimas de la pieza la principal regla a respetar es que la piola pueda recorrer el mecanismo en un movimiento vertical sin intersectarse con las aspas, interrumpiendo el movimiento (Fig. 45), esto permite un espacio de trabajo libre frente al objeto sin que el usuario tenga que preocuparse de la posición de la piola, dentro del cual se

pueden desarrollar todos los movimientos básicos propuestos (Fig. 46).

Fig. 46



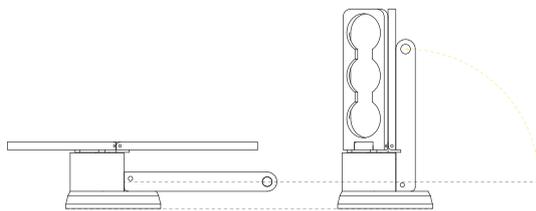
Espacio de uso del objeto. (2022). Elaboración propia.

ROLDANA-PIVOTE

Considerando esto se elaboró una pieza de unión entre el mecanismo ya existente y la distancia mínima posible a la cual podía estar la roldana-pivote, utilizando la menor cantidad de volumen y material posible; para integrarla a las posiciones de uso y de guardado de las aspas del mecanismo se agregó un eje de rotación en el punto de intersección entre la pieza y el resto del objeto, lo que permite mantenerla siempre en paralelo a las aspas (Fig. 47).

Los beneficios de la movilidad de la pieza sobre el eje de rotación vienen con la complicación de la falta de rigidez al momento de uso. Para evitar que al tirar de la piola la unión de la roldana-pivote se levantase hacia su posición de guardado se recurrió a una barrera mecánica que pudiese rápidamente fijar la pieza en el lugar; esta solución adquirió la forma de un pasador (Fig. 48).

Fig. 47



Posiciones activa y pasiva del producto con la pieza de unión integrada. (2022). Elaboración propia.

Fig. 48



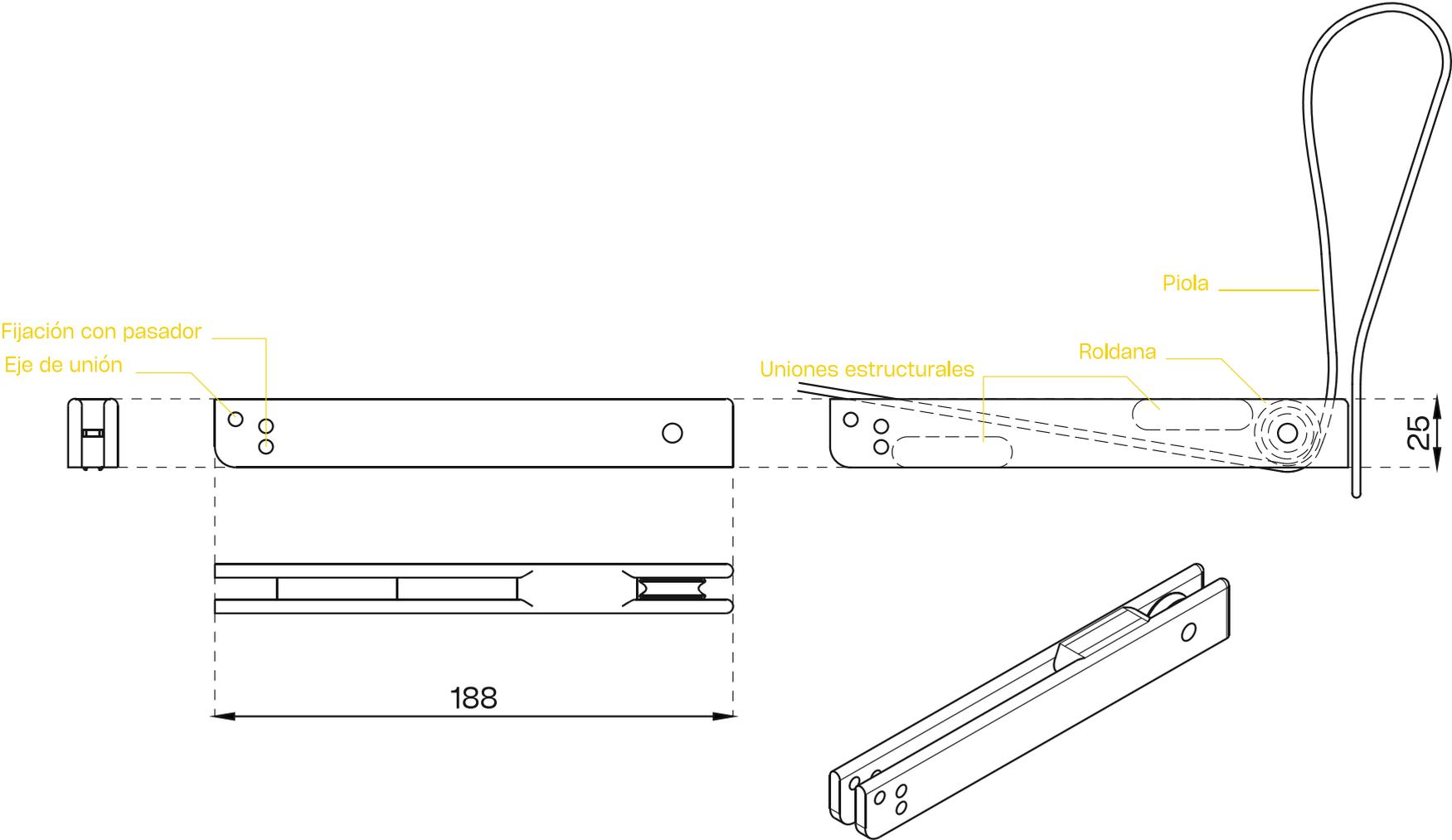
Bosquejo de fijación con pasador. (2022). Elaboración propia.

ALGUNAS PARTES NECESITAN MÁS TRABAJO QUE OTRAS, ESTO ES UNA NOTA PARA EL FUTURO DESARROLLO DE LAS QUE REQUIEREN ESPECIAL ATENCIÓN.



Si bien el sistema de pasador propuesto cumple con su función de manera satisfactoria dentro del contexto de este proyecto, se considera que se requiere mayor exploración tanto de la forma como de la interacción de bloqueo de la pieza, tomando en consideración variables como la comodidad de guardado, la integridad estructural del pasador según el nivel de fuerza aplicada, y la facilidad de uso.

ROLDANA-PIVOTE



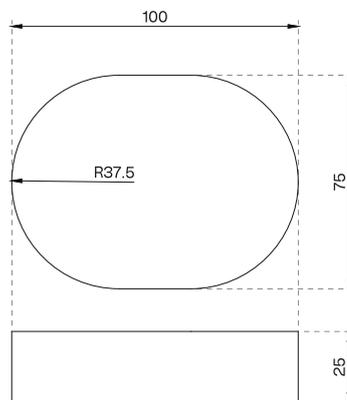
Planimetría pieza de unión roldana-pivote (mm). (2022). Elaboración propia.

MORFOLOGÍA DE LA BASE

Teniendo caracterizadas las partes principales del objeto: aspas, carrete, y roldana-pivote, se procedió a diseñar la estructura base sobre la cual estas serían sujetas. Para esto se realizó un proceso donde a una geometría simple construida a partir del perímetro mínimo ocupado por las partes (Fig. 49) se le hacen pequeñas modificaciones, con el objetivo principal de hacerla más háptica.

El primer paso para determinar las modificaciones a realizar a la morfología fue crear una maqueta de la geometría base y estudiar su manipulación (Fig. 50), con esto se determinaron los lugares de agarre principales y con ellos la curvatura que debía seguir la forma para adaptarse de mejor manera a la mano.

Fig. 49



Geometría básica de la base (mm). (2022). Elaboración propia.

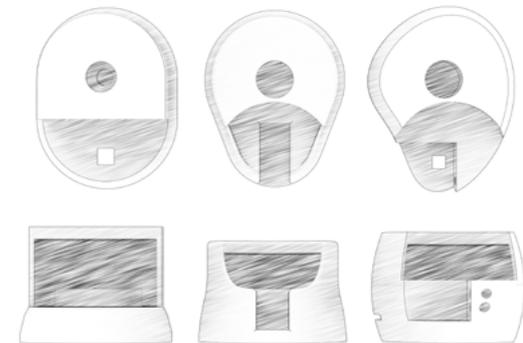
Fig. 50



Manipulación de la geometría base y rayado de puntos principales de contacto. (2022). Elaboración propia.

Tras este análisis, se realizó un proceso de iteración sobre la forma (Fig. 51) sumando las variables de integridad estructural, factibilidad de construcción y percepción estética.

Fig. 51



Iteración sobre la forma de la base. (2022). Elaboración propia.

MORFOLOGÍA DE LA BASE

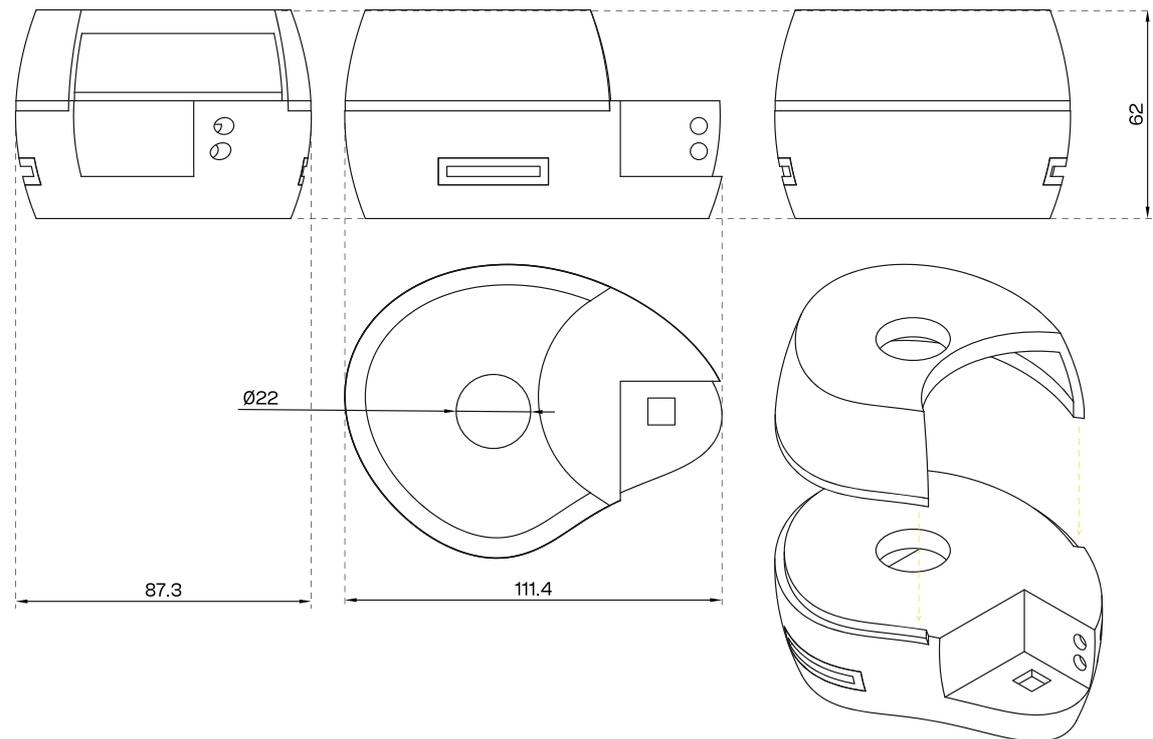
Finalmente, la morfología electa fue probada a través de la elaboración de una maqueta (Fig. 52). Por motivos de facilidad de producción y accesibilidad a las partes interiores del producto se optó por dividir la base dos: una parte inferior, que soporta la roldana-pivote, la base del carrete, y la superficie de montaje; y una superior, que soporta las aspás y la punta del carrete (Fig. 53).

Fig. 52



Maqueta morfología base final. (2022). Elaboración propia.

Fig. 53



Planimetría de la base final (mm). (2022). Elaboración propia.

MONTAJE

El sistema de montaje del objeto al espacio de uso es una de las grandes dificultades del proyecto, en pos de generar un cimiento estable para el volante, los antecedentes actuales suelen recurrir al uso de amplias bases y estructuras montadas de manera semipermanente sobre el lugar (Fig. 54). Este es un componente crítico a mejorar por 3 razones:

- 1) Sin importar cuánto se compacten las dimensiones del mecanismo, si el montaje es voluminoso el producto final no puede ser usado ni guardado en contextos de espacio reducido.
- 2) Por la situación recurrente de los usuarios de estar arrendando su vivienda actual, toda solución permanente o semipermanente (clavos, pernos o adhesivos industriales) queda imposibilitada.
- 3) Para cubrir el rango más amplio posible de movimientos y poder fácilmente trasladarse y acoplarse a distintos espacios de uso es necesario que el montaje sea capaz de adherirse rápidamente a múltiples superficies en múltiples posiciones.

Para esto se levantaron 4 posibles soluciones: una superficie móvil lisa (como la utilizada en el prototipado anterior), adhesivos doble contacto, ventosas, y correas. La superficie móvil fue rápidamente descartada por su incomodidad de guardado y limitantes

de posicionamiento. Los adhesivos doble contacto son una alternativa efectiva pero con poca vida útil, al cambiar el objeto de una posición a otra pierden progresivamente su adherencia y se consideró poco viable (e irresponsable) presentar una solución que requiriese consumir constantemente nuevas unidades.

Lo que lleva a las ventosas y las correas, ambas soluciones posibles con pros y contras: Las ventosas permiten mover rápidamente el objeto de una posición a otra, pero requieren de un mecanismo medianamente complejo y quedan excluidas completamente de ciertas superficies. Las correas también otorgan una amplia flexibilidad de montaje, pero requieren un ancla a la cual sujetarse, lo que limita los espacios en los que pueden ser usadas. Finalmente, tras el proceso de experimentación que se presentará a continuación, se decidió trabajar con una combinación de ambas, enfocándose en las ventosas como solución primaria de montaje y utilizando las correas a modo de complemento para aquellas situaciones donde estas no sean efectivas.

Fig. 54



Recopilación de sistemas de montaje de antecedentes: Exxentric, Exerfly, y Kynett. (2022). Elaboración propia

MONTAJE: VENTOSA

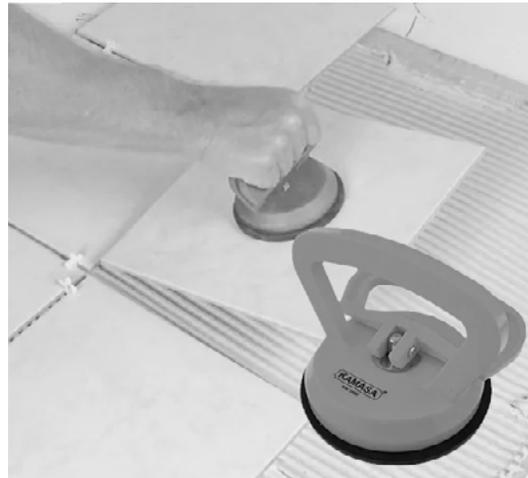
El primer paso para desarrollar el sistema de montaje con ventosas fue ratificar su viabilidad con alternativas ya disponibles en el mercado, para esto se obtuvo una ventosa sopapa para cargas bajas (≈ 20 kg) (Fig. 55), y se evaluó su desempeño en una serie de superficies comunes (Tabla 6).

Tabla 6

Superficie	Adherencia
Baldosa	Alta
Concreto liso	Alta
Concreto poroso	Media
Ladrillo	Nula
Madera tratada	Alta
Madera no tratada	Baja
Melamina	Alta
Metal (acero y aluminio)	Alta
Piso flotante	Alta
Porcelanato	Alta
Textiles (varios)	Nula
Vidrio	Alta
Yeso	Alta

Resultados de adherencia de ventosa sopapa a superficies. (2022). Elaboración propia.

Fig. 55



Sopapa ventosa de baja carga. (s.f.). Kamasa. <https://www.kamasatools.com>

Los resultados demostraron un rango lo suficientemente amplio de adherencia a distintas superficies como para continuar con esta solución. Para el desarrollo de la pieza de montaje se trabajó sobre la forma de la ventosa ya existente, modificando gradualmente sus partes para acomodarse a las necesidades de diseño del proyecto, esto como herramienta para sortear complejidad del sistema (y la inexperiencia del autor en este) y evitar tener que reproducirlo desde cero.

En el proceso de análisis del mecanismo de succión se observó que este funciona

mediante una acción de palanca que fuerza a una ventosa flexible a contraer una posición cóncava, generando un vacío que, gracias a la fuerza de la atmósfera a su exterior, se mantiene fija a la superficie sobre la que está puesta (Fig. 56). Este sistema presenta el potencial de combinar dos partes del objeto, la palanca de la ventosa con la unión de la roldana-pivote, puesto que ambas trazan el mismo recorrido; esto permite reducir la volumetría y el peso, y facilitar la interacción con el usuario.

Fig. 56

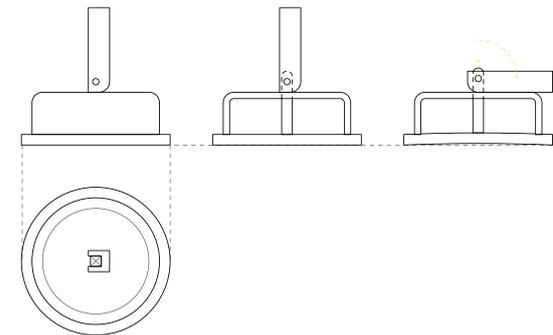


Diagrama funcionamiento mecanismo de ventosa. (2022). Elaboración propia.

MONTAJE: VENTOSA

Fig. 57



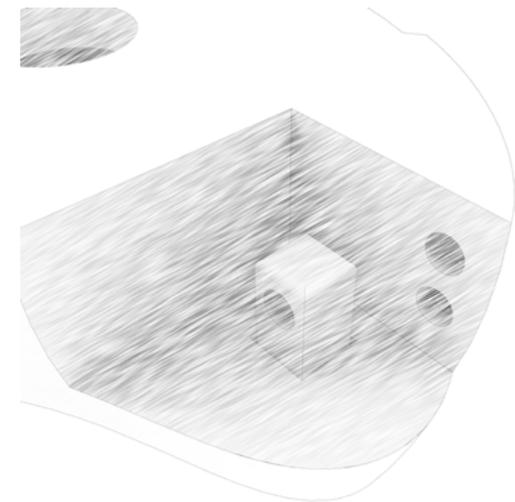
Prototipado rápido de inversión de posiciones activa y pasiva de la palanca. (2022). Elaboración propia.

Con el objetivo de combinar el funcionamiento de ambas partes en una sola pieza en mente, la primera modificación consistió en invertir las posiciones pasivas y activas de la ventosa (Fig. 57), esto por que en el producto original la posición sin succión mantiene la palanca en posición vertical, lo que, como se explicó anteriormente, entra en conflicto con la zona de intersección entre las aspas rotando y la piola.

Tras demostrar la consistencia del mecanismo luego de invertir la posición de la palanca se procedió a adaptar el sistema de ventosa e integrarlo al mecanismo de volante de inercia; para esto se disectaron los principales componentes del sistema: la superficie flexible, la placa de unión, la base y la palanca.

En primer lugar se trabajaron las partes ya parcialmente resueltas. La base de trabajo para la ventosa es la misma diseñada para el resto del mecanismo, solo se requirió hacer un orificio para dejar pasar la vara que une la palanca con la ventosa (Fig. 58). Por su parte, la palanca compartida con la roldana-pivote debía incluir en su morfología una mayor distancia (un 33.3...% más en este caso) entre el eje de rotación y el lado activo que el lado pasivo (Fig. 59).

Fig. 58



Vara pasando a través de la base. (2022). Elaboración propia.

Fig. 59

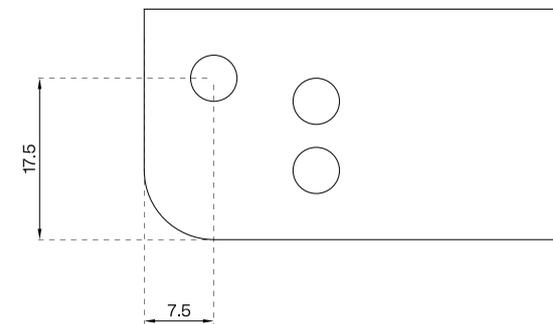


Diagrama de distancia entre lado pasivo (mm). (2022). Elaboración propia.

MONTAJE: VENTOSA

Fig. 60

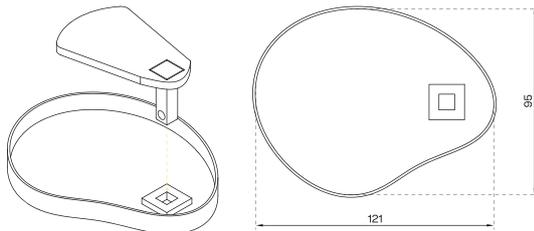


Diagrama molde y placa de unión (mm). (2022).
Elaboración propia.

Fig. 61



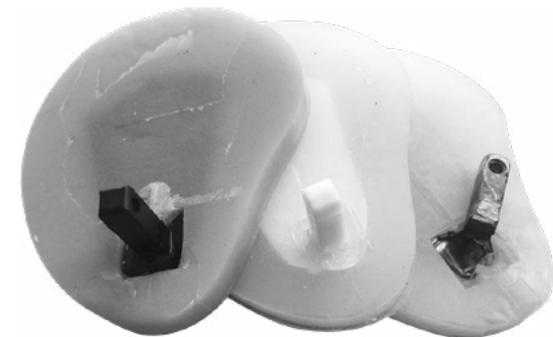
Proceso de producción de ventosas. (2022). Elaboración propia.

La superficie flexible y la placa de unión se trabajaron en conjunto. En primer lugar, se expandió el perímetro de la base del volante de inercia para determinar la geometría de la ventosa; con esto, se elaboraron una serie de moldes diseñados para que el material flexible se endureciera envolviendo la placa de unión (Fig. 60). La placa de unión es simplemente una superficie lisa unida a una vara con un orificio que se conecta a la palanca que acciona el mecanismo de succión.

Para la elaboración de esta pieza se optó por trabajar con silicona de caucho (Fig. 61), esto principalmente por una combinación de sus propiedades mecánicas similares a la goma hule utilizada en el producto original, y su accesibilidad y facilidad de uso que permitía prototipar y testear rápidamente múltiples iteraciones (Fig. 62).

Durante el proceso de fabricación se probaron 4 combinaciones de dureza y grosor de la ventosa, y se comparó su rendimiento en adhesión a una superficie base (porcelanato) (Tabla 7). Finalmente, se optó por utilizar la silicona de caucho de mayor dureza y la ventosa de mayor grosor.

Fig. 62



Iteraciones de prototipado de ventosas. (2022).
Elaboración propia.

Tabla 7

Dureza	Grosor	Adhesión
Shore 30A	7 mm	Baja
Shore 30A	10 mm	Media
Shore 40A	7 mm	Media
Shore 40A	10 mm	Alta

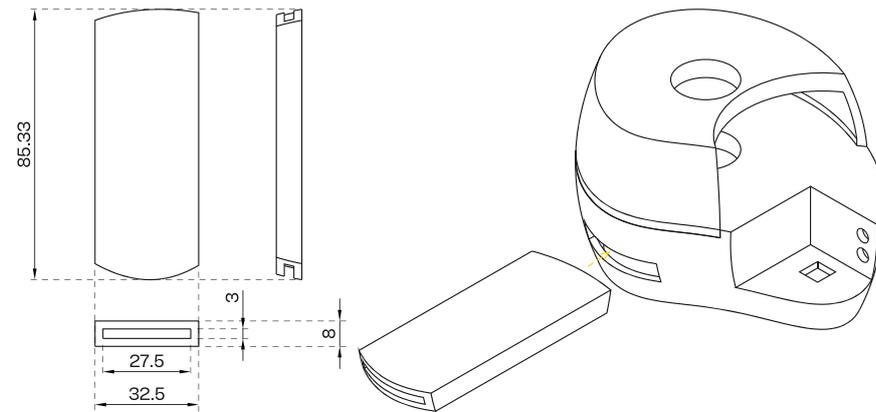
Resultados de adhesión de prototipos de ventosas. (2022).
Elaboración propia.

MONTAJE: VENTOSA

El sistema complementario de montaje de correas se trabajó a través de un sistema ya existente: el amarre tensor de eslinga de nylon (Fig. 65); es un mecanismo probado y validado en contextos de trabajos de carga y deportivos (Fig. 63), que es permisivo en su forma para poder ser puesto y sacado rápidamente del objeto de acuerdo a su necesidad.

Para su integración al mecanismo de volante de inercia se diseñó un canal interior a la base del producto (Fig. 64) que hace a modo de guía y sostiene la correa de nylon. Esto permite agregar la eslinga según el contexto de uso, evitando aumentar la volumetría y entorpecer el manejo del objeto cuando no se necesite.

Fig. 64



Planimetría canal interior (mm). (2022). Elaboración propia.

Fig. 63



Tensores de eslinga en uso. (2022). Elaboración propia.

Fig. 65



Amarre tensor de eslinga de nylon. (2022). Master Prox. <https://www.falabella.com>



Si bien esta solución es eficiente y, como se verá más adelante, fácil y cómoda de usar; sigue siendo una respuesta rápida para resolver un potencial vacío en la capacidad de adaptabilidad de la propuesta; como tal, probablemente se vería beneficiada de un proceso de diseño más exhaustivo, ya sea desarrollando un tensor especializado para esta aplicación o integrando de manera más armónica el mecanismo de montaje al resto del objeto.

PROTOTIPO FUNCIONAL 2

Fig. 66



Prototipo funcional 2. (2022). Elaboración propia.

Fig. 67



Prototipo rápido de agarre. (2022). Elaboración propia.

En este punto del proceso de diseño se diseñó un segundo prototipo funcional completo, esta vez con un prototipado de menor duración, con el objetivo de comprobar la interacción entre las partes desarrolladas hasta el momento, especialmente la del mecanismo de volante de inercia con aspas y el sistema de montaje de ventosa.

Ya que este prototipo buscaba rápidamente evidenciar problemáticas del producto como totalidad y no comprobar el funcionamiento en detalle de cada pieza, se decidió no construir un nuevo objeto desde cero, sino combinar las partes ya utilizadas en testeos anteriores. Para esto, se acopló el mecanismo de volante de inercia y carrete de madera a una versión modificada de la sopapa ventosa original, con la palanca de la roldana-pivote agregada (Fig. 66) ; además se agregó un agarre amarrado a la piola fabricado con partes sobrantes de la sopapa ventosa (Fig. 67).

Fig. 68



Prototipo funcional montado vertical. (2022). Elaboración propia.

Fig. 69



Prototipo funcional montado horizontal. (2022).
Elaboración propia.

PROTOTIPO FUNCIONAL 2: PROTOTIPADO

El proceso de prototipado consistió en 2 partes:

- 1) Comprobar la factibilidad del montaje del sistema en el piso y en distintas alturas del muro (Fig. 68 y 69).
- 2) Testear la facilidad de ejecución de movimientos simples: para esto se le pidió al usuario que realizara un ejercicio de remo vertical y un curl de brazo (Fig. 70 y 71). Esta instancia solo buscaba observar el movimiento, su trayectoria y posibles complicaciones, no el esfuerzo requerido ni la validez del mecanismo de volante de inercia.

Tabla 8

Usuarios	1
Duración	1 Semana.
Materialidad y fabricación	PLA, acero, ventosa, madera. Impresión 3D.
Resultados a medir	<ul style="list-style-type: none"> • Viabilidad del sistema compuesto. • Fluidez de la interacción.
Metodología de medición	Observación visual.

Fig. 70



Remo con prototipo funcional. (2022). Elaboración propia.

Fig. 71



Curl de brazo con prototipo funcional. (2022). Elaboración propia.

PROTOTIPO FUNCIONAL 2: RESULTADOS

Del proceso de prototipado se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1) El sistema de montaje de ventosa integrado al resto del mecanismo funciona en todas las posiciones propuestas.
- 2) Durante la ejecución de los movimientos el distanciamiento de la palanca es efectivo para evitar el contacto entre la piola y las aspas.
- 3) Al agregar la variable de un agarre con una posición estática se evidencia una grave problemática: el punto sobre la piola en el que se encuentre el agarre determina el punto final del movimiento (Fig. 72); esto implica que para realizar dos movimientos con puntos finales distintos, como el remo vertical y el curl de brazo, se requiere mover el agarre de una posición a otra, amarrando y desamarrando la piola, lo que implica una interrupción constante de la rutina. Agregado a esto, este traslado debe ser preciso, para lo que se requiere un entendimiento de parte del usuario de los puntos finales requeridos para todos los ejercicios, lo cual no se consideró viable como solución.

Fig. 72

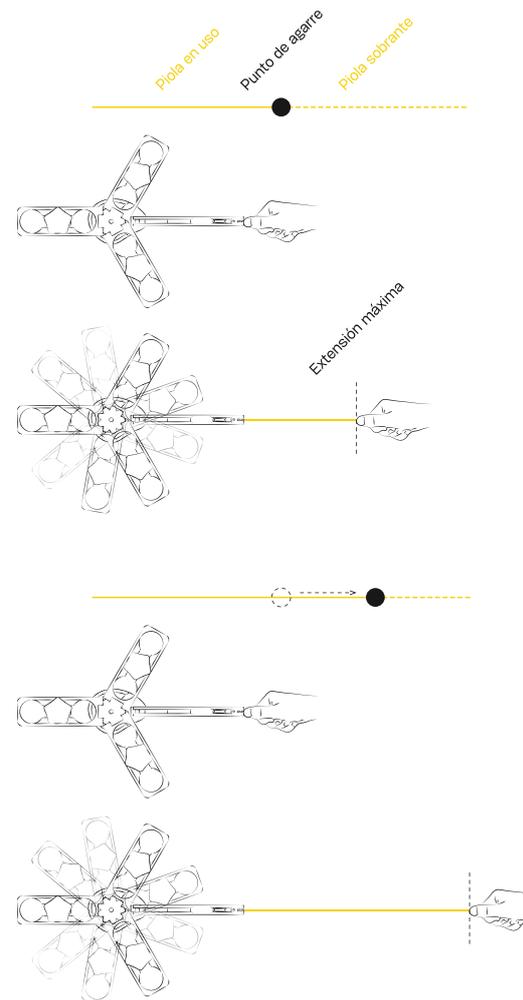


Diagrama de interacción entre posición del agarre y extensión del movimiento. (2022). Elaboración propia.

De estos resultados se sacaron las siguientes conclusiones:

- 1) La interacción entre las partes es suficientemente viable como para continuar con el diseño del producto integral.
- 2) Se requiere diseñar un mecanismo para que el sistema de agarre pueda ser trasladado a lo largo de la piola fácil y rápidamente para ajustarse a distintos rangos de movimiento.
- 3) Se requiere un sistema para evidenciar al usuario cuál es la posición óptima para el agarre según cada ejercicio.

AGARRE MÓVIL

Para resolver la problemática originada en la interacción entre el punto de agarre y el rango de movimiento se tomaron prestadas ideas de la navegación, donde mover una carga con distintos rangos de movimiento es una práctica habitual. El sistema más común compuesto por una roldana fija y un agarre móvil es el del polipasto, donde el agarre es conectado a la piola a través de una segunda roldana, y el final de la piola es amarrada a un punto fijo; esto permite mover libremente el amarre hasta el punto medio entre la roldana fija y el punto fijo con la piola en su máxima extensión (Fig. 73) (Maloney y Chapman, 1999).

Este sistema evita tener que fijar el agarre a una posición específica, y permite controlar el rango de movimiento según el largo total de la piola. Ahora, esto todavía presenta la problemática de que distintos ejercicios necesitan distintos rangos de movimiento, entonces ¿cómo logramos controlar el largo de la piola?

Para esto, se volvió a tomar inspiración del mundo náutico; si se controla en qué punto de su longitud se adhiere la piola al punto fijo, se puede determinar qué porción de esta es "útil" y está trabajando, efectivamente controlando su largo. El mecanismo más comúnmente utilizado para lograr esto es la mordaza.

Fig. 73

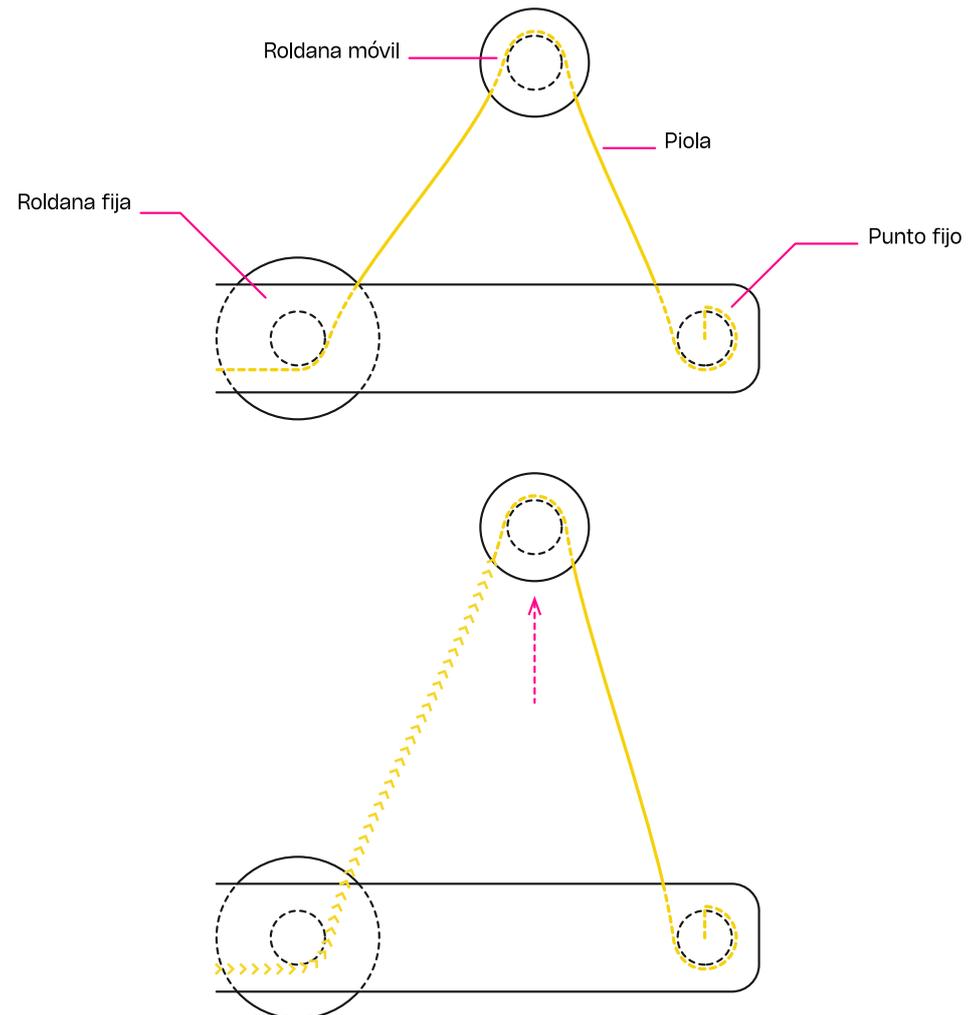


Diagrama de sistema de agarre móvil. (2022). Elaboración propia.

AGARRE MÓVIL: ROLDANA Y MORDAZA

Fig. 74



Roldana móvil. (2022). Elaboración propia.

Para aplicar los conceptos propuestos anteriormente se integró al mecanismo de volante de inercia una roldana móvil conectada a un mosquetón (Fig. 74), con el objetivo de poder acoplar diversos agarres según las necesidades de cada ejercicio. Tras comprobar el correcto funcionamiento del sistema se procedió a desarrollar el diseño de la mordaza.

Una mordaza es un mecanismo que, ya sea por roce, tensiones mecánicas opuestas, o una combinación de ambas, permite fijar un objeto (en este caso la piola) en una posición. Para este proyecto se requería un sistema que, además de asegurar la piola, permitiera al usuario rápidamente soltarla y cambiarla a una nueva posición. Para esto, se diseñó una estructura de canales internos en la punta de la palanca con una fijación final dentada (Fig. 75) que permite bloquearla y desbloquearla con un solo movimiento (Fig. 76).

Fig. 75

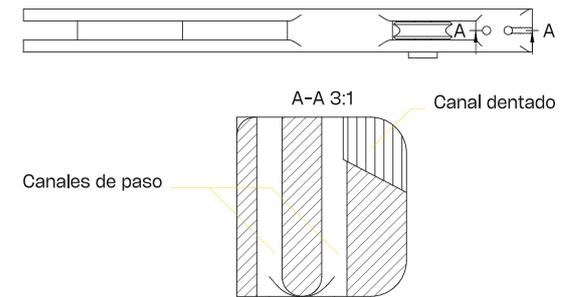


Diagrama del sistema de mordaza. (2022). Elaboración propia.

Fig. 76



Prototipo de mordaza. (2022). Elaboración propia.

AGARRE MÓVIL: PIOLA NUMERADA

Fig. 77



Render representativo de piola numerada. (2022).
Elaboración propia.

Habiendo probado la efectividad de la solución quedaba una problemática para resolver respecto a la interacción con el control del rango de movimiento de la piola: lograr que el usuario pueda realizar ajustes precisos para las necesidades de cada ejercicio.

Para esto, se optó por trabajar con una solución de señales visuales que indiquen el posicionamiento actual de la piola. Así, se planteó la idea de marcarla numéricamente en su largo (Fig. 77), con el objetivo de poder identificar puntos claves donde fijarla a la mordaza; de esta manera, si el usuario sabe que con la piola fija en el número “x” puede realizar cómodamente un ejercicio de curl de brazo, y en el número “y” una sentadilla (Fig. 78), cualquier rutina que incluya estos puede ser realizada rápidamente sin necesidad de probar el ajuste a la mordaza.

Para el diseño de la piola numerada se propone utilizar una cubierta delgada de PU sobre el nylon trenzado, esto por la facilidad para grabar sobre ella en comparación con el material textil. En cuanto a las unidades de medidas, al no estar sujetas a ninguna dimensión más que las proporciones mismas del producto, no se consideró estrictamente necesario utilizar una estandarizada; sin embargo, en busca de facilitar la producción y el proceso de control de calidad, se decidió trabajar con pulgadas enteras (los centímetros al ser unidades más pequeñas pueden dificultar la lectura).

Fig. 78

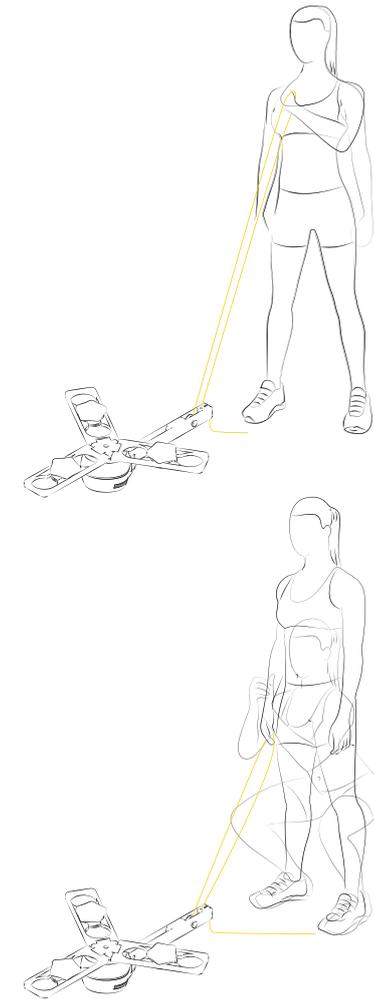


Diagrama de distintos puntos de fijación para distintos ejercicios. (2022). Elaboración propia.

AGARRE MÓVIL: VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS

Finalmente, quedaba un último problema a resolver: ¿cómo determinar cuales son las extensiones de la piola necesarias para cada ejercicio? Como los usuarios tienen diversas dimensiones antropométricas, los puntos máximos de extensión de cada movimiento deberían variar persona a persona.

Para esto hay dos soluciones, ambas incluyen recopilación de información por parte de los usuarios: la primera es que adopten las posiciones de cada movimiento una vez y dejen grabado (¿dónde? se explicará posteriormente) el número que deben fijar en la piola para cada uno; el problema de esto es que, bajo el supuesto de un usuario inexperto, requiere de un conocimiento previo para la ejecución correcta de la posición y del movimiento. La segunda es generar una biblioteca de movimientos y su relación con las medidas del usuario; así, con una cantidad limitada de datos fáciles de medir se pueden determinar los puntos fijos para todos los movimientos.

Como veremos a continuación, parte del proyecto incluye trabajar con un apoyo digital al usuario, si bien no se ahondará en esto en esta sección, es importante saber que se generó, junto al equipo experto, una biblioteca de ejercicios que se pueden realizar con el producto; esta incluye un análisis de cada movimiento, determinado cual es la medida antropométrica que dicta su longitud. Este análisis utiliza 3 variables: el punto de fijación de la ventosa, el

posicionamiento de los pies, y la identidad ergonómica (Tabla 9).

El método de obtención de estas medidas es mediante el uso de la misma piola numerada (Fig. 79), siguiendo instrucciones el usuario mide y anota:

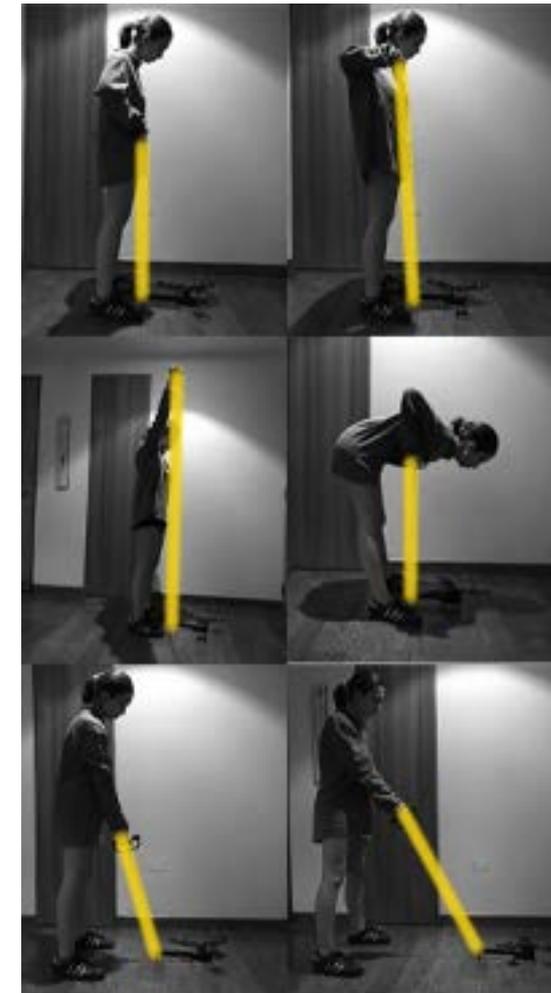
- 1) Altura piso-cadera.
- 2) Altura piso-hombro.
- 3) Altura total con brazo estirado.
- 4) Largura de brazo desde la vertical.
- 5) Largo de un paso hacia atrás.
- 6) Largo de dos pasos hacia atrás.

Tabla 9

Ejercicio	Ventosa	Variable	Identidad
Remo vertical	Piso	1 paso atrás	Piso-cadera
Sentadilla	Piso	-	Piso-cadera
Press de hombros	Piso	-	Extensión máxima
Peso muerto	Piso	-	Piso-cadera
Press de pecho	Muro medio	2 pasos atrás	Largo de brazos

Ejemplo de rutina básica y las variables que determinan la posición. (2022). Elaboración propia.

Fig. 79



Medición de variables antropométricas. (2022). Elaboración propia.

AGARRE

Fig. 80



Prototipado con agarres comerciales. (2022). Elaboración propia.

El sistema mismo de agarre del producto no fue una de las consideraciones del proyecto, el mecanismo de roldana móvil fue diseñado para poder ser adaptado a la múltiple oferta que existe actualmente de soluciones de agarre para equipamientos deportivos. Para comprobar esto y su efectividad se realizó una visita a un centro de actividad física con una amplia oferta de agarres y se probaron distintos tipos (Fig. 80), los resultados fueron positivos en la capacidad de la propuesta de adaptarse a objetos externos sin comprometer el funcionamiento del volante.

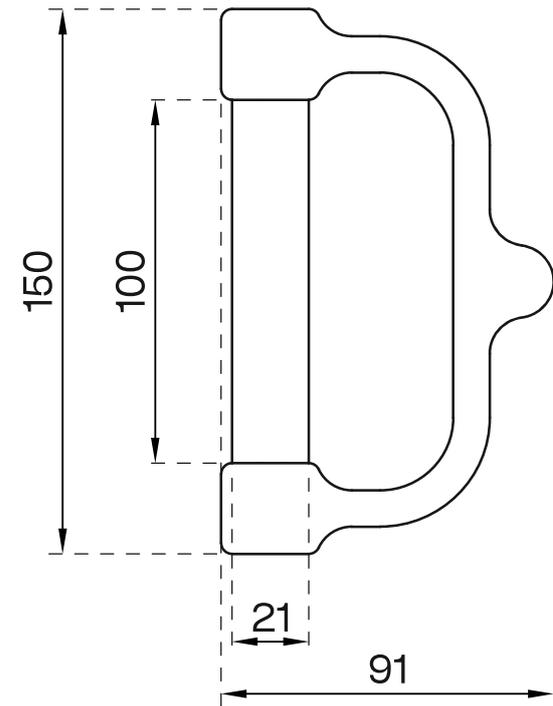
Para motivos del entregable de la propuesta, se desarrolló una agarre simple para una mano, con el objetivo de ser utilizado para el prototipado, y ser incluido como parte del pack inicial del producto (Fig. 81 y 82).

Fig. 81



Agarre propuesto en uso. (2022). Elaboración propia.

Fig. 82



Planimetría agarre propuesto (mm). (2022). Elaboración propia.

TAPA

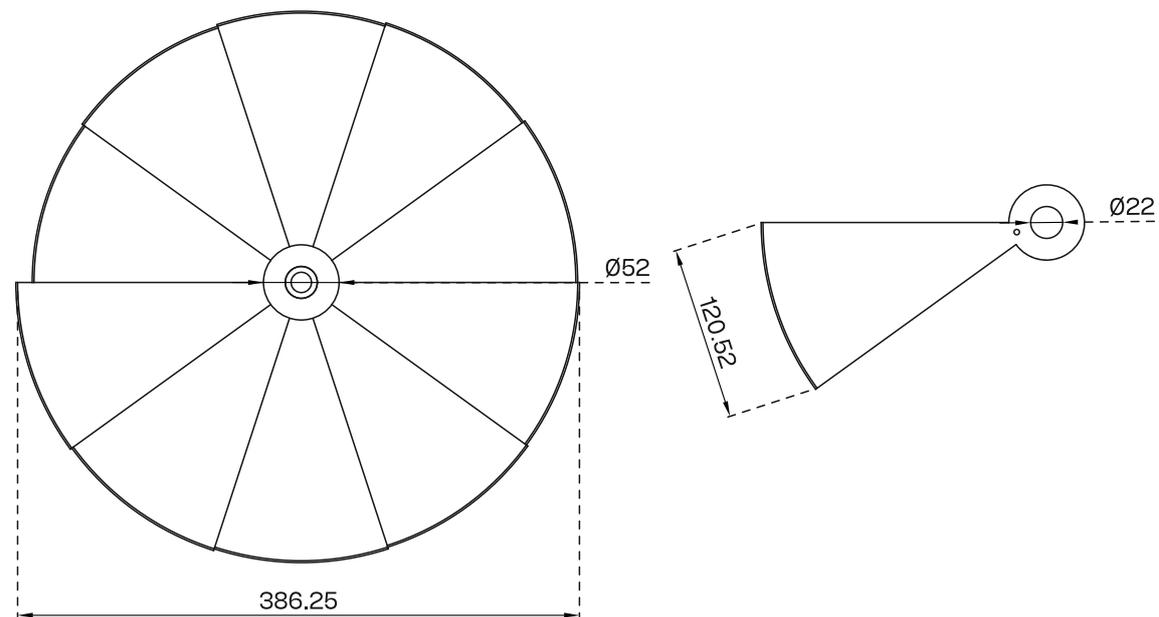
Desde el primer proceso de prototipo funcional se evidenció que la exposición directa a las aspas girando presenta un problema tanto para la seguridad del usuario como de los que estén cerca. Para solucionar esto se decidió diseñar una tapa que haga de barrera entre el objeto y el usuario; en este proceso se establecieron 2 necesidades a cumplir por esta:

- 1) Ser removible: cualquier solución de tapa no debe interrumpir el mecanismo de guardado de las aspas del volante.
- 2) Ser compacta: que las dimensiones finales de guardado de la tapa sean iguales o menores a las del resto del producto.
- 3) Ser rígida: si bien la tapa no tiene ningún requerimiento significativo respecto a su resistencia, si es importante que ante el contacto no se flecte ni se deforme, puesto que esto perdería el propósito de barrera.

En primer lugar se establecieron las dimensiones de trabajo; la tapa debía cumplir 3 requisitos: tener un radio mayor al de las aspas plegadas, el que se estimó que debía ser de un mínimo de 185 cm, una altura mayor a la de las aspas con los pesos integrados, que se calculó en 30.25 cm, y un ancho de guardado igual o menor a 121 cm (ancho máximo de la base del mecanismo).

Para esto, se propuso dividir la circunferencia en partes iguales, hasta llegar a la unidad más cercana al requisito de guardado; así, se diseñó una tapa de 10 partes colapsable sobre sí misma (Fig. 83).

Fig. 83



Planimetría de la tapa (mm). (2022). Elaboración propia.

TAPA

Se ocupó el mismo sistema tanto para la unión de las partes de la tapa como para el mecanismo de apertura y de cierre. Cada parte (a excepción de la primera y la última) tiene una ranura curva y una pequeña espiga (Fig. 84); la ranura de cada una guía a la espiga de la anterior, permitiendo así una apertura en forma de abanico, y que todas las partes puedan guardarse dentro de la primera (Fig. 85 y 87).

Fig. 84

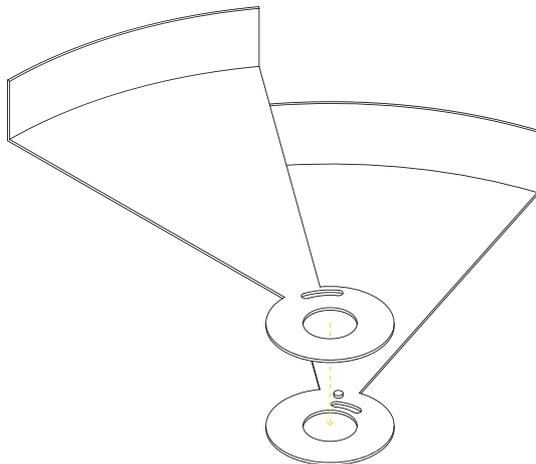
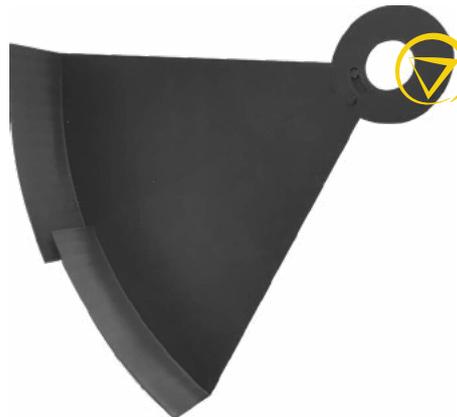


Diagrama de sistema de unión. (2022). Elaboración propia.

Para integrar la tapa al resto del mecanismo se diseñó una pieza tubular que une a todas las partes con un rodamiento en su base. Así, la tapa puede

ser acoplada al eje central del mecanismo y le permite girar independientemente de este, evitando generar problemáticas con la estabilización y el roce (Fig. 86).

Fig. 85



Prototipo del mecanismo de la tapa. (2022). Elaboración propia.

Fig. 86

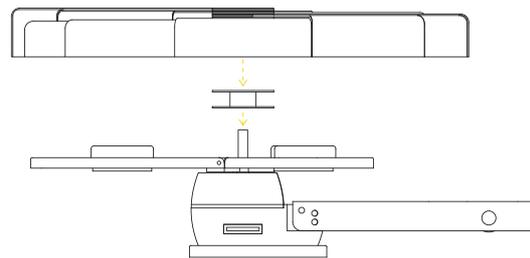


Diagrama de integración de la tapa. (2022). Elaboración propia.

Fig. 87



Prototipo semi funcional de la tapa. (2022). Elaboración propia.



El mecanismo y la morfología de la tapa funcionan hasta el punto prototipado, sin embargo, las limitaciones de tiempo y recursos (y habilidades del autor) de este proyecto evitaron la fabricación de un prototipo funcional completo que pudiese testearse junto al resto del mecanismo. No se consideró esencial que para la validación final estuviese incluida la tapa, pero para cualquier continuación del proyecto este es uno de los puntos faltantes más importantes a considerar.

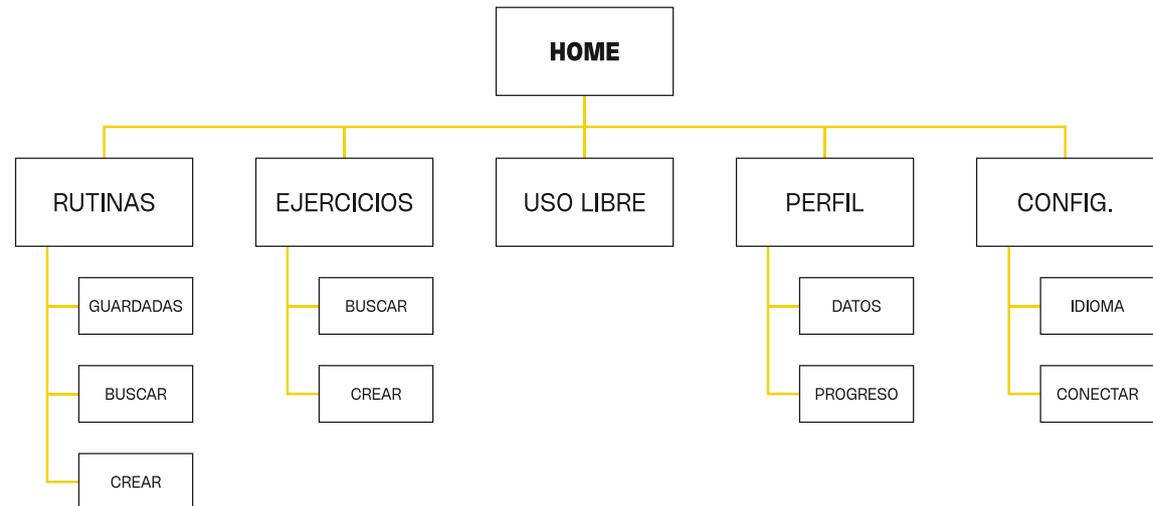
APLICACIÓN

Uno de los pilares fundamentales sobre los que se trabajó este proyecto fueron las barreras de entrada para los usuarios a la hora de realizar ejercicio; la propuesta puede cubrir un rango amplio de esfuerzos, ser eficiente en el uso del espacio, y adaptable a múltiples contextos, pero si el usuario inexperto no sabe cómo utilizarla el objetivo principal queda incompleto. Esta problemática tiene 2 partes: la configuración del posicionamiento y realización del ejercicio, considerada la más crítica, y la retroalimentación.

Para solucionar el problema de la configuración, se presentó la idea de trabajar con un sistema virtual que, apoyado en las guías visuales físicas del mismo objeto, hiciera de guía para el usuario respecto a los pasos a seguir para el posicionamiento y la ejecución de cada ejercicio.

Para adaptarse a los distintos contextos de uso y el valor de la compactabilidad del producto, este apoyo virtual tomó la forma de una aplicación para teléfonos móviles. Sin embargo, lo esencial de este es el concepto base de guía, y no el medio o la propuesta gráfica en sí, por lo en una continuación del proyecto puede ser trasladada a otros canales.

Esta aplicación propuesta incluye una biblioteca de ejercicios, rutinas recomendadas, y un sistema de apoyo directo.



Mapa inicial de aplicación. (2022). Elaboración propia.

APLICACIÓN: CONFIGURACIÓN DEL POSICIONAMIENTO

Uno de los objetivos principales del asistente virtual es lograr que el usuario pueda realizar correctamente el ejercicio; el pilar fundamental para esto es el posicionamiento del usuario con respecto al implemento deportivo (Sands et al., 2012).

Así, se determinaron junto al equipo experto de trabajo una serie de pasos a seguir que fuerzan una posición correcta para la ejecución del ejercicio:

- 1) Fijar la mordaza: cada ejercicio tiene un punto específico sobre la piola para controlar su punto máximo de extensión.
- 2) Posicionar la ventosa/eslinga: puede ser en el piso, muro bajo (altura de la tibia), muro medio (frente al pecho), o muro alto (altura máxima alcanzada con el brazo).
- 3) Ajustar los pesos.
- 4) Acoplar el agarre: según las necesidades de cada ejercicio y la disponibilidad que haya para el usuario.
- 5) Poner la tapa.
- 6) Posicionar los pies: los ejercicios se pueden realizar sobre la roldana-pivote, con ambos pies a dos pasos de distancia, o con un pie a un paso de distancia y el otro cruzado atrás.



Primera iteración de guía paso a paso para la configuración del posicionamiento. (2022). Elaboración propia.

APLICACIÓN: RETROALIMENTACIÓN

Uno de los factores más importantes levantados a la hora de incentivar y promover la consistencia de la actividad física es comunicar de manera clara al usuario su rendimiento y avance. La retroalimentación respecto al nivel de esfuerzo en cada repetición, el progreso que ha realizado en una escala de tiempo determinada, y el rumbo más eficiente a seguir según su situación actual permiten que las personas puedan visualizar el valor de lo logrado, y establecer metas alcanzables que los motiven.

Entonces ¿cómo entregar esta información al usuario? El primer problema a solucionar es la unilateralidad de la “conversación”; la aplicación guía puede entregar información personalizada solo a medida que reciba datos con los que construirla, los cuales deben ser ingresados por el usuario. Esto levanta 2 problemáticas: no permite entregar retroalimentación instantánea durante el ejercicio, y, bajo el supuesto de que este es un usuario inexperto, aquellos datos más complejos de comprender/ cuantificar no podrían ser solicitados.

Así, se decidió trabajar con un sistema mixto que recibiese por un lado información directa del usuario, y por otro de manera automática desde el producto. El dato más relevante que debía entregar el producto es el nivel de energía cinética generado por el volante en un determinado momento, este permite comunicar al usuario el esfuerzo realizado en tiempo real y construir mapas de progreso; para esto, se volvió a trabajar

con la fórmula de la energía cinética rotacional:

$$E = 1/2 \times (I \times \omega)^2$$

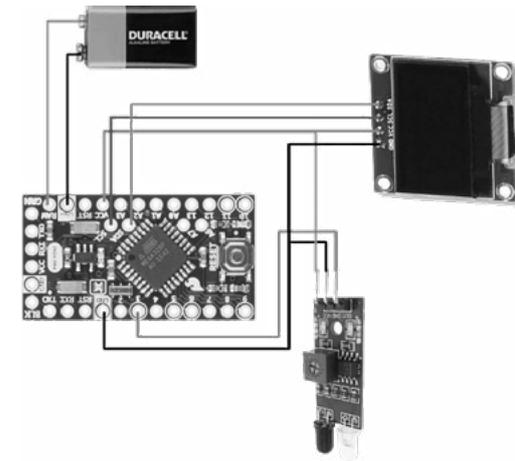
$$I = (m \times r)^2$$

Ya que la propuesta tiene una masa “m” constante, y el radio “r” está acotado a 3 distancias conocidas de los pesos al centro que son fáciles para el usuario de anotar, la única variable compleja que se requiere es la velocidad angular “ ω ”. Para esto, la solución más simple es medir las revoluciones por minuto, siguiendo la siguiente fórmula:

$$\omega = \text{RPM} \times 2 \times \text{PI} / 60$$

El tacómetro es el instrumento dedicado a medir la velocidad rotacional de un objeto; su configuración es relativamente simple, requiere un lector infrarrojo apuntando al objeto, una computadora monoplaca, y un sistema de visualización, en este caso un transmisor bluetooth para visualizar en la aplicación (Fig. 88).

Fig. 88



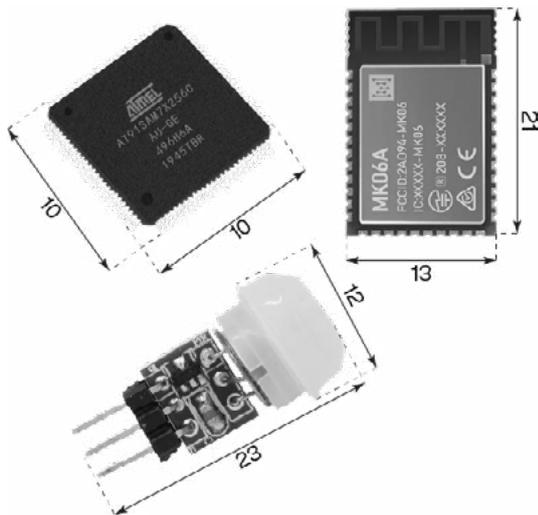
Circuito de tacómetro con arduino. (2021). Neal Gordon. <https://github.com>



Tacómetro. (2021). Rolán Store. <http://www.rolan.cl>

APLICACIÓN: RETROALIMENTACIÓN

Fig. 89

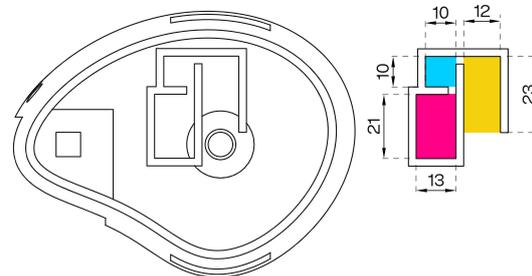


Dimensiones estandarizadas de componentes electrónicos. (2022). Elaboración propia. Fuente: MRCSS, Moko, y Robotlinking.

Para integrar el circuito de tacómetro al resto del producto, se establecieron dimensiones estándar en la industria para los componentes requeridos (Fig. 89), según estas se desarrolló una acople a la base superior del volante de inercia, permitiendo acceso al armado y enfocando el sensor infrarrojo al fondo del eje de rotación (Fig. 90).

Fig. 90

- Sensor infrarrojo
- Microchip
- Transmisor bluetooth



Acople de componentes electrónicos. (2021). Elaboración propia.

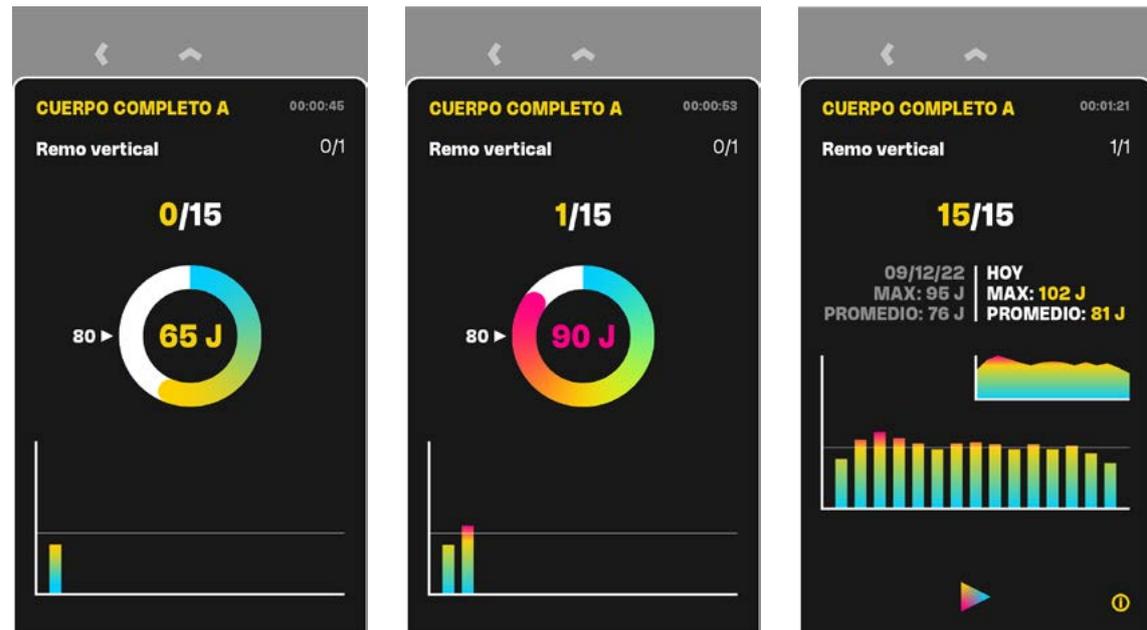


El enfoque de este proyecto, desde un punto de vista de elaboración, fue resolver el funcionamiento y la morfología física del producto; por tanto, los componentes electrónicos fueron presentados a nivel de propuesta, y su prototipado fue llevado a cabo con simulaciones parciales de sus funciones. Se considera prioritario para un futuro desarrollo profundizar en la búsqueda, desarrollo e integración correcta de estas partes al objeto.

APLICACIÓN: RETROALIMENTACIÓN

Con la integración del tacómetro al producto, se puede enviar información a tiempo real de la energía cinética rotacional generada a la aplicación, con esto se puede:

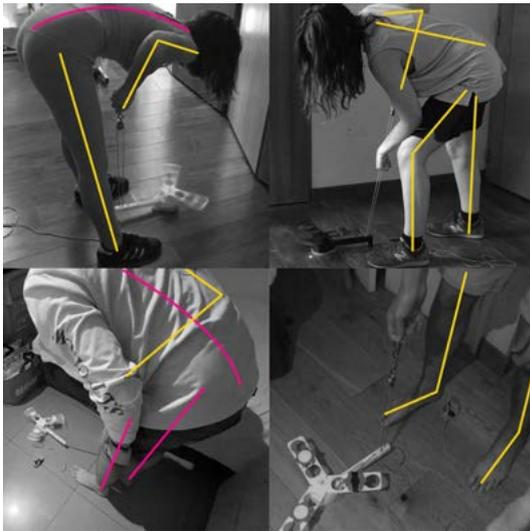
- 1) Indicar al usuario cuánto esfuerzo está realizando en comparación a lo requerido por la rutina o sus propias metas para ese ejercicio particular.
- 2) Informar la progresión de esfuerzo a lo largo de una serie de repeticiones de un ejercicio.
- 3) Comparar los niveles de esfuerzo entre distintas sesiones y hacer una proyección histórica.
- 4) Establecer cómo proseguir una rutina: si una sesión el usuario progresó en comparación a la anterior se programa un entrenamiento más exigente para la próxima vez; por el contrario, si hubo un retroceso o un estancamiento se pueden sugerir cambios a la rutina o una semana de menor volumen.



Retroalimentación en tiempo real durante el desarrollo de una rutina. (2022). Elaboración propia.

APLICACIÓN: **PROTOTIPADO**

Fig. 91



Análisis de las posturas durante el ejercicio. (2022).
Elaboración propia.

La interacción de los usuarios con la configuración del posicionamiento y la retroalimentación en tiempo real fueron testeadas durante los procesos de prototipado siguientes. Estas fueron simulaciones parciales (se imitó la función principal a verificar) donde se probó la efectividad de la aplicación para guiar la instalación del objeto, la adopción de posiciones y movimientos correctos para cada ejercicio (Fig. 91), y la capacidad de los usuarios de mantener un ritmo de esfuerzo constante siguiendo sus niveles de esfuerzo a tiempo real. Los resultados fueron positivos en términos generales, y serán profundizados en su sección correspondiente.

En cuanto a la responsividad y la valorización de la comunicación visual de la aplicación, se desarrollaron una serie de procesos de prototipado rápido donde 5 usuarios navegaron por sus distintas secciones y valorizaron su claridad (Fig. 92). Según el resultado de este proceso se hicieron leves cambios a la identidad gráfica y el orden interno de la aplicación, los cuales fueron aplicados para la versión final, presentada posteriormente.

Fig. 92



Testeo de la interfaz. (2022). Elaboración propia.

PROTOTIPO FUNCIONAL 3

Fig. 93



Proceso de producción de ventosas. (2022). Elaboración propia.

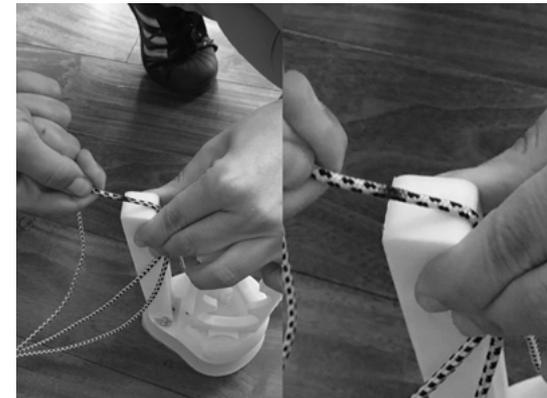
El último prototipo funcional previo a la propuesta final buscaba integrar todas las partes desarrolladas durante el proceso de diseño, tiene como objetivo demostrar la viabilidad del mecanismo como una totalidad, además de probar la efectividad de un sistema de apoyo para configurar el posicionamiento y el desarrollo de los ejercicios.

Para esto se construyeron 2 objetos idénticos excepto que uno fue desarrollado para testear el montaje con ventosa y el otro con correas (Fig. 93). Esta decisión se tomó para evitar que el desgaste de uno en su montaje durante el prototipado afecte la efectividad del otro.

Las partes que durante el desarrollo del diseño llegaron a una propuesta teórica o semi funcional se enfrentaron de la siguiente manera:

- 1) Piola numerada: ante la falta de un prototipo físico, se dio como solución simplemente marcar con colores la posición en la cual el usuario debe fijar la mordaza (Fig. 94).
- 2) Aplicación de apoyo: para simular el uso de la aplicación se mostraron imágenes fijas de la sección de posicionamiento.
- 3) Tapa: como se dijo anteriormente, no se consideró vital su integración funcional para el proceso de prototipado.

Fig. 94



Simulación de piola numerada. (2022). Elaboración propia.

PROTOTIPO FUNCIONAL 3: PROTOTIPADO

Fig. 95



Proceso de prototipado con montaje de ventosa. (2022).
Elaboración propia.

Para el prototipado se mostró a los usuarios las instrucciones propuestas para la instalación del producto y la adopción de la posición para la ejecución de un movimiento de remo (Fig. 95). Esto se hizo a través de imágenes estáticas de la primera iteración de la sección de configuración del posicionamiento de la aplicación.

3 de los usuarios utilizaron el montaje de ventosa, y 1 el de correas (Fig. 96), bajo el supuesto de que la interacción se dará la mayoría de las veces con el primero.

El análisis de los resultados fue realizado a través de una inspección de la recopilación visual del proceso de prototipado de cada usuario, está fue llevada a cabo en conjunto con el equipo experto y buscaba evaluar 3 variables:

- 1) Correcta configuración del objeto.
- 2) Correcto posicionamiento del usuario con respecto al objeto.
- 3) Correcta ejecución del movimiento.

Por otro lado, se realizó una breve entrevista posterior a los usuarios para que entregara su opinión respecto a la facilidad y comodidad del proceso.

Fig. 96



Proceso de prototipado con montaje de correas. (2022).
Elaboración propia.

Tabla 10

Usuarios	4
Duración	2 semanas.
Materialidad y fabricación	PLA, acero, silicona, nylon. Impresión 3D.
Resultados a medir	<ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de instalación. • Viabilidad de la interacción. • Efectividad del apoyo.
Metodología de medición	Observación visual y entrevistas.

PROTOTIPO FUNCIONAL 3: RESULTADOS

Del proceso de prototipado se obtuvieron los siguientes resultados:

- 1) El sistema de montaje funciona en conjunto con el resto de las partes del mecanismo.
- 2) El sistema de apoyo visual es eficiente para la configuración del objeto.
- 3) El sistema de apoyo visual es eficiente para adoptar el correcto posicionamiento del usuario con respecto al objeto.
- 4) El sistema de apoyo visual es ineficiente para la correcta ejecución del movimiento; a los usuarios les falta información con la imagen estática y adoptan posturas incorrectas que conllevan un riesgo de lesión.
- 5) Las fallas asociadas a la construcción del mecanismo interfieren con la correcta ejecución del ejercicio.

De estos resultados se sacaron las siguientes conclusiones:

- 1) La interacción entre las partes es lo suficientemente viable como para proceder a la propuesta final.
- 2) Se requiere diseñar una gráfica más clara para el apoyo digital,

que permita a los usuarios ver los movimientos en completitud y con referencias reales, no solo dibujos.

- 3) Las fallas relacionadas a los materiales y procesos disponibles para este proyecto (y, nuevamente, las habilidades del autor) evitan visualizar y testear el funcionamiento del producto bajo el supuesto de un método productivo industrial; se decidió que la validez del mecanismo ha sido comprobada lo suficiente como para complementar con fijaciones que ayuden a su correcto funcionamiento, pero no estén dentro de la propuesta, y suponer que bajo mejores condiciones estas no serían necesarias.



Proceso de prototipado con montaje de correas. (2022).
Elaboración propia.

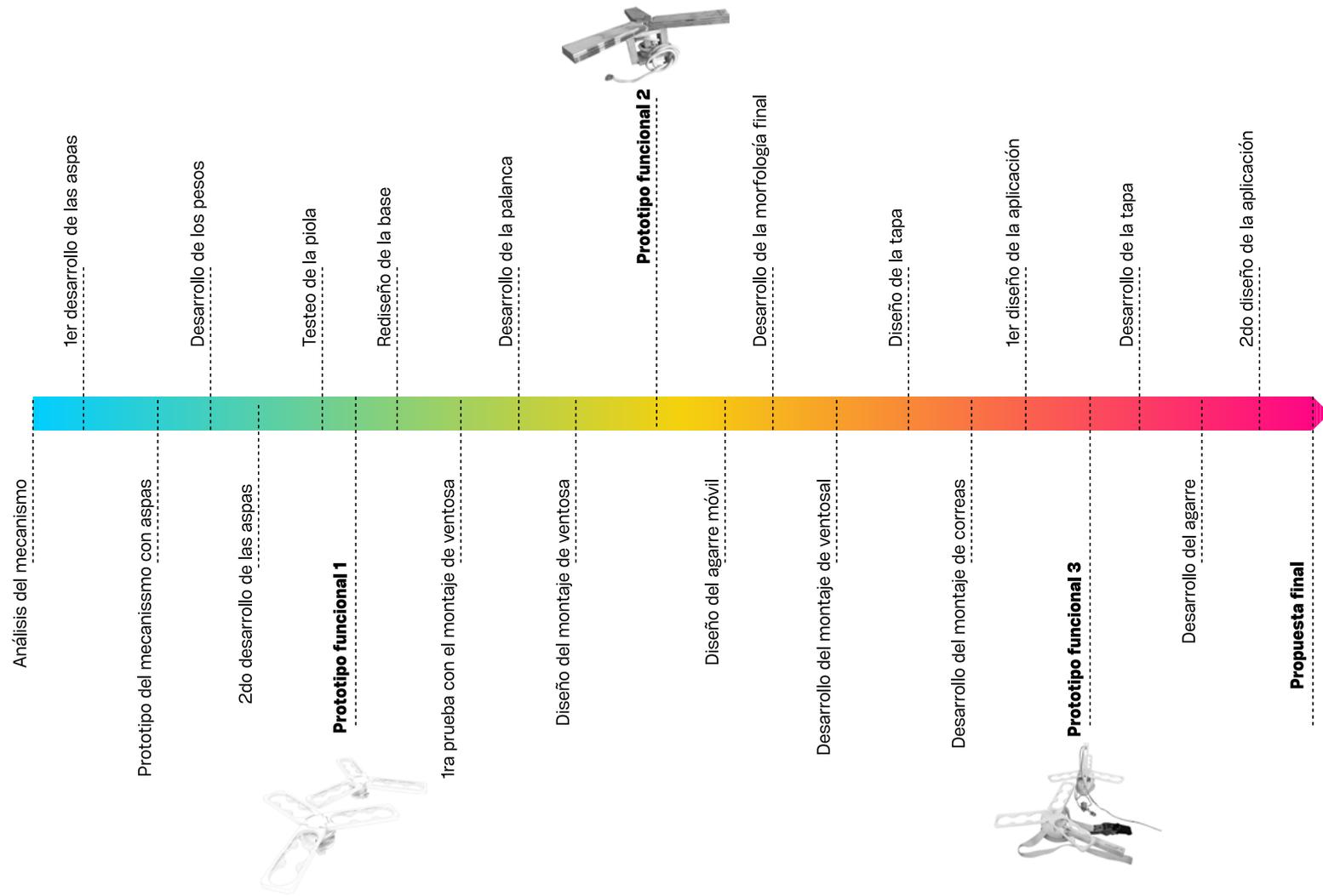
“El armado es fácil, los movimientos son pocos e intuitivos.”

“No supe bien qué hacer (movimiento de ejercicio) viendo la foto nomás.”

Tabla 11

Variable	Usuario 1	Usuario 2	Usuario 3	Usuario 4 (Correas)
Montaje	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Posicionamiento	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
Ejecución del movimiento	No cumple	No cumple	No cumple	Cumple

LÍNEA DE TIEMPO DEL PROCESO DE DISEÑO



Línea de tiempo del proceso de diseño. (2022). Elaboración propia.

06 PROPUESTA FINAL

Dentro de esta sección se presenta la conclusión del proceso de diseño a través de propuestas finales tanto teóricas como prácticas. Junto a estas se levantan alternativas estéticas y opciones de packaging y guardado.

Finalmente, se presenta el proceso de validación final y el análisis del cumplimiento de los objetivos del proyecto.



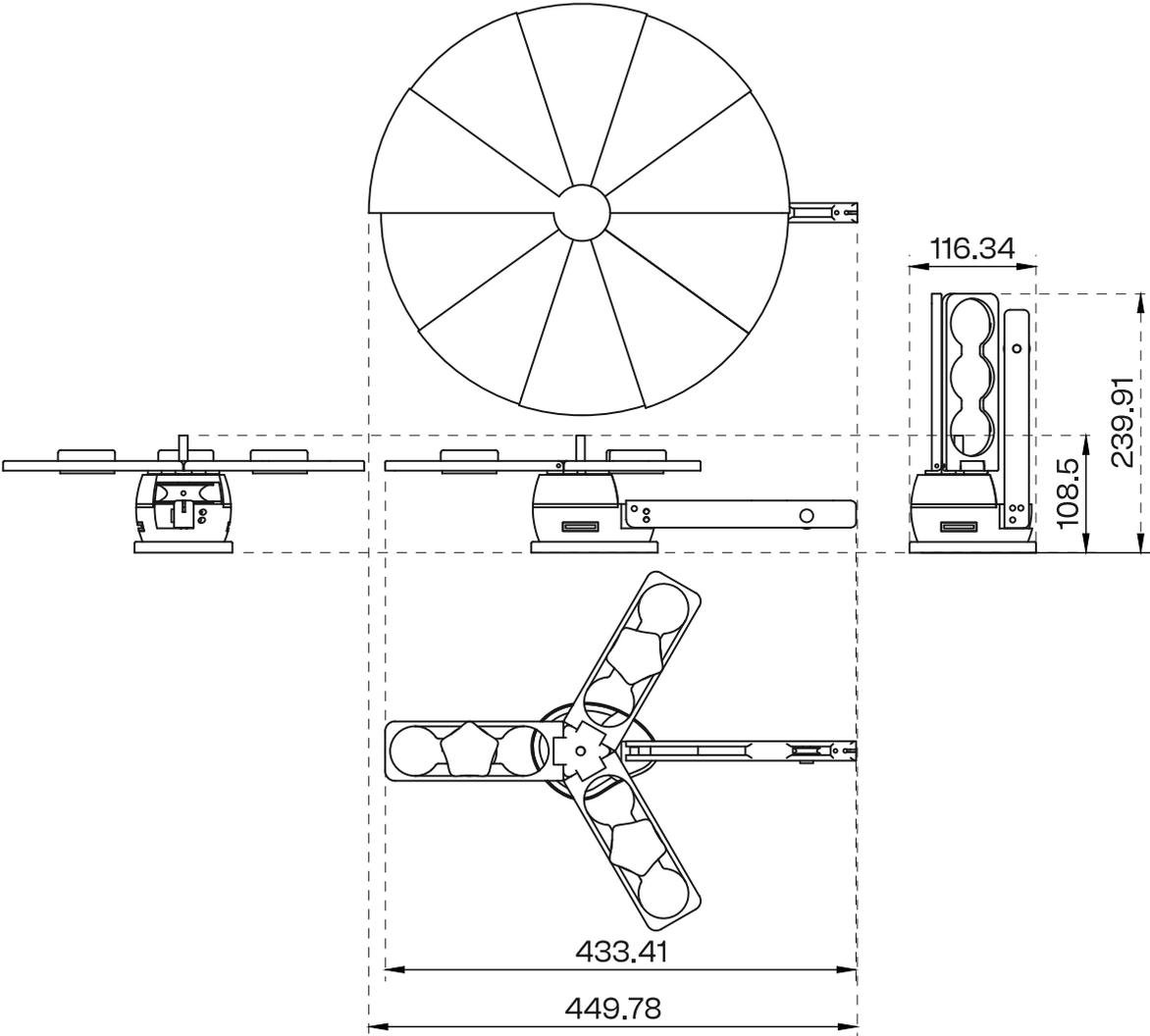
PROPUESTA FINAL

Tras el proceso de diseño, se integraron todas las partes prototipadas a lo largo de este y se implementaron en una versión final del producto: un volante de inercia deportivo plegable con una solución de montaje adaptable a múltiples contextos, un mecanismo de control del esfuerzo interno, y un sistema de apoyo digital en formato de aplicación.



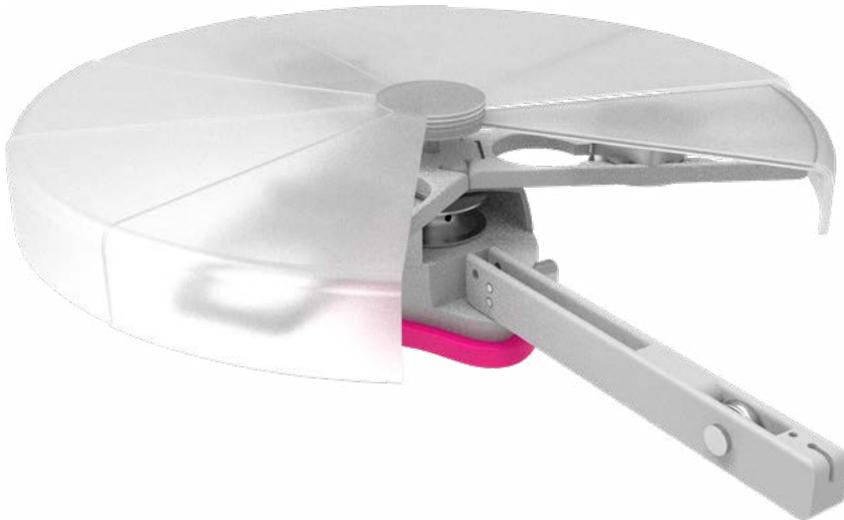
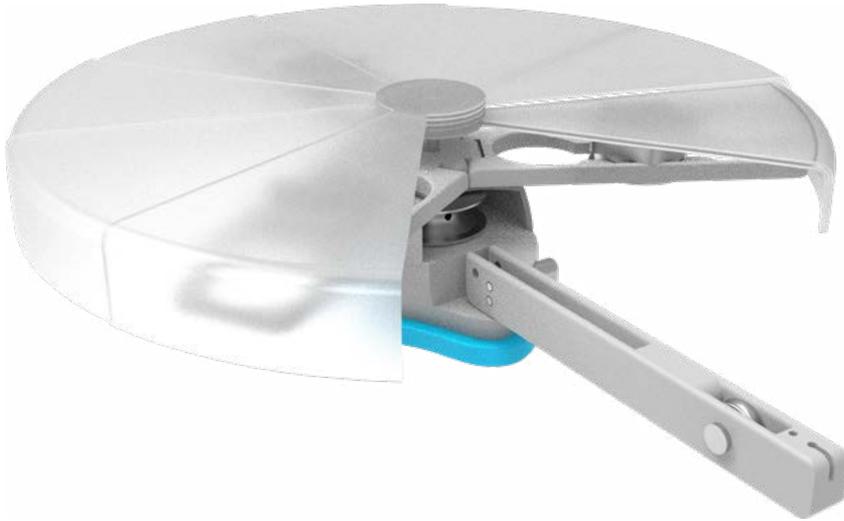
Renders de la propuesta final. (2022). Elaboración propia.

PROPUESTA FINAL: PLANIEMTRÍA



Planimetría propuesta final (mm). (2022). Elaboración propia.

PROPUESTA FINAL: ALTERNATIVAS ESTÉTICAS



Versiones alternativas. (2022). Elaboración propia.

MATERIALIDAD

La decisión de los materiales fue basada en 3 consideraciones: propiedades mecánicas, costos, y usabilidad.

BASE, PALANCAS Y ASPAS: ABS.

El prototipado comprobó que los plásticos pueden cumplir un rol que en las alternativas en el mercado cumplen los metales, presentando una mejor opción en materia de densidad y precio, con propiedades mecánicas similares. Se decidió trabajar con el ABS por tener la perfecta combinación de dureza, resistencia al quiebre, baja densidad, y, gracias a su método de producción a través de inyección, la capacidad de adquirir formas complejas (como las que requiere la propuesta).

TAPA: ACRÍLICO.

Esta pieza no requiere una alta dureza o resistencia al quiebre, puesto que hace más de una barrera visual para el usuario; a su vez, se consideró como requerimiento que fuese traslúcida, permitiendo que se vea el correcto funcionamiento del mecanismo debajo (que también sirve como señal visual para el usuario durante el ejercicio). Para esto, el material más comúnmente usado es el acrílico, por su facilidad de producción y amplia gama de alternativas cosméticas.

PESOS Y PLACA DE UNIÓN: ACERO INOXIDABLE.

La placa de unión requiere una dureza y resistencia mayor que el resto del producto, esto por las fuerzas que se le aplican a la hora de generar el vacío de la ventosa. Por otro lado, los pesos requieren ser lo más densos posibles para evitar tener que utilizar una mayor volumetría. Para ambos casos el mejor material de fácil acceso es el acero.

EJE DE ROTACIÓN, ROLDANAS Y PASADORES: ALUMINIO.

Estas piezas también requieren una mayor resistencia, especialmente a la temperatura generada por la rotación del objeto. Sin embargo, al no necesitar una dureza ni una densidad específica, se optó por una opción menos costosa como lo es el aluminio.

VENTOSA: SILICONA DE CAUCHO.

El material utilizado durante el prototipado demostró ser viable para esta aplicación, con un amplio rango de procesos productivos y alternativas cosméticas.

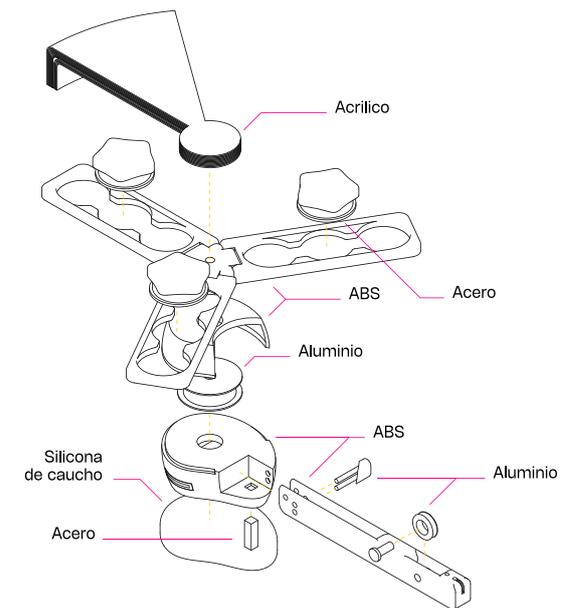


Diagrama de materialidad de las partes. (2022).
Elaboración propia.

PROTOTIPO FUNCIONAL FINAL

Para efectos de visualización y el último proceso de validación se construyó un último prototipo funcional escala 1:1 (Fig. 97).

El método de fabricación principalmente mediante impresión 3D para las aspas, la base, la palanca, la placa de unión a la ventosa, el agarre, y los pasadores y roldanas, todas hechas de PLA, complementando con la utilización de un proceso de moldeo para la ventosa de silicona de caucho, y de piezas externas para los rodamientos, la piola, la eslinga, y la roldana móvil.

Adicionalmente, se desarrolló una alternativa rígida a la ventosa de silicona de caucho, con el objetivo de adherirla mecánicamente a las superficies y poder validar sin las limitantes materiales que generan un montaje débil.

Fig. 97



Prototipo final. (2022). Elaboración propia.

GUARDADO Y TRANSPORTE

Tanto para el packaging como para el guardado y traslado del producto se propuso un bolso con forma de paralelepípedo, para las dimensiones se utilizaron las medidas mínimas que permitían guardar el equipamiento completo (Fig. 99). La propuesta material es una base de tela cordura, por su bajo costo y alta resistencia al rasgado, con correas de nylon para el traslado.

Las dimensiones permiten el guardado utilizando 1/16 del espacio mínimo para un cajón de closet simple (MINVU).

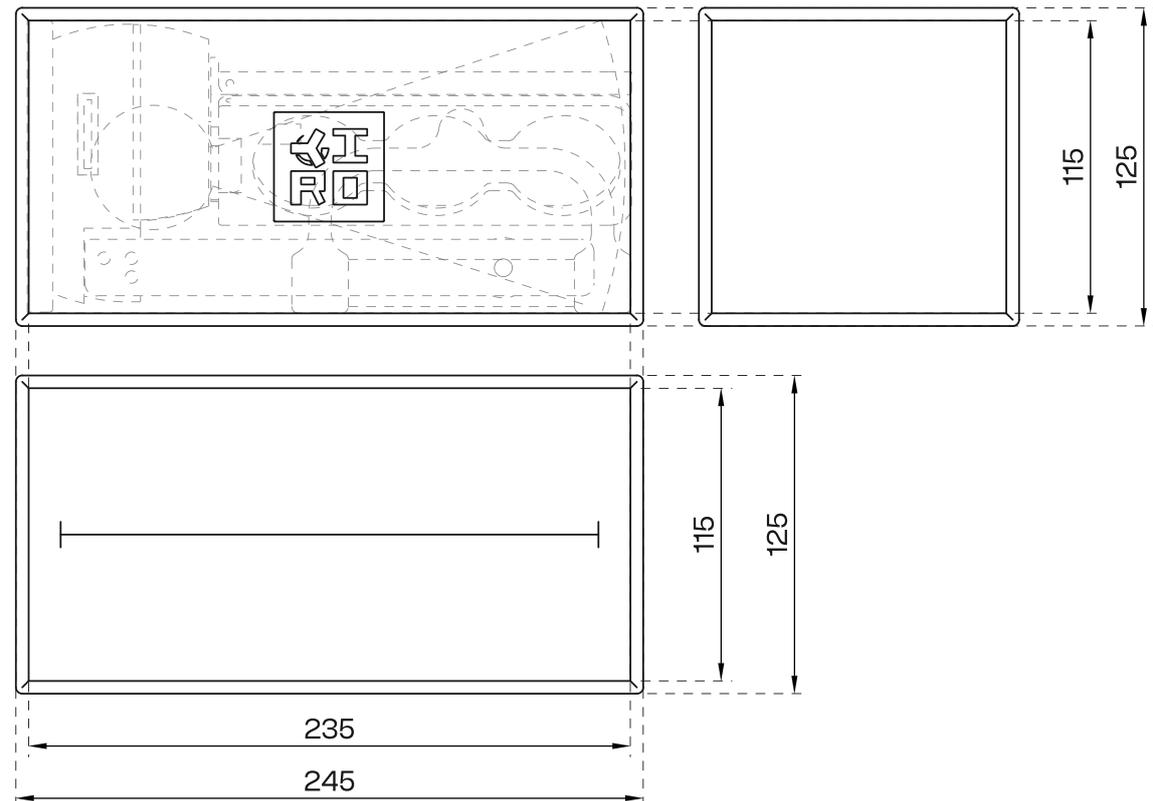
Se realizó un prototipado rápido para comprobar que los elementos efectivamente podían ser guardados y manipulados dentro de la geometría propuesta (Fig. 98), los resultados fueron positivos y validaron el bolso como solución.

Fig. 98



Prototipo rápido del bolso. (2022). Elaboración propia.

Fig. 99



Planimetría del bolso (mm). (2022). Elaboración propia.

GUARDADO Y TRANSPORTE



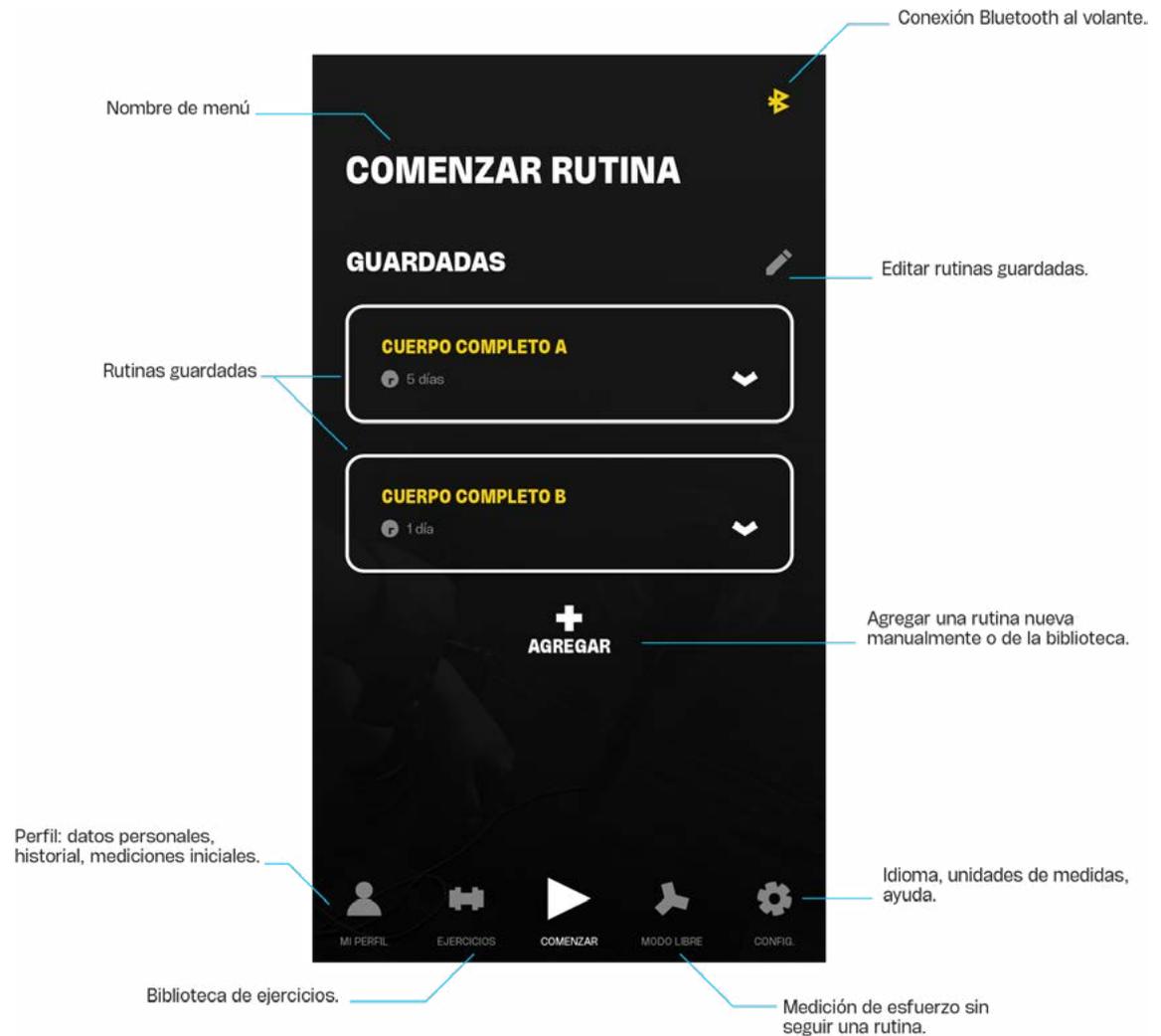
Render del bolso propuesto. (2022). Elaboración propia.

APLICACIÓN

La propuesta final de la aplicación se enfocó en las áreas de interacción directa del usuario con el apoyo digital: la configuración del posicionamiento y ejecución de los ejercicios, la retroalimentación en tiempo real, y las mediciones iniciales que determinan la configuración personalizada al usuario para cada ejercicio.

La versión final incluye imágenes reales estáticas y animadas, combinadas con diagramas representativos, para así entregar de manera clara al usuario las posiciones y movimientos a adoptar. En términos estéticos, se mantuvo una gráfica minimalista con un uso de colores contrastantes en los lugares donde se quería enfocar la atención del usuario.

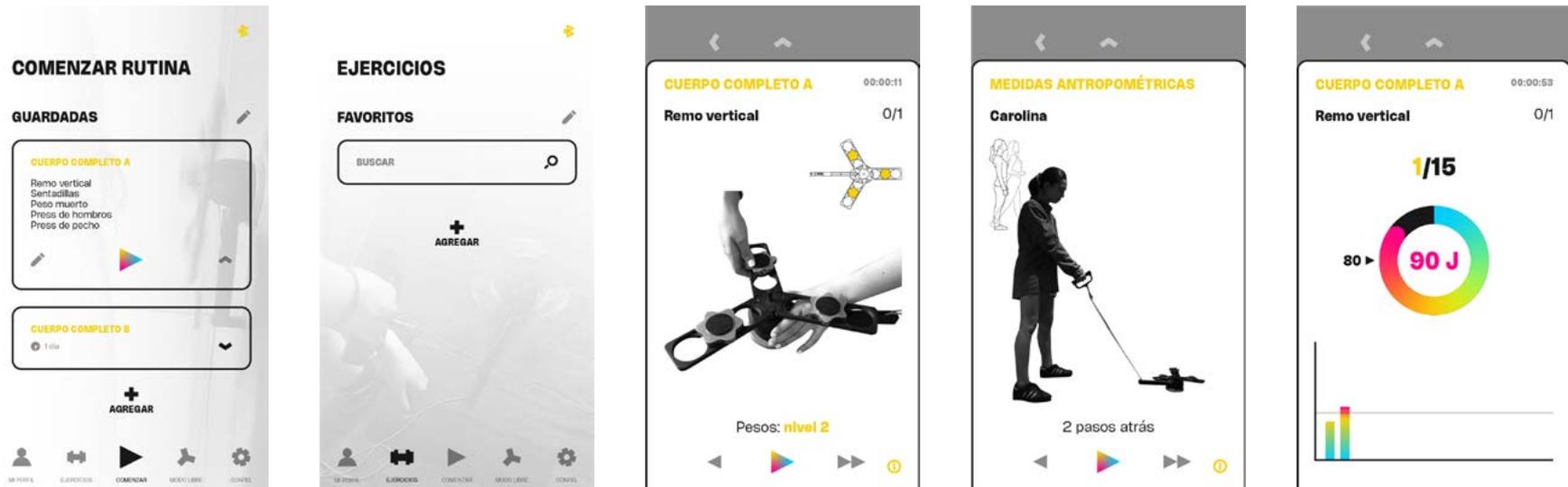
En este [link](#) está el prototipo final de la aplicación para probar su navegación.



Pantalla de inicio aplicación. (2022). Elaboración propia.

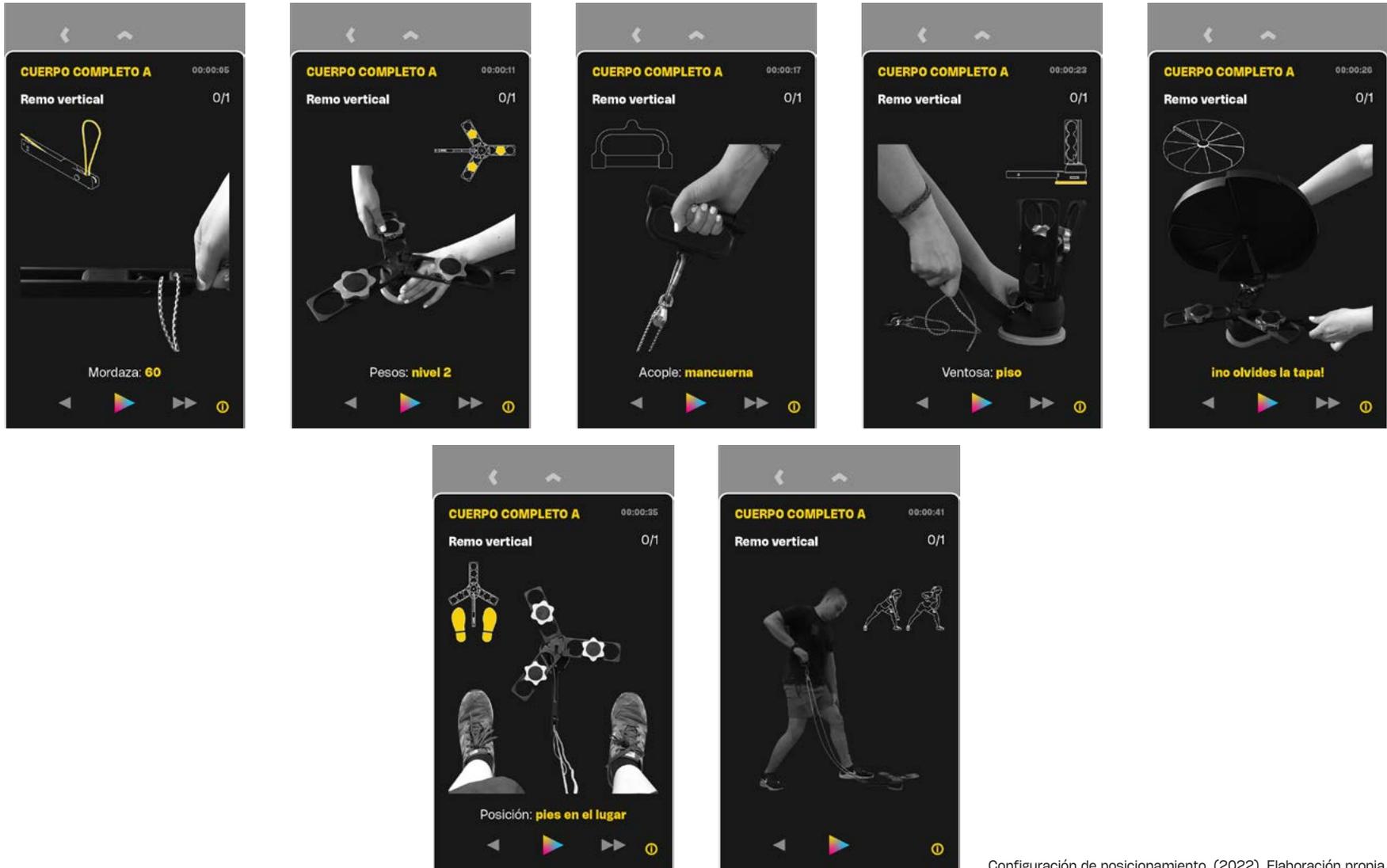
APLICACIÓN: MODO CLARO

Adicionalmente, se desarrolló un “modo claro” alternativo para aquellos usuarios que tienen problemas para visualizar el contraste de la versión original de la aplicación. Esta es una característica sencilla de implementar considerando que solo requiere invertir la paleta de colores usada en la versión actual.



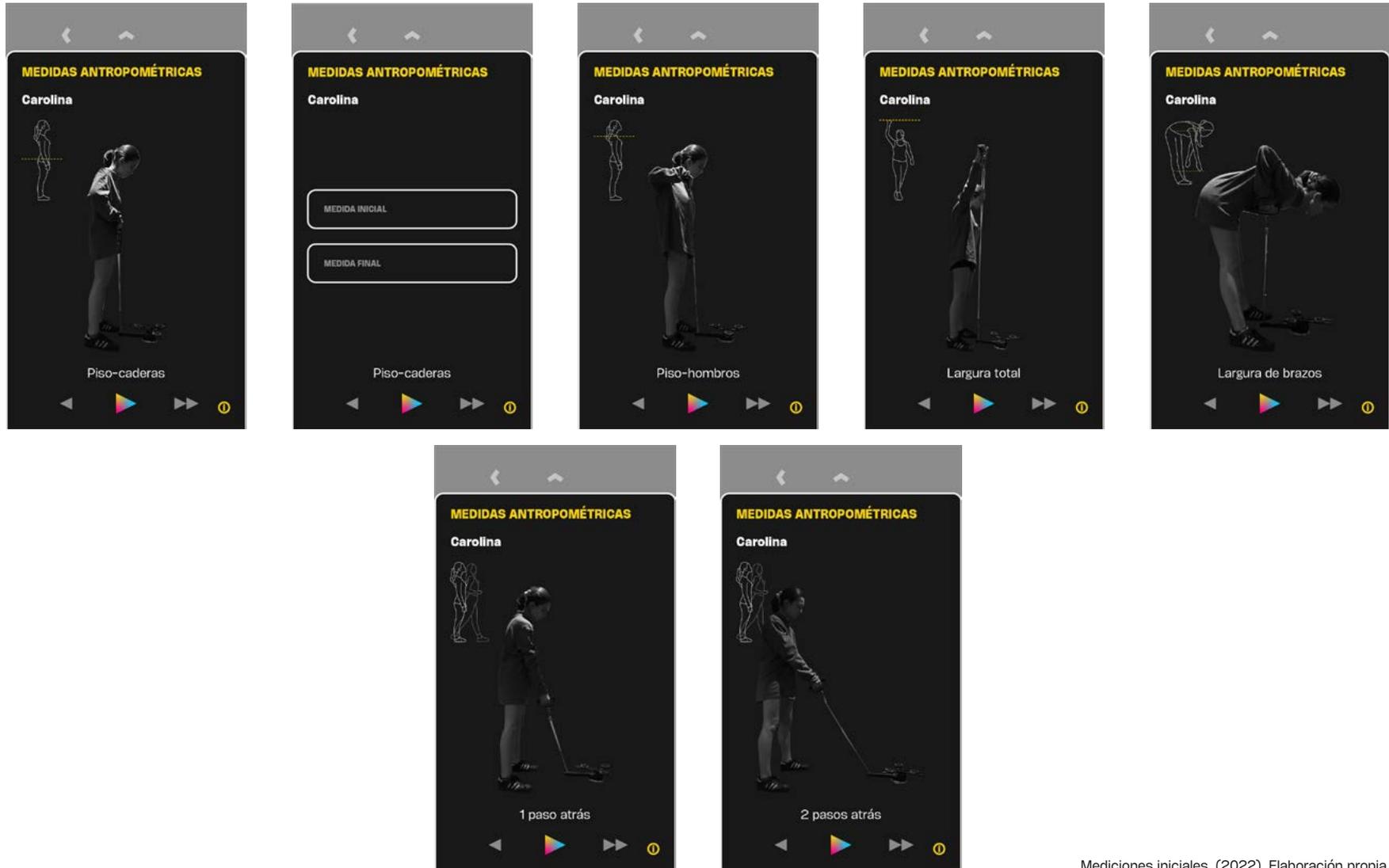
Ejemplos de la aplicación en modo claro. (2022). Elaboración propia.

APLICACIÓN: CONFIGURACIÓN DEL POSICIONAMIENTO



Configuración de posicionamiento. (2022). Elaboración propia.

APLICACIÓN: MEDICIONES INICIALES



Mediciones iniciales. (2022). Elaboración propia.

VALIDACIÓN: PATRONES DE MOVIMIENTO FUNDAMENTALES

La primera etapa del proceso de validación consistió en desarrollar una rutina básica para usuarios principiantes alrededor de los patrones fundamentales de movimiento. Este proceso fue realizado en conjunto con el kinesiólogo deportivo, tanto para la construcción de los ejercicios como para el testeo de la efectividad de la propuesta para realizarlos.

Así, se desarrolló una rutina consistente de: sentadillas, remo vertical, peso muerto, levantamiento lateral y press de pecho (Fig. 100). El único patrón de movimiento no incluido fue la estocada, por su dificultad de ejecución para principiantes, de todas maneras fue testeada e integrada a otras instancias de validación.

Los resultados demostraron la efectividad del producto para la realización de la actividad física anaeróbica. Los comentarios del kinesiólogo fueron positivos respecto a la posibilidad de implementación del mecanismo en el mercado:

“Creo que **tiene** mucho **valor para las personas con poca experiencia** (...) la ausencia de un peso inicial **hace que se pueda partir desde cualquier nivel** sin problemas.”

“La transformación de la forma, **que se pueda guardar en un espacio pequeño y llevarlo de viaje, o a la plaza**, creo que **puede llegar a un público muy amplio** que se está moviendo todo el día y no tiene

tiempo.”

“Creo que **tiene** mucho **valor para las personas con poca experiencia** (...) la ausencia de un peso inicial **hace que se pueda partir desde cualquier nivel** sin problemas.”

“Con un 3 puntos de apoyo, una piola y una agarre **se puede hacer cualquier ejercicio, la versatilidad es infinita.**”

“Con un 3 puntos de apoyo, una piola y una agarre **se puede hacer cualquier ejercicio, la versatilidad es infinita.**”

“Creo que **el agarre es muy importante**, si vas (el autor) a seguir con esto deberías enfocarte en **identificar cuáles son los tipos de agarre que te permiten hacer una rutina amplia y sumarlos al pack**”

Fig. 100



Rutina de validación. (2022). Elaboración propia.

VALIDACIÓN: USUARIO

Fig. 101



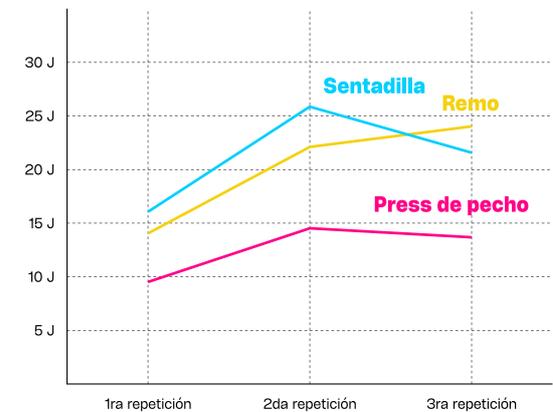
Validación con usuario. (2022). Elaboración propia.

La segunda etapa de validación consistió en un último testeo con usuarios. Ya habiendo comprobado anteriormente la efectividad de la propuesta en todas sus instancias, se limitó a validar con 1 usuario el prototipo físico y digital final.

Para esto, se utilizó parte de la rutina desarrollada anteriormente en conjunto con el kinesiólogo; al usuario se le mostraron imágenes de configuración del posicionamiento con la última versión de la aplicación, junto con videos del experto realizando los movimientos. Adicionalmente, se utilizó un tacómetro comercial para transmitir información del nivel de esfuerzo en directo al usuario, solicitando que intentara mantener un nivel constante (Fig. 101).

Los resultados obtenidos fueron positivos, el usuario pudo montar correctamente el objeto, se posicionó adecuadamente, y, tras comprobar con el equipo experto, ejecutó de buena forma los ejercicios. De la misma manera, la retroalimentación instantánea respecto al nivel de esfuerzo permitió al usuario controlar su excersión de fuerza, y demostró la capacidad de ejercer niveles bajos de esfuerzo sin dificultar el movimiento (Fig. 102), evitando la barrera de entrada de la capacidad física.

Fig. 102



Nivel de excersión del usuario. (2022). Elaboración propia.



Validación con usuario. (2022). Elaboración propia.

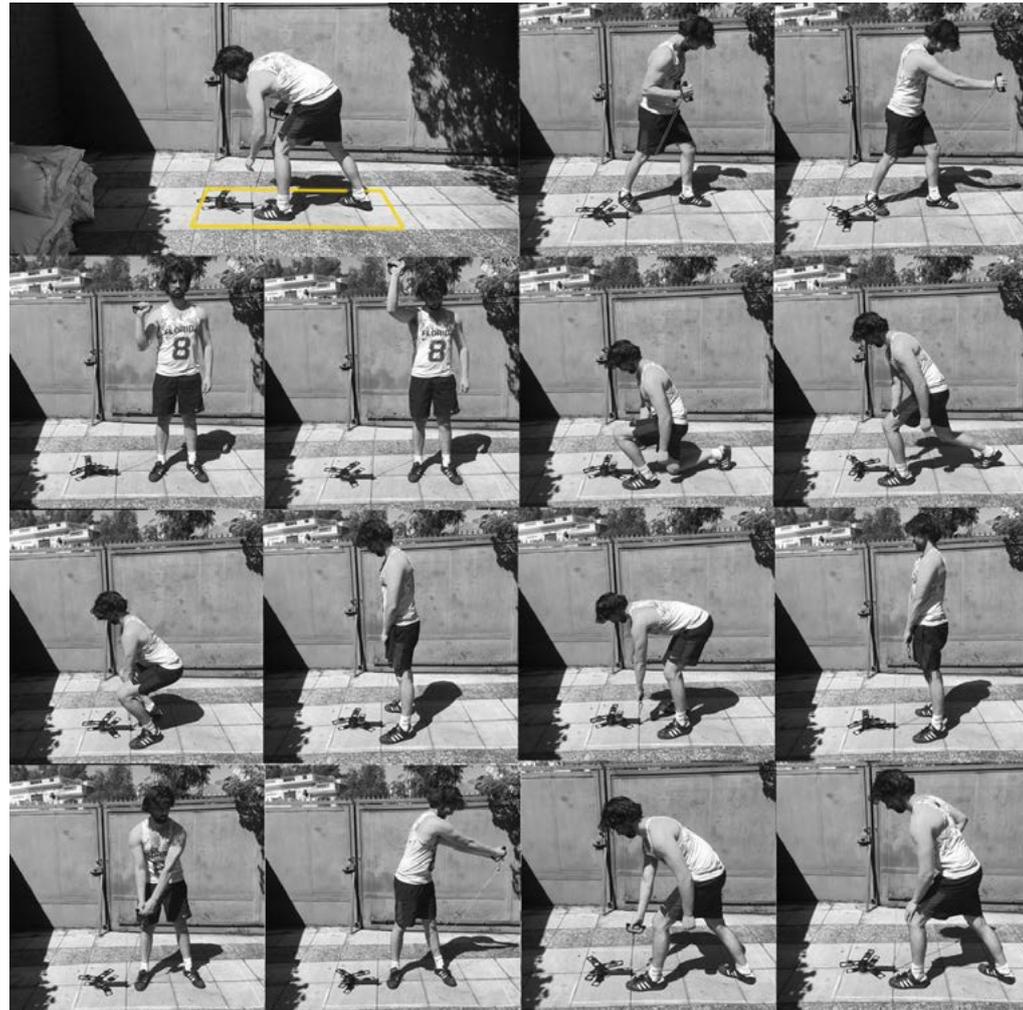
VALIDACIÓN: ESPACIO REDUCIDO

La última etapa de validación consistió en probar el funcionamiento de la propuesta en el contexto de uso; esta sección puede ser confusa puesto que se realizó en un lugar opuesto a un pequeño departamento, un amplio espacio exterior, esta decisión se tomó porque no se tenía acceso a un "espacio reducido" estandarizado bajo las medidas mínimas establecidas en el marco teórico del proyecto, y porque durante todo el proceso de prototipado del desarrollo de diseño se había testeado y comprobado la validez del producto en situaciones de encierro.

Entonces, se decidió construir una simulación del espacio mínimo posible libre dentro de una habitación (según decreto del MINVU), delimitando un área de 70 cm por 150 cm, y realizando un ejercicio ejemplar de cada patrón de movimiento fundamental (Fig. 103).

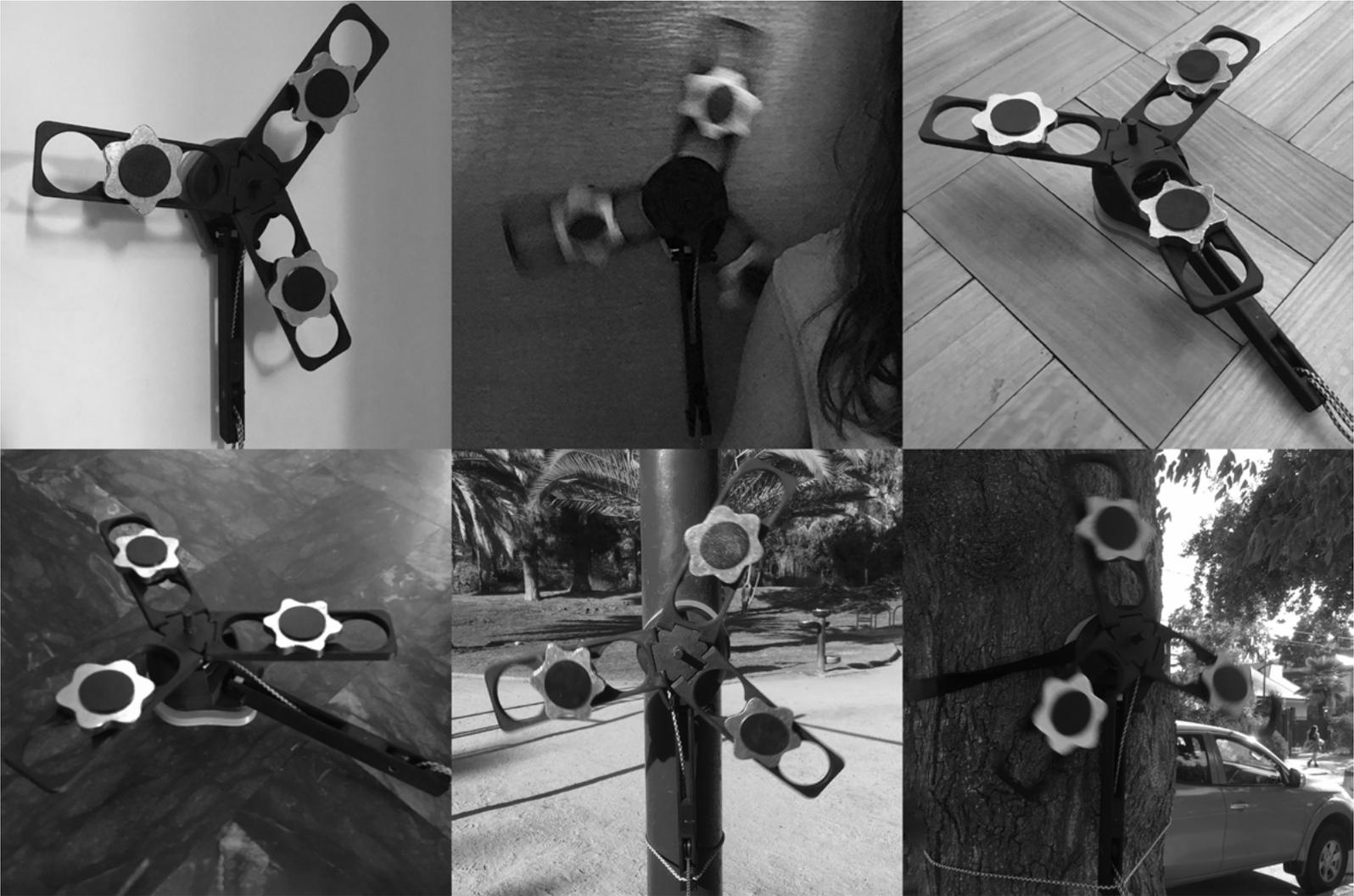
Los resultados obtenidos validan el uso del volante de inercia en los casos más críticos de implementación y, junto con las dimensiones de guardado, cumplen con el objetivo de presentar una solución compacta para la problemática de diseño.

Fig. 103



Patrones de movimiento fundamentales dentro del espacio reducido. (2022). Elaboración propia.

VALIDACIÓN: SUPERFICIES DE MONTAJE



Muestra representativa de superficies de montaje de la propuesta. (2022). Elaboración propia.

CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS

OE1

Otorgar una alternativa compacta para la realización del ejercicio anaeróbico.

IOV

Medición de las dimensiones de guardado y uso de la propuesta. Las limitantes a utilizar son las medidas mínimas para los espacios de habitación y closets impuestas por el MINVU.

El objetivo fue cumplido según los parámetros establecidos, el producto puede ser utilizado dentro del espacio libre mínimo en una habitación, y puede ser guardado de manera compacta.

OE2

Fomentar el aprendizaje y la ejecución de posturas y movimientos correctos al hacer ejercicios anaeróbicos.

IOV

Análisis visual por parte de profesionales del área de la medicina deportiva.

La propuesta permite realizar ejercicios de todos los patrones de movimientos fundamentales. A su vez, las guías visuales

del objeto acompañadas por la aplicación de apoyo resultó en los usuarios adoptando posiciones y ejecutando movimientos de manera correcta según el equipo experto.

OE3

Presentar una propuesta que permita a los usuarios inexpertos realizar ejercicio anaeróbico desde cualquier nivel de habilidades.

IOV

Medición del nivel de esfuerzo y su variación dentro de una serie.

En el proceso de validación se documentaron fuerzas de excersión de 9 Joules, equivalentes a levantar 900 gramos a 1 metro del suelo, y una capacidad de ajustar la carga en un rango de 20 Joules durante la ejecución de una serie. Este objetivo se considera parcialmente cumplido, puesto que presenta resultados que en teoría se pueden extrapolar bajo supuestos de mejores materiales/procesos productivos, pero que necesitan ser testeados.

OE3

Facilitar el montaje del implemento para ejercicio anaeróbico en múltiples contextos de uso.

IOV

Análisis cuantitativo de las superficies y espacios de uso donde se puede implementar la propuesta.

La propuesta pudo ser satisfactoriamente implementada en 4 puntos claves de apoyo sobre superficies sólidas y 3 con el sistema de montaje de eslinga, 9 familias de materiales comunes presentaron una adhesión alta a la ventosa. El producto fue probado en contextos de interior y exterior, y demostró poder entregar reemplazos con posiciones y montajes alternativos en situaciones donde se imposibilita algún punto de anclaje.

07 IDENTIDAD

- IDENTIDAD DE MARCA
- PALETA DE COLORES
- IMAGOTIPO

IDENTIDAD DE MARCA

El principal objetivo comunicacional de la marca es romper con la barrera inicial que impide al usuario acercarse al ejercicio anaeróbico, para esto se requiere una identidad que se vea accesible, cercana, y no amenazante. A su vez, es importante mantener un cierto nivel de seriedad, que se pueda percibir que es un producto que realmente funciona y es tan viable como otras alternativas para la realización del deporte.

Así, se diseñó la marca YIRO, una abstracción del giro del mecanismo, que busca trazar la línea entre el juego y lo lúdico, y el esfuerzo y la energía del entrenamiento físico.

Conceptos clave: Cercano, simple, eficaz, cómodo, veloz, dinámico.



Moodboard realizado para el desarrollo de la identidad de la marca. (2022). Elaboración propia.

IDENTIDAD DE MARCA: PALETA DE COLORES

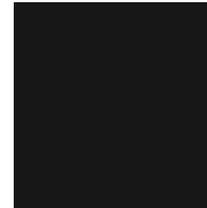
La elección de la paleta de colores fue basada parcialmente en un estudio de los productos deportivos ya existentes en el mercado; esto porque, si bien se pretende presentar una propuesta novedosa, se estimó importante como estrategia de posicionamiento que el usuario pudiese rápidamente reconocer el campo de uso del producto. Por otro lado, tomando en cuenta los factores intangibles de la vergüenza y el miedo hacia la realización de deporte, se consideró que el darle una faceta lúdica y alegre podría facilitar el acercamiento al usuario.

Así, se trabajó con colores vibrantes comunes en la industria del deporte a modo de contraste con una paleta de fondo limpia y minimalista, con el objetivo de comunicar que este es un implemento efectivo (y no un juguete), pero abordable.

#F5D10D



#181818



#F6E71D



#020202



#01CEFF



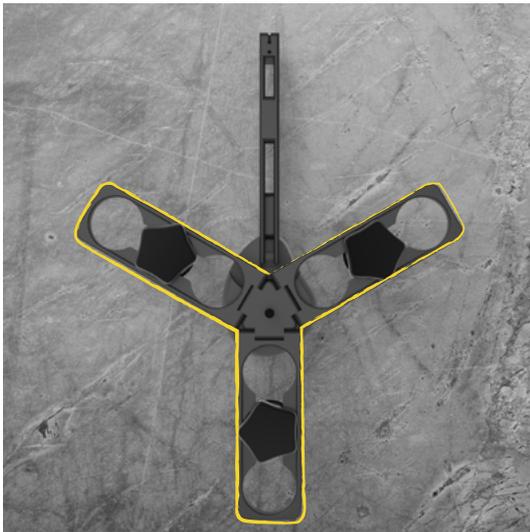
#FF0187



Paleta de colores. (2022). Elaboración propia.

IDENTIDAD DE MARCA: IMAGOTIPO

Fig. 104

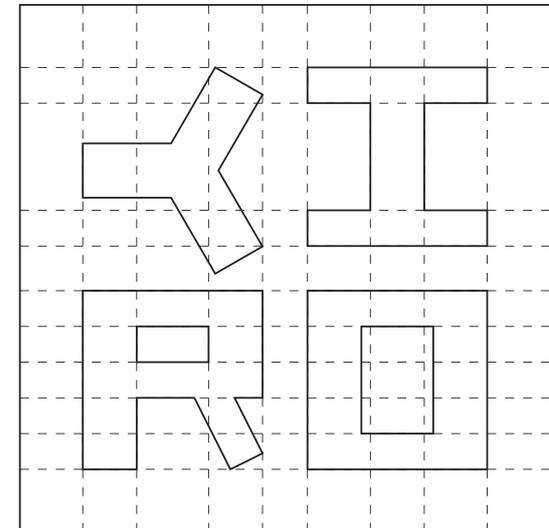
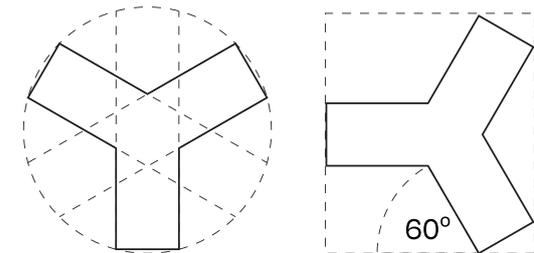


Inspiración del imagotipo. (2022). Elaboración propia.

Para el desarrollo del imagotipo se mantuvieron los conceptos comunicacionales expuestos anteriormente y, adicionalmente, se dio prioridad a transmitir una idea del funcionamiento del producto como método de acercamiento inicial al usuario.

En primer lugar, se hizo una abstracción de la forma del YIRO, generando la "Y" del imagotipo (Fig. 104), la cual fue modificada para dar la sensación de movimiento; en base a esta se construyeron el resto de las letras, manteniendo un estilo geométrico en forma de bloque sin serifa, haciendo contraste con el dinamismo del ícono (Fig. 105).

Fig. 105



Construcción del imagotipo. (2022). Elaboración propia.

IDENTIDAD DE MARCA: IMAGOTIPO

Una vez construída la geometría del imagotipo se le integró la paleta de colores, poniendo foco en el ícono de la “Y”. A su vez, este fue desarrollado para ser utilizado por sí solo como alternativa en aplicaciones de menor tamaño o donde el imagotipo completo es redundante (Fig. 106).

Fig. 106



Imagotipo YIRO. (2022). Elaboración propia.

08 IMPLEMENTACIÓN

- PROCESO DE PRODUCCIÓN
- COSTOS DE PRODUCCIÓN
- ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN
- MODELO CANVAS DE NEGOCIOS



PROCESO DE PRODUCCIÓN



Procesos de moldeo por inyección y fundido a presión. (2022).
Elaboración propia.

Para la determinación de los procesos de producción se hizo el supuesto de un despliegue del producto en el mercado con visión a largo plazo, es decir, se incurren en costos fijos altos para producir unidades con un costo marginal bajo. Es importante recalcar que esta es una de múltiples alternativas y se podría trabajar con costos más bajos y peores márgenes en el corto plazo en caso de tomar una aproximación más cautelosa al plan de negocios.

Con esto en mente, el método de producción más eficiente para las partes de ABS, acrílico y silicona es el de moldeo por inyección, es un proceso rápido que permite construir geometrías complejas que no podrían ser posibles con otros métodos. Su mayor debilidad es el alto costo inicial de la fabricación de los moldes.

Para el aluminio y el acero inoxidable se utiliza el método de fundido a presión, donde los materiales son vertidos a altas temperaturas en moldes. Este método es más rápido y menos costoso en economías de escala que otros, pero, al igual que el anterior, tiene un costo inicial alto, y, por el alto costo energético de fundir el material, sus márgenes son más estrechos.

El método de producción del resto de las partes del producto se consideraron fuera de los alcances del proyecto, por sus formas estandarizadas y fácil accesibilidad se consideró suficiente establecer que se comprarían a terceros.



Render de visualización de molde para inyección. (2022).
Elaboración propia.

COSTOS DE PRODUCCIÓN

Para el análisis de costos de producción se establecieron 3 escenarios: costo de inversión inicial (Tabla 12), costo por unidad en una producción de mediana escala (5.000 unidades) (Tabla 13), y costo por unidad en una producción de gran escala (20.0000 unidades) (Tabla).

Las fuentes para las partes de ABS, acrílico, aluminio, y silicona de caucho, fueron cotizaciones reales con los servicios de Xometry y Protolabs (ver anexos). Para aquellas más complejas de estimar o que no se consideran dentro del proceso de producción interno se utilizaron precios mayoristas de las piezas exactas o, en el caso de no existir, similares. Finalmente, para la construcción de la aplicación guía se pidió una estimación a un desarrollador de la empresa chilena Platanus.

Cabe considerar que los costos totales no consideran traslado ni otros gastos adicionales en los que se puede incurrir, por lo que el monto total debe ser tomado como una mera aproximación.

Tabla 12

Pieza	CF	CV	Q	CT
Palanca	\$14.627.612	\$6.899	1	\$14.634.511
Unión Aspas	\$11.785.403	\$3.029	1	\$11.788.432
Aspas	\$3.727.416	\$3.211	3	\$3.737.049
Cartucho	\$7.463.510	\$3.610	1	\$7.467.120
Base A	\$12.648.914	\$4.313	1	\$12.653.227
Base B	\$5.007.495	\$3.445	1	\$5.010.940
Ventosa	\$4.196.055	\$19.796	1	\$4.215.850
Tapa	\$9.003.944	\$3.176	1	\$9.007.120
Agarre	\$0	\$3.463	1	\$3.463
Roldana	\$0	\$738	2	\$1.475
Mosquetón	\$0	\$4.339	1	\$4.339
Piola	\$0	\$1.302	1	\$1.302
Rodamiento	\$0	\$1.319	1	\$1.319
Sensor Ir	\$0	\$434	1	\$434
Transmisor Bt	\$0	\$5.641	1	\$5.641
Microchip	\$0	\$2.343	1	\$2.343
App	\$16.966.468	\$0	1	\$16.966.468
Bolso	\$0	\$3.046	1	\$3.046
Eje De Rotación	\$12.000.000	\$8.626	1	\$12.008.626
Total				\$97.611.229

Estructura de costos iniciales (CLP). (2022). Elaboración propia.

COSTOS DE PRODUCCIÓN

Tabla 13

Pieza	CF	CV	Q	CT
Palanca	\$14.486.873	\$4.401	5.000	\$36.490.073
Unión Aspas	\$11.672.010	\$1.865	5.000	\$20.997.585
Aspas	\$3.691.553	\$2.011	15.000	\$33.860.003
Cartucho	\$7.391.700	\$2.329	5.000	\$19.037.925
Base A	\$12.527.213	\$2.854	5.000	\$26.794.913
Base B	\$4.959.315	\$10.099	5.000	\$55.454.940
Ventosa	\$4.155.683	\$10.099	5.000	\$54.651.308
Tapa	\$8.917.313	\$1.960	5.000	\$18.715.613
Agarre	\$0	\$3.352	5.000	\$16.760.250
Roldana	\$0	\$602	10.000	\$6.016.500
Mosquetón	\$0	\$378	5.000	\$1.890.900
Piola	\$0	\$43	5.000	\$214.875
Rodamiento	\$0	\$860	5.000	\$4.297.500
Sensor Ir	\$0	\$172	5.000	\$859.500
Transmisor Bt	\$0	\$3.524	5.000	\$17.619.750
Microchip	\$0	\$1.461	5.000	\$7.305.750
App	\$16.803.225	\$0	1	\$16.803.225
Bolso	\$0	\$2.579	5.000	\$12.892.500
Eje de rotación	\$12.000.000	\$5.762	5.000	\$40.810.000
Total				\$394.879.782
C/U				\$78.976

Estructura de costos 5.000 unidades (CLP). (2022). Elaboración propia.

Tabla 14

Pieza	CF	CV	Q	CT
Palanca	\$14.486.873	\$4.401	20.000	\$90.294.773
Unión Aspas	\$11.672.010	\$1.865	20.000	\$43.301.610
Aspas	\$3.691.553	\$2.011	60.000	\$106.831.553
Cartucho	\$7.391.700	\$2.329	20.000	\$36.099.000
Base A	\$12.527.213	\$2.854	20.000	\$47.766.713
Base B	\$4.959.315	\$10.099	20.000	\$174.624.615
Ventosa	\$4.155.683	\$10.099	20.000	\$173.820.983
Tapa	\$8.917.313	\$1.960	20.000	\$42.265.913
Agarre	\$0	\$3.352	20.000	\$66.009.600
Roldana	\$0	\$602	40.000	\$24.066.000
Mosquetón	\$0	\$378	20.000	\$1.203.300
Piola	\$0	\$43	20.000	\$859.500
Rodamiento	\$0	\$860	20.000	\$12.204.900
Sensor Ir	\$0	\$172	20.000	\$3.438.000
Transmisor Bt	\$0	\$3.524	20.000	\$70.479.000
Microchip	\$0	\$1.461	20.000	\$29.223.000
App	\$16.803.225	\$0	1	\$16.803.225
Bolso	\$0	\$2.579	20.000	\$42.975.000
Eje de rotación	\$12.000.000	\$3.558	20.000	\$83.159.600
Total				\$1.074.946.098
C/U				\$53.747

Estructura de costos 20.000 unidades (CLP). (2022). Elaboración propia.

ESTRATEGIA DE IMPLEMENTACIÓN

Durante todo este informe se han presentado los beneficios del deporte anaeróbico de musculación, las dolencias de los usuarios que le impiden realizarlo, y las soluciones que entrega la propuesta para sortear estas dolencias. Sin embargo, si bien está es una fundamentación considerada como válida para un proceso de diseño, esto no implica necesariamente que se traslade de manera directa a una demanda en el mercado; aún cuando la problemática existe, el usuario puede no tenerla internalizada, lo que requiere una estrategia de comunicación y de posicionamiento que logre despertar en el usuario la necesidad.

En esta línea, se considera que los factores de salud, sedentarismo, e imagen corporal, si bien relevantes como problemática general de diseño, no son puntos de venta atractivos y pueden ser considerados como agresivos por los usuarios. Bajo el supuesto de que existe una cierta necesidad latente en todas las personas por sentirse activos que se ve opacada por las barreras físicas y mentales externas e internas, se propone trabajar con un mensaje de mirada positiva dirigido hacia el sorteo de esas barreras.

Entonces, la primera parte de la propuesta de implementación es una estrategia comunicacional que presente a YIRO como: fácil de usar y cómodo, lúdico, y eficiente para cualquier persona. Esta se llevaría a cabo principalmente a través de redes sociales, no solo a través de las cuentas de la marca, sino también con un foco en

generar comunidad, haciendo pruebas y demostraciones con usuarios inexpertos de diversos contextos.

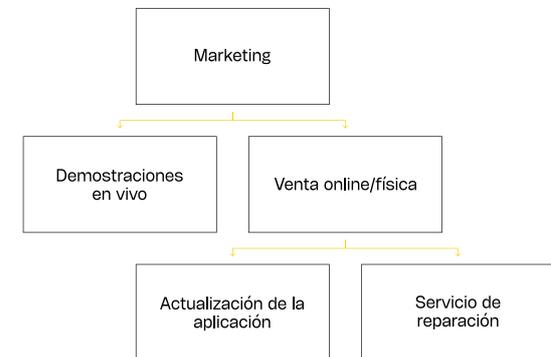
Luego de esto se adopta una estrategia convencional de venta; se considera que la capacidad de demostrar la efectividad del producto de manera directa al usuario es vital, por lo que se propone una combinación de puntos de venta físicos, enfocados más en mostrar el producto, con una tienda online. Considerando los altos costos de inversión inicial, para las ventas y demostraciones presenciales sería necesario asociarse con tiendas ya existentes, ya sean especializadas de deporte o grandes almacenes, y utilizar parte de su espacio y equipo de ventas.

En la postventa existen 2 características de la propuesta que deben ser consideradas:

Por un lado, en la aplicación guía, si bien sus componentes principales pueden ser desarrollados una sola vez, las bibliotecas de ejercicios y rutinas se verían beneficiadas de ser actualizadas cada cierto tiempo por equipos profesionales del área de la ciencias del deporte; el ejercicio anaeróbico, al igual que la mayoría de los deportes, está en constante en fase de exploración y descubrimiento, se levantan movimientos y combinaciones de ejercicios más eficientes para ciertas metas, o dedicados a un perfil de usuario o a una actividad en particular, tomando esto en cuenta se considera necesario que la aplicación se mantenga al día con

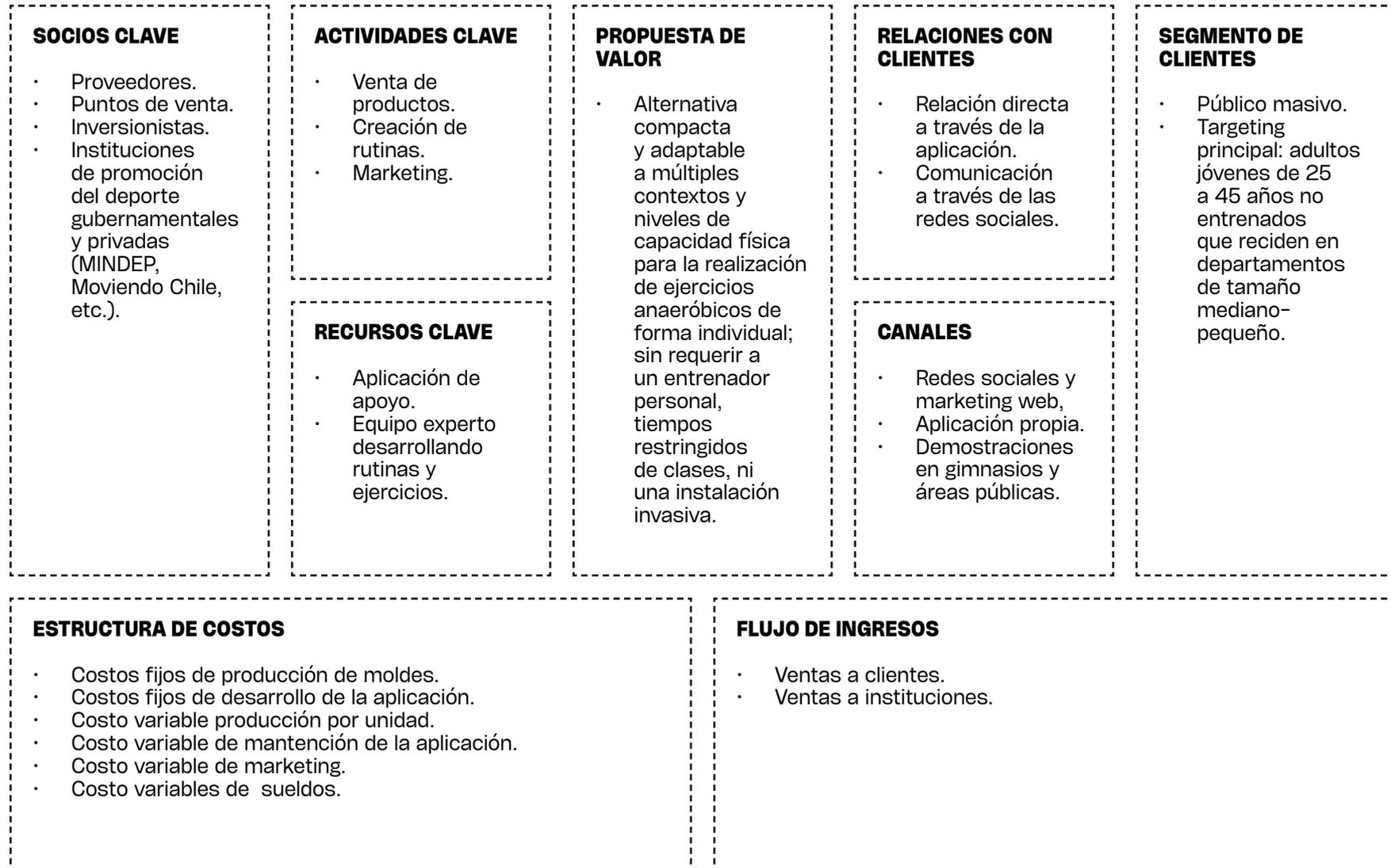
estos cambios en la industria, evitando la obsolescencia por inercia.

Por otro lado, el producto físico fue diseñado con la capacidad de despiece en mente, en parte para facilitar la producción, pero también porque presenta la posibilidad de ofrecer reparaciones de manera rápida y poco costosa. Si se tienen existencias de todas las partes individuales y a un usuario se le rompe, por ejemplo, una de las aspas, se puede rápidamente reparar intercambiando la parte dañada por una nueva.



Mapa de implementación. (2022). Elaboración propia.

MODELO CANVAS DE NEGOCIOS



09 CONCLUSIONES

- REFLEXIÓN CRÍTICA
- PROYECCIONES



REFLEXIÓN CRÍTICA

Si bien los resultados de la propuesta fueron satisfactorios, las limitaciones de tiempo y recursos dejaron múltiples aristas sin resolver, para que YIRO sea un producto que se pueda implementar al mercado hacen falta varios procesos de titulación.

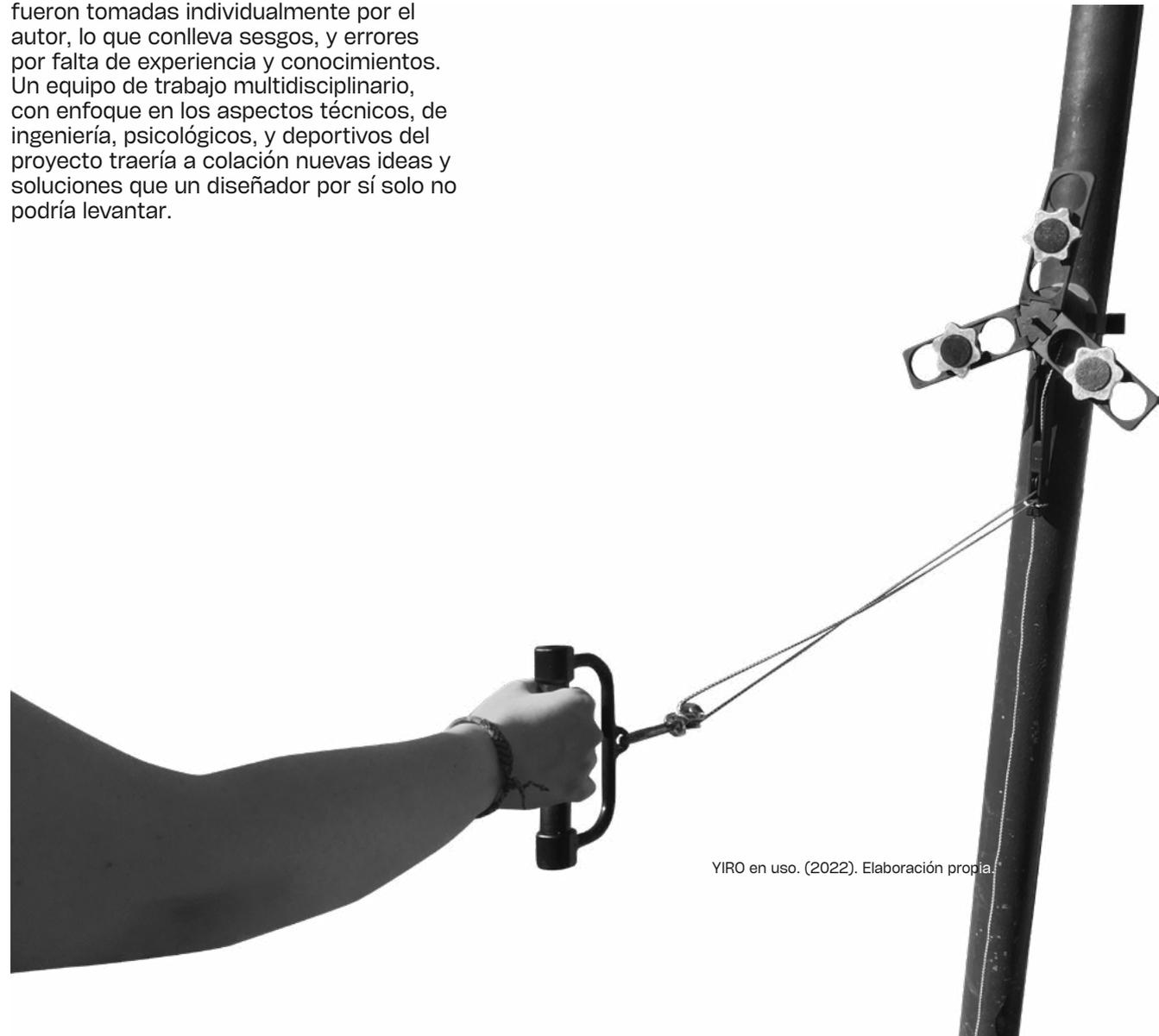
Uno de los factores faltantes más importantes es el testeado con los materiales finales o similares, muchas de las pruebas fueron extrapolaciones que, si bien se consideran válidas para el alcance de este proyecto, pueden presentar resultados distintos a la hora de trabajar con otra materialidad y procesos productivos.

Por otro lado, el proyecto se enfocó en el desarrollo de las partes más importantes del producto, esto implicó que múltiples piezas y mecanismos fueron resueltos de manera superficial, y requieren de un proceso de diseño dedicado a cada una, considerando tanto la eficiencia de la morfología como la calidad de la interacción.

En la temática de la interacción, si bien este proyecto fue centrado en todas sus etapas alrededor del usuario, se considera que un levantamiento de información a una mayor escala y con accesibilidad a usuarios provenientes de contextos más diversos sería un beneficio tanto para la validación como para el proceso de diseño mismo (rediseño en este caso).

Finalmente, se considera que uno de los factores más importantes para el

desarrollo de este proyecto fue la adición del equipo experto de apoyo, sin embargo, la mayor parte de las decisiones de diseño fueron tomadas individualmente por el autor, lo que conlleva sesgos, y errores por falta de experiencia y conocimientos. Un equipo de trabajo multidisciplinario, con enfoque en los aspectos técnicos, de ingeniería, psicológicos, y deportivos del proyecto traería a colación nuevas ideas y soluciones que un diseñador por sí solo no podría levantar.



YIRO en uso. (2022). Elaboración propia.

PROYECCIONES

Excluyendo el proceso de exploración y rediseño expuesto anteriormente que requeriría toda continuación realista del proyecto, se buscaría someter YIRO a estudios a gran escala certificados, tanto para sus propiedades mecánicas como para su efectividad en resolver las dolencias del perfil de usuario.

Por otro lado, si bien el contexto de implementación de esta propuesta

está acotado a los departamentos de la ciudad de Santiago, se considera que tanto la problemática como la solución son transversales a múltiples perfiles de usuario y en una escala global. Así, YIRO sería sometido a un estudio de mercado en diversas localidades, y adaptado a los requerimientos particulares que podrían variar en cada una de ellas, tanto de diseño como comunicativos.

De esta última idea se presenta la posibilidad de expandir el concepto de la propuesta a una línea de productos similares, con adaptaciones a distintos contextos de uso y usuarios. Estas modificaciones pueden venir desde el mecanismo de montaje, el nivel de exigencia, los tipos de agarre, o el sistema de apoyo; y se pueden limitar a accesorios para el producto original o requerir de la creación de versiones nuevas.

Dentro de la expansión de los posibles contextos de implementación, durante el proceso de validación con el kinesiólogo deportivo se presentó la idea de utilizar el YIRO para fines de recuperación de lesiones y/o usuarios con limitaciones físicas, ya sea de excersión de fuerza o rango de movimiento. Esto surgió tras la observación del experto de la suavidad del movimiento en sus fases concéntricas y excéntricas, y el control sobre el nivel de excersión en comparación con los implementos de musculación existentes.

“(…) No hay una ruptura inicial de la inercia ni un tirón en la mitad, una persona puede hacer el esfuerzo que pueda en ese minuto, con la posición que le acomode y a la velocidad que le acomode con un bajo riesgo de lesión.”



Terapia física con implementos de musculación. (2022). Kampus Production. <https://www.pexels.com>

10 BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

10

BIBLIOGRAFÍA

Aerobic exercise health: What is it, benefits & examples. Cleveland Clinic. (2019). Retrieved August 28, 2022, from <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/7050-aerobic-exercise>

Aaltonen, S., Kujala, U. M., & Kaprio, J. (2014). Factors behind Leisure-Time Physical Activity Behavior Based on Finnish Twin Studies: The Role of Genetic and Environmental Influences and the Role of Motives. *BioMed Research International*, 2014, 931820–8. <https://doi.org/10.1155/2014/931820>

Adeyeye, K. A., Ijumba, N., & Colton, J. (2021). The Effect of the Number of Blades on the Efficiency of A Wind Turbine. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science*, 801(1), 12020–. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/801/1/012020>

Annibalini, G., Contarelli, S., Lucertini, F., Guescini, M., Maggio, S., & Ceccaroli, P. et al. (2019). Muscle and Systemic Molecular Responses to a Single Flywheel Based Iso-Inertial Training Session in Resistance-Trained Men. *Frontiers In Physiology*, 10. doi: 10.3389/fphys.2019.00554

Arsenis, S., Gioftsidou, A., Smilios, I., Malliou, P., & Chatzinikolaou, A. (2021). The effect of periodized flywheel training on power of lower limbs. *The Journal Of Sports Medicine And Physical Fitness*, 61(12). doi: 10.23736/s0022-4707.20.11940-6

Beck, K., et al. (2001) The Agile Manifesto. Agile Alliance. <http://agilemanifesto.org/>

de Hoyo, M., Pozzo, M., Sañudo, B., Carrasco, L., Gonzalo-Skok, O., Domínguez-Cobo, S., & Morán-Camacho, E. (2015). Effects of a 10-Week In-Season Eccentric-Overload Training Program on Muscle-Injury Prevention and Performance in Junior Elite Soccer Players. *International Journal Of Sports Physiology And Performance*, 10(1), 46–52. doi: 10.1123/ijspp.2013-0547

Dishman, R. K., Sallis, J. F., & Orenstein, D. R. (1985). The Determinants of Physical Activity and Exercise. *Public Health Reports* (1974), 100(2), 158–171.

Feigenbaum, M. S., & Pollock, M. L. (1999). Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 38–45. <https://doi.org/10.1097/00005768-199901000-00008>

Fiorill, G., Mariano, I., Luliano, E., Giombini, A., Ciccarelli, A., & Buonsenso, A. et al. (2020). Isoinertial Eccentric-Overload Training in Young Soccer Players: Effects on Strength, Sprint, Change of Direction, Agility and Soccer Shooting Precision. *Journal Of Sports Science And Medicine*.

Gabbett, T. J. (2016). The training—injury prevention paradox: should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273–280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>

Garrido-Méndez, A., Concha-Cisternas, Y., Petermann-Rocha, F., Díaz-Martínez, X., Leiva, A. M., Troncoso, C., Martínez, M. A., Salas-Bravo, C., Álvarez, C., Ramírez-Campillo, R., Cristi-Montero, C., Rodríguez, F., Iturra-González, J. A., & Celis-Morales, C. (2019). Influencia de la edad sobre el cumplimiento de las recomendaciones de actividad física: Resultados de la Encuesta Nacional de Salud en Chile 2009–2010. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(2), 121–128. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182019000200121>

Jakicic, J. M., Wing, R. R., Butler, B. A., & Jeffery, R. W. (1997). The Relationship between Presence of Exercise Equipment in the Home and Physical Activity Level. *American Journal of Health Promotion*, 11(5), 363–365. <https://doi.org/10.4278/0890-1171-11.5.363>

Korkiakangas, E. E., Alahuhta, M. A., & Laitinen, J. H. (2009). Barriers to regular exercise among adults at high risk or diagnosed with type 2 diabetes: a systematic review. *Health Promotion International*, 24(4), 416–427. <https://doi.org/10.1093/heapro/dap031>

BIBLIOGRAFÍA

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: Progression and exercise prescription. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674–688. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000121945.36635.61>

Maloney, E. S., & Chapman, C. F. (1999). *Chapman piloting: Seamanship & Boat handling*. Hearst Marine Books.

Maroto-Izquierdo, S., García-López, D., Fernandez-Gonzalo, R., Moreira, O., González-Gallego, J., & de Paz, J. (2017). Skeletal muscle functional and structural adaptations after eccentric overload flywheel resistance training: a systematic review and meta-analysis. *Journal Of Science And Medicine In Sport*, 20(10), 943–951. doi: 10.1016/j.jsams.2017.03.004

Maroto-Izquierdo, S., McBride, J., Gonzalez-Diez, N., García-López, D., González-Gallego, J., & de Paz, J. (2020). Comparison of Flywheel and Pneumatic Training on Hypertrophy, Strength, and Power in Professional Handball Players. *Research Quarterly For Exercise And Sport*, 93(1), 1–15. doi: 10.1080/02701367.2020.1762836

McArthur, D., Dumas, A., Woodend, K., Beach, S., & Stacey, D. (2014). Factors influencing adherence to regular exercise in middle-aged women: a qualitative study to inform clinical practice. *BMC Women's Health*, 14(1), 49–8 pages. <https://doi.org/10.1186/1472-6874-14-49>

McLaren, A. J. (2006). Design and performance of ropes for climbing and sailing. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: *Journal of Materials: Design and Applications*, 220(1), 1–12. <https://doi.org/10.1243/14644207jmda75>

Newbold, J. W., Rudnicka, A., & Cox, A. (2021). Staying Active While Staying Home: The Use of Physical Activity Technologies During Life Disruptions. *Frontiers in Digital Health*, 3, 753115–753115. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2021.753115>

Normand, M. P. (2008). Increasing physical activity through self-monitoring, goal setting, and feedback. *Behavioral Interventions*, 23(4), 227–236. <https://doi.org/10.1002/bin.267>

Oliveira, J. S., Sherrington, C., Amorim, A. B., Dario, A. B., & Tiedemann, A. (2017). What is the effect of health coaching on physical activity participation in people aged 60 years and over? A systematic review of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 51(19), 1425–1432. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096943>

op den Akker, H., Jones, V. M., & Hermens, H. J. (2014). Tailoring real-time physical activity coaching systems: a literature survey and model. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 24(5), 351–392. <https://doi.org/10.1007/s11257-014-9146-y>

Ortega, F. B., Konstabel, K., Pasquali, E., Ruiz, J. R., Hurtig-Wennlöf, A., Mäestu, J., Löf, M., Harro, J., Bellocco, R., Labayen, I., Veidebaum, T., & Sjöström, M. (2013). Objectively measured physical activity and sedentary time during childhood, adolescence and young adulthood: a cohort study. *PloS One*, 8(4), e60871–e60871. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060871>

Pollock, M. L., Gaesser, G. A., Butcher, J. D., Després, J.-P., Dishman, R. K., Franklin, B. A., & Garber, C. E. (1998). ACSM Position Stand: The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness, and Flexibility in Healthy Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 975–991. <https://doi.org/10.1097/00005768-199806000-00032>

Prichard, I., & Tiggemann, M. (2008). Relations among exercise type, self-objectification, and body image in the fitness centre environment: The role of reasons for exercise. *Psychology of Sport and Exercise*, 9(6), 855–866. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2007.10.005>

Reed, J. A., & Phillips, D. A. (2005). Relationships Between Physical Activity and the Proximity of Exercise Facilities and Home Exercise Equipment Used by Undergraduate University Students. *Journal of American College Health*, 53(6), 285–290. <https://doi.org/10.3200/JACH.53.6.285-290>

BIBLIOGRAFÍA

Reel, J. J., Greenleaf, C., Baker, W. K., Aragon, S., Bishop, D., Cachaper, C., Handwerk, P., Locicero, J., Rathburn, L., Reid, W. K., & Hattie, J. (2007). Relations of Body Concerns and Exercise Behavior: A Meta-Analysis. *Psychological Reports*, 101(3), 927–942. <https://doi.org/10.2466/pr0.101.3.927-942>

Rodriguez de la Vega, L., & Toscano, W. N. (2018). *Handbook of Leisure, Physical Activity, Sports, Recreation and Quality of Life* (L. Rodriguez de la Vega & W. N. Toscano, Eds.; 1st ed. 2018.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75529-8>

Rope comparison charts from machovec.com. Machovec. (2020). Retrieved October 6, 2022, from <https://www.machovec.com/rope/compare.htm#elongation>

Sands, W. A., Wurth, J. J., & Hewitt, J. K. (2012). *Basics of strength and conditioning manual*. Colorado Springs, CO: National Strength and Conditioning Association.

Saxena, S., Van Ommeren, M., Tang, K. C., & Armstrong, T. P. (2005). Mental health benefits of physical activity. *Journal of Mental Health*, 14(5), 445–451. <https://doi.org/10.1080/09638230500270776>

Stewart, K. J. (2005). Physical Activity and Aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1055(1), 193–206. <https://doi.org/10.1196/annals.1323.029>

Svensson, A. C., Stjernschantz Forsberg, J., Seblova, D., & Lager, A. (2017). Residential area and physical activity: A multi-level study of 68,000 adults in Stockholm County. *Scandinavian Journal of Public Health*, 45(1), 25–32. <https://doi.org/10.1177/1403494816682377>

Swapp, S. A. (1979). Factors affecting the amount of leisure time of Utah adults (thesis). Swapp, Logan.

U.S. National Library of Medicine. (2022). Anaerobic: Medlineplus medical encyclopedia. MedlinePlus. Retrieved August 28, 2022, from <https://medlineplus.gov/ency/article/002230.htm>

Walker, S., Blazevich, A., Haff, G., Tufano, J., Newton, R., & Häkkinen, K. (2016). Greater Strength Gains after Training with Accentuated Eccentric than Traditional Isoinertial Loads in Already Strength-Trained Men. *Frontiers In Physiology*, 7. doi: 10.3389/fphys.2016.00149

Westblad, N., Petré, H., Kårström, A., Psilander, N., & Björklund, G. (2021). The Effect of Autoregulated Flywheel and Traditional Strength Training on Training Load Progression and Motor Skill Performance in Youth Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3479–. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073479>

Warburton, D. E. R., Nicol, C. W., & Bredin, S. S. D. (2006). Health benefits of physical activity: the evidence. *Canadian Medical Association Journal (CMAJ)*, 174(6), 801–809. <https://doi.org/10.1503/cmaj.051351>

Watson, R. R. (2017). *Physical activity and the aging brain : effects of exercise on neurological function* (R. R. (Ronald R. Watson, Ed.). Academic Press.

World Health Organization. (2022). *Physical activity*. World Health Organization. Retrieved August 28, 2022, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>

ANEXOS

¿Realizas deporte rutinariamente?

27 respuestas

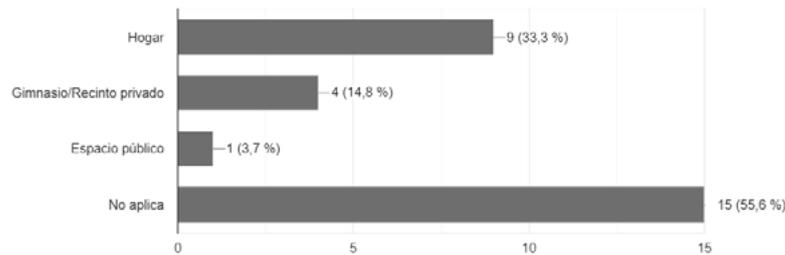
Copiar



Si respondiste que sí ¿dónde lo realizas?

27 respuestas

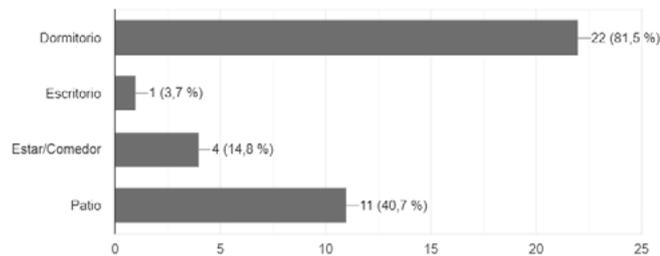
Copiar



Si realizaras deporte en tu hogar ¿en qué pieza lo harías?

27 respuestas

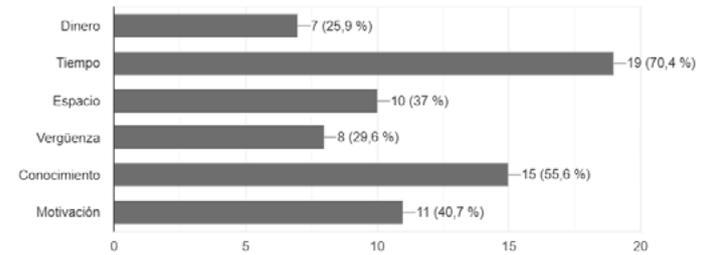
Copiar



¿Cuáles son las principales barreras a la hora de realizar deporte?

27 respuestas

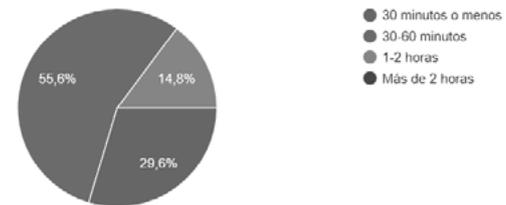
Copiar



¿Cuanto tiempo consideras que tienes al día para realizar deporte?

27 respuestas

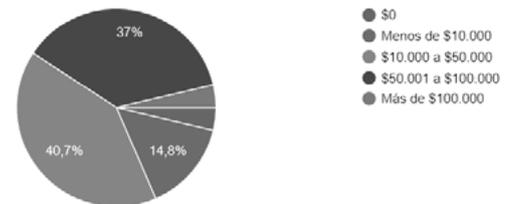
Copiar



¿Cuanto estás dispuest@ a pagar por un implemento deportivo completo?

27 respuestas

Copiar



Encuestas en línea. (2022). Elaboración propia.

ANEXOS

PALANCA.step
1898-2355-001
Current Revision: 1
Mold Life: Unlimited (On-demand Manufacturing)
1 Cavity
ABS - Cyclocac MG47 (Black)
Black (Original Material Color)
Cosmetic: PM-FD
Non-Cosmetic: PM-FD
X: 21.63mm Y: 18.00mm Z: 28.00mm
Machining Tolerance: +/- 0.003 in. (0.076 mm)
Material Tolerance: +/- 0.002 in./in. (0.002 mm/mm)

Sample Quantity:

See volume pricing as low as \$4.41

800 Parts @ \$7.95	\$3,975.00
Mold	\$16,855.00
Capability Study	\$0.00
First Article Inspection	\$0.00
Total	\$20,830.00

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

CUERPO A.step
1852-0207-001
Current Revision: 1
Mold Life: Unlimited (On-demand Manufacturing)
1 Cavity
ABS - Cyclocac MG47 (Black)
Black (Original Material Color)
Cosmetic: PM-FD
Non-Cosmetic: PM-FD
X: 111.36mm Y: 87.25mm Z: 35.00mm
Machining Tolerance: +/- 0.003 in. (0.076 mm)
Material Tolerance: +/- 0.002 in./in. (0.002 mm/mm)

Sample Quantity:

See volume pricing as low as \$2.05

25 Parts @ \$4.97	\$124.25
Mold	\$14,575.00
Capability Study	\$0.00
First Article Inspection	\$0.00
Total	\$14,699.25

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

SPINNER.step
1808-3055-001
Current Revision: 1
Mold Life: Unlimited (On-demand Manufacturing)
1 Cavity
ABS - Cyclocac MG47 (Black)
Black (Original Material Color)
Cosmetic: PM-FD
Non-Cosmetic: PM-FD
X: 9.64mm Y: 65.7mm Z: 13.34mm
Machining Tolerance: +/- 0.003 in. (0.076 mm)
Material Tolerance: +/- 0.002 in./in. (0.002 mm/mm)

Sample Quantity:

See volume pricing as low as \$1.94

25 Parts @ \$3.49	\$87.25
Mold	\$13,480.00
Capability Study	\$0.00
First Article Inspection	\$0.00
Total	\$13,667.25

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

CUERPO B.step
1654-0402-001
Current Revision: 1
Mold Life: Unlimited (On-demand Manufacturing)
1 Cavity
ABS - Cyclocac MG47 (Black)
Black (Original Material Color)
Cosmetic: PM-FD
Non-Cosmetic: PM-FD
X: 78.40mm Y: 87.25mm Z: 30.00mm
Machining Tolerance: +/- 0.003 in. (0.076 mm)
Material Tolerance: +/- 0.002 in./in. (0.002 mm/mm)

Sample Quantity:

See volume pricing as low as \$1.29

25 Parts @ \$3.97	\$99.25
Mold	\$5,770.00
Capability Study	\$0.00
First Article Inspection	\$0.00
Total	\$5,869.25

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

ASPA.step
1339-1870-001
Current Revision: 1
Mold Life: Unlimited (On-demand Manufacturing)
1 Cavity
ABS - Cyclocac MG47 (Black)
Black (Original Material Color)
Cosmetic: PM-FD
Non-Cosmetic: PM-FD
X: 125.87mm Y: 165.76mm Z: 8.99mm
Machining Tolerance: +/- 0.003 in. (0.076 mm)
Material Tolerance: +/- 0.002 in./in. (0.002 mm/mm)

Sample Quantity:

See volume pricing as low as \$2.00

25 Parts @ \$3.70	\$92.50
Mold	\$4,295.00
Capability Study	\$0.00
First Article Inspection	\$0.00
Total	\$4,387.50

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

VENTOSA.step
1965-9499-001
Current Revision: 1
Mold Life: Unlimited (On-demand Manufacturing)
1 Cavity
Silicone - Dow Corning MS-1002 (Optically Clear)
Optically Clear (Original Material Color)
Cosmetic: PM-FD
Non-Cosmetic: PM-FD
X: 116.32mm Y: 90.51mm Z: 10.00mm
Machining Tolerance: +/- 0.003 in. (0.076 mm)

Sample Quantity:

See volume pricing as low as \$9.87

25 Parts @ \$22.81	\$570.25
Mold	\$4,835.00
Total	\$5,405.25

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

CARTUCHO.step
1642-7055-001
Current Revision: 1
Mold Life: Unlimited (On-demand Manufacturing)
1 Cavity
ABS - Cyclocac MG47 (Black)
Black (Original Material Color)
Cosmetic: PM-FD
Non-Cosmetic: PM-FD
X: 32.50mm Y: 85.29mm Z: 7.99mm
Machining Tolerance: +/- 0.003 in. (0.076 mm)
Material Tolerance: +/- 0.002 in./in. (0.002 mm/mm)

Sample Quantity:

See volume pricing as low as \$1.67

25 Parts @ \$4.16	\$104.00
Mold	\$6,600.00
Capability Study	\$0.00
First Article Inspection	\$0.00
Total	\$6,704.00

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

TAPA_2 v13.step
1953-0264-001
Current Revision: 1
Mold Life: Unlimited (On-demand Manufacturing)
1 Cavity
ABS - Cyclocac MG47 (Black)
Black (Original Material Color)
Cosmetic: PM-FD
Non-Cosmetic: PM-FD
X: 222.20mm Y: 141.34mm Z: 41.50mm
Machining Tolerance: +/- 0.003 in. (0.076 mm)
Material Tolerance: +/- 0.002 in./in. (0.002 mm/mm)

Sample Quantity:

See volume pricing as low as \$1.55

25 Parts @ \$2.89	\$72.25
Mold	\$10,375.00
Capability Study	\$0.00
First Article Inspection	\$0.00
Total	\$10,447.25

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

Tue, Jan 3	Fri, Jan 6	Tue, Jan 10	Fri, Jan 13
+ \$3,612.00	+ \$2,195.00	+ \$1,482.00	

Order by: Today 7:00 PM
Ready to ship by: **Fri, Jan 13**

Thu, Dec 29	Tue, Jan 3	Fri, Jan 6	Tue, Jan 10	Fri, Jan 13
+ \$5,198.00	+ \$4,318.00	+ \$2,894.00	+ \$1,764.00	

Cotización de las piezas del producto. (2022). Elaboración propia.



ESCUELA DE DISEÑO
FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO
Y ESTUDIOS URBANOS

YIRO

YIRO: máquina de ejercicios multifuncional compacta

Autor: **Pablo José Larraín Lyon**

Tesis presentada a la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile para optar al título profesional de Diseñador.

Profesora guía: **Natalia Oviedo**

Diciembre 2022
Santiago, Chile