



**Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de Arquitectura  
Centro de Investigaciones de Diseño Industrial**

## **"Material didáctico para la enseñanza de movimiento ondulatorio en la educación media superior"**

Proyecto Documentado

Tesis profesional para obtener el  
Título de Diseñador Industrial, presenta:

**Brenda Ojanguren Pinedo**

Con la dirección de:  
Dr. Mauricio Reyes Castillo

Y la asesoría de:  
D.I. Humberto A. Albornoz Delgado  
M.D.I Gustavo Casillas Lavín

Ciudad Universitaria, CDMX  
2021



Universidad Nacional  
Autónoma de México

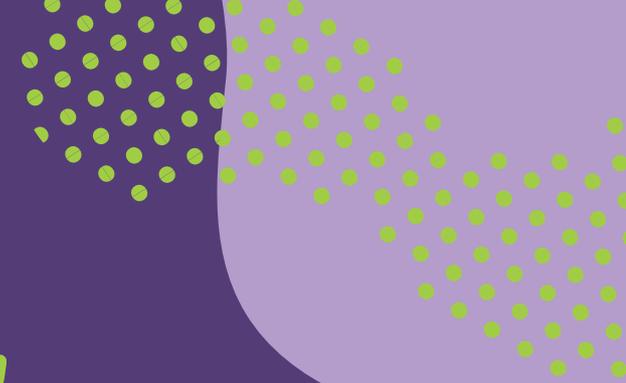


**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

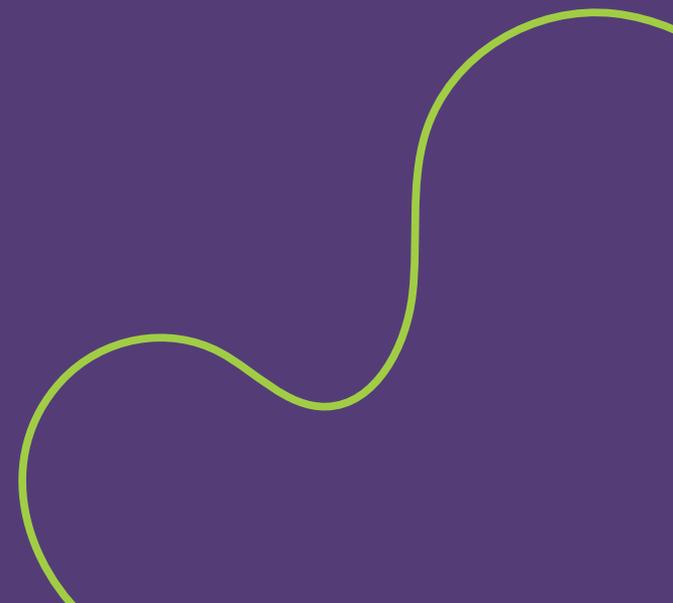
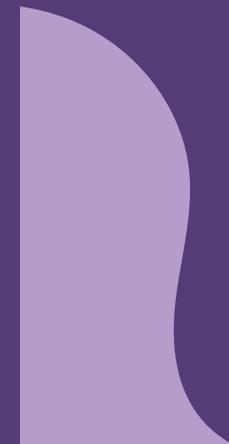
Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**Material didáctico  
para la enseñanza de  
movimiento ondulatorio  
en educación media superior**

Brenda Ojanguren Pinedo





# CENTRO DE INVESTIGACIONES DE DISEÑO INDUSTRIAL



## Programa de Egreso y Titulación Aprobación de impresión

**EP01** Certificado de aprobación de impresión de documento.

**Arq. Enrique Gándara**  
**Coordinación de Titulación**  
**Facultad de Arquitectura, UNAM**  
**PRESENTE**

El director y los cuatro asesores que suscriben, después de revisar el documento del alumno, alumna:

NOMBRE: OJANGUREN PINEDO BRENDA con no. de cuenta 309294902

PROYECTO: Material didáctico para la enseñanza de movimiento ondulatorio en educación media superior

OPCIÓN DE TITULACIÓN: TESIS Y EXAMEN PROFESIONAL

Consideran que el nivel de complejidad y de calidad de LA TESIS, cumple con los requisitos de este Centro, por lo que autorizan su impresión y firman la presente como jurado del

**Examen Profesional que se celebrará el día** a las **horas.**

Para obtener el título de DISEÑADORA INDUSTRIAL

ATENTAMENTE

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”

Ciudad Universitaria, CDMX a 27 de enero de 2022

SINODAL	FIRMA
PRESIDENTE DR. MAURICIO ENRIQUE REYES CASTILLO	
VOCAL M.D.I. GUSTAVO VICTOR CASILLAS LAVÍN	
SECRETARIO D.I. HUMBERTO ALBORNOZ DELGADO	
PRIMER SUPLENTE D.I. YESICA ESCALERA MATAMOROS	
SEGUNDO SUPLENTE LIC. MARIA ESTELA VARELA MANCILLA	

Dr. JUAN IGNACIO DEL CUETO RUIZ-FUNES  
Vo. Bo. del Director de la Facultad

A mis padres,  
por acompañarme a cada paso del camino:



**Imagen 1.** Vista final del proyecto.  
Generador de vibraciones controlado por la aplicación móvil.

## Resumen

Este documento presenta la investigación teórica, el proceso de diseño y los resultados del proyecto titulado “Material didáctico para la enseñanza de movimiento ondulatorio en la educación media superior”.

El propósito del proyecto fue rediseñar el material didáctico “Generador de Frecuencias”, el cual fue realizado en 2016 en colaboración con el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (antes CCADET).

El rediseño está sustentado en las teorías educativas del aprendizaje significativo y fue desarrollado con la perspectiva de la educación como un proceso comunicativo, por lo cual el documento también abarca a grandes rasgos contenidos teóricos sobre qué es el material didáctico, su papel en la educación y la traducción de sus requerimientos en factores de diseño.

El material didáctico desarrollado fue titulado “Kit de Ondas” y se utiliza para la enseñanza/aprendizaje de los conceptos básicos sobre ondas (p. ej. su definición y partes), así como algunos fenómenos relacionados con las vibraciones. Fue diseñado de acuerdo a los programas educativos de la materia de física de sexto semestre de la Escuela Nacional Preparatoria y cuarto semestre del Colegio de Ciencias y Humanidades.

El Kit de Ondas posee una parte física y otra digital. La primera se compone de un dispositivo electrónico denominado “Generador de vibraciones” y accesorios para la experimentación con el dispositivo. La parte digital se trata de una aplicación móvil que funge como “Generador de Frecuencias”, a la vez que aporta textos de apoyo y ejercicios de repaso para complementar el aprendizaje.



# 1

## Introducción

## **“La educación es la base para mejorar nuestra vida y el desarrollo sostenible.**

Además de mejorar la calidad de vida de las personas, el acceso a la educación inclusiva y equitativa puede ayudar a abastecer a la población local con las herramientas necesarias para desarrollar soluciones innovadoras a los problemas más grandes del mundo.”<sup>1</sup>

Organización de las Naciones Unidas  
Objetivos de desarrollo sostenible. Objetivo 4: Educación.

La Educación de Calidad ocupa un puesto clave dentro de los diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible que la Organización de las Naciones Unidas ha propuesto alcanzar en 2030. La educación contribuye a reducir las desigualdades y a lograr la igualdad de género, así como a romper ciclos de la pobreza y empoderar a las personas para que lleven una vida más saludable y sostenible. Además, es fundamental para fomentar la tolerancia entre las personas y crear sociedades más pacíficas.

Ante este reto, la ONU plantea 4 acciones con las que cualquier persona puede participar: 2

1. Pedir a nuestros gobiernos que den prioridad a la educación en las políticas y las prácticas.
2. Presionar a nuestros gobiernos para que asuman el firme compromiso de proporcionar enseñanza primaria gratuita para todos.
3. Alentar al sector privado a que invierta recursos en el desarrollo de centros educativos y en la elaboración de herramientas pedagógicas.
4. Instar a las organizaciones no gubernamentales a que trabajen con los jóvenes y otros grupos para promover la importancia de la educación en las comunidades locales.

Como diseñadores industriales existen maneras en las que podemos colaborar para alcanzar el objetivo de la Educación de Calidad, siendo una de las más importantes la creación de herramientas que apoyen al proceso educativo. Los materiales didácticos pueden aumentar la calidad de la educación y motivar a los alumnos a seguir aprendiendo, además de facilitar el aprendizaje para que los conocimientos se vuelvan más profundos y duraderos.

Actualmente, la oferta de materiales didácticos en México es relativamente pequeña y pareciera que ni educadores ni diseñadores saben realmente cuál es el camino para reavivar esta industria. Sin embargo, estamos seguros de que a través de un proceso interdisciplinario en el que se combinen las habilidades del diseñador industrial con el conocimiento de pedagogos y expertos en los temas que se pretende enseñar se pueden generar materiales didácticos de gran aportación para la educación en nuestro país. Es así que esperamos que este trabajo pueda marcar el camino para otros creadores de material didáctico, en un pequeño esfuerzo hacia la meta de la educación de calidad.

## 1.1

### Objetivo

Generar un rediseño del material didáctico “Generador de Frecuencias” realizado en 2016 en colaboración con el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (antes CCADET), sustentando las decisiones de diseño en las teorías educativas del aprendizaje significativo y con la perspectiva de la educación como un proceso comunicativo.

### Objetivos específicos

- Definir las características esenciales y los beneficios óptimos del material didáctico
- Desarrollar un marco de referencia basado en las teorías educativas para generar el perfil de diseño.
- Identificar la manera en la se enseñan actualmente los temas de ondas.
- Evaluar la primera iteración del proyecto para reconocer fallas y proponer mejoras.
- Analizar el contexto y a los usuarios de este material didáctico para obtener *insights* que apoyen a la conceptualización del producto.
- Rediseñar el producto contemplando los medios disponibles en el ICAT.
- Resolver los problemas productivos que afectaron el resultado de la primera versión del producto.
- Explorar la semiótica de los materiales educativos para refinar la comunicación simbólica del objeto.

## 1.2

### Metodología

La metodología del proyecto se generó tomando como modelo los niveles cognitivos de la taxonomía de Bloom. Cada uno de los siete pasos del proceso corresponde a uno de los niveles y a su vez se relaciona con una actividad de diseño.

Es importante recordar que diseñar no es un proceso lineal, por lo cual, aunque los resultados del proyecto se presenten de esta manera, la metodología debe tomar en cuenta la naturaleza iterativa del diseño.

- 1 Conocer la historia y los alcances del proyecto.**  
Exponiendo las instituciones involucradas, los resultados de la primera iteración, la recepción del proyecto y la valoración personal.
- 2 Comprender lo que son los materiales didácticos, sus características esenciales y sus beneficios óptimos.**  
Analizando y sintetizando diferentes teorías educativas, dentro del paradigma del aprendizaje significativo y con la perspectiva de la educación como un proceso comunicativo.
- 3 Aplicar el marco teórico desarrollado al contexto de diseño.**  
Traduciendo las características esenciales del material didáctico a factores de diseño.
- 4 Analizar información referente a cada factor para encontrar las condicionantes del diseño.**  
Utilizando pruebas con usuarios como fuentes directas de información. Investigación bibliográfica y digital como fuentes secundarias.
- 5 Sintetizar la información recolectada en un perfil de producto.**  
Proponiendo las características que deberá tener el producto, con base en los descubrimientos de la investigación y el marco teórico.
- 6 Diseñar el material didáctico.**  
Realizando de bocetos, modelos físicos y virtuales, prototipos, etc.
- 7 Presentar los resultados del proceso de diseño.**  
Generando una memoria descriptiva del producto que incluya características, modo de uso, ventajas y logros del producto.



# 2

## Antecedentes del proyecto

En el año 2016, cursé la materia optativa “Diseño para la Educación”, impartida por el Diseñador Industrial Humberto Albornoz. La clase forma parte del programa de la Licenciatura del Centro de investigaciones de Diseño Industrial de la UNAM y es impartida en el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (antes Centro de Ciencias Avanzadas y Desarrollo Tecnológico - CCADET).

Humberto Albornoz me guió a comprender lo que son los materiales didácticos y su importancia en el mundo de la educación. Para desarrollar el proyecto final del curso conté con su asesoría y con el asesoramiento del Físico José Jesús Soto Figueroa quien se encargó del diseño de los componentes eléctricos y la programación del prototipo. El desarrollo de este proyecto no hubiera sido posible sin la colaboración del personal del CCADET, quien además me facilitó sus instalaciones para realizar el prototipo funcional del material didáctico. Al proyecto en cuestión lo llamamos simplemente “Generador de Frecuencias”.



**Imagen 2.** Exterior de las instalaciones del CIDI / Exterior de las instalaciones del CCADET / D.I. Humberto Albornoz



**Imagen 3.** Vista final del proyecto “Generador de Frecuencias”.

## 2.1 El Generador de Frecuencias

Es un material didáctico para enseñar los temas de ondas y resonancia a nivel bachillerato. Su propósito principal es facilitar la enseñanza y propiciar el aprendizaje significativo.

Sirve para generar vibraciones que funcionen como referente visual para que el alumno comprenda qué son las ondas, cuáles son sus partes y cómo se disipan. Además, contiene 4 accesorios intercambiables que al hacerse vibrar a diferentes frecuencias permiten observar el fenómeno de la resonancia.

El dispositivo posee un cuerpo principal que contiene una bocina. Utilizando los controles frontales se puede modular la amplitud y la escala de las vibraciones que genera y de esta manera transmitir el movimiento al pistón en la parte superior. Los accesorios se ensamblan al pistón y al ser excitados a la frecuencia exacta nos permiten apreciar el fenómeno de la resonancia a través de diferentes representaciones físicas.

**Imagen 4.** Explosivo del *Generador de Frecuencias*. Muestra la bocina y el interior del dispositivo.



**Imagen 5.** Generador de frecuencias y accesorios.

Los accesorios incluidos son:

**Aro:** Al alcanzar su punto de resonancia permiten apreciar los nodos que se forman en las ondas estacionarias.

**Láminas de resonancia:** La diferencia de longitud entre las láminas permite demostrar la relación entre longitud, frecuencia y resonancia.

**Placa de Chladni:** Se coloca arena sobre la placa y al hacerla vibrar las frecuencias resonantes forman patrones complejos. Se utiliza con la charola antiderrames para evitar que la arena caiga sobre la mesa o el dispositivo.

**Accesorio para burbujas:** El accesorio de burbujas consta de un soplador y una base que se conecta al generador. Se sopla una burbuja sobre la base y al hacerla vibrar a la frecuencia correcta se puede apreciar la formación de nodos en su superficie.

## 2.2

### Acerca del proceso de diseño

El proyecto comenzó como el rediseño de un prototipo que se creó anteriormente en el CCADET. Fue fabricado con una base de metal fundido, una bocina y una cubierta de plástico termoformado. Las modificaciones productivas y estéticas que debían realizarse eran evidentes pero no se cuestionó la función del objeto.

El primer paso del proceso fue investigar sobre el fenómeno que debía representar el material didáctico y los análogos existentes en el mercado internacional. Se determinó que existen diversas maneras de enseñar el mismo fenómeno pero el Generador de Frecuencias es uno de los más populares y eficaces por su versatilidad y atractivo visual.

El prototipo de referencia requería ser conectado a un generador de funciones, el cual modula las vibraciones de la bocina, por ello una de las decisiones más importantes fue fusionar los dos componentes en una sola carcasa que contuviera la bocina y los componentes eléctricos encargados de generar las señales eléctricas. Junto con José Soto F. se determinaron las piezas que debería tener el dispositivo para luego decidir su posición y determinar el tamaño de la carcasa.

Se realizaron bocetos y modelos para definir las características físicas del objeto-producto, se generaron modelos virtuales y finalmente se realizó un prototipo funcional. Desde el inicio del proyecto se planteó que la selección de los procesos de fabricación debía de prever una pequeña producción (9 equipos para ENP y 5 para CCH) que se realizaría dentro de los talleres del CCADET, por lo cual se tomó en cuenta la maquinaria y equipo disponible en sus instalaciones. Este factor fue determinante sobre la estética y proceso de manufactura del material didáctico.

El producto final del proceso fue un prototipo funcional que ha obtenido retroalimentaciones positivas en las pruebas con grupos de estudiantes de preparatoria, sin embargo, aún presenta algunos errores de producción que comprometen su funcionamiento y durabilidad. Por lo tanto no puede ser considerado listo para la producción y mucho menos la versión final del proyecto.

Para fines de este trabajo de tesis, es importante recalcar también que durante el proceso de diseño no se hizo ningún estudio profundo sobre el usuario o del contexto en el que se iba a utilizar, por lo que aún no se puede descartar que el diseño vaya a presentar problemas para adaptarse a su contexto y responder a las necesidades del usuario.



**Imagen 6.** Fotos de proceso: Prototipo original / Primeros bocetos para rediseño / Componentes electrónicos y planos / Carcasa metálica y planos / José Jesús Soto Figueroa ensamblando los componentes / Carcasa con bocina montada



**Imagen 7.** Logo del Premio Nacional de Diseño. Diseña México / Logo del Museo Franz Mayer / Brenda Ojanguren sosteniendo el premio frente al prototipo durante la inauguración de la exposición del concurso.

## 2.3

### Recepción del proyecto

Los avances de la primera iteración fueron inscritos al Premio Nacional de Diseño 'Diseña México 2017', donde recibió dos premios: Ganador al Mejor Diseño de Producto en la subcategoría "Otros Productos" y el Premio Especial a Mejor Diseño Conceptual. Además, el prototipo fue expuesto en el Museo Franz Mayer como parte de la exposición del concurso.

El dispositivo también ha sido presentado en congresos de educación alrededor de la república mexicana.

## 2.4

### Valoración personal y justificación del rediseño

Personalmente, trabajar en este proyecto fue incluso más gratificante que el reconocimiento que recibí. A través del desarrollo de la primera iteración pude percatarme de la gran pasión que siento hacia esta rama del diseño y la trascendencia que este tipo de proyectos pueden tener a un nivel social.

Sin embargo, los resultados no fueron óptimos y me queda claro que el proyecto aún no ha alcanzado su madurez total. Los pequeños errores estéticos y de producción son aparentes en el objeto, pero más allá de eso he llegado a la conclusión de que el problema esencial del proyecto es que fue desarrollado desde una perspectiva superficial que se centraba solamente en modificar su aspecto externo sin considerar su contexto o el proceso educativo.

Ahora me doy cuenta que el proceso de diseño no puede ignorar la complejidad del material didáctico. Nuestra sociedad se puede beneficiar de la educación de calidad como medio para solucionar algunos de sus retos más complejos como la desigualdad o la pobreza, pero eso sólo será posible si las herramientas educativas son efectivas dentro de su contexto específico.

Por estos factores y motivada por el potencial que aún percibo en este proyecto, me parece importante hacer un rediseño que guiado por las teorías pedagógicas considere todos los factores del diseño. La investigación y el desarrollo integral del producto serán indispensables para asegurar que pueda ser de aportación en las escuelas y de esta manera colaborar con la importante misión social de propiciar la educación de calidad.

# 3

## Marco teórico

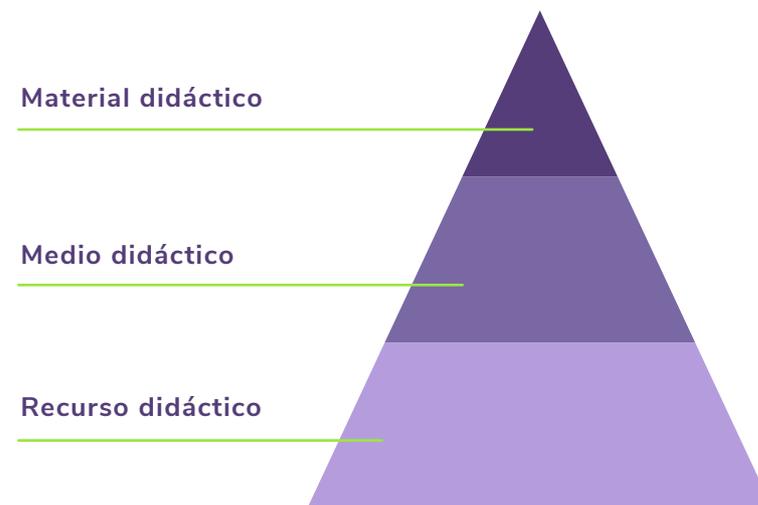
### 3.1

## Definición de material didáctico

De acuerdo con una de las definiciones más extendidas y aceptadas, el término 'Material Didáctico' se refiere al "conjunto de medios materiales que intervienen y facilitan el proceso de enseñanza-aprendizaje."<sup>3</sup>

Este concepto se relaciona con muchos otros conceptos importantes para la pedagogía como lo son 'Aspectos Didácticos', 'Instrumentación Didáctica', 'Objetivos de Aprendizaje', entre muchos otros. Aunque pedagógicamente no existe confusión en la definición de estos términos, es común que coloquialmente se desconozca su significado o se utilicen indiscriminadamente.

Es por ello que me parece importante definir al Material Didáctico, de manera que sustente y apoye al marco teórico de este trabajo, con el fin último de que sirva de guía para la investigación y el subsecuente proceso de diseño. De esta manera, lo primero que haremos será distinguir entre los términos con los que se suele nombrar erróneamente al Material Didáctico:



**Figura 1.** El material didáctico es un medio didáctico. El cual, a su vez, pertenece a la categoría de recursos didácticos.

## Recurso, medio y material didáctico

'Recurso', 'medio' y 'material' didáctico son algunos de los términos más utilizados para referirse a las herramientas que ayudan a la educación. En algunas instancias, y sobretodo en el uso cotidiano, las similitudes entre ellos propician su uso impreciso e incluso que se les llegue a considerar sinónimos. Esta confusión tiene su raíz en la estrecha relación que existe entre los tres términos, ya que cada uno es englobado por el concepto anterior y por lo tanto comparten sus características más generales. El concepto más amplio es el de Recurso. Contiene a los medios didácticos y estos a su vez contienen a los materiales didácticos.<sup>4</sup>(Fig. 1)

Por 'Recurso' nos referimos a cualquier elemento que en un contexto educativo sea utilizado para facilitar las actividades formativas.<sup>4</sup> Engloba a absolutamente todos los elementos que contribuyen en el proceso educativo, incluyendo a los recursos humanos, las instalaciones y los medios didácticos. Por ejemplo: Son recursos didácticos el pizarrón, el proyector de diapositivas e incluso el profesorado.

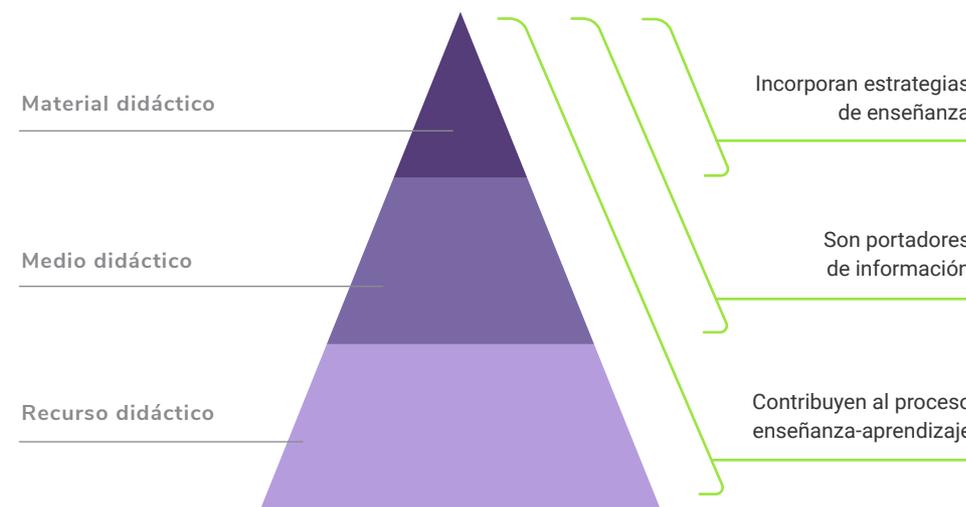
Los medios didácticos son aquellos recursos que tienen una finalidad comunicativa o informativa.<sup>5</sup> Al igual que los recursos didácticos, se utilizan dentro del contexto educativo y son herramientas que participan en el proceso de transmisión de conocimiento. Sin embargo, el primero es sólo un utensilio de apoyo, mientras que el segundo posee un valor simbólico que "contiene" y transmite la información. En otras palabras, son los canales de comunicación a través de los cuales se lleva a cabo el intercambio de información entre los profesores y alumnos, condicionando el patrón de flujos comunicativos en el aula.<sup>6</sup>

Para transmitir la información, los medios pueden ser los referentes directos del objeto de estudio o ser representaciones simbólicas del mismo. Los tipos y formas de los medios didácticos son muy variados, de manera que se puede tratar de objetos físicos, representaciones virtuales, medios impresos, multimedia, etc. Por ejemplo: En una clase de biología podría utilizarse como medio didáctico un órgano diseccionado (referente directo) o una ilustración del mismo (representación simbólica).

Finalmente, los materiales didácticos son los medios didácticos que incorporan las estrategias de enseñanza para ayudar a la reconstrucción del conocimiento.<sup>7</sup> Debemos reiterar que los materiales didácticos son parte de los recursos didácticos y por lo tanto tienen como propósito contribuir en el proceso educativo. De la misma manera, al ser una subcategoría de los medios didácticos, poseen una inherente cualidad comunicativa e informativa. (Fig. 2) Sin embargo, poseen algunas características esenciales que los distinguen de los otros medios didácticos:

- Ser diseñados de acuerdo a los contenidos educativos.
- Su función principal es propiciar el aprendizaje significativo.
- Se adecuan a las cualidades físicas y psíquicas del alumno.
- Son creados para ser utilizados en un contexto educativo determinado.

Por ejemplo: Un vídeo para aprender qué son los volcanes y su hábitat será un material didáctico porque pretende enseñar. En cambio, un vídeo con un reportaje de la National Geographic sobre los volcanes del mundo, a pesar de que pueda utilizarse como medio didáctico dentro de un salón de clases, no es en sí mismo un material didáctico ya que sólo pretende informar, pero no fue diseñado considerando las características que enlistamos anteriormente.



**Figura 2.** Por ser una subcategoría de los medios y recursos didácticos, el material didáctico hereda de ellos algunas de sus características.

Los tres "niveles" de recurso didáctico pueden estar presentes en una misma situación educativa. Por ejemplo: En la planificación de una acción formativa sobre grúas- torre, un formador (recurso humano) puede disponer de "recursos de maquinaria" o de "recursos informáticos". Así mismo, puede disponer de una grúa-torre o de un simulador de manejo de grúa (medios didácticos); igualmente, puede disponer de una "Guía de operador de grúas-torre" (material didáctico).<sup>8</sup> Cada uno de estos tres "niveles" de recursos es necesario y valioso a su propia manera.

Gracias a sus capacidades de análisis del usuario, el diseñador industrial puede contribuir profundamente en el diseño de materiales didácticos. En colaboración con expertos pedagógicos es capaz de crear objetos-productos que contribuyan a la efectividad del aprendizaje. No obstante, para poder crear materiales didácticos que cumplan de manera eficiente con su propósito de facilitadores del aprendizaje, es necesario comprender cuál es el papel que juegan dentro del proceso educativo. Para ello, a continuación analizaremos sus características fundamentales y su importancia en la educación desde la perspectiva de la educación como un proceso comunicativo.

## 3.2

### La comunicación como la esencia de la educación

El reconocimiento del entorno, la creación de herramientas, el perfeccionamiento de las técnicas de caza, entre otros, son de los primeros conocimientos que la humanidad desarrolló y los cuales se volvieron de sustancial importancia para la supervivencia durante los primeros albores de la humanidad.<sup>9</sup> Sin embargo, la habilidad clave que hizo posible la evolución de nuestras sociedades y culturas fue la capacidad para compartir estos conocimientos con otros integrantes del grupo y transferirlos de una generación a otra. Así es como nace -en su versión más elemental- la Historia de la Educación, y a la par la Historia de los Recursos Didácticos.

Quizás en un inicio, la humanidad habrá obtenido todo su conocimiento directamente de la observación de la naturaleza y su entorno. En este caso, el conocimiento se adquiría a través de la experiencia vivencial con el objeto mismo que se pretendía estudiar. Por ejemplo, si se quisiera aprender sobre determinado animal, el aprendizaje estaría limitado a lo que los cinco sentidos nos permitieran asimilar durante la interacción directa con la bestia. Ya podemos suponer que en algunos casos este aprendizaje estaría lleno de riesgo y por lo tanto sería difícil de transmitir, especialmente a las generaciones más jóvenes e inexpertas. Aunque este inconveniente pudiera solventarse parcialmente a través de la comunicación verbal, podemos sospechar que la necesidad de representaciones abstractas de la realidad no tardó en ser imperativa.

Uno de los primeros ejemplos que se tiene del uso de representaciones físicas como canal de comunicación son las pinturas rupestres. Se cree que sus usos eran muy variados y todavía se desconoce si su función era primordialmente religiosa, artística o simplemente fungían como registro para sucesos importantes. Lo que es innegable es el poder que estas imágenes tienen (aún en la actualidad) para transmitir información entre generaciones, y es este principio lo que yace en el núcleo más profundo de la educación.

### El proceso educativo bajo el diagrama básico de la comunicación

En su deconstrucción más simple, el proceso educativo se asemeja al diagrama básico de los elementos de la comunicación en la medida en que responde a un proceso estructurado, en el que se produce intercambio de información.<sup>10</sup> Por ello, para comprender el papel del material didáctico en el contexto educativo, es importante explorar con un poco más de detenimiento los elementos básicos de la comunicación y cómo estos se traducen al proceso de transferencia del conocimiento.

En su deconstrucción más simple, la comunicación posee 3 componentes fundamentales: (Fig. 3)



Figura 3. Diagrama básico de la comunicación.

En términos generales, 'Mensaje' se refiere a la información transferida, mientras que 'Emisor' es quien la transmite y 'Receptor' es aquel que la recibe.<sup>11</sup> En el contexto de la educación actual, el emisor adquiere comúnmente el nombre de "maestro" o "profesor". Éste posee un conocimiento previo que comparte como mensaje al receptor, conocido en esta situación como el "alumno". El propósito de esta interacción es que el segundo "aprenda" la información que le está siendo transferida, vocablo que deriva del latín 'apprehendere', el cual hace referencia a asir o agarrar el conocimiento.<sup>12</sup> Esta definición nos reitera la relevancia del aspecto de transferencia que posee el proceso educativo.

Para encontrar el papel que juegan los medios didácticos bajo este esquema es necesario incluir los tres factores secundarios de la comunicación: código, canal y contexto. (Fig.4)

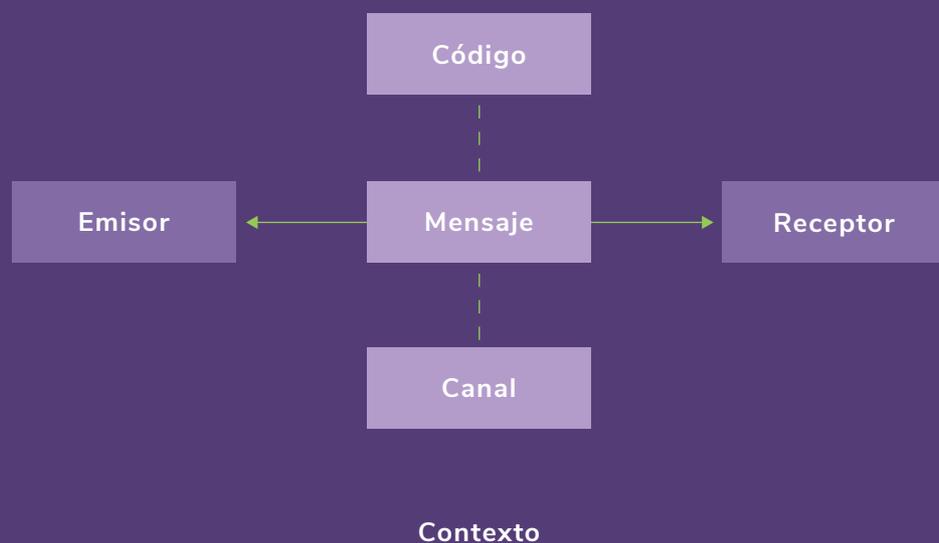


Figura 4. Diagrama de la comunicación, incluyendo los tres factores secundarios.

‘Canal’ es el soporte que transmite la información. Se refiere tanto al medio natural (la luz, el aire, las ondas electromagnéticas, etc.), como al medio técnico (impresión, telégrafo, radio, internet, etc.). Se debe destacar que en casi cualquier caso la comunicación depende de una serie de canales subsecuentes y los cuales siempre pueden ser diseccionados en partes más pequeñas. Por ejemplo: El aparato telefónico es el canal de una conversación telefónica, sin embargo, también podríamos hacer una fragmentación más minuciosa e incluir las ondas sonoras que hacen vibrar el aire hasta el auricular, la energía eléctrica que transmite nuestro mensaje a través del cable telefónico o la bocina que recompone nuestras palabras al otro lado de la línea.

En el contexto de la educación, los canales utilizados con más frecuencia son el lenguaje hablado o escrito, pero también se pueden utilizar los medios didácticos para facilitar la transmisión del conocimiento.

Veremos más adelante que los materiales didácticos son más que meros soportes de información, pues condicionan al resto de los factores. Sin embargo, es importante recordar que como canales de transmisión, su papel es el de intermediario de la comunicación entre el maestro y el alumno, por lo cual debemos evitar caer en el error común de ver al material didáctico como el emisor o la fuente del mensaje.

‘Código’ se refiere al sistema de signos que se utiliza para transmitir el mensaje. Esto quiere decir que para que la comunicación pueda llevarse a cabo, el emisor debe ser capaz de manifestar su mensaje en un sistema que el receptor pueda decodificar.

En términos del lenguaje hablado este factor se refiere al idioma, sin embargo, el tipo de sistema simbólico varía dependiendo de la manera en la que se presenta el mensaje. Puede tratarse de códigos verbales, icónicos, sonoros, cromáticos, etc.

Incluso cuando la comunicación se realiza a través de medios no verbales, es necesario que exista un código común. Esto supone una tarea compleja cuando la comunicación se lleva a cabo a través de objetos (como puede ser el material didáctico), ya que no existen guías explícitas ni reglas gramaticales para la comunicación simbólica objetual.

En el siguiente capítulo exploraremos la teoría del aprendizaje significativo para entender la importancia de este factor en la efectividad del proceso educativo.

Finalmente, ‘contexto’ es la situación o entorno en el que se desarrolla la comunicación. Comprende los factores espaciales y temporales, así como algunos más complejos como el contexto cultural, social, histórico, económico, psicológico, etc. El contexto tiene una gran influencia en la

interpretación del mensaje y la eficiencia de la comunicación. El contexto repercute en todos los demás factores y un pequeño cambio en él puede modificar por completo el entendimiento de un mensaje. En términos del diseño de material didáctico, esto significa que se tiene que realizar una exhaustiva investigación del marco en el que se realizará el proceso educativo/comunicativo para asegurar que el conocimiento será asimilado de manera propicia.

G. Salomon (1974)<sup>15</sup>, uno de los autores más representativos y destacados de estos últimos años en el campo de los medios didácticos, concibe los medios didácticos como el resultado de la interacción de cuatro elementos: el sistema simbólico, los contenidos, la tecnología de transmisión y los marcos sociales. (Fig. 5)

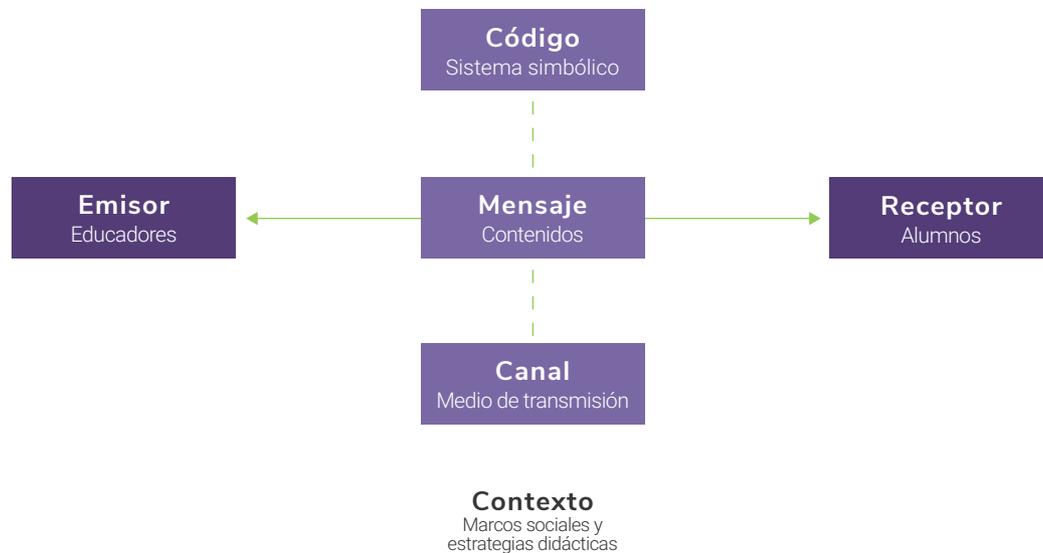


Figura 5. Superposición del diagrama de la comunicación y los elementos descritos por G.Salomon.

Esta clasificación se asemeja al diagrama de comunicación que describimos anteriormente y valida la hipótesis de que el material didáctico posee un papel fundamental en la transmisión de mensajes educativos. No obstante, la teoría de G. Salomon se centra en describir a los medios didácticos sin considerar la interrelación que estos factores tienen con el usuario y el receptor. En el siguiente capítulo analizaremos estos vínculos a través de dos de las teorías educativas más influyentes del siglo XX: el conductismo y el constructivismo.

### 3.3

## Conductismo, constructivismo y aprendizaje significativo

### Conductismo

A través de la historia han surgido diversas teorías para tratar de explicar los procesos humanos internos que ocurren durante el aprendizaje, como lo son la adquisición de habilidades intelectuales, la adquisición de información o conceptos, las estrategias cognoscitivas, etc. Durante las primeras décadas del Siglo XX, las teorías conductistas fueron el paradigma dominante en la Educación y otras ciencias. Influenciados por las teorías psicológicas de John Watson, los pedagogos que adoptaron la escuela conductista comenzaron a enfocarse en el estudio experimental de fenómenos observables como medio para medir el aprendizaje del estudiante y el éxito de la enseñanza.

Desde este punto de vista se concebía el aprendizaje como una asociación entre estímulos y respuestas o entre conductas y refuerzos.<sup>8</sup> Las teorías de condicionamiento asumen las conductas humanas como una respuesta reflejo provocada por un estímulo del entorno. Estas conductas pueden ser alteradas a través de contingencias de refuerzo y castigo. De acuerdo a las teorías de Skinner, los comportamientos se repiten cuando conducen a resultados favorables y disminuyen cuando conducen a resultados desfavorables.

Es por ello que al traducir estas teorías al contexto de la educación, el papel principal se destina al entorno y la tarea principal del educador es proveer los estímulos adecuados para enseñar al alumno a través del condicionamiento de sus conductas. El proceso de aprendizaje es reducido a una serie de unidades concisas que permiten oportunidades de retroalimentación y que guían a los estudiantes al siguiente paso en la cadena de instrucción.<sup>9</sup> De esta manera, en el paradigma conductista los profesores son los principales protagonistas de la educación, ya que son los encargados de encauzar la actividad de los alumnos y de evaluar los resultados obtenidos.<sup>8</sup>

Al integrar las teorías conductistas al diagrama de comunicación que hemos desarrollado (Fig. 6), podemos distinguir que el conductismo establece algunas nuevas interconexiones, pero todas ellas se enfocan en el papel del emisor. Bajo la teoría conductista no se busca adaptar el mensaje a los procesos intelectuales y las características personales del estudiante. Su papel se limita a recibir la información a través de los estímulos a los que se le expone.

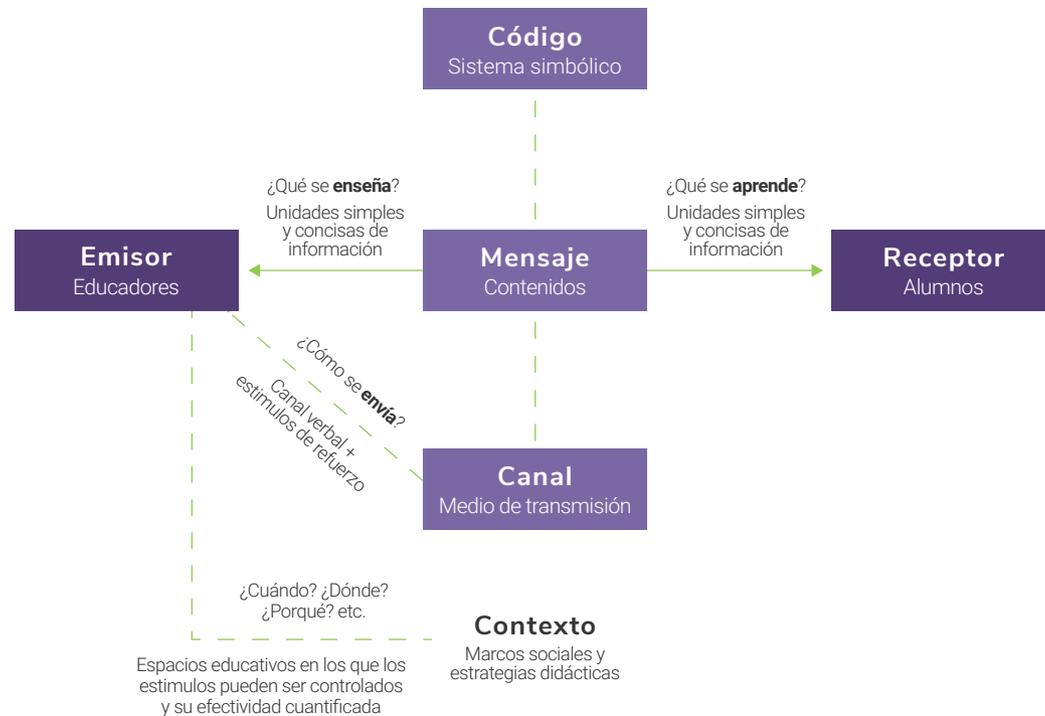


Figura 6. Características de la teoría conductista adaptadas al diagrama de la comunicación.

En lugar de proporcionar oportunidades para la exploración personal y la prueba de hipótesis, este sistema convirtió a la enseñanza en un proceso mecanicista. La memorización se convirtió en un elemento clave y se creía que la repetición aumentaba la probabilidad de hacer permanente el conocimiento. Además, debido a que ignoraba la herencia y la conciencia individual, estas características también fueron minimizadas en la educación. Los antecedentes del estudiante, su inteligencia e intereses personales no se consideraron factores clave que afectan el aprendizaje.

## Constructivismo y aprendizaje significativo

A partir de 1960 la educación se volvió escéptica de las teorías conductistas. Aunque el entorno seguía siendo considerado como un factor importante para la educación, se volcó la atención hacia el individuo, la conciencia humana y los procesos de pensamiento. En vez de concentrarse en diseñar las unidades de instrucción, los diseñadores educativos se encargaron de buscar las formas de motivar al alumno y facilitar la adquisición, procesamiento y recuperación de información.<sup>9</sup>

La teoría constructivista del aprendizaje se nutre de aportaciones de diversas corrientes psicológicas asociadas a la psicología cognitiva. El sujeto adquiere el conocimiento mediante un proceso de construcción individual y subjetiva, por lo que sus expectativas y su desarrollo cognitivo determinan la percepción que tiene del mundo.<sup>5</sup>

Dentro del marco constructivista surge el concepto de aprendizaje significativo, según el cual para “construir el conocimiento” es necesario relacionar los nuevos aprendizajes a partir de las ideas previas del alumno. Lo crucial no es cómo se presenta la información, sino como la nueva información se integra en la estructura de conocimiento existente.<sup>8</sup>

Para que se produzca auténtico aprendizaje de largo plazo y que no sea olvidado fácilmente, es necesario interconectar los conceptos nuevos para ampliar y/o modificar la red del conocimiento. Por el contrario, los aprendizajes por repetición son entidades aisladas, desconectadas y dispersas en la mente del alumno, por lo que no permiten establecer relaciones en su estructura cognoscitiva. Estos aprendizajes son de rápido olvido y, aunque permiten la repetición inmediata o próxima en el tiempo, no son un aprendizaje real ni significativo.<sup>13</sup>

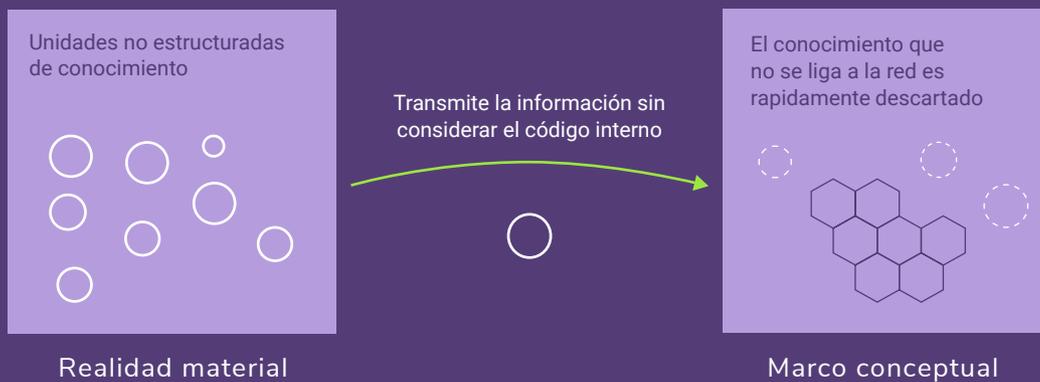


Figura 7. Transferencia de conocimiento bajo el marco teórico del conductismo.

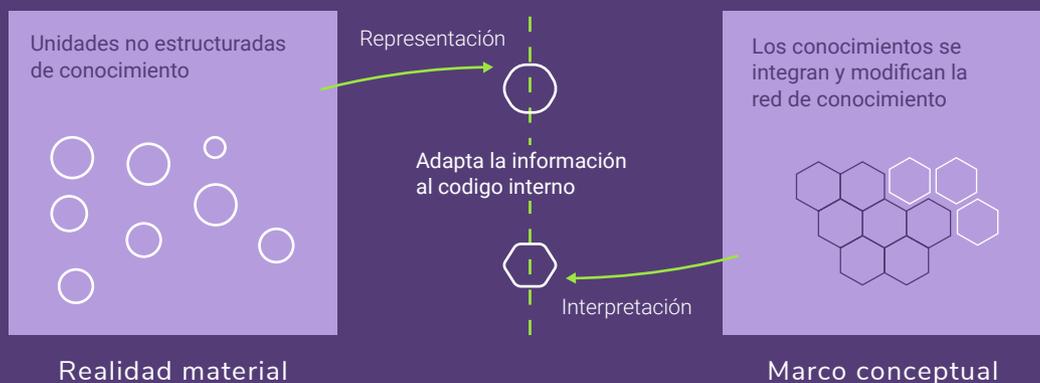


Figura 8. Transferencia de conocimiento bajo el marco teórico del Aprendizaje Significativo.

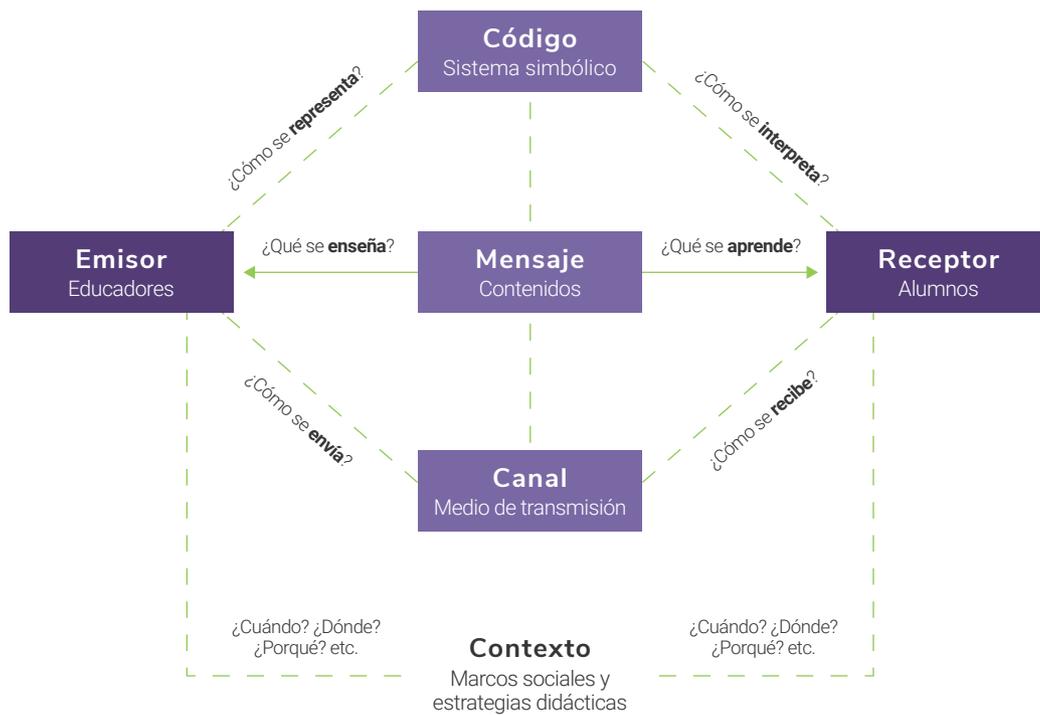
En el aprendizaje significativo, la información es representada a través de símbolos que puedan ser interpretados por el alumno. 'Interpretar' se define por la Real Academia de la Lengua como "Concebir, ordenar o expresar de un modo personal la realidad".<sup>14</sup> Mediante el proceso dual de la representación e interpretación, los nuevos contenidos son adaptados al código interno del alumno de manera que pueden ser comprendidos, asimilados e integrados a la red. De esta manera, el aprendizaje significativo produce una modificación tanto en la información adquirida como en la estructura cognitiva del alumno mediante reajustes para integrar la nueva información. (Fig. 8)

El sentido lo da la relación de la nueva información con conocimientos anteriores y la propia experiencia, al mismo tiempo las propiedades físicas de los objetos limitan los significados potenciales. Por ello, nos encontramos con tres condiciones para el aprendizaje significativo o la adquisición de significados:<sup>15</sup>

1. Significatividad lógica del material. Esto es, que el material presentado tenga una estructura interna organizada, que sea susceptible de dar lugar a la construcción de significados.
2. Significatividad psicológica del material. Esto se refiere a la posibilidad de que el alumno conecte el conocimiento presentado con los conocimientos previos, ya incluidos en su estructura cognitiva.
3. La motivación del alumno. El aprendizaje no puede darse si el alumno no presenta disposiciones emocionales y actitudinales para realizar la transferencia de conocimiento.

La teoría constructivista hace gran hincapié en el rol del estudiante como una respuesta al paradigma conductista, sin embargo, no debemos olvidar que el rol del educador también es primordial. De igual manera, aunque la teoría promueve el activismo y la experimentación, debemos aclarar que el aprendizaje significativo también puede producirse mediante la exposición de los contenidos por parte del docente, ya que tanto el aprendizaje por recepción como el aprendizaje por descubrimiento pueden ser tanto significativos como mecánicos.<sup>14</sup> Por lo tanto, el aprendizaje significativo no minimiza la responsabilidad del educador, sino que por el contrario, le da las cruciales tareas de propiciar la motivación y estimulación dentro del salón de clases; fungir como orientador y facilitador de los procesos educativos; y adaptar los contenidos para que puedan ser asimilados por el estudiante.

La teoría del aprendizaje significativo completa nuestro esquema de interrelaciones y se incorpora de la siguiente manera: (Fig. 9)



**Figura 9.** Diagrama de la comunicación que muestra las preguntas que definen las relaciones entre sus factores.

## Conclusión

El aprendizaje significativo tiene la capacidad de facilitar la adquisición de nuevos conocimientos, superar el conocimiento memorístico general y tradicional de las aulas y lograr un aprendizaje más integrador, comprensivo, de largo plazo, autónomo y estimulante. Sin embargo, para que la educación propicie el aprendizaje significativo, debe contemplar tanto al papel del maestro como al del alumno, así como las interrelaciones que cada uno tiene con el conocimiento/mensaje. Del mismo modo, diseñadores y educadores deberán crear el material didáctico como parte de un sistema complejo, comprendiendo que su función de canal de comunicación lo interrelaciona con los demás factores del proceso comunicativo.

## 3.4

### Beneficios del material didáctico dentro del marco teórico de la comunicación

Como ya dijimos anteriormente, aunque los materiales didácticos son en sí mismos canales de comunicación dentro del esquema de comunicación, también condicionan y generan beneficios al relacionarse con los demás factores del sistema. En esta sección explicaremos algunos de los más importantes organizándolos bajo nuestro marco teórico de la educación como un proceso de comunicación.



Figura 10. Diagrama de las preguntas que definen las interrelaciones del mensaje con el emisor y el receptor.

### Mensaje

En el contexto educativo, las relaciones que el emisor y el receptor tienen con el mensaje responden a las preguntas “¿Qué se enseña?” y “¿Qué se aprende?” respectivamente. Dentro de esta ecuación, los materiales didácticos traen beneficios para maestros y estudiantes. (Fig. 10)

#### Proporcionar información

Esta es la función principal de los medios didácticos. Se utilizan en el salón de clases para apoyar al proceso educativo y facilitar la comunicación de conceptos. Basándose en los planes de estudio y los métodos de enseñanza, los materiales didácticos recopilan la información que es pertinente enseñar y delimitan los contenidos para que la información pueda ser comprendida por los estudiantes. Además de mantener estable e inalterable la información que contienen, también la estructuran y organizan internamente, de manera que promueven la significación lógica de los contenidos.

#### Guían los contenidos

El material didáctico sirve como guía para que el proceso educativo no pierda su camino. Apoya a los maestros a recordar qué contenidos deben ser abordados, su secuencia y la manera en que deben ser enseñados. Esto facilita el trabajo del educador frente al grupo y hace más simple conducir las sesiones.

Por otro lado, la progresión lógica de la información favorece el entendimiento del alumno porque propicia que el estudiante tenga las estructuras mentales requeridas para que se dé el aprendizaje significativo.

### Facilitan el acceso a la información

Los medios permiten acceder a acontecimientos, fenómenos o situaciones difícilmente alcanzables por la lejanía en el tiempo o en el espacio. Mediante experiencias de aprendizaje mediadas figurativa o simbólicamente, los medios propician que los alumnos accedan a realidades que desde su marco vital no podrían conocer. De este modo, se incrementan las posibilidades de adquisición del conocimiento más allá de la mera experiencia contingente o directa sobre la realidad que los circunda.



Figura 11. Diagrama de las preguntas que definen las interrelaciones del canal con el emisor y el receptor.

## Canal

El material didáctico es en sí mismo un canal de comunicación, por lo cual define el soporte físico y el tipo de estimulación sensorial por el cual se transfiere la información. Además, su forma material condiciona los símbolos que pueden emplearse y sus posibles interpretaciones. (Fig. 11)

### Acercar las ideas a los sentidos

El material didáctico pone al estudiante en contacto con el objeto de aprendizaje a través de los sentidos. Esto es de gran apoyo para que los estudiantes vinculen la información de manera personal y la relacionen con experiencias previas, propiciando el aprendizaje significativo.

### Favorece la multisensorialidad

Las capacidades sensoriales de cada individuo definen la estrategia de aprendizaje más adecuada para ellos: auditiva, visual o cinestésica. Los materiales didácticos combinan diferentes formas de representación y medios de estimulación para adaptarse a las necesidades de cada uno y facilitar la transferencia de información. Adicionalmente, el aprendizaje es más duradero porque conecta múltiples representaciones sensoriales dentro de la red mental. Con el tiempo, ejercitar diferentes tipos de percepción facilitará la comprensión de más tipos de sistemas simbólicos.

### Propician la participación del alumno

Aunque no es una característica intrínseca de los materiales didácticos, la interactividad ofrece al estudiante la posibilidad de participar activamente en el proceso educativo, favorece la actividad intelectual y ejercita su capacidad de resolución de problemas.



Figura 12. Diagrama de las preguntas que definen las interrelaciones del código con el emisor y el receptor.

## Código

Este aspecto es el que mayor influencia tiene sobre el aprendizaje significativo, por lo cual muchos de sus beneficios son similares a los que enlistamos anteriormente cuando describimos esta teoría educativa. Igualmente, la relación que el código tiene con el emisor y el receptor se relaciona con los conceptos de representación e interpretación, tratados en la sección anterior. (Fig 12)

### Contextualizan la información

El material didáctico toma en cuenta las características psicológicas de los estudiantes y se adapta a su edad y sus capacidades para presentar la información en un código y escala que ellos puedan comprender. Por medio de imágenes u objetos ayudan al estudiante a relacionar lo que se le está explicando con sus propios referentes internos. De este modo hacen sentir al alumno familiaridad con conceptos y contribuyen a dar significatividad psicológica a los contenidos.

### Presentan un código interno para la comunicación

La obtención del conocimiento a través de los medios exige la decodificación mensajes representados a través de símbolos formales (como los símbolos matemáticos o del lenguaje) o informales (como los artísticos o estéticos). Los materiales didácticos mantienen fijos algunos de los símbolos necesarios para que el alumno comprenda la información. Esto ayuda al profesor como guía para encontrar la manera más eficiente de (re)presentar la información al alumno.

## Facilitan la adquisición y fijación del aprendizaje

Un sistema de símbolos comunica mejor que otro, no a causa de un parecido entre el símbolo representado y su referente, sino por el grado de correspondencia entre el símbolo representado y la estructura cognitiva del individuo que lo percibe. Por ello, el grado de aprendizaje dependerá de la facilidad con la que los conceptos puedan ser interpretados, y su fijación en la mente del alumno estará condicionado a su capacidad de integrar el nuevo conocimiento a su estructura mental. Los materiales didácticos consideran las características del alumno para incorporar códigos simbólicos que facilitan la interpretación de conceptos complejos y en consecuencia propician el aprendizaje significativo.

## Son potenciadores de habilidades intelectuales en los alumnos

Cada medio demanda que los alumnos activen distintas estrategias y operaciones cognitivas para que el conocimiento sea comprendido, almacenado significativamente y posteriormente recuperado y utilizado. Durante las interacciones con el material didáctico, los sujetos no sólo adquieren la información que 'contienen' los medios, sino también conocimiento sobre el tipo de actividad y habilidad intelectual necesaria para la adquisición de los mensajes. Por ende, ejercita la inteligencia de los estudiantes y los prepara para enfrentarse a nuevos sistemas simbólicos.



Figura 13. Diagrama de las preguntas que definen las interrelaciones del contexto con el emisor y el receptor.

## Contexto

Los beneficios del material didáctico sobre el contexto se relacionan con las estrategias didácticas que estos emplean para adaptarse a un lugar, tiempo, usuarios y otros factores específicos de cada ambiente educativo. (Fig. 13) Juegan el papel fundamental de regular el contexto de la comunicación, con efectos en las dinámicas de clase, la motivación de los alumnos y la concreción de los objetivos. No debemos perder de vista que dichas estrategias son lo que define como tal a un material didáctico y lo distinguen de los otros medios didácticos.

## Regulan las estrategias de utilización

Cuando los materiales responden a las necesidades y metas planteadas en los programas educativos, aumenta la probabilidad de que los maestros proporcionen las experiencias requeridas en el aula. Los materiales didácticos deben ir acompañados de manuales para maestros, que son recursos importantes para los maestros porque guían las actividades y colaboran en preservar los estándares de calidad de la educación. Con la utilización de materiales didácticos, los maestros pueden ahorrar tiempo, los estudiantes pueden requerir un menor esfuerzo para lograr los objetivos de aprendizaje, y los recursos organizacionales estarán invertidos de manera más eficiente.

## Estructuran los procesos comunicativos de la educación

Los materiales didácticos son el canal de comunicación entre maestros y alumnos, pero también afectan y modulan las comunicaciones entre los demás agentes involucrados en el proceso educativo. Establecen flujos comunicativos entre diseñadores curriculares y profesores de aula, entre grupos de alumnos o incluso entre padres de familia y sus hijos. Todos estos son procesos comunicativos regulados intencionalmente y dirigidos a provocar aprendizaje.

## Motiva a los estudiantes

Al utilizar diversos materiales didácticos se rompe con la monotonía del salón de clases y la actividad se hace más atractiva, motivante y estimulante para la creatividad. Esto tiene el potencial de atrapar el interés de los alumnos y facilitar el aprendizaje. A la par, trabajar con un grupo de estudiantes motivados por aprender simplifica la labor del docente.

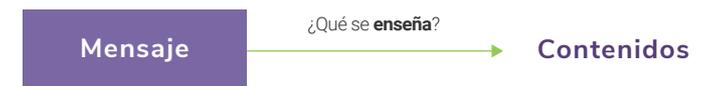
## Fomentar la participación activa

Un aprendizaje global no sólo consiste en dominar los procesos de decodificación de los mensajes, sino también en saber utilizar los símbolos y la sintaxis de los mismos para poder comunicar las ideas propias. Los materiales didácticos proporcionan simulaciones que ofrecen entornos para la observación, exploración y experimentación. Permiten que el docente ofrezca actividades lúdicas que propicien la participación del alumno de diversas maneras. Estas pueden fomentar la colaboración entre alumnos, la autorreflexión y la comunicación de conocimientos.

## 3.5

### Los factores de la comunicación como requerimientos de diseño

Después de haber estudiado qué es el material didáctico y cuáles son los factores que lo definen, examinaremos cómo sus características principales pueden ser traducidas a requerimientos de diseño para preservar los beneficios enlistados en la sección anterior.



**Figura 14.** El mensaje está ligado a los contenidos educativos como factor de diseño de material didáctico.

### Mensaje

El mensaje deberá estar determinado por las metas y contenidos especificados en los programas de enseñanza. (Fig. 14) Éstos son creados por pedagogos con experiencia en las teorías educativas y por lo general están enfocados a cumplir con los intereses educativos de un determinado contexto político e histórico.

Por tal razón, el diseñador tendrá mínima influencia en determinar los contenidos en los que estará basado el material didáctico que diseñe. Los proyectos de diseño son frecuentemente generados en equipos multidisciplinarios, por lo cual este no será ningún problema para el diseñador industrial. Sin embargo, es importante que comprenda que su papel está en función de las metas educativas que quieran alcanzar los agentes de la educación (profesores, directores, creadores de programas, instituciones gubernamentales, etc.).

La selección de la información que el material didáctico debe comunicar es, por lo tanto, parte del perfil de producto que los educadores proveen al diseñador. Por consiguiente, el trabajo del diseñador con respecto al factor del mensaje se reduce a comprender el tema al cual estará enfocado el material didáctico, la perspectiva desde la cual se pretende enseñar y cómo está relacionado con los otros contenidos del temario.



**Figura 15.** Mediante cada pregunta de interrelación, el código está ligado a la estética y la ergonomía cognitiva como factores de diseño de material didáctico.

## Código

El factor estético de los objetos no se refiere directamente a su materialidad, sino a los valores simbólicos que expresa el objeto a través de su forma. Por ello, aunque la estética juega un papel fundamental en definir la forma de los objetos-productos, está más relacionada con el código que con el canal del mensaje. (Fig. 15)

Como ya se dijo anteriormente, los materiales didácticos utilizan símbolos de tipo formal e informal (lenguaje escrito, signos, símbolos estéticos, etc.) para comunicar mensajes de diversos niveles de abstracción. Entre más complejo o extenso es el conocimiento que se pretende transmitir, es común que también aumente la cantidad de niveles de representación que se utilicen simultáneamente. El trabajo de diseñador es conocer y manejar todos estos niveles de abstracción para utilizar los sistemas simbólicos y representaciones que más favorezcan al proceso de representación/interpretación de los mensajes.

Debemos recalcar que estas representaciones simbólicas no sólo se limitan a codificar la información que se espera que el alumno aprenda, sino que también proveen información sobre el objeto en sí. Los materiales didácticos deben dar pistas sobre su función y mecanismos de uso para facilitar su manipulación y la extracción de significados. Adicionalmente, deben expresar los valores del objeto, es decir, a través de sus características estéticas, los estudiantes son capaces de reconocer si se trata de un objeto divertido o serio, científico o lúdico, moderno o tradicional, tecnológico o análogo, etc. La correcta utilización de los valores simbólicos en este nivel de abstracción es crucial para el diseñador industrial, pues posee la capacidad de suscitar el interés y motivación de los alumnos.

En términos de diseño, el código del mensaje también se relaciona con el campo de la ergonomía psicoperceptiva o cognitiva. Ésta rama estudia la capacidad humana de procesar información y su principal propósito es que los objetos-producto se adapten a las capacidades cognitivas de su usuario. Al igual que las capacidades motoras, el desarrollo cognitivo progresa con el tiempo y varía de un individuo a otro. Por ello, la edad del estudiante entre otros factores puede limitar las capacidades del usuario para interpretar los mensajes.

En conclusión, para alcanzar la efectividad del material didáctico, es necesario conocer las características psicológicas y mentales de los usuarios, así como utilizar valores simbólicos que puedan relacionar con su propia realidad y estructuras internas.



**Figura 16.** Mediante cada pregunta de interrelación, el canal está ligado a la producción y la ergonomía como factores de diseño de material didáctico.

## Canal

Este es el factor más cercano al trabajo del diseñador. Posee dos dimensiones a través de las cuales se relaciona con el emisor y receptor respectivamente. La primera responde a la pregunta “¿Cómo se envía el mensaje?”, se refiere a la cualidad material del medio y por lo tanto le concierne al aspecto productivo del diseño. Por otro lado, su otra dimensión responde a la pregunta “¿Cómo se recibe el mensaje?”. Esta define las vías de estimulación por las cuales será comprendido el mensaje y por lo tanto corresponde al campo de la ergonomía. (Fig. 16)

En cuestión de producción, el diseño de material didáctico (como el de cualquier otro proyecto) responde a particularidades dictadas por el contexto en el que es creado. Los recursos tecnológicos, las capacidades económicas del proyecto y las consideraciones ecológicas son sólo algunas de las cualidades que deberán ser tomadas en cuenta para solucionar el aspecto productivo del objeto.

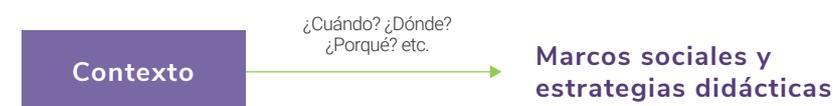
Muchas de las características físicas de los objetos-productos como su material, forma o acabado son usualmente el resultado de una serie de decisiones técnicas que el diseñador ha tenido que tomar para que dicho objeto exista. A su vez, las cualidades materiales del medio utilizado determinarán los mensajes que este sea capaz de comunicar, por lo cual es necesario definir los procesos productivos con respecto a las características físicas que mejor respalden la comunicación.

En las últimas décadas, la variedad de herramientas didácticas se ha expandido ante la influencia de las tecnologías digitales. Esto ha sido un gran aporte al mundo del material didáctico, generando nuevas y eficaces formas de comunicar los mensajes educativos. Sin embargo, es primordial alejarnos del tecnocentrismo y recordar que los materiales didácticos existen en función del mensaje que transmiten, no en función de la tecnología de transmisión.

Al mismo tiempo, la dimensión material del medio define las vías sensoriales por las cuales el estudiante recibirá la información. Es por ello que al diseñar material didáctico es necesario estudiar a nuestro usuario para conocer sus capacidades físico-perceptivas y lograr que la solución de diseño se adapte a sus necesidades. Por consiguiente, las características físicas del objeto deberán ser tales que permitan al estudiante manipular los objetos de la manera correcta y percibir los mensajes que contienen.

Existen casos en los que es evidente la relevancia de adaptar el material didáctico a las capacidades perceptivas del alumno, especialmente si nuestro receptor posee alguna discapacidad motor o perceptual. Un buen ejemplo son los libros en braille, que permiten a estudiantes con deficiencias visuales acceder a mensajes que de otra manera estarían fuera de su alcance. Sin embargo, adaptar el material didáctico a las posibilidades perceptuales del estudiante es importante incluso cuando el usuario no posee ninguna discapacidad. No todos aprendemos de la misma manera y por lo tanto la redundancia a través de diferentes vías sensoriales es de máxima importancia para asegurar que el mensaje llegará al receptor.

Asimismo las características ergonómicas del material didáctico deben considerar las capacidades físico-motoras del alumno. Estas se van desarrollando con el tiempo y suelen ser similares en la mayoría de los individuos de cierta edad o grado escolar. No obstante, el material didáctico debe tender hacia la universalidad para evitar el rezago o exclusión de los alumnos que poseen alguna discapacidad o simplemente con capacidades motoras menos desarrolladas.



**Figura 17.** Mediante las preguntas de interrelación, el contexto está ligado a los marcos sociales y las estrategias didácticas como factores de diseño de material didáctico.

## Contexto

Los factores que definen el contexto en el que será introducido un material didáctico son innumerables y es prácticamente imposible tener todos en cuenta. Por tal razón, es preciso que durante la investigación preliminar se dé una vista general de estos factores para reconocer si existe alguno que deba modificar los requerimientos del diseño y, por consiguiente, a las estrategias didácticas. (Fig. 17)

A fin de definir los alcances de esta investigación, debemos primero puntualizar el alcance que tendrá la producción del material didáctico. Por ejemplo: Si el material didáctico se utilizará exclusivamente en el salón de tercero de primaria de cierta escuela, debemos acotar la investigación a los factores que afectan a este grupo de usuarios. En este caso quizás exista la posibilidad de entrevistar directamente a maestros y estudiantes, no obstante, lo más común es que se desconozca el contexto en el que se utilizará el material. En estas situaciones deberemos hacer predicciones empleando grupos muestra que se relacionan en edad, tipo de educación, contexto económico, etc.

Con el fin de que la efectividad del material se mantenga de un contexto al otro, se deben incluir manuales o guías que dictan al profesor cómo utilizar el material y mediar el contexto educativo. Estas deben ser diseñadas con ayuda de los pedagogos, pues ellos conocen las estrategias de enseñanza, sin embargo, un poco de experiencia en el diseño de servicios o sistemas le dará una ventaja al diseñador para colaborar en esta tarea.



# 4

## Investigación y análisis

Este capítulo se enfoca en estudiar el contexto del proyecto con el fin de descubrir los factores que condicionarán al diseño. Estos se localizarán mediante dos actividades diferentes: Una prueba con primer prototipo y la investigación en fuentes bibliográficas o digitales. Primero se presentarán los resultados de la prueba (fuente primaria de información) y posteriormente se presentará la investigación de fuentes secundarias en subcapítulos relacionados a cada uno de los factores de comunicación que definimos en el capítulo anterior.

## 4.1

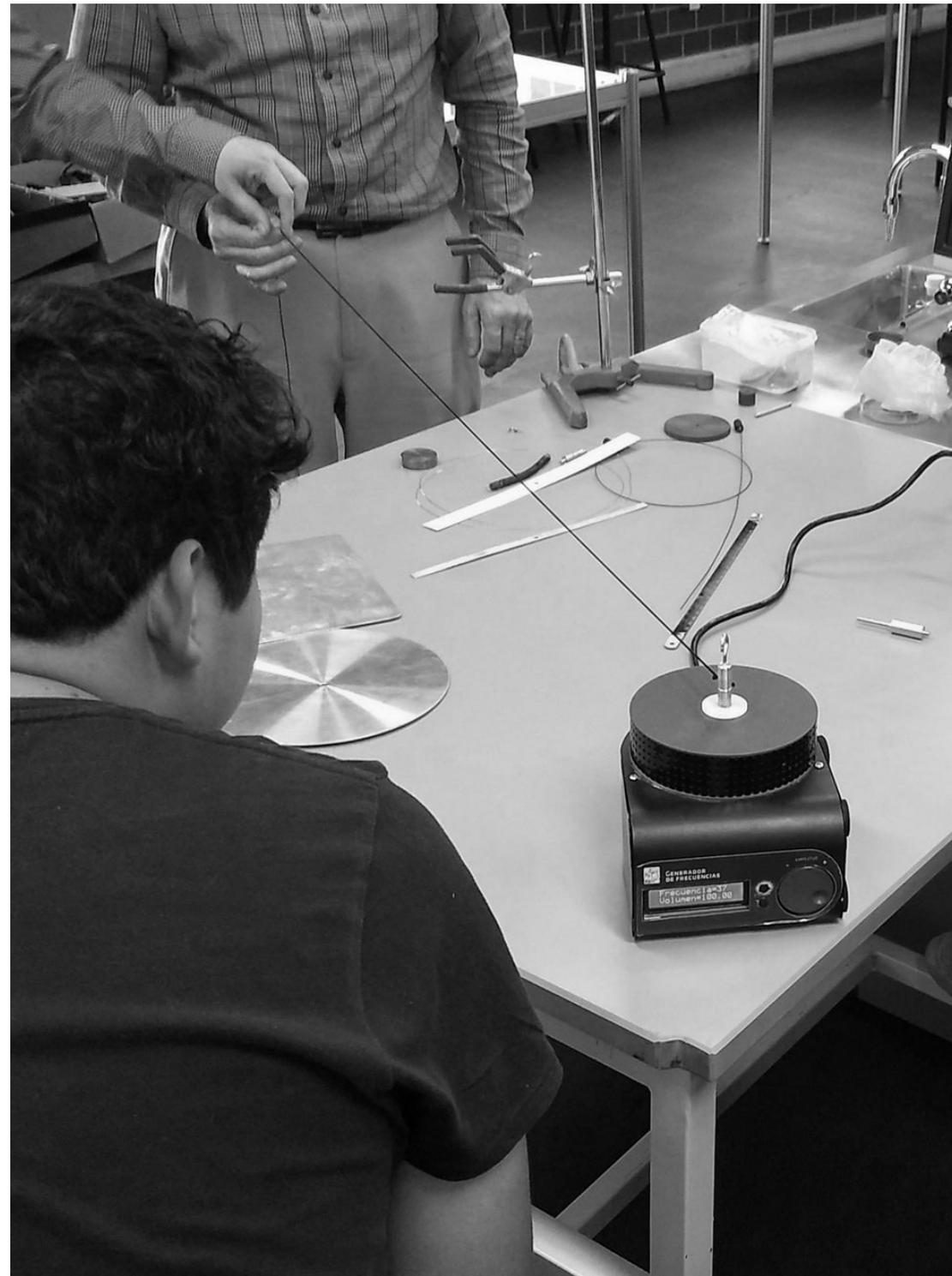
### Prueba con prototipo

Las pruebas consistieron en utilizar el material didáctico como si se tratara de una sesión normal de la clase de física, en la cual se les explica el tema de ondas a los estudiantes mientras que se experimenta con el equipo de vibraciones.

Se utilizó la observación directa para comprender lo que funciona y lo que aún debe mejorarse en el producto. Las observaciones incluyen anotaciones sobre la usabilidad del producto, las reacciones de los estudiantes, la ergonomía del objeto, las estrategias didácticas, etc.



**Imagen 8.** Estudiantes experimentando con el generador de vibraciones.



< **Imagen 9.** Eduardo J. Vega utilizando una cuerda para demostrar el fenómeno de resonancia a los alumnos.

## Aplicación

Esta prueba se realizó con los cinco estudiantes universitarios que conforman la clase de Diseño para la Educación impartida por D.I. Humberto Albornoz en el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología para el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial.

La prueba se realizó en el Laboratorio para la Enseñanza de las Ciencias dentro de las instalaciones del ICAT. Este laboratorio fue construido como prototipo para todos los laboratorios que se instalaron en los bachilleratos de la UNAM, por lo cual podemos estar seguros de que el espacio en el que se utilizará el dispositivo tendrá las mismas características que el espacio en el que se realizó la prueba (mobiliario, iluminación, instalación eléctrica, disposición, etc).

Aunque su edad no corresponde a la de los usuarios finales, ninguno de los alumnos tenía un conocimiento profundo acerca del tema de movimiento oscilatorio. Por esta razón, tal y como sucedería con los estudiantes de educación media superior, fueron construyendo su conocimiento a través de la sesión. Los estudiantes utilizaron el dispositivo para la experimentación y la apreciación de los fenómenos físicos. Utilizando los diferentes accesorios del dispositivo se les fue guiando para que comprendieran los conceptos básicos de vibraciones.

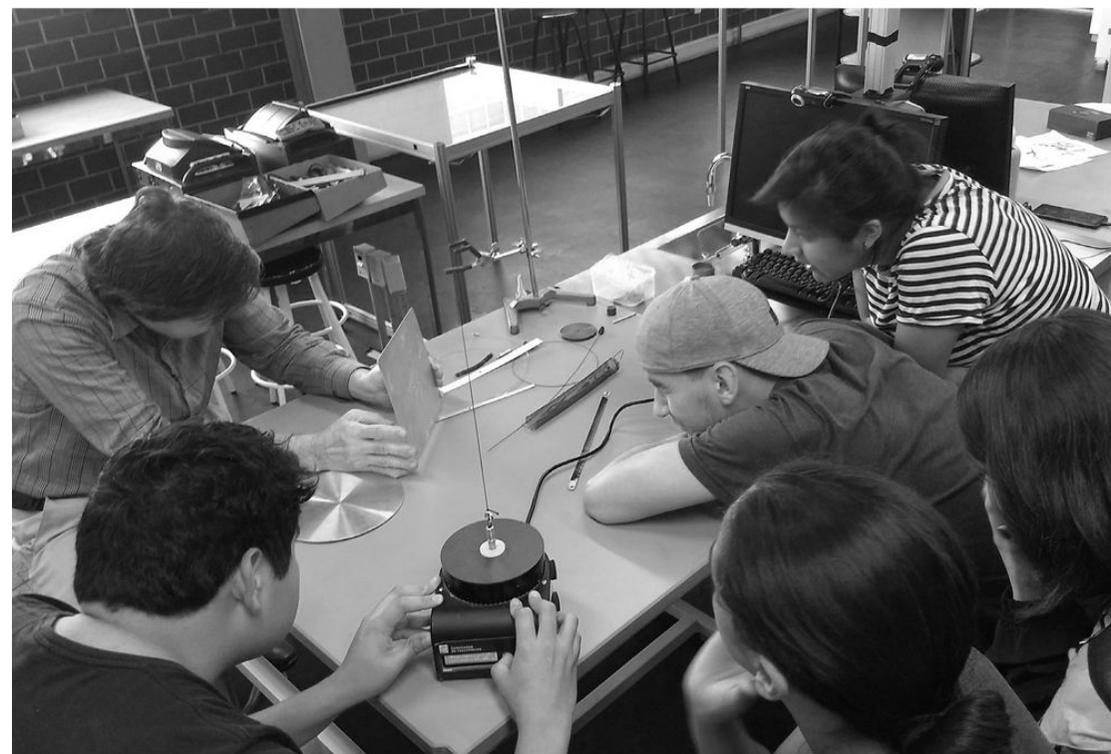


< **Imagen 10.** Estudiante buscando la frecuencia de resonancia de la cuerda.

< **Imagen 11.** Alumnos intentando percibir los nodos que se forman en la cuerda.



**Imagen 12.** Estudiantes interactuando con el dispositivo.



Eduardo J. Vega Murguía, Técnico Académico del ICAT, fungió como profesor. Mostró a los alumnos el funcionamiento del dispositivo y los guió para que ellos mismos construyeran el conocimiento. Tuvo un papel activo contestando sus dudas, haciéndoles nuevos cuestionamientos y refinando el conocimiento recién descubierto con las nociones teóricas pertinentes. La exploración de los contenidos fue progresiva, por lo cual, mientras avanzaba la clase los alumnos eran capaces de utilizar el dispositivo con mayor autonomía y entendimiento de los contenidos teóricos.

A través de la interacción de los estudiantes con el material didáctico fue posible obtener *insights* de utilidad para la investigación. Estas observaciones abarcan situaciones de ergonomía, estética, función, estrategias didácticas y la relación emocional objeto-usuario.

## Observaciones

Los resultados de las observaciones se expondrán en dos categorías: Relacionados al usuario y relacionados al objeto. Ya que en algunos casos la observación podría estar contenida en ambas categorías, se buscó deconstruir el razonamiento detrás de la observación hasta su justificación esencial. Por ello, todas las observaciones se presentan en un formato de frases cortas compuestas por tres partes: Situación / Condición / Posible solución. De esta manera, se pueden plantear de manera más objetiva las observaciones, reconociendo los problemas sin comprometerse con soluciones concretas.

### Sobre el Usuario

Para evitar que el alumno pierda rápidamente el interés, se debe facilitar que los alumnos encuentren rápidamente la frecuencia de resonancia de los accesorios. (Probar los accesorios y agregar a la guía del profesor la frecuencia aproximada de resonancia).

Para que el alumno comprenda el funcionamiento del equipo, debe comprender la función de cada botón y perilla. (Hacer más visibles los nombres de los controles).

Para que el alumno pueda extrapolar el funcionamiento del dispositivo a la teoría, debe conocer las unidades en las que se mide la frecuencia y la amplitud. (Mostrar las unidades sobre el dispositivo).

Para que el alumno adquiera el vocabulario elemental del tema, debe conocer las partes de la onda. (Generar un modelo gráfico simple que acompañe al dispositivo).

Para que se puedan ligar los fenómenos a las situaciones de la vida cotidiana, se deben crear referentes a objetos o situaciones conocidas. (In-

tegrar referencias gráficas u objetuales sobre bocinas, guitarras, saltar la cuerda, música, resonancia de una copa, etcétera).

Para que el alumno pueda comprender los conceptos teóricos, se debe generar una secuencia lógica de los contenidos. (Los accesorios deben dividirse en niveles y presentarse en un orden determinado).

Para permitir que el alumno construya el conocimiento de acuerdo a sus intereses, se debe permitir que escoja cuáles accesorios quiere utilizar. (Diseñar un sistema modular de accesorios para que el estudiante pueda seleccionar cuáles usar y/o combinar).

Para que el alumno viva la experiencia a través de todos sus sentidos, se debe permitir que toque los accesorios mientras vibran. (Reforzar el funcionamiento del dispositivo para que no se dañe con el contacto).

Para poder apreciar el fenómeno de resonancia, debe existir contraste entre el accesorio y el fondo contra el que se aprecia (Generar un “fondo” que acompañe al dispositivo).

Para que los alumnos no pierdan la atención o se frustren, los accesorios se deben ensamblar rápidamente (Diseñar la unión de los dispositivos).

### Sobre el objeto

Para hacer resonar los accesorios, se debe evitar la oscilación lateral del pistón. (Poner un aro de nylon alrededor del pistón).

Para utilizar el muelle helicoidal, el pistón debe posicionarse en posición horizontal. (El generador puede tener dos posibles superficies de apoyo).

Para no dañar la bocina, se debe evitar que los accesorios hagan brazo de palanca. (Disminuir la altura de los accesorios).

Para asegurar la vida del producto, se deben utilizar materiales que no se degraden o rompan. (Investigar materiales disponibles).

Para que la cuerda pueda generar ondas estacionarias, debe tensarse con la fuerza indicada. (Incluir accesorio de carrete).

Para que la arena o el agua con jabón que se utiliza con los accesorios no dañe el dispositivo, deben aislarse los componentes eléctricos. (Incluir una charola 'anti-derrame' con el dispositivo).

Para que los accesorios como el hilo no pierdan tensión, el dispositivo se debe mantener fijo a la mesa. (Aumentar el peso, fijar al borde de la mesa o agregar ventosas).

Para que la producción del dispositivo sea posible, los componentes deben estar disponibles en el mercado. (Cambiar el tamaño de la bocina).

Para evitar que se sobrecaliente, el dispositivo debe tener el tamaño para albergar todos los componentes. (Hacer más grande la carcasa).

## Viaje emocional del usuario

Durante la sesión se estudió la reacción emocional de los alumnos ante el uso del dispositivo y se descubrió que su atención bajaba y subía de manera evidente a lo largo de toda la sesión dependiendo de la actividad que se estuviera realizando. En el siguiente mapa se pueden observar los puntos críticos que definen los caminos y desenlaces de la actividad, así como la evolución de las actitudes del estudiante a través de la sesión:

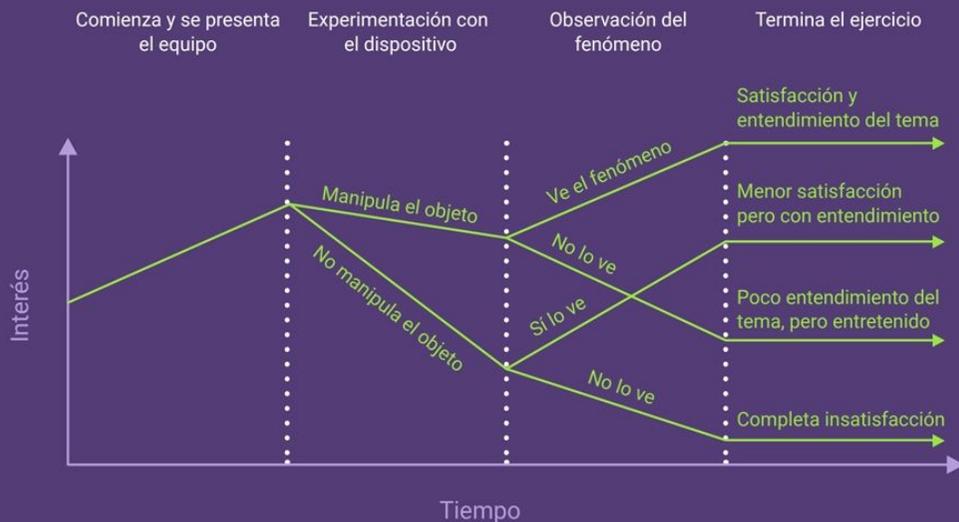


Figura 18. Mapa de viaje emocional del usuario. Primera parte.

### Comienzo del ejercicio y presentación del equipo

Atrapar el interés de los alumnos comienza desde el primer momento en el que se les muestra el dispositivo. Es por ello que es de suma importancia no sólo la estética del producto, sino de todos sus componentes, incluyendo el contenedor de almacenamiento.

### Experimentación con el dispositivo

El interés de todos los estudiantes decrece mientras se busca la frecuencia de resonancia pero decrece en mayor medida si el estudiante no está manipulando el objeto.

Esto sucede porque los estudiantes que están manipulando el objeto perciben la actividad de buscar la frecuencia de resonancia como un desafío, lo cual propicia su interés. Sin embargo, los estudiantes perciben este tiempo solamente como tiempo de espera.

Por ello, para mantener el interés constante, es importante que los estudiantes comprendan cómo utilizar el material y así disminuir el tiempo que les toma encontrar el punto de resonancia.

### Observación del fenómeno

Cuando se encuentra el punto de resonancia, el interés de todos los estudiantes se eleva. Se toman fotografías y se intenta no quedarse fuera de la actividad.

Para los estudiantes que manipularon el controlador, representa el sentimiento de logro, mientras que para el resto de los estudiantes, representa la oportunidad de comenzar a interactuar activamente con el objeto por medio de la vista o el tacto.

Sin embargo, cuando se determina que no se ha podido encontrar el punto de resonancia se generan sentimientos de frustración que rompen por completo con el interés de los estudiantes.

### Termina el ejercicio

Dependiendo de cuál haya sido la experiencia personal durante el experimento, el desenlace del ejercicio puede percibirse de maneras muy diferentes para cada estudiante. Percibir el fenómeno es esencial para que se comprenda el fenómeno físico, pero el aprendizaje también estará determinado por el estado emocional en el cual se encuentre el estudiante al momento de que esto suceda. Por lo tanto, factores como el nivel de frustración o la ilusión por participar activamente en los ejercicios son de gran impacto para la comprensión y retención de lo aprendido.

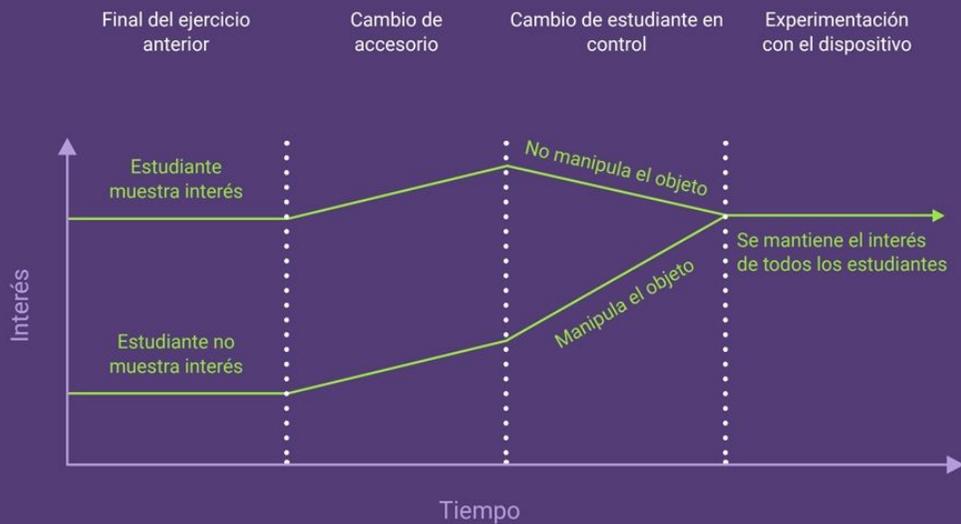


Figura 19. Mapa de viaje emocional del usuario. Segunda parte.

### Cambio de accesorio

Un cambio de accesorio representa la oportunidad de ver un nuevo fenómeno, lo cual entusiasma a todos los estudiantes y puede recautivar el interés del grupo. Además, elegir el siguiente accesorio es un momento de toma de decisiones en equipo, lo cual integra al grupo y abre la discusión entre los alumnos.

### Cambio de estudiante en control

Turnarse el control del dispositivo ayuda a mantener el interés de todo el grupo, ya que da la oportunidad de que todos los alumnos interactúen con el dispositivo de manera activa.

Cuando un estudiante obtiene el control, su interés se eleva inmediatamente. Además, la noción de que todos tienen acceso a manipular el objeto hace que el interés de los estudiantes que no lo están manipulando decaiga en menor medida mientras se busca la frecuencia adecuada.

### Experimentación con el dispositivo

Haciendo que la dinámica de clase sea interactiva se puede mantener alto el interés de todos los estudiantes. Probar todos los accesorios, rotar el control del dispositivo y propiciar la discusión grupal son maneras efectivas para que los estudiantes se mantengan motivados y lleguen a comprender los temas.

Conforme avanza la sesión y se resuelven los retos el estudiante comienza a: Entender el funcionamiento del dispositivo, comprender los conceptos teóricos, utilizar el vocabulario técnico, desear manipular el objeto, explicar a otros alumnos y construir hipótesis propias.

## 4.2 Mensaje: Contenidos educativos

Como definimos anteriormente, el tema (mensaje) que abordará un material didáctico es usualmente seleccionado por los educadores. En este caso, el equipo del ICAT seleccionó el tema tomando en cuenta los programas de los dos sistemas de bachillerato de la UNAM: La Escuela Nacional Preparatoria y el Colegio de Ciencias y Humanidades. Se decidió diseñar el material didáctico para estas escuelas por la relación que existe entre las instituciones involucradas y se espera que esto pueda facilitar la integración del material didáctico a los salones de clase. A continuación examinaremos cómo se integra el tema de 'Ondas y Resonancia' a sus programas y exploraremos los conceptos básicos del tema.

## Planes de estudios



### Colegio de Ciencias y Humanidades

Grado escolar: Cuarto semestre<sup>16</sup>

Nombre de la unidad: Ondas: Mecánicas y Electromagnéticas

Tiempo total de la unidad: 20 hrs

Objetivos de la unidad:

En esta unidad los alumnos conocerán las características generales de las ondas, diferenciarán entre las ondas mecánicas y las electromagnéticas; relacionarán estos conocimientos con la explicación de fenómenos ondulatorios como el sonido o las telecomunicaciones, entre otros. Desarrollarán sus habilidades de investigación de carácter teórico para conocer que la energía se puede transmitir en la materia o el vacío, dependiendo del tipo de onda que se considere.

Describirá al sonido como una onda mecánica y a la luz visible como una onda electromagnética, identificando la relación entre frecuencia y energía en los espectros sonoro y electromagnético.

Contenidos Conceptuales:

- |   |  |
|---|--|
| 1.- Ondas y sus características<br>Amplitud, frecuencia, longitud de onda, velocidad y periodo.<br>Ondas mecánicas y electromagnéticas; longitudinales y transversales.<br>Sonido y luz.<br>Ondas y partículas. | Espectro sonoro y electromagnético.<br>3.- Fenómenos ondulatorios<br>Reflexión, refracción, interferencia, difracción, polarización, resonancia y efecto Doppler.  |
| 2.- Energía de las ondas<br>Energía de las ondas.   | 4.- Aplicaciones del estudio de las ondas<br>Sistemas de diagnóstico médico, detección de sismos y telecomunicaciones.<br>Contaminación sonora y electromagnética. |



## Escuela Nacional Preparatoria

Grado escolar: Sexto semestre Área 1 <sup>17</sup>

Nombre de la unidad: Oscilaciones Mecánicas en el Contexto de las Ondas Sísmicas y sus Efectos

Tiempo: 45 horas teóricas, 15 horas prácticas

Objetivos de la unidad:

El alumno analizará las condiciones de equilibrio en sistemas mecánicos mediante la resolución de problemas de estática y dinámica tanto cualitativa como cuantitativamente para comprender el efecto de dos o más fuerzas sobre un cuerpo. Aplicará los conceptos físicos fundamentales de la mecánica de oscilaciones mediante la resolución de problemas ondulatorios con el fin de explicar la generación y propagación de las ondas sísmicas. Analizará la interacción onda-materia, tipo de suelo y estructura, mediante el estudio de fenómenos resonantes con el fin de valorar la aportación de la física en la prevención de daños ocasionados por las ondas sísmicas.

Contenidos Conceptuales:

1.- Ondas sísmicas:

Ondas mecánicas. Características (tipo de onda, periodo, frecuencia, velocidad, amplitud, intensidad, entre otros)

Fenómenos ondulatorios (reflexión, refracción, resonancia, superposición de ondas, entre otros)

Características del medio de propagación y efectos de sitio: estados de la materia

2.- Estructura interna de la Tierra:

Propagación de ondas sísmicas

Tipos de ondas sísmicas

3.- Principio de conservación de la energía

4.- Elasticidad (ley de Hooke y teoría del rebote elástico)

5.- Esfuerzos (el módulo de Young)

6.- Sismógrafos:

Oscilaciones mecánicas: oscilador armónico, péndulo libre y amortiguado

7.- Leyes de Newton. Estática:

Cuerpo rígido

Momento de inercia

Grado escolar: Sexto semestre Área 2 <sup>18</sup>

Nombre de la unidad: Física de la Visión y la Audición

Tiempo: 45 horas teóricas, 15 horas prácticas

Objetivos de la unidad:

El alumno comprenderá y aplicará los conceptos, leyes y modelos matemáticos relacionados con la óptica y la acústica a través de la resolución de problemas propios de la disciplina, tanto teóricos como experimentales, para contrastar los modelos matemáticos con los físicos y generalizar las relaciones entre las variables. Explicará, en términos físicos, la formación de imágenes en el ojo y la propagación del sonido en el oído a partir del estudio de la propagación de ondas en diferentes medios, para destacar la importancia de las leyes y principios físicos en el estudio de los sistemas biológicos. Identificará los principios físicos presentes en la instrumentación biomédica, para que explique su funcionamiento, mediante el análisis de sus componentes.

Contenidos Conceptuales:

1.- Sonido. El oído como instrumento de audición:

Ondas. Características: periodo, frecuencia, velocidad, amplitud, intensidad, entre otros

Fenómenos sonoros: reflexión, difracción, resonancia, superposición de ondas, etc.

Oído y transferencia de energía

Efecto Doppler

2.- Luz. El ojo como instrumento óptico:

Ondas electromagnéticas (luz visible)

Principio de Huygens

Óptica geométrica

Refracción

Lentes delgadas

Formación de imágenes en lentes

3.- Deformaciones del ojo y su corrección:

Miopía

Hipermetropía

Astigmatismo

4.- Instrumentación biomédica:

Estetoscopio, endoscopio, microscopio, aparato para realizar ultrasonido, etc.

## Temas en común

El material didáctico que se diseñará será introducido a los salones de física del CCH y ENP, por ello como primer paso acotaremos los contenidos que se repiten en los tres planes de estudio. El diseño final no necesariamente servirá para explicarlos todos, sin embargo, se buscará que abarque el mayor número de contenidos posibles.

### 1. Tipos de ondas: mecánicas y electromagnéticas; transversales y longitudinales

Propósito: Identificar cómo la manera y el medio por el cual se propagan las ondas determina su clasificación.

Enfoque por programa:

CCH - Enfoque conceptual. Diferencias entre tipos de ondas. Sonido y luz como ejemplo de cada uno.

Área 1 - Ondas sísmicas como ondas mecánicas y diferencias entre ondas transversales y longitudinales.

Área 2 - Sonido (ondas mecánicas) y luz (ondas electromagnéticas) en relación con los órganos sensoriales.

### 2. Elementos de las ondas

Propósito: Identificar las magnitudes que caracterizan al movimiento ondulatorio: Periodo, frecuencia, longitud de onda, velocidad, amplitud, intensidad.

Enfoque por programa:

Conocimiento teórico básico en los tres.

### 3. Fenómenos ondulatorios

Propósito: Describir cualitativamente algunos de los fenómenos característicos de las ondas. Por ejemplo, Reflexión, refracción, difracción, resonancia, superposición de ondas, polarización, efecto Doppler, etc

Enfoque por programa:

CCH - Enfoque conceptual.

Área 1 - Enfoque conceptual.

Área 2 - Fenómenos de ondas como fenómenos sonoros. Refracción como fenómeno óptico.

### 4. Aplicaciones del estudio de las ondas

Propósito: Comprende algunas de las aplicaciones de los fenómenos ondulatorios relacionados con la ciencia, la tecnología y la sociedad.

Enfoque por programa:

CCH - Diagnóstico médico, detección de sismos y telecomunicaciones.

Área 1 - Ondas sísmicas. Propagación, clasificación, medición, etc.

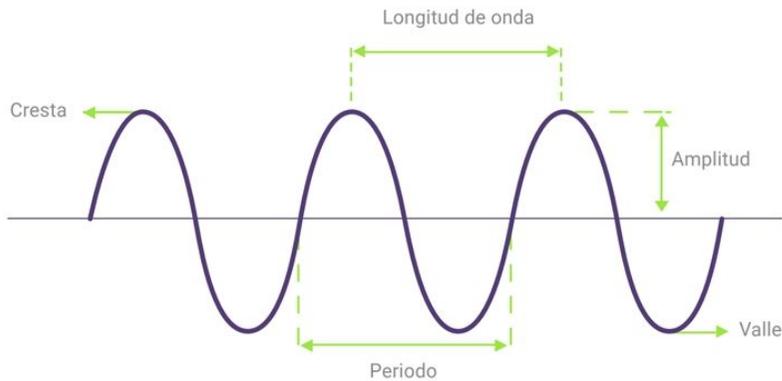
Área 2 - Sentidos del oído y la vista. Conceptos físicos para los procesos biológicos, deformaciones del ojo, instrumentación biomédica, etc.

## Descripción del fenómeno físico 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26

Para diseñar el material didáctico debemos primero comprender el tema al cual estará dirigido, por lo cual a continuación haremos una explicación superficial de los contenidos que enlistamos en la sección anterior.

### Definición de onda

En física, una onda consiste en la propagación de una perturbación de alguna propiedad del espacio, por ejemplo, densidad, presión, campo eléctrico o campo magnético, implicando un transporte de energía sin transporte de materia.



### Elementos de las ondas

**Cresta:** Es el punto de máxima elongación o máxima amplitud de la onda; es decir, el punto de la onda más separado de su posición de reposo.

**Valle:** Es el punto más bajo de una onda.

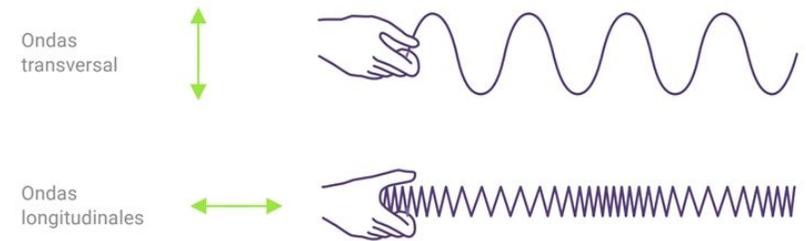
**Nodo:** Es el punto donde la onda cruza la línea de equilibrio.

**Frecuencia o periodo (T):** Es el tiempo que tarda la onda en describir una oscilación completa. Su valor queda determinado por la fuente de origen.

**Amplitud (A):** Es la distancia vertical entre una cresta y el punto medio de la onda. Nótese que pueden existir ondas cuya amplitud sea variable, es decir, crecen o decrecen con el paso del tiempo. También depende de las características de la fuente emisora de la onda.

**Velocidad de propagación (v):** Es la velocidad a la que se propaga el movimiento ondulatorio. Está determinada por el tipo de onda y las propiedades del medio en que se realiza la transmisión.

**Longitud de onda ( $\lambda$ ):** Está determinada por la frecuencia y la velocidad de propagación:  $\lambda = v / f$ . Tiene una relación inversa con la frecuencia: A mayor frecuencia, menor longitud de onda, y viceversa. Cuando una onda atraviesa la frontera entre dos medios diferentes cambia la velocidad de propagación y con ello la longitud de onda.



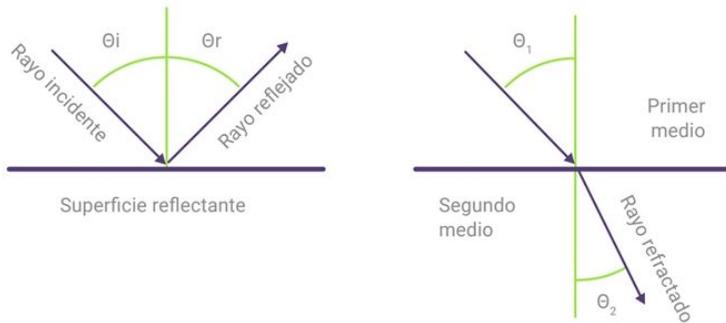
### Tipos de ondas

Existen muchos tipos de ondas, que pueden clasificarse atendiendo a criterios diferentes. De acuerdo a su medio de propagación, las ondas se dividen en mecánicas y electromagnéticas. Las primeras corresponden a algún tipo de movimiento o vibración. Son ejemplos de estas el sonido, las ondas en cuerdas o muelles, las ondas en la superficie de un líquido, las ondas sísmicas, etc. En el caso de las ondas electromagnéticas, la perturbación que se transmite son campos eléctricos y magnéticos. Además de la luz, son ondas electromagnéticas las ondas de radio y TV, las radiaciones ultravioleta e infrarroja, los rayos X, etc.

De acuerdo a la dirección de la perturbación, se dividen en transversales y longitudinales. En una onda transversal, la dirección de la perturbación es perpendicular a la dirección de propagación, por ejemplo, la onda que se propaga en una cuerda tensa. Podemos generar oscilaciones en el extremo de la cuerda, haciéndola subir y bajar verticalmente a lo largo del eje Y. Esta perturbación se propaga a lo largo de la cuerda, en la dirección del eje X. La luz es también una onda transversal.

En una onda longitudinal, la perturbación son compresiones y expansiones que se producen en la misma dirección en que se propaga la onda. El sonido es un de onda longitudinal, donde lo que se propaga son compresiones y expansiones del aire, provocadas por algún objeto vibrante, como un diapasón o la membrana de un altavoz. Para visualizar una onda longitudinal, puede utilizarse un muelle.

En un fluido (gas o líquido) las vibraciones sólo pueden transmitirse longitudinalmente, pero en un sólido también se pueden propagar ondas transversales. Un caso bien conocido, en que la perturbación se propaga tanto por ondas transversales como longitudinales es el de las ondas sísmicas.



## Reflexión y refracción

La propagación de cualquier onda depende de las propiedades del medio, por lo que cuando una onda llega a la frontera entre dos medios materiales es previsible que sucedan cambios. En la superficie de separación entre dos medios diferentes las ondas experimentan los fenómenos de reflexión y refracción.

La reflexión es el cambio de dirección del movimiento ondulatorio que ocurre en el mismo medio en que se propagaba, después de incidir sobre la superficie de un medio distinto. La dirección de las ondas reflejadas en una superficie plana está indicada por la ley de la reflexión: El ángulo de reflexión  $\theta_r$  es igual al ángulo de incidencia  $\theta_i$ .  $\theta_i = \theta_r$

La refracción es el cambio de dirección y velocidad que experimenta una onda al pasar de un medio a otro. Ello implica que los rayos sufren una cierta desviación, siendo el ángulo de refracción diferente del de incidencia. Cuando la luz pasa de un medio de índice de refracción a otro medio con índice de refracción mayor el rayo se acerca a la normal, cuando la luz pasa desde un medio a otro con índice de refracción inferior el rayo se aleja de la norma



## Difracción

La difracción es el fenómeno ondulatorio que ocurre cuando una onda se reproduce al atravesar una abertura u orificio. También ocurre cuando una onda se encuentra con un obstáculo o borde afilado y tiende a rodearlo. Aunque este fenómeno ocurre siempre, su magnitud depende de la relación entre el tamaño del orificio u obstáculo y la longitud de onda. Por ejemplo, si colocamos nuestra mano delante de la boca esto no impide que el sonido llegue a nuestros interlocutores. Sin embargo, si se tapa la parte frontal del haz luminoso procedente de una linterna, impediremos que su luz se propague. Así mismo, las ondas de radiofrecuencia, con longitudes de onda del orden de kilómetros, pueden "bordear" los edificios que se interponen en su camino desde la estación emisora hasta nuestras antenas.

Cuando una onda atraviesa por una apertura estrecha (menor que su longitud de onda), la apertura en la barrera se comporta como una fuente puntual de ondas generadas en la dirección de propagación de la onda original y con su misma velocidad y frecuencia. Cuando existen más de dos aperturas, cada una funge como un nuevo foco y las ondas que propagan interfieren entre ellas.

Interferencia constructiva



Interferencia destructiva



### Superposición de ondas: Interferencia y ondas estacionarias

Cuando dos ondas que se propagan en el mismo medio se encuentran en un punto o una región del espacio, el resultado es una nueva onda cuya perturbación es la suma de las perturbaciones de las dos ondas originales, a lo cual se le denomina interferencia.

Si las ondas que se superponen están en fase, la perturbación resultante se refuerza, sumándose las amplitudes: se produce una interferencia constructiva. Si por el contrario, las ondas individuales actúan desfasadas en un ángulo  $\pi$ , la perturbación resultante disminuye y se dice entonces que se ha producido interferencia destructiva. En el caso particular de que las dos ondas tuviesen la misma amplitud, la amplitud resultante sería exactamente igual a cero.

Las ondas estacionarias son un fenómeno de interferencia. Se produce cuando una onda llega a una superficie y se refleja totalmente. Se puede considerar como la interferencia de dos movimientos ondulatorios armónicos de la misma amplitud y longitud de onda: una incidente que se propaga de izquierda a derecha y otra que se propaga de derecha a izquierda.

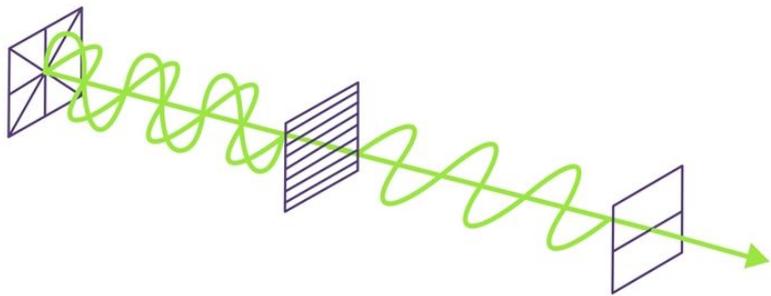
En una onda estacionaria, es posible distinguir ciertos puntos llamados Nodos y Antinodos. En una cuerda, los nodos son los puntos que permanecen en reposo sin vibrar, mientras que los antinodos son los puntos de la cuerda que vibran con la máxima amplitud.



### Resonancia

La resonancia es un fenómeno que se produce cuando un cuerpo capaz de vibrar es sometido a la acción de una fuerza periódica, cuyo periodo de vibración coincide con la frecuencia natural de vibración determinada por los parámetros físicos del objeto. En estas circunstancias el cuerpo vibra, aumentando de forma progresiva la amplitud del movimiento tras cada una de las actuaciones sucesivas de la fuerza hasta alcanzar la amplitud máxima del sistema oscilante. El aumento de amplitud puede llegar a destruir el sistema, como en el ejemplo de una soprano haciendo estallar el cristal al alcanzar la frecuencia de resonancia de la copa.

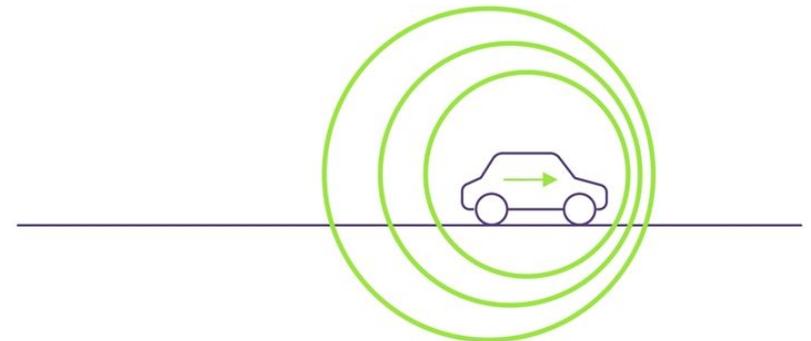
Otra forma de poner de manifiesto este fenómeno consiste en tomar dos diapasones capaces de emitir un sonido de la misma frecuencia y colocados próximos el uno del otro, cuando hacemos vibrar uno, el otro emite, de manera espontánea, el mismo sonido, debido a que las ondas sonoras generadas por el primero presionan a través del aire al segundo.



## Polarización

La polarización es una propiedad de las ondas electromagnéticas (como la luz) que pueden oscilar con más de una orientación. Éstas consisten en un campo eléctrico oscilante acoplado y un campo magnético siempre perpendicular; por convención, la "polarización" de las ondas electromagnéticas se refiere a la dirección del campo eléctrico. En la polarización lineal, los campos oscilan en una sola dirección. En la polarización circular o elíptica, los campos giran a una velocidad constante en un plano a medida que la onda viaja.

En una onda electromagnética no polarizada el campo eléctrico oscila en todas las direcciones normales a la dirección de propagación de la onda. Las ondas longitudinales no pueden ser polarizadas porque su oscilación se produce en la misma dirección que su propagación.



## Efecto Doppler

Es el cambio de frecuencia aparente de una onda producido por el movimiento relativo de la fuente respecto a su observador. La frecuencia percibida por un receptor en reposo de ondas aumenta cuando el foco emisor se aproxima al receptor y disminuye cuando se aleja. En el caso contrario, si el foco emisor de ondas está en reposo, la frecuencia aparente o frecuencia percibida por un receptor en movimiento aumentará cuando el receptor se aproxime al foco y disminuirá cuando se aleje.



Imagen 13. Ejemplos de ondas presentes en la vida cotidiana.

### Aplicaciones las ondas

Las representaciones naturales y las aplicaciones tecnológicas de las ondas son muy variadas. Por ejemplo: Si una piedra cae al agua y provoca el desplazamiento de las moléculas de su superficie, este desplazamiento se transmite a las moléculas vecinas, produciendo ondulaciones que se propagan por la superficie; si ocurren desplazamientos en las capas internas de la Tierra, éstos se propagan, alcanzando la superficie, que se ve sacudida por un terremoto; si encendemos una lámpara, la luz generada en el filamento alcanza los objetos a su alrededor y una vez reflejada por ellos llega a nuestros ojos; si leemos estas líneas en voz alta, el sonido viajará a través del aire y será percibido por nuestros oídos.

En la naturaleza hay dos tipos de ondas que constituyen los canales de información sobre el mundo externo a los que los seres vivos son sensibles de forma prácticamente universal: la luz y el sonido. Se denomina espectro visible a la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama luz visible o simplemente luz. No hay límites exactos en el espectro visible; un típico ojo humano responderá a longitudes de onda desde 400 a 700 nm aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda desde 380 a 780 nm. Los ojos de muchas especies perciben longitudes de onda diferentes de las del espectro visible del ojo humano. Por ejemplo, muchos insectos, tales como las abejas pueden ver la luz ultravioleta que es útil para encontrar el néctar en las flores.

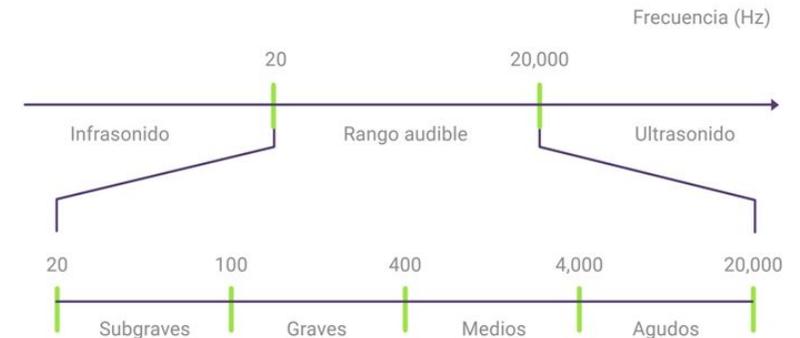


Figura 20. Espectro de las ondas mecánicas.

El rango de frecuencias que puede percibir el oído humano está comprendido entre 20 y 20.000 Hz, pudiendo para determinadas frecuencias percibir diferencias de 1 Hz. Las ondas de frecuencias mayores de 20 kHz se denominan ultrasonidos; éstos tienen muchas aplicaciones, entre ellas la orientación y detección de objetos en murciélagos (ecolocación) y submarinos mediante un dispositivo denominado SONAR. También se utilizan para generar imágenes (ecografía), así como para detectar defectos en materiales mediante técnicas no destructivas.

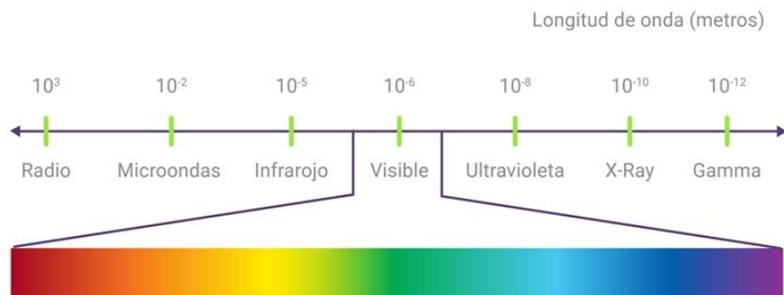


Figura 21. Espectro de las ondas electromagnéticas.

Dentro del espectro electromagnético, cada rango de longitud posee características y usos diferentes, por ejemplo: Las ondas microondas, además de utilizarse en los hornos, se emplean en las telecomunicaciones y radares. Los rayos infrarrojos se utilizan en los mandos a distancia; en los lectores de códigos de barras, en los discos compactos, sistemas de seguridad, estudios oceánicos, medicina, etc. Los rayos X se emplean sobre todo en los campos de la investigación científica, la industria y la medicina. Utilizando rayos X es posible identificar la estructura de sustancias cristalinas, detectar objetos peligrosos en los equipajes, determinar la autenticidad de obras de arte, tratar determinadas enfermedades, etc.

### 4.3 Contexto: Ambiente e interacciones

Las condicionantes del espacio educativo, las estructuras sociales, las circunstancias económicas, la oferta del mercado, son sólo algunos ejemplos de factores que se pueden estudiar para comprender el contexto al que se tendrá que adaptar el material didáctico y los cuales son esenciales para el proceso de diseño.

Esta investigación tenía planteado abordar dos temas: Los materiales disponibles en el mercado para enseñar movimientos ondulatorios y el espacio en el que se utilizará el material didáctico. Sin embargo, mientras se realizaba este trabajo de tesis, la pandemia de COVID-19 cambió por completo el contexto educativo, por lo cual en esta sección se explorará el tema con el fin de adaptar el producto a las nuevas realidades.

## Dispositivos existentes para la enseñanza de ondas

En el mercado existen ya muchos productos para la representación de los fenómenos ondulatorios. En la siguiente sección mostraremos algunos de los modelos relacionados con los temas que abordará nuestro material didáctico. Por las razones expresadas al final del capítulo anterior, limitaremos estos ejemplos a los medios didácticos para el estudio de ondas mecánicas, excluyendo ondas electromagnéticas y por lo tanto los fenómenos ópticos.



### Canal de ondas<sup>27</sup>

En un canal de plexiglás se excitan ondas de agua, las cuales se pueden propagar sin reflexión debido a un absorbedor en el fin del canal. Su frecuencia y su longitud de onda se pueden variar. Para el estudio de la reflexión se retira el absorbedor al final del canal.



### Cuba de ondas<sup>28</sup>

Se llena de agua y por medio del aparato de control se puede ajustar la frecuencia y amplitud de las ondas en la superficie del agua. Una lámpara y un espejo inclinado proyectan las ondas hacia una pantalla. Se utilizan accesorios para estudiar la refracción de las ondas.



### Diapasones<sup>29</sup>

Se golpea suavemente de manera que comience a vibrar. Se utiliza en conjunto con otros de los medios didácticos, o junto con otro diapason idéntico para mostrar el fenómeno de resonancia. Algunos modelos ya vienen ensamblados a su propia caja de resonancia.



### Tubo de resonancia<sup>31</sup>

Existen modelos de muchos tamaños diferentes, los cuales se auxilian de un diapason o una bocina. Poseen diferentes mecanismos para variar la longitud de la columna de aire que contienen y así estudiar la resonancia tanto en tubos abiertos como cerrados.



### Aparato de resonancia<sup>30</sup>

Se utiliza para localizar las posiciones de resonancia en columnas de aire. Se ajusta la longitud de la columna de aire y se hace sonar un diapason en el extremo abierto del tubo. Permite calcular la velocidad del sonido utilizando el nivel del agua y la frecuencia del diapason utilizado.



### Efecto Doppler<sup>31</sup>

El dispositivo emite un sonido constante. Al girarlo en el aire se puede percibir una diferencia de tono cuando la sirena se acerca o se aleja.

### Sonómetro <sup>32</sup>



Se hace pulsar una cuerda tensada sobre una caja de sonido para demostrar la relación entre la frecuencia del sonido producido y la tensión, longitud y masa por unidad de longitud. Se manipulan puentes móviles para demostrar relaciones matemáticas entre las frecuencias producidas.

### Modelo helicoidal <sup>33</sup>



Una cadena de varillas pendulares de acero, las cuales se encuentran soldadas en su centro a un muelle de barra de acero que se puede torsionar, sirve para la demostración del movimiento ondular y su propagación.

### Modelo rotatorio



Se utiliza para demostrar movimientos de onda longitudinales y transversales. Consistente en una serie de discos excéntricos que soportan una serie de varillas metálicas que giran con una manivela.

### Resortes <sup>34 35</sup>



Sirven para generar ondas transversales y longitudinales que enseñen la relación entre la longitud de onda y la frecuencia. Se pueden utilizar para crear ondas estacionarias o en movimiento. La percepción del fenómeno depende del grosor y longitud del resorte.

### Aparato de hilo vibratorio <sup>36</sup>



Se utiliza para la demostración de ondas estacionarias transversales en una cuerda y para el estudio de su longitud de onda en relación con la tensión y la frecuencia.

### Demostración de oscilación y resonancia <sup>37</sup>



Diseñado para mostrar la vibración de un objeto cuando se aplican impulsos repetidos. Consta de dos pesos de diferentes frecuencias naturales. El control de velocidad se usa para ajustar la frecuencia de la fuerza aplicada para encontrar el punto de resonancia.

### Generador de vibraciones <sup>38</sup>



Se utiliza en conjunto con un generador de funciones para generar ondas mecánicas en el estudio de oscilaciones y resonancias. Está compuesto de un altavoz con un clavijero para la transmisión de oscilaciones. Se utilizan diversos accesorios para demostrar diferentes fenómenos.

### Accesorios para el generador de vibraciones <sup>38</sup>

#### 1. Banda elástica

Sirve para la demostración de ondas estacionarias y la propagación de ondas.



#### 2. Placas de Chladni

Placa metálica para la producción de las figuras sonoras de Chladni, en un substrato de arena seca.



#### 3. Láminas concéntricas

Sirven para la demostración de ondas estacionarias y la relación entre longitud, frecuencia y resonancia.



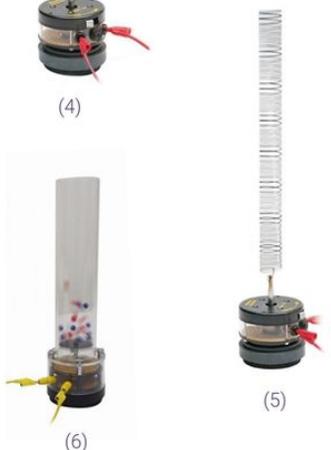
#### 4. Aro

Sirve para estudiar el fenómeno de resonancia mediante la representación de nodos de vibración a diferentes frecuencias.



#### 5. Muelle helicoidal

Se utiliza para la demostración de ondas longitudinales.



#### 6. Tubo para teoría cinética de los gases

Sirve para la simulación del movimiento de las partículas de un gas ideal. Esferas de diferentes colores se ponen en movimiento por excitación mecánica.



#### 7. Láminas paralelas

Para demostrar oscilaciones resonantes, con muelles de varias longitudes.



### Espacio de aprendizaje: Laboratorios para la Enseñanza de las Ciencias

Los nuevos laboratorios para el Bachillerato UNAM, diseñados en el ICAT son espacios dotados con la infraestructura para favorecer el aprendizaje de la Biología, la Física, la Psicología, la Química, las Matemáticas y la Informática. En total, fueron instalados 112 laboratorios dentro de los 14 planteles de bachillerato UNAM.

El diseño del espacio se configuró de manera que un módulo integrado por dos laboratorios esté vinculado por un almacén ubicado al centro. El aula laboratorio en CCH tiene un área de 47.12m<sup>2</sup> en promedio y el almacén 15.5m<sup>2</sup> para ser utilizado por 24 alumnos. En los planteles de la ENP se utiliza por 32 alumnos, pero las dimensiones del espacio son mayores, lo cual permite una mejor distribución y movilidad del mobiliario.



Imagen 14. Laboratorio para la Enseñanza de Ciencias en el plantel 2 de la ENP.



< Imagen 15. Laboratorio para la Enseñanza de Ciencias en el plantel 2 de la ENP.

El mobiliario fue diseñado ex-profeso para el bachillerato UNAM, con el fin de satisfacer completamente los requerimientos funcionales y ergonómicos. El diseño se realizó respetando las características arquitectónicas de los laboratorios existentes en los planteles del nivel bachillerato de la UNAM, adaptándose a dichas áreas destinadas para su construcción, aprovechando y optimizando al máximo el espacio, manteniendo una estructura flexible y sobre todo adaptable para las tres áreas de enseñanza de las ciencias (Biología, Física y Química).

La familia de mobiliario está integrada por: mesa fija, mesa móvil, tarja principal, mesa para profesor, tarja para ayudante de profesor, mesa para ayudante de profesor, rack organizador con charolas plásticas, carro de servicio y soporte múltiple para sensores.

El diseño del espacio permite diversos acomodos que se ajustan a las necesidades que puedan plantearse en función de los procesos educativos. Los acomodos básicos son "modo Laboratorio" y "modo Aula", teniendo como eje central 4 "Mesas Fijas" a las cuales se adosan dos mesas móviles (cada una para 4 estudiantes) obteniendo un total de 8 mesas por aula/laboratorio. El acomodo de las mesas móviles puede ser configurado por los usuarios para adaptarse a las necesidades de la actividad.

La Mesa fija es un mueble muy importante dentro del conjunto de mobiliario, ya que en él se centralizan múltiples, conexiones y equipamiento de cómputo (monitores, Cámara web, HUB-USB, teclado, ratón), mismos que están integrados en un poste central que cuenta con dos interfaces donde el usuario tiene acceso a la conexión de dispositivos periféricos, memorias para extracción y modificación de datos vía USB. También cuenta con 8 tomas de corriente eléctrica que suministra el servicio a varios dispositivos a la vez.

En la parte baja de la mesa se localiza un gabinete de servicio que resguarda conexiones eléctricas, datos, agua corriente y drenaje. En otro compartimiento abierto de este gabinete se introducen 4 gavetas plásticas para dotar de material a los equipos de trabajo y 3 repisas en forma de L que proporcionan un área para que los alumnos coloquen mochilas u objetos personales.

El espacio cuenta también con servicios de corriente eléctrica con tierra física, gas, agua corriente, internet de alta velocidad. Dentro del espacio de almacén se cuenta con gabinetes universales para guardar los materiales didácticos y equipo de laboratorio (microscopios, sensores de medición, cristalería, etcétera).

## Pandemia COVID-19 y la educación a distancia

Al inicio de este proyecto de tesis, se planteó la importancia de que el rediseño del generador de frecuencias se adaptara a su contexto, pero nunca se imaginó que el contexto de la educación fuera a cambiar radicalmente a escala global. Según datos de la ONU, la pandemia de COVID-19 ha afectado a más de 1500 millones de estudiantes en todo el mundo.

En febrero del 2020 llegó a México la enfermedad originada en China y menos de un mes después, el 20 de marzo, el gobierno mexicano decidió suspender las clases en todo el país. Lo que en su momento parecía una pausa de 15 días se ha prolongado por casi un año y al momento de creación de este documento, aún se desconoce cuándo volverán las actividades escolares presenciales.

Por el momento, en nuestro país se ha adoptado la medida de la educación a distancia y se prevé que en un futuro se pueda transicional a un modelo híbrido entre lo presencial y lo digital. Sin embargo, el regreso a la educación plenamente presencial aún parece lejano.

Diseñar para un contexto tan cambiante y complejo no es un trabajo fácil, sobre todo cuando la educación a distancia se contrapone a tantos de los valores fundamentales de este proyecto. La experimentación directa, la estimulación multisensorial, el trabajo en equipo e incluso el concepto mismo del material didáctico se han vuelto prácticamente imposibles bajo los nuevos modelos educativos, haciendo más difícil alcanzar el aprendizaje significativo.

Debido a esta situación, este proyecto ha decidido reconocer las nuevas complejidades de la educación y adaptarse (en medida de lo posible) al contexto actual. Sin embargo, no se deja de lado la importancia del aprendizaje vivencial, por lo cual, el proyecto a desarrollar deberá tener algo que aportar a los 3 modelos educativos (presencial, a distancia e híbrido) aunque probablemente varíe su utilización bajo cada uno de ellos.

En conclusión, se seguirá pensando en el generador de frecuencias como un proyecto objetual, pero se aprovechará la difícil situación de la pandemia de COVID-19 como una oportunidad para repensar el material didáctico como más que sólo un objeto. Para ello, se explorarán otras posibilidades tanto didácticas como productivas, y en particular se examinará el papel que pueden jugar las nuevas tecnologías digitales para solventar algunos de los problemas del nuevo contexto en el que vivimos.



Imagen 16. Estudiante tomando notas durante sesión de educación a distancia.

### 4.3

## Código: Ergonomía cognitiva

Como definimos anteriormente, para alcanzar el aprendizaje significativo se debe tomar en cuenta la estructura mental y las capacidades cognitivas del estudiante. Por esta razón, para diseñar el material didáctico debemos considerar las implicaciones que el estado de maduración cognitiva del estudiante tiene sobre su entendimiento del mundo y su capacidad de aprender.

## Implicaciones educativas del desarrollo cognitivo en la adolescencia <sup>61</sup>

La adolescencia se considera uno de los períodos más dinámicos, intensos e influyentes del desarrollo humano. Ocurren durante esta etapa muchos cambios simultáneos relacionados con el desarrollo físico, cognitivo-intelectual, social, emocional y moral. En particular, el desarrollo intelectual se refiere a la potencialización de las habilidades de razonar y comprender, o en otros términos, a alcanzar una mente más consciente, autodirigida y autorreguladora.

A lo largo de esta etapa, los jóvenes se vuelven capaces de manejar el pensamiento abstracto, así como de experimentación sistemática basada en el desarrollo y prueba de hipótesis. Como resultado de la transición a niveles más altos de funciones cognitivas, los adolescentes desarrollan la capacidad de análisis y síntesis de datos, la reflexión, la comprensión de las metáforas, la capacidad de extraer significado de la sabiduría tradicional, el pensamiento ideológicos y la metacognición.

Sin embargo, no todos los estudiantes se desarrollan al mismo ritmo ni todos logran alcanzar el mismo nivel de capacidades cognitivas. Es por ello que en términos de desarrollo cognitivo-intelectual, los hallazgos sugieren que es crucial tener en cuenta las diferencias de estado de desarrollo cognitivo de los estudiantes, es decir, pensadores concretos versus pensadores abstractos.

Las recién adquiridas habilidades cognitivas, aunadas a una mayor atracción hacia la novedad, la búsqueda de sensaciones y la toma de riesgos, le dan al adolescente la capacidad y el deseo de conocer y cuestionar su entorno. Las oportunidades de aprendizaje en la vida real, así como la exploración de los diversos aspectos del entorno tienden a ser más intere-

santes para los adolescentes que las materias académicas tradicionales. Es por ello que están dispuestos a invertir sus esfuerzos exclusivamente en aprender sobre temas que consideran personalmente relevantes y se encuentra que el castigo tiene menos impacto en la conducta que las recompensas o la experiencia.

Otro factor clave para el desarrollo de relaciones de calidad entre docentes y estudiantes adolescentes está relacionado con enfatizar más las interacciones grupales que la transmisión unidireccional de la información, además de crear experiencias compartidas cotidianas fuera del modelo de enseñanza tradicional. Los estudiantes muestran preferencia por experiencias de aprendizaje activo, incluidas las que involucran interacciones con compañeros. No obstante, debemos tener en cuenta que al presentar una mayor vulnerabilidad emocional ante los juicios grupales, es recomendable que dichas acciones se realicen sin competencia o comparación entre pares. Los programas educativos grupales, que impliquen oportunidades para experimentar con varios roles dentro de una atmósfera de amistad y cohesión grupal podrían ser una base sólida para la formación de una identidad estable y un autoestima sano, al permitir que el alumno se de cuenta de que los desafíos personales no son únicos y aumentar su capacidad para el autodesarrollo, el cambio y la adaptación.

Desde la perspectiva del desarrollo socioemocional, existe evidencia de que el aprendizaje y el rendimiento académico pueden mejorarse si se abordan las necesidades emocionales y sociales de los adolescentes (es decir, pertenencia, afiliación). Esto significa que las actividades de aprendizaje cooperativo no solo estimulan el desarrollo cognitivo y psicológico de los adolescentes, sino que también juegan un papel fundamental en el desarrollo de la madurez emocional.

En conclusión, debe haber un mayor énfasis en las actividades educativas inspiradas en la vida real y que los adolescentes perciben como significativas, que requieren de su participación activa y que implican una interacción directa con sus compañeros y adultos. Además, se deben diseñar y promover programas e iniciativas educativas que brinden un ambiente seguro para incrementar la capacidad de los estudiantes para navegar sus propias experiencias emocionales así como para expresar sus talentos co-creando juntos de manera respetuosa.

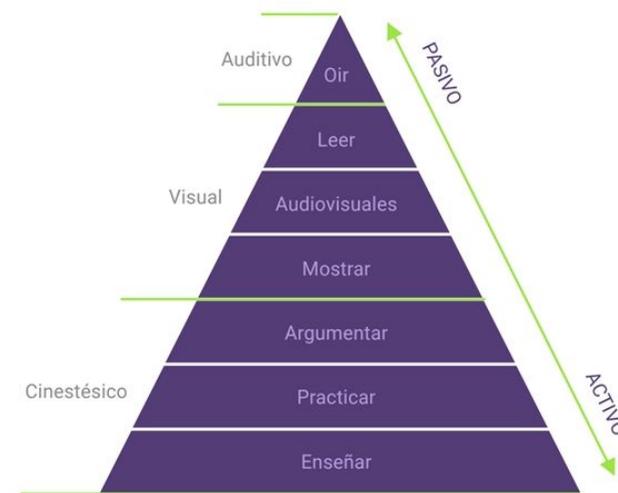


Figura 22. Pirámide del aprendizaje

## La pirámide del aprendizaje

La pirámide del aprendizaje es una teoría desarrollada por Edgar Dale en la que se concluye que el porcentaje de información que un estudiante puede retener depende de la manera en la que aprende. Aunque estos porcentajes se han demostrado inexactos, la escala desarrollada por Dale sigue siendo una buena guía para predecir cuáles actividades generarán mayor número de anclas sensoriales (visuales, auditivas, kinestésicas, etc.) que integren el nuevo conocimiento a las estructuras mentales existentes, es decir, que propicien el aprendizaje significativo.

Podemos apreciar en el gráfico que entre más activa es la participación del estudiante, más probable es que comprenda y retenga los conocimientos. Así mismo, el aprovechamiento será mayor cuando las actividades involucran la estimulación de todos los sentidos.

## Crear referentes a la vida cotidiana

En la prueba con alumnos se reiteró la importancia de generar referentes a la vida cotidiana del estudiante, tanto para contextualizar la información en términos que sean conocidos para ellos, como para atrapar su atención al ligar los contenidos con temas que sean de su interés.

Durante la sesión, las referencias que hacía el profesor remitían a los estudiantes a experiencias previas, despertando su intuición para facilitar el entendimiento de la nueva información. En ocasiones, estas observaciones eran también realizadas por los estudiantes, quienes reconocían en el simulador algún fenómeno físico que ya habían presenciado en alguna situación de la vida cotidiana. Algunos referentes mencionados fueron:



La vibración de las cuerdas al tocar guitarra.



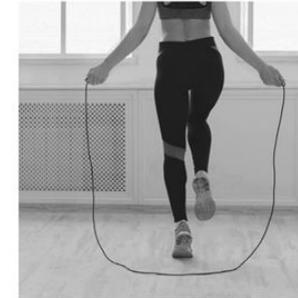
La propagación de las ondas de mar.



La manera en la que las bocinas generan sonido.



El volumen y tono en la voz de una persona.



El movimiento ondulatorio en una cuerda de saltar.



Una soprano rompiendo una copa con su voz.

## 4.4

### Canal: Producción

Anteriormente definimos que el canal (como factor del proceso educativo) determina el medio físico por el cual se transmite y recibe el mensaje, por ello, en esta sección estudiaremos las circunstancias que condicionan la materialidad del objeto en este proyecto.

Se analizarán las capacidades productivas y económicas con las que se cuentan para el desarrollo del producto y se realizará un estudio comparativo de los productos análogos existentes en el mercado. Nos enfocaremos exclusivamente en sus capacidades técnicas y precio, ya que en la sección subsecuente retomaremos estos productos para estudiarlos desde la perspectiva del factor estético.

## Características de la producción

### Tamaño de la producción

Producción a escala media baja. La meta productiva principal del proyecto es introducir el 'kit de ondas' a cada uno de los bachilleratos de la UNAM, es decir, los 9 planteles de la Escuela Nacional Preparatoria y los 6 planteles del Colegio de Ciencias y Humanidades.

Para el aprovechamiento óptimo del material didáctico se requiere que los estudiantes posean un dispositivo por mesa de trabajo. En los Laboratorios para la Enseñanza de las Ciencias se suele dividir a los estudiantes en 8 mesas de trabajo con aproximadamente 5 estudiantes por mesa. Con estos datos podemos concluir que la cantidad óptima de dispositivos para suplir la demanda de los 15 bachilleratos UNAM es de 120 kits en total. Sin embargo, debemos prever que el rango de piezas requeridas puede variar ampliamente, ya que el presupuesto de estas instituciones no siempre es suficiente para alcanzar las condiciones óptimas.

El tamaño de la producción tiene un gran impacto en los medios productivos que serán utilizados en el proyecto. Procesos como la inyección de plástico, por ejemplo, quedan descartados por ser demasiado costosos para una baja producción.

### Lugar de la producción

Desde el principio del proyecto se planteó que la producción debía realizarse principalmente en los talleres de producción del ICAT. Este es uno de los factores más determinantes para la elección de los medios productivos del proyecto. Más adelante, se enlistan los medios disponibles en el instituto.

Desgraciadamente, la pandemia de COVID-19 ocasionó el cierre de las instalaciones universitarias, por lo cual, se debe tomar en cuenta la posibilidad de que la producción se mande a hacer con proveedores externos.

## Tiempos y calendario de producción

Actualmente, debido al cierre de las escuelas ocasionado por la pandemia de COVID-19, el plan de producción ha quedado detenido y se desconoce en qué momento se pueda construir y comercializar el producto.

## Presupuesto por dispositivo

Una de las metas esenciales del proyecto es poder ofrecer a las escuelas un producto nacional a menor precio que las alternativas importadas sin que se pierda la calidad que estos otros productos ofrecen. Más adelante presentamos un análisis de precio de los generadores de vibraciones que se encuentran disponibles en el mercado internacional.

Por el momento, el presupuesto por pieza no puede ser determinado con exactitud debido a que aún se desconoce si el producto podrá ser manufacturado en las instalaciones del ICAT, lo cual evidentemente reduciría en gran medida los costos.



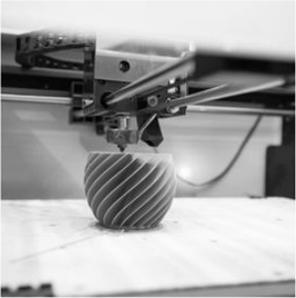
Imagen 17. Instalaciones del MADiT.

## Capacidades productivas

### Producción en el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología

En sus instalaciones, el ICAT tiene a su disposición dos talleres de producción: El Taller de Prototipos y el Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital (MADiT). A continuación se presentan algunas de las tecnologías que cada uno posee y que nos parecen pertinentes para el proyecto:

#### Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital <sup>40</sup>



#### Manufactura aditiva <sup>41</sup>

Se define como el proceso de agregar o unir materiales, usualmente capa por capa para crear objetos a partir de modelos de cómputo CAD 3D. También se le conoce como impresión 3D. El MADiT posee diferentes tecnologías (FDM, Polyjet, SLS, DLP, SLA) con las cuales puede imprimir piezas en plásticos y metales.



#### Moldeo por vacío <sup>42</sup>

Es un método de producción que permite fabricar un nuevo producto a partir de una plancha de plástico. Después de enfriarse, la plancha mantiene la forma del molde creando así un nuevo producto. Se utiliza comúnmente para cajas o bandejas, pero el tipo de productos que se pueden hacer con esta tecnología es muy diverso.

#### Taller de Prototipos: Maquinaria automatizada <sup>43</sup>



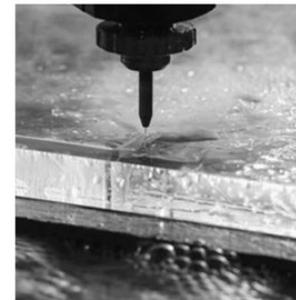
#### Centro de maquinado CNC <sup>44</sup>

CNC es el procedimiento de corte de materiales con una máquina de control numérico por computadora. La maquinaria CNC interpreta los modelos CAD 3D para crear piezas de metal, plástico o madera con un alto grado de precisión. El taller posee un centro de maquinado CNC con volumen de trabajo de 600 X 400 X 300 mm.



#### Tornos CNC <sup>45</sup>

Los tornos se utilizan para generar piezas de revolución. Al igual que el centro de maquinado CNC, los tornos CNC traducen la información computarizada a instrucciones que desbastan el material para crear la pieza requerida. El taller posee 3 Tornos CNC con capacidad de hasta 50 cm de volteo X 1000 L.



#### Máquina de corte por chorro de agua <sup>46</sup>

Proceso de corte en frío que corta mediante un flujo supersónico de agua pura, o bien agua con abrasivo, erosionando el material. La máquina que el taller posee tiene una capacidad de corte de hasta 12 cm de espesor de placas y de 122 cm X 301 cm de cualquier material excepto carburo de tungsteno, vidrio templado, cartón y papel.



Soldadura <sup>47</sup>

Es un proceso de fijación en el cual se realiza la unión de dos o más piezas de un material mediante la fundición de un material de aporte entre ellas. Al enfriarse se convierte en una unión fija. El taller posee el equipo para realizar soldadura eléctrica, TIG y MIG.



Maquinado manual

El laboratorio cuenta con dos fresadoras de hasta 60 x 30 x 20 cm, cinco tornos de hasta 50 cm de volteo x 900 L, un taladro fresador y tres taladros de columna.



Doble de lámina <sup>48</sup>

El doble de lámina consiste en el cambio de forma del material utilizando una dobladora que con ayuda de dos dados en forma de "V" aplica presión a la lámina logrando ángulos determinados.

### Producción con proveedores externos

Además de las tecnologías disponibles en el Instituto, existen otros procesos que se adaptan al volumen de producción de este proyecto y que vale la pena tomar en cuenta. Por ejemplo:



Corte láser

Es una técnica de fabricación sustractiva digital que consiste en cortar o grabar un material mediante un láser potente y de alta precisión. Puede utilizarse en diversos materiales tales como plástico, madera o cartón.



Pintura electrostática <sup>49</sup>

La pintura electrostática es un recubrimiento en polvo que se aplica con una pistola que mezcla aire con las partículas de pintura, cargándolas eléctricamente. La pintura permanece adherida a la pieza por carga estática. Posteriormente son calentadas en un horno donde, al curarse, dan como resultado un recubrimiento uniforme de mayor resistencia que otros tipos de pintura.

## Investigación de mercado

Los generadores de vibración se componen de tres elementos: El vibrador, el generador de funciones y sus accesorios. En esta sección se hará una comparativa de los precios de algunos modelos existentes en el mercado internacional, con el propósito de encontrar el rango de mercado de nuestro material didáctico.

### Generadores de vibraciones en el mercado

	<b>1. United Scientific</b> <sup>54</sup> \$98 USD		<b>4. Daedalon</b> <sup>52</sup> \$214 USD		<b>7. Edu Science</b> <sup>60</sup> \$331 USD
	<b>2. Optika</b> <sup>63</sup> \$105 USD		<b>5. 3B Scientific</b> <sup>51</sup> \$224 USD		<b>8. Cenco Physics</b> <sup>62</sup> \$439 USD
	<b>3. Eisco / Pasco</b> <sup>55/56</sup> \$135 USD		<b>6. Ward Science</b> <sup>51</sup> \$268 USD*		<b>9. Phywe / Inspire</b> <sup>58/59</sup> \$460 USD*

\*Generador de funciones incluido.

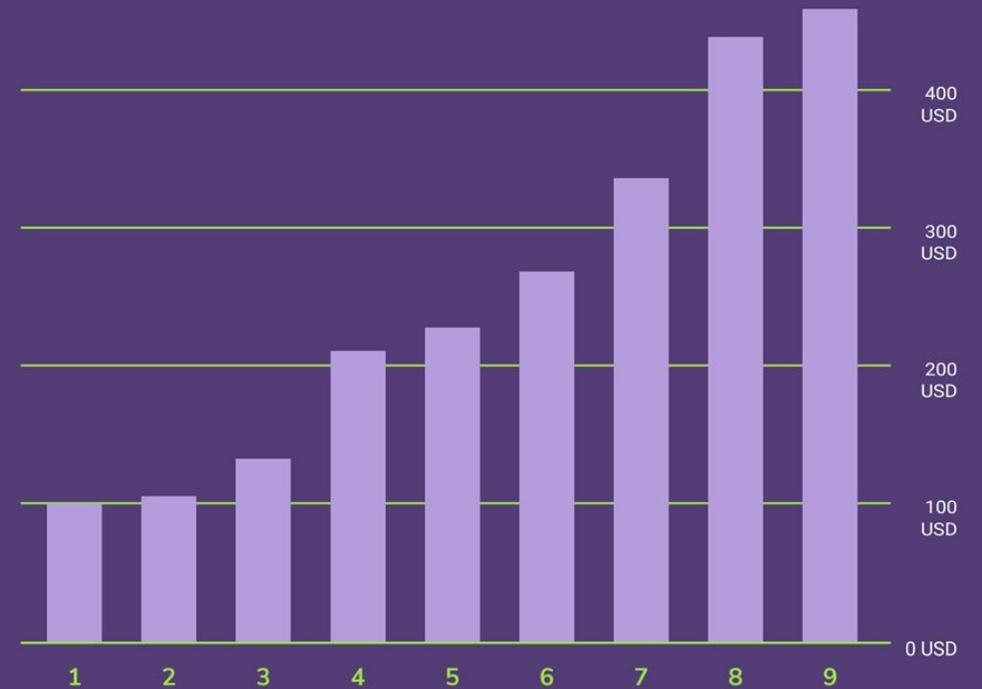


Imagen 17. Precio de algunos generadores de vibraciones en el mercado

### Generadores de frecuencias (controlador) en el mercado

	<b>1. Arbor Scientific</b> <sup>66</sup> \$115 USD		<b>4. Optika</b> <sup>67</sup> \$300 USD		<b>7. Daedalon</b> <sup>70</sup> \$502 USD
	<b>2. Eisco Labs</b> <sup>55</sup> \$265 USD		<b>5. Edu Science</b> <sup>68</sup> \$331 USD		<b>8. Phywe</b> <sup>71</sup> \$760 USD
	<b>3. Ward Science</b> <sup>61</sup> \$268 USD*		<b>6. Inspire</b> <sup>69</sup> \$460 USD		<b>9. 3B Scientific</b> <sup>72</sup> \$1060 USD

\*Generador de vibraciones incluido.

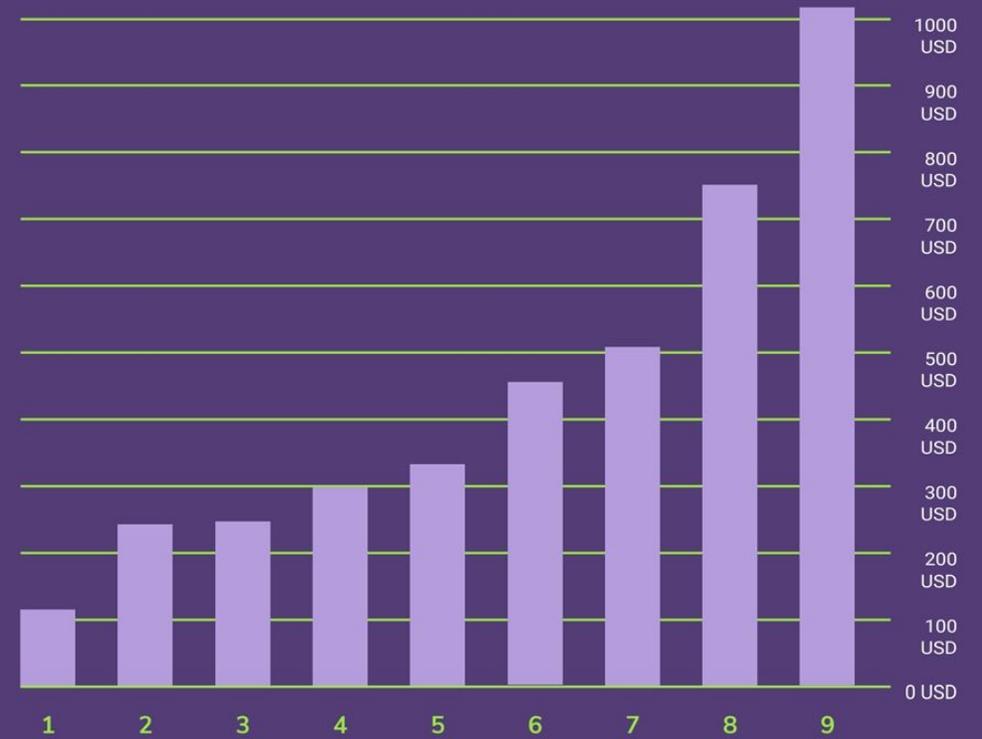
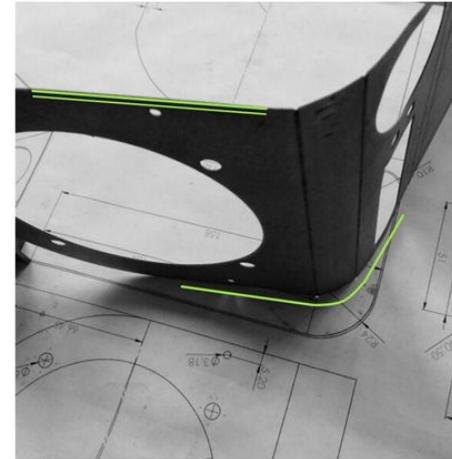


Imagen 18. Precio de algunos generadores de frecuencias en el mercado

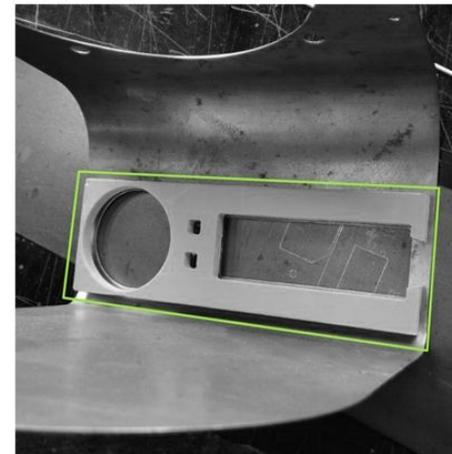
## Revisión de los problemas productivos de la primera iteración

Una de las razones más importantes para realizar este proyecto de rediseño fueron los problemas productivos que presentaba la primera iteración. A continuación se mostrarán algunas imágenes del primer dispositivo acompañado con notas a considerar para el diseño del nuevo generador de funciones.



El grosor del material era muy delgado y no daba suficiente estructura para soportar el peso de los componentes, además de deformarse al vibrar la bocina.

Los radios de los dobleces en la cara frontal del objeto complican la producción debido a su tamaño y la cercanía entre ellos. La falta de precisión causada por hacer estos dobleces a mano, reduce la calidad de acabado del objeto.



El grosor de lámina tampoco se adapta al grosor de ensamble de los componentes eléctricos, por lo cual se pegó detrás de la cara frontal una pieza de espuma de PVC. Esto complicó el proceso de armado y causó que algunos de los componentes se desprendieran ante la fuerza que se ejerce sobre ellos al presionarlos.

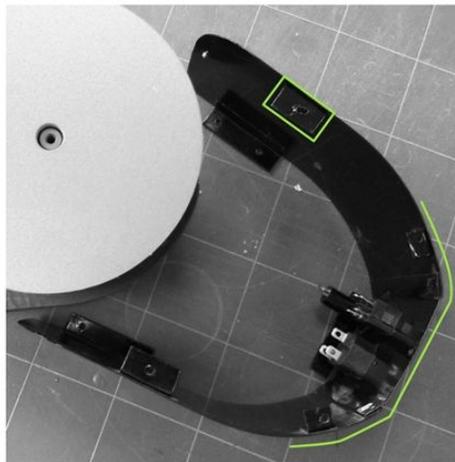
La longitud del poste propicia que vibre y se desplace en sentido horizontal, afectando los experimentos.

La distancia entre los huecos para los componentes y el borde de la lámina es demasiado estrecho, por lo cual la lámina pierde rigidez y estabilidad, además de ser más propensa a dañarse.



Para unir las dos partes de la carcasa se soldaron soportes a una de las partes. Sin embargo, perforarlos, soldarlos y alinearlos fue difícil y afectó la calidad final de los ensambles. Además, la soldadura dejó marcas visibles en el exterior de la pieza.

Inicialmente la pieza se diseñó con una curva en forma de "U", pero los componentes en la parte trasera del dispositivo requieren de una superficie plana para ensamblarse, por lo cual se tuvo que cortar y crearla a partir de tres secciones diferentes.



Al interior existen muchos cables y componentes que se enciman uno sobre otro. Esto pone en riesgo al usuario ya que puede ser un peligro de corto. Además, también se dificulta el flujo de aire, propiciando el sobrecalentamiento del dispositivo.

Al carecer de estructura interna, la carcasa colapsa bajo su propio peso. Esto la deforma y hace más complejo el proceso de armado y soldado de la electrónica.

Se agregó una base de PVC para montar los componentes y fijarlos a la carcasa.



La cantidad de tornillos visibles al exterior reduce la calidad estética del objeto.

La impresión sobre vinil autoadherible no tiene la resistencia necesaria para soportar el uso intensivo que se le dará al material en el laboratorio.

Desde el exterior son perceptibles todos los errores de ensamble entre las piezas.

## 4.5 Código: Estética

La estética de un objeto abarca diversos niveles de abstracción. Por un lado, nos comunica información sobre el objeto mismo, sus propiedades físicas y su función. Simultáneamente, expresa su “personalidad” o carácter, su contexto y a qué usuario está dirigido.

En el diseño de material didáctico, el manejo correcto de la estética se vuelve de primordial importancia ya que de ello podría depender la motivación que los alumnos sientan hacia el aprendizaje de determinados contenidos.

En la siguiente sección exploraremos la estética de otros productos similares y definiremos las características que el material didáctico debe tener de acuerdo a la edad y características de nuestro usuario.

## Estética de los materiales STEM

El término STEM es un acrónimo que se refiere a las áreas de conocimiento en las que suelen trabajar los científicos y los ingenieros: science, technology, engineering and mathematics (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). En la actualidad, estas áreas laborales continúan expandiéndose y con ello la necesidad de que los niños experimenten con estos temas desde temprana edad. Es por ello que se pueden encontrar en el mercado cientos de juguetes y materiales didácticos para acercar a los infantes hacia la ciencia y la ingeniería. Muchos de estos productos son simplificaciones de las herramientas de los profesionistas, con las cuales el niño puede aprender de manera lúdica y crear un vínculo emocional con estas áreas del conocimiento.

Sin embargo, mientras el niño va creciendo y alcanza la adolescencia, la oferta de productos para su edad decrece rotundamente. Es común que en las escuelas se dé a los estudiantes materiales que no corresponden a su edad por falta de opciones o presupuesto para comprar los materiales especializados, o porque simplemente se considera que al estar entre la infancia y la adultez el adolescente puede interactuar con materiales diseñados para cualquier faceta. Pero esto puede tener efectos perjudiciales sobre la motivación de los alumnos y su aprendizaje.

Más allá de ser un proceso de transición entre dos periodos de vida, la adolescencia debe verse como un momento con sus propias cualidades y problemáticas. En términos de material didáctico, se debe dar a los adolescentes los materiales que corresponden a su madurez cognitiva, física y emocional. Por ejemplo, al darles materiales infantiles se subestiman sus capacidades cognitivas, lo cual puede conducir a que no se tomen en serio las actividades o se genere desinterés ante la falta de estimulación. Por otro lado, el adolescente también puede resentir la interacción con equipos diseñados para individuos de mayor edad. En este caso, los estudiantes pueden perder el interés al sentirse confundidos o frustrados por no comprender su funcionamiento.

Al comparar productos de cada una de estas etapas podemos notar que su forma está condicionada por las funciones y propiedades requeridas para acoplarse cognitiva y ergonómicamente a su usuario. Así mismo, la forma se modifica para expresar valores de carácter que construyen una conexión emocional objeto/usuario. Estas modificaciones formales suceden en múltiples niveles de representación simbólica: Apariencia general del objeto, códigos visuales de uso, uso de mensajes escritos, etc.

A continuación se presentan ejemplos de materiales STEM y sus análogos en las tres etapas de madurez. Cada triada pertenece a un área de conocimiento y todos sus elementos poseen funciones similares, sin embargo, se puede percibir que sus cualidades estéticas y funcionales han sido adaptadas a las cualidades de cada usuario.

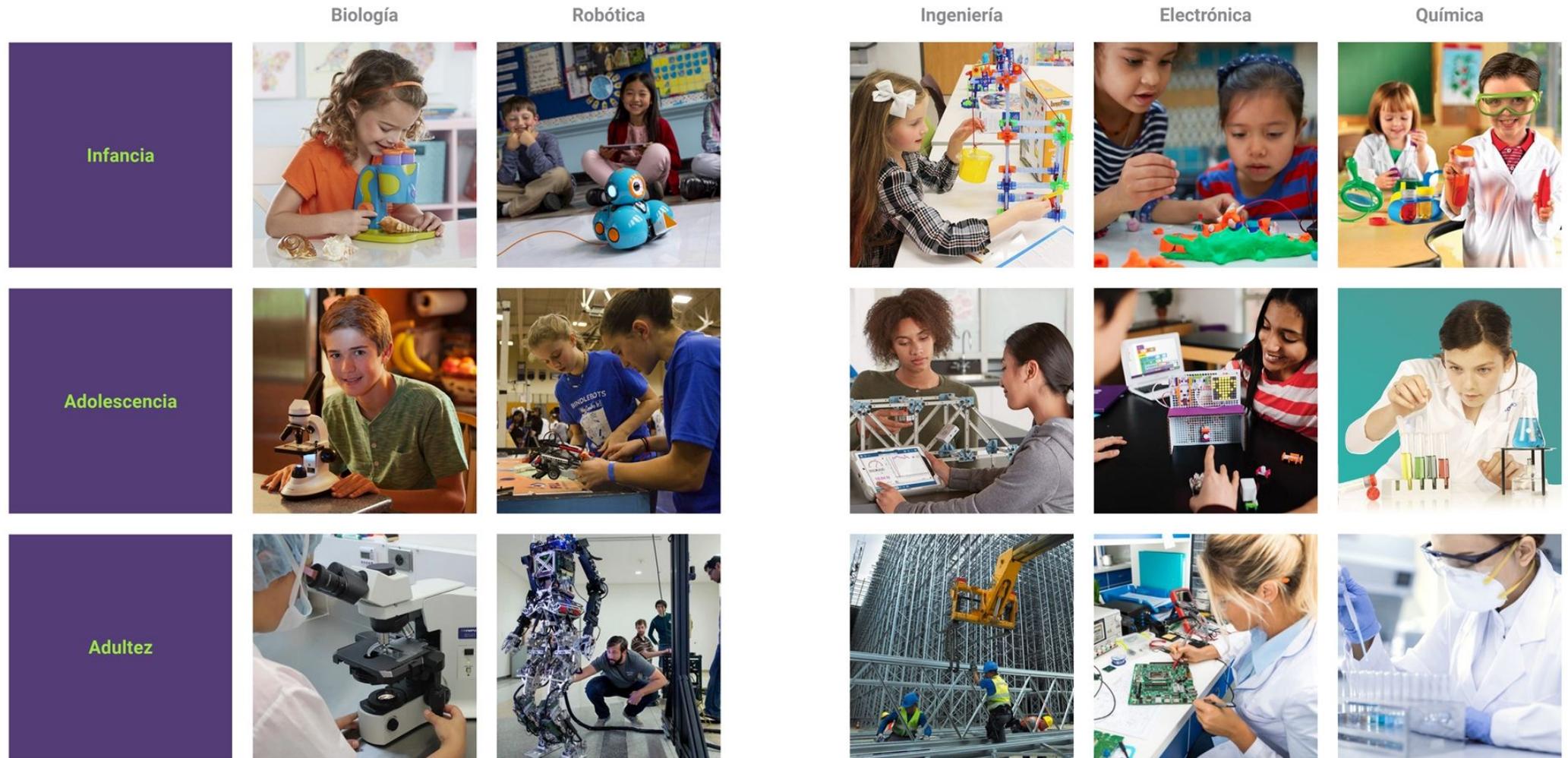


Figura 22. Comparación de productos STEM análogos para cada etapa de madurez, sus usuarios y sus contextos de uso.

Figura 23. Comparación de productos STEM análogos para cada etapa de madurez.

Valores estéticos de los materiales STEM

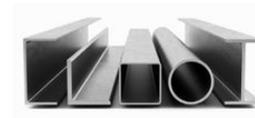
Divertido  
Colorido  
Amigable  
Lúdico  
Inofensivo

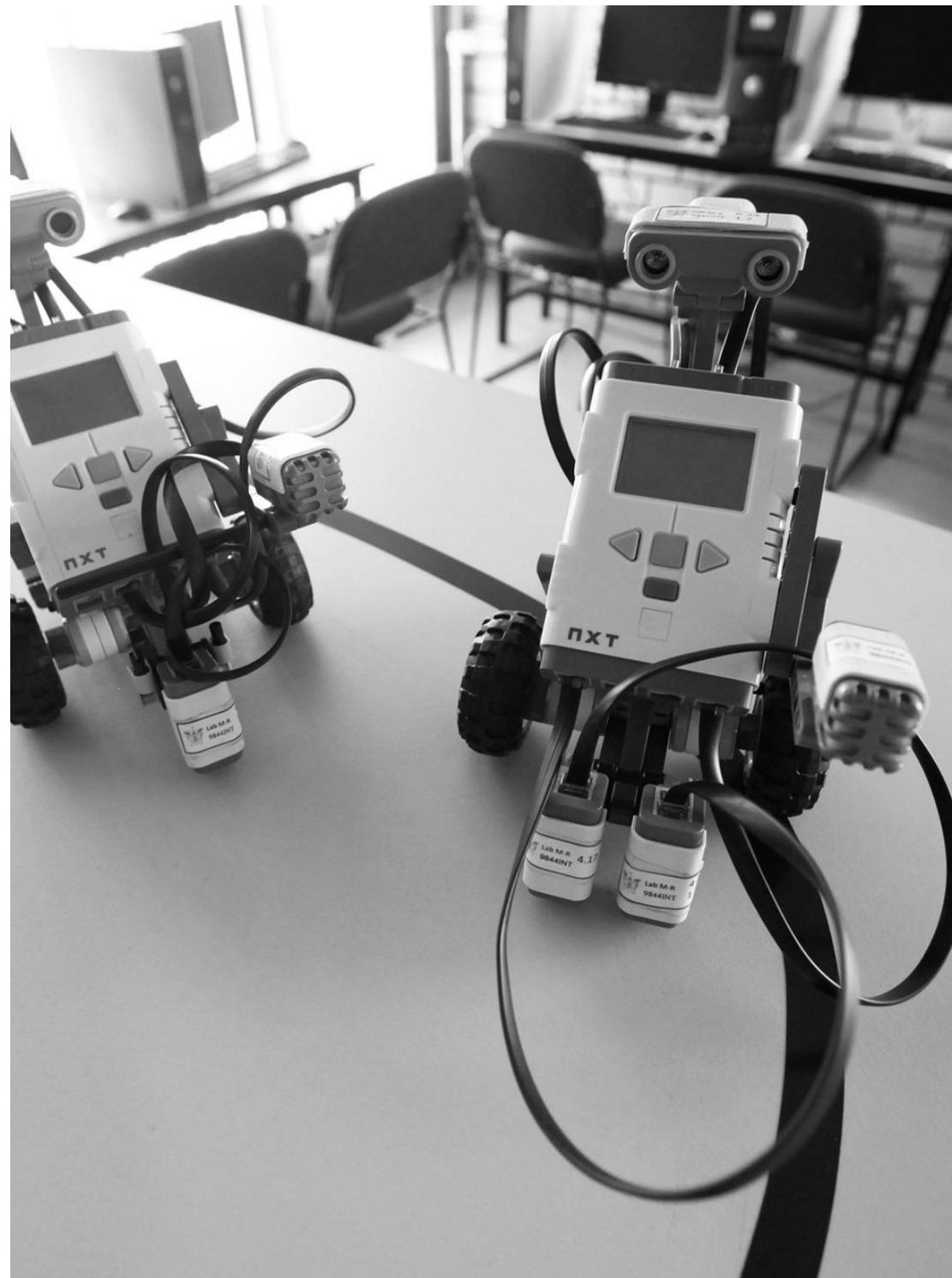


Entretenido  
Explorativo  
Atrayente  
Educativo  
Interesante



Útil  
Sobrio  
Impersonal  
Profesional  
Estéril





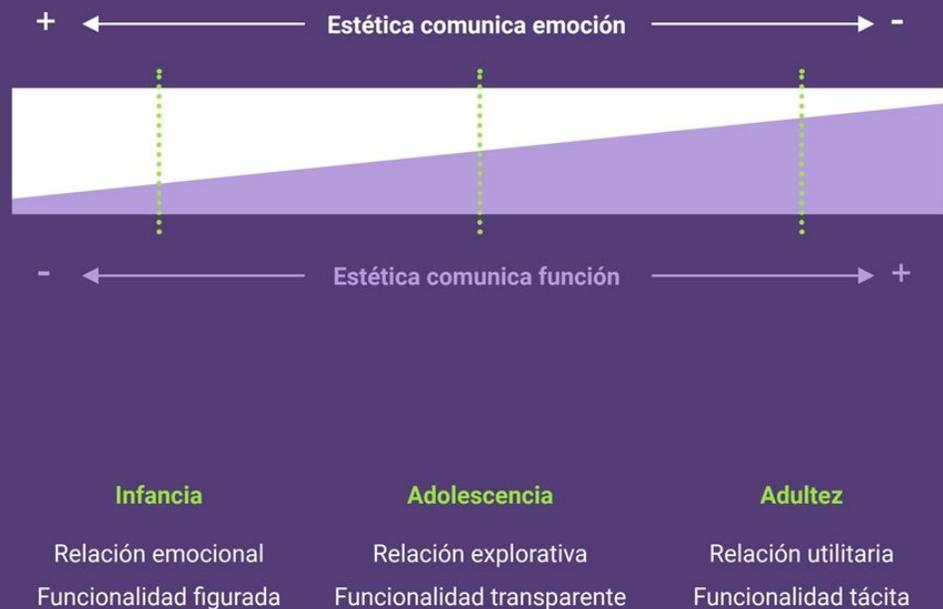
< **Imagen 18.** Robots contruidos en un contexto educativo utilizando el sistema *Lego Mindstorms NXT*.

## Materiales STEM para adolescentes

Para analizar la estética de los materiales para adolescentes, vale la pena describir las cualidades de las tres fases de desarrollo. Para ello, se encontraron tres tendencias que establecen la transición de los materiales infantiles a los adultos: Relación objeto/usuario, grado de control sobre los objetos y tipo de comunicación. Cada uno de estos corresponde a una dicotomía que evoluciona e intercambia predominancia conforme el usuario madura. A continuación se muestra a qué parte del espectro corresponde cada etapa y cuáles son sus particularidades. Es importante recordar que más allá de ser un paso de transición, la adolescencia posee sus propias características y necesidades.

## Relación objeto/usuario

Los valores estéticos del material STEM oscilan entre expresar información sobre su función y proyectar valores que resuenan emocionalmente con el usuario para atrapar su interés.



**Figura 22.** Transición de los valores estéticos presentes en los materiales STEM infantiles a los presentes en productos STEM para adultos. (Relación objeto/usuario)

Infancia	Relación emocional	Sirve para generar interés y motivar a los niños hacia el STEM.
	Funcionalidad figurada	El funcionamiento se esconde detrás de las formas figurativas. Se utilizan estrategias de ludificación para que el niño aprenda como resultado inconsciente del juego.
Adolescencia	Relación explorativa	Sirve para profundizar en el entendimiento de STEM. Su estética aún intenta apelar a la emoción para atrapar el interés inicial del adolescente, sin embargo, su función y los retos que presentan son lo que motiva al adolescente a continuar interactuando con ellos.
	Funcionalidad transparente	Es común que componentes mecánicos o eléctricos se mantengan a la vista para proveer más información sobre el funcionamiento del objeto. También se utilizan acentos visuales para dar pistas sobre sus partes más importantes.
Adultez	Relación utilitaria	Sirve como herramienta de trabajo STEM. Se toma por sentado que el experto ya está interesado y motivado en su área, por lo cual los objetos no buscan captar su atención por medio de elementos decorativos o coloridos.
	Funcionalidad tácita	La estética de los productos responde directamente a sus cualidades funcionales e incluso los acentos visuales tienen justificaciones funcionales de fondo como la diferenciación de otros objetos iguales o la simbología técnica.

## Grado de control sobre los objetos

Para que los usuarios de cualquier nivel puedan manipular el objeto con autonomía, debe existir un balance entre las prestaciones o capacidades del objeto y la cantidad de información que el material da sobre sí mismo y su uso. Este balance deberá estar adecuado a las capacidades cognitivas y motrices de los usuarios.



### Infancia

Capacidades limitadas  
Evitar riesgos

### Adolescencia

Capacidades acotadas  
Posibilidad de error

### Adulthood

Capacidades avanzadas  
Completa autonomía

**Figura 23.** Transición de los valores estéticos presentes en los materiales STEM infantiles a los presentes en productos STEM para adultos. (Grado de control sobre los objetos)

## Infancia

### Capacidades limitadas

Los objetos son una simulación de los existentes en el mundo adulto. Representan sus características físicas, pero sus capacidades están muy por debajo del real. Las prestaciones del objeto se limitan para reducir su complejidad y que el infante pueda comprenderlo.

### Evitar riesgos

Los materiales (plástico, madera, etc.) y formas del objeto son seleccionados tomando en cuenta la baja capacidad motriz de los niños, con el fin de evitar accidentes físicos. Los objetos guían a los alumnos a través de sus reducidas funciones para evitar confusión. Los mecanismos y funciones se diseñan para evitar o reducir errores de uso.

## Adolescencia

### Capacidades acotadas

La función se limita de acuerdo a los conocimientos o habilidades que el adolescente posee y los que desea obtener, de manera que los existentes sirven de apoyo para los nuevos aprendizajes. La simplificación de procesos (piezas autoensamblables, diseños modulares, etc.) es común para favorecer que el adolescente se enfoque en el aprendizaje conceptual.

### Posibilidad de error

Se expanden las prestaciones del objeto para permitir la experimentación, y el error se convierte en un medio para reforzar los aprendizajes, siempre y cuando no afecten gravemente al usuario o al objeto mismo. Aunque se busca que el adolescente experimente libremente, es común que en esta fase se incluyan guías o libros de ejercicios para guiar las actividades.

## Adulthood

### Capacidades avanzadas

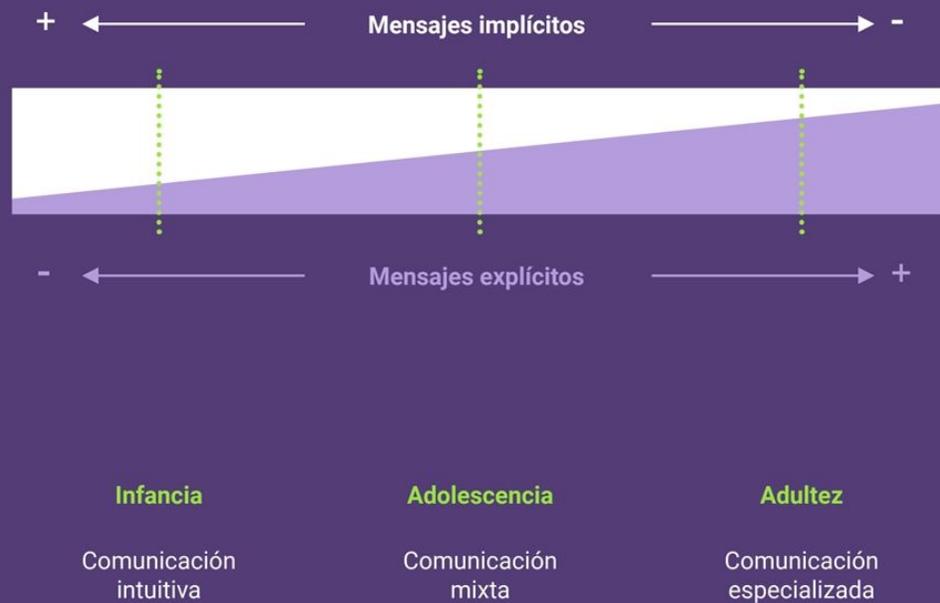
Las capacidades del objeto dependen solamente de la tarea que debe cumplir y el grado de tecnología disponible.

### Completa autonomía

Se busca que los objetos no dañen al usuario, sin embargo, confiando en las capacidades motrices del adulto, se toman mayores riesgos físicos que en las etapas anteriores. También se toma por sentado que el profesionalista posee la experiencia y habilidad para aprender a utilizar los materiales especializados sin un recordatorio constante por parte del objeto.

## Tipo de comunicación

El tipo de comunicación que utilizan los objetos se adapta a las capacidades cognitivas del usuario y la complejidad de los mensajes que el objeto debe comunicar para guiar su uso.



**Figura 24.** Transición de los valores estéticos presentes en los materiales STEM infantiles a los presentes en productos STEM para adultos. (Tipo de comunicación)

<b>Infancia</b>	<b>Comunicación intuitiva</b> Los mensajes escritos son prácticamente nulos pues las habilidades verbales y de lectoescritura aún no se encuentran 100% desarrolladas. Los mensajes implícitos, incluyendo las analogías de función, son indispensables para referenciar otros objetos, situaciones o personajes que generen interés y ayuden al niño a comprender el funcionamiento del material.
<b>Adolescencia</b>	<b>Comunicación mixta</b> Se utilizan mensajes explícitos e implícitos para facilitar que el adolescente comprenda el funcionamiento. Los implícitos pueden ser referentes visuales que denotan la función del dispositivo o de analogías formales que remiten al uso de otros objetos, mientras que los explícitos verbales van acompañados de símbolos que reafirman su significado. El carácter del objeto sigue siendo importante para motivar al adolescente.
<b>Adultez</b>	<b>Comunicación especializada</b> Los mensajes implícitos son escasos pues se supone que el experto ya conoce el funcionamiento básico del objeto y no es necesario crear referencias para suscitar interés. Los mensajes explícitos son frecuentes, aportan información concreta y técnica, comúnmente numérica.

## 4.6 Código: Ergonomía

Este factor estudia la manera en la que el usuario interactúa físicamente con el objeto, es decir, las acciones, posturas y esfuerzos físicos que el estudiante debe realizar al utilizar el dispositivo. El confort físico mientras se interactúa con el objeto es esencial para extender el tiempo de atención de los estudiantes y permitir la actividad intelectual.

Así mismo, la ergonomía toma en cuenta los procesos fisiológicos de percepción (oído, vista, tacto, etc.). Diseñar los objetos para que sean percibidos correctamente a través de más de un sentido aumenta las probabilidades de que los mensajes sean comprendidos y asimilados, incluso cuando existiera una discapacidad en alguno de los otros sentidos.

La complejidad ergonómica de este proyecto no es muy profunda, ya que el dispositivo posee pocos puntos de contacto físico con el usuario, no requiere ser sostenido o cargado, no necesita ser transportado y su uso no precisa de grandes esfuerzos físicos. Por esta razón, esta sección se limitará a exponer algunas de las observaciones obtenidas durante las pruebas con usuarios.

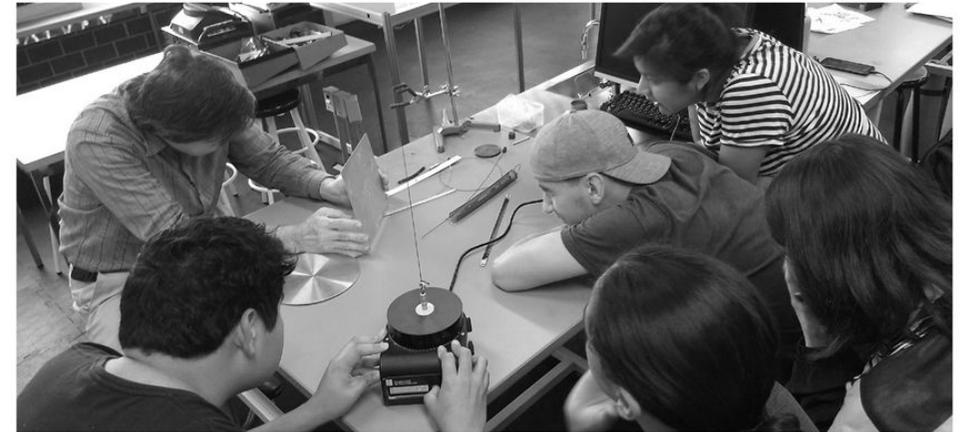


Imagen 19. Alumnos utilizando el *Generador de Vibraciones* para estudiar el fenómeno de la resonancia.

### Observaciones de la prueba con el primer prototipo

A través de la actividad de observación se concluyó que el factor ergonómico del material didáctico debía contemplar la postura y movimientos del estudiante con relación a dos aspectos diferentes: La percepción del fenómeno físico y la manipulación del dispositivo.

#### Percepción del fenómeno físico

- La falta de contraste entre el fondo y los accesorios dificulta la percepción del fenómeno y provoca que los estudiantes tengan que encorvarse o agacharse para encontrar ángulos de mejor visibilidad.
- El objeto se desliza mientras está en funcionamiento, por lo cual los estudiantes deben de sostenerlo constantemente para poder seguir apreciando el fenómeno.
- Los alumnos son capaces de ver y escuchar los cambios en las vibraciones, pero también se debe asegurar que puedan tocarlos sin que represente un peligro para ellos o para el objeto.

### Manipulación del dispositivo

- La altura y ángulo de visión de los controles provoca que el estudiante deba agachar la cabeza y encorvar la espalda para utilizar el dispositivo.
- El dispositivo debe sostenerse cerca para operarse. Esto genera que sea difícil para los demás estudiantes ver la información o interactuar con él.
- El tamaño del texto que identifica cada mando y la información que aparece en pantalla, no es lo suficientemente grande para ser vista a la distancia (aprox. 1.5 metros).
- El estudiante debe sujetar el objeto para evitar que se deslice al presionar los botones.
- Debido a la altura en la que se encuentran los botones, el dedo pulgar debe presionar perpendicularmente a la dirección en la que el resto de la mano está ejerciendo presión.
- Los botones no son el tipo de mando adecuado para modular la amplitud, pues realizar tantas veces y a tal velocidad el mismo movimiento cansa y frustra a los estudiantes.
- La perilla permite una regulación lineal de la frecuencia y por lo tanto resulta más sencillo de manipular que los botones.
- El botón de encendido debería estar a la vista para que los alumnos puedan encontrarlo con facilidad.

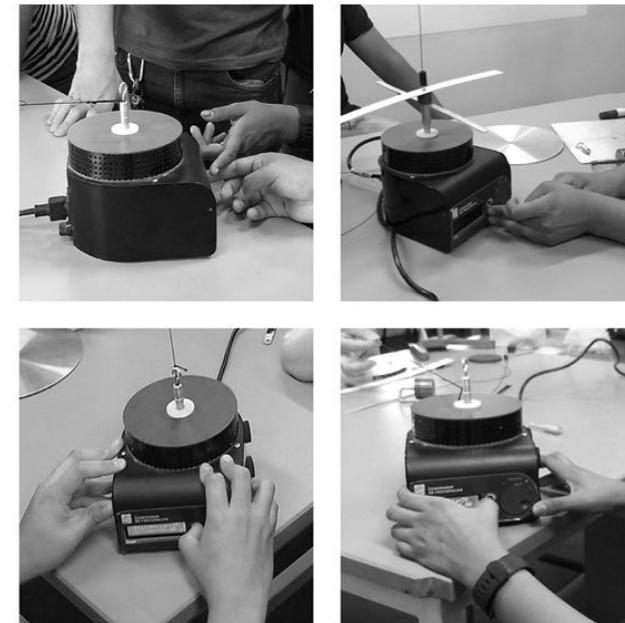


Imagen 20. Acercamientos a manos utilizando los controles del dispositivo.

# 5

## Requerimientos del diseño

A manera de resumen y basándose en la información obtenida en las pruebas con usuarios y la investigación de fuentes secundarias, se enlistarán los requerimientos que el producto final deberá tener en cada uno de los factores que definimos en nuestro marco teórico.

## Mensaje: Contenidos educativos

### A través del análisis de:

- Los temarios de Física del CCH y de la ENP.
- Los contenidos conceptuales del tema de ondas.

### Se concluyó que el material didáctico deberá:

- Enseñar los temas de ondas.
- Adecuarse a los temarios de Física II del CCH y Física IV de la ENP.
- Servir para enseñar las partes de las ondas y algunos de los fenómenos básicos de ondas mecánicas.
- Presentar los temas a través de una progresión lógica de los contenidos.
- Proveer al alumno con textos de apoyo que le ayuden a consolidar el conocimiento de los temas.

## Contexto: Ambiente e interacciones

### A través del análisis de:

- Dispositivos existentes en el mercado.
- Los Laboratorios de Ciencias del Bachillerato UNAM (curriculares) como espacio de aprendizaje.
- La educación a distancia originada por la Pandemia COVID-19.

### Se concluyó que el material didáctico deberá:

- Tener una función similar a los otros generadores de vibración existentes en el mercado.
- Ofrecer la misma o mayor variedad de accesorios que los modelos existentes en el mercado.
- El dispositivo debe poder posicionarse de manera lateral para hacer uso del accesorio de muelle helicoidal.
- Adaptarse al espacio de uso y guardado de los laboratorios de física.
- Poder adaptarse a la educación a distancia y presencial.
- Adaptarse al ritmo y dinámica de las clases.
- Debe ser sencillo para todos los estudiantes acceder a los controles para promover la participación de todo el grupo.
- Ser resistente al deterioro durante su uso, considerando la cantidad de usuarios que tendrá a lo largo de todo su tiempo de vida.
- Estar contenido en un empaque que evite el extravío de piezas o el deterioro durante el almacenamiento.
- Se debe facilitar que los alumnos encuentren rápidamente la frecuencia de resonancia para mantener el interés durante la actividad.

## Código: Ergonomía cognitiva

### A través del análisis de:

- Implicaciones educativas del desarrollo cognitivo en la adolescencia.
- La teoría de la pirámide del aprendizaje.
- Resultados de las pruebas con alumnos.

### Se concluyó que el material didáctico deberá:

- Propiciar las actividades colaborativas y sin competencia.
- Involucrar activamente al alumno.
- Utilizar abstracciones simples y referentes de la vida cotidiana para facilitar el entendimiento de los conceptos.
- Simplificar la manipulación del objeto y sus controles para favorecer que el adolescente se enfoque en el aprendizaje conceptual.
- Permitir la experimentación directa y utilizar los errores como medio para reforzar los aprendizajes.

## Canal: Producción

### A través del análisis de:

- Características esperadas de la producción.
- Capacidades productivas del ICAT.
- Problemas productivos de la primera iteración.
- Investigación de mercado.

### Se concluyó que el material didáctico deberá:

- Considerar la tecnología disponible en el ICAT para su fabricación
- Seleccionar principalmente materiales que puedan ser trabajados con la maquinaria disponible en el instituto.
- Considerar las dimensiones de las piezas comerciales.
- Estar enfocado a una producción de pequeña escala.
- Tener un tamaño que se adecúe al volumen de los componentes electrónicos que contiene.
- Adecuarse al presupuesto de producción.
- Comercializarse dentro del rango de precio de los productos existentes.
- Poseer una calidad productiva más alta que la de la iteración anterior.
- Estar estructurada de manera que se evite la vibración de la carcasa.
- Permitir la ventilación para evitar que se sobrecaliente.

## Código: Estética

### A través del análisis de:

- Estética de los materiales STEM.
- Diferencias de los materiales STEM para la niñez, adolescencia y adultez.

### Se concluyó que el material didáctico deberá:

- Expresar los valores estéticos de los productos STEM para adolescentes (Entretenido, explorativo, educativo, etc.).
- Apelar a la emoción para atrapar el interés inicial del adolescente, resaltando la función y los retos que presenta el objeto.
- Mantener a la vista algunas partes electrónicas del objeto para proveer más información sobre su funcionamiento.
- Comunicar la función a través de mensajes implícitos y explícitos para facilitar la comprensión y uso del dispositivo.

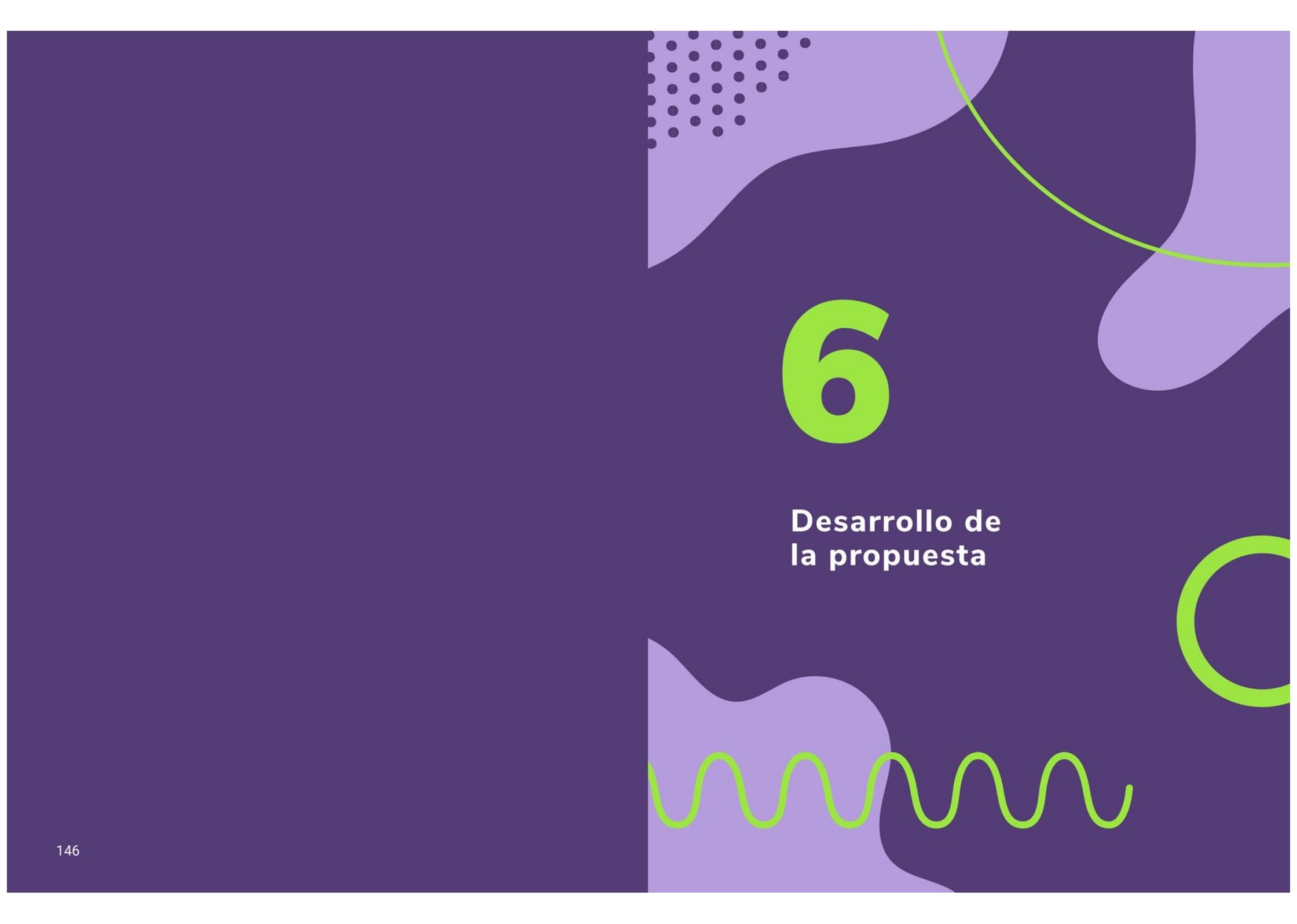
## Canal: Ergonomía

### A través del análisis de:

- Pruebas con el primer prototipo.

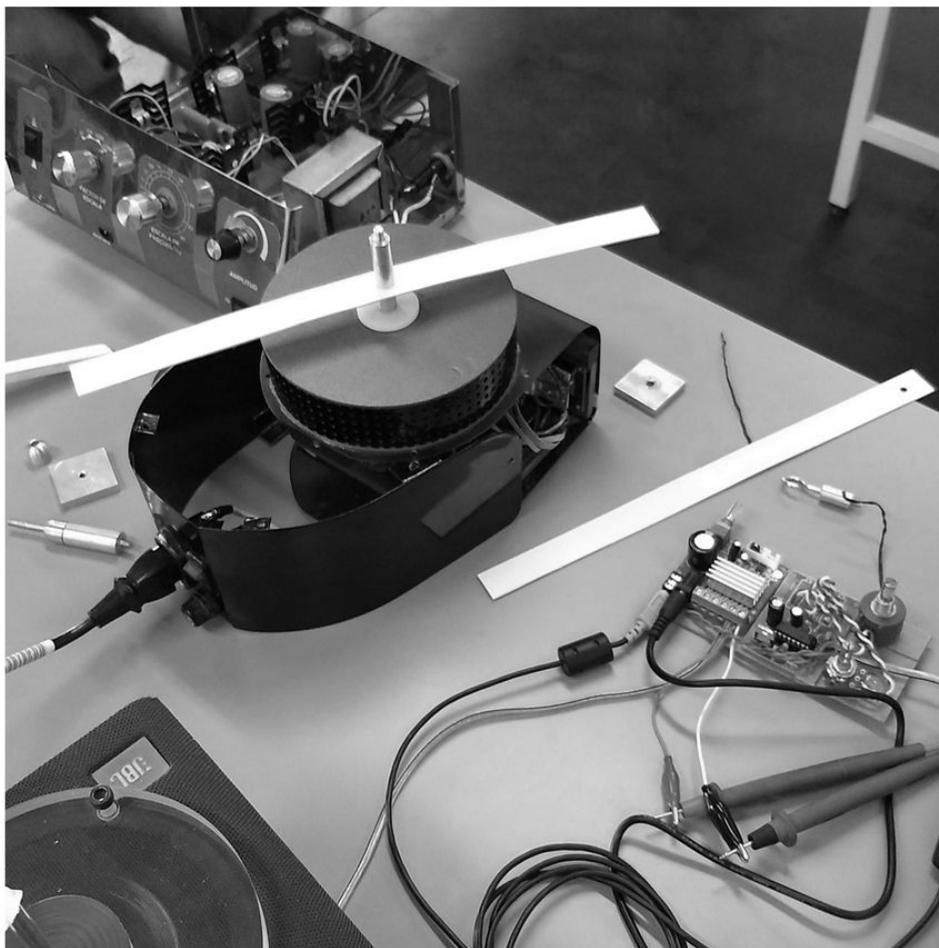
### Se concluyó que el material didáctico deberá:

- Permitir la visualización de los fenómenos físicos y la manipulación de los controles sin que el alumno baje su línea de visión.
- El dispositivo debe mantenerse estable para evitar que los alumnos tengan que sostenerlo durante la sesión.
- Los controles deben permitir la manipulación con una postura neutra en manos y muñecas.
- El dispositivo debe reiterar los mensajes a través de más de un canal sensorial (vista, tacto, oído).
- Tener los controles separados del generador de vibraciones para que el primero pueda turnarse entre los estudiantes mientras el segundo se mantiene fijo sobre la mesa.



# 6

**Desarrollo de  
la propuesta**



**Imagen 21.** Fotografía del *Generador de Vibraciones* junto a los nuevos prototipos de controlador desarrollados durante el seminario.

## 6.1

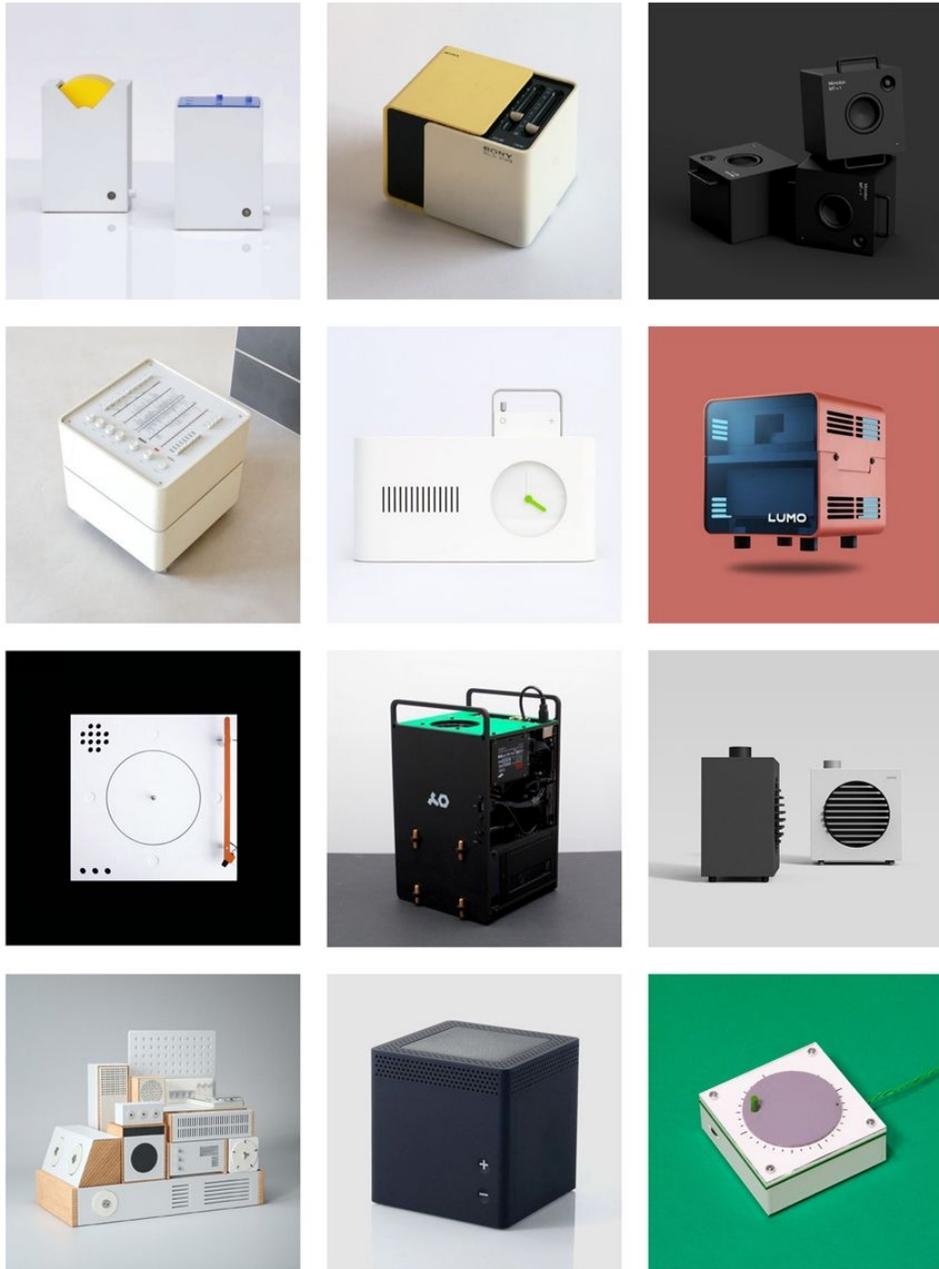
### Seminario de desarrollo de material didáctico

A la par de la realización de esta tesis, tuve la oportunidad de participar en el seminario titulado: “Desarrollo de material didáctico para la enseñanza de ondas y oscilaciones en el nivel medio superior”. El seminario fue llevado a cabo por el Comité de Educación Continua del ICAT y se realizó durante 12 sesiones desde el 6 de marzo hasta el 13 de noviembre de 2020, cubriendo un total de 36 horas.

El seminario contó con la participación de expertos en las áreas de acústica, electrónica, física, diseño y por supuesto educación. A través del trabajo multidisciplinario, se estudiaron las diferentes facetas del proyecto. Algunas de las actividades realizadas durante el seminario fueron:

- Estudio del fenómeno oscilatorio y de resonancia.
- Discusión del tema de estudio desde las teorías de la educación.
- Propuesta de actividades y estrategias didácticas para la enseñanza experimental de los movimientos ondulatorios.
- Revisión del primer prototipo para proponer mejoras.
- Desarrollo de la electrónica del generador de frecuencias.

Personalmente, el seminario fue una gran oportunidad para comentar los avances de esta tesis con expertos en los temas que con ella se relacionan y de los cuales yo no poseía un conocimiento profundo. Pude aprender de sus observaciones y, en términos generales, sentó las bases para que la creación del Generador de Frecuencias se realizara desde una perspectiva integral.



< Imagen 22. Imágenes de inspiración para el rediseño del proyecto.

## 6.2

### Imágenes de inspiración

Tomando como referencia los resultados obtenidos del análisis de la estética de los materiales STEM para adolescentes, las capacidades productivas a disposición del proyecto y las funciones del dispositivo, se buscaron en internet imágenes de objetos análogos que pudieran fungir como referencia estética para el diseño.

Algunas de las características que se buscaron de los objetos en las imágenes de referencia fueron:

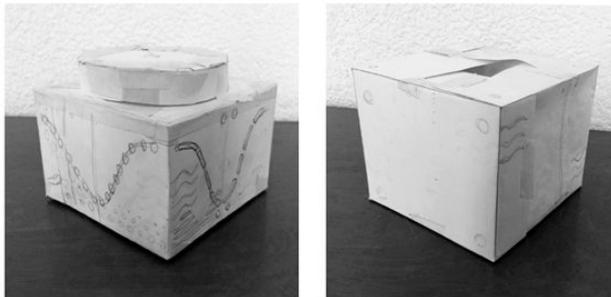
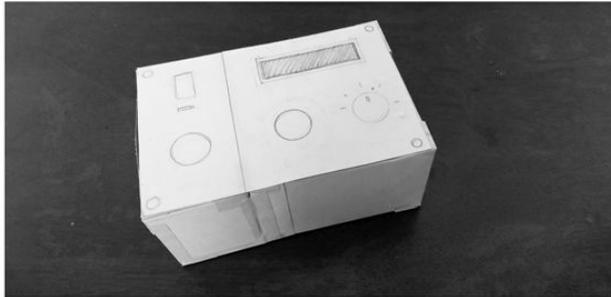
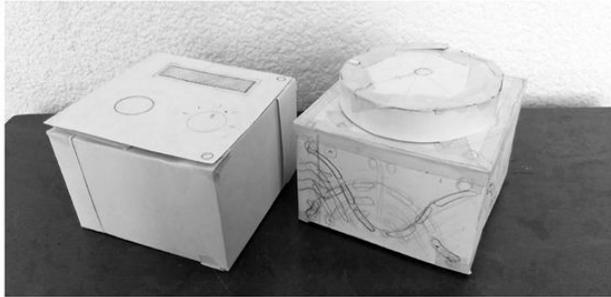
- Volúmenes que pudieran ser obtenidos a partir de lámina metálica.
- Configuración que surge de formas geométricas básicas.
- Volúmenes que pudieran posicionarse horizontal o verticalmente.
- Controles con perillas, 'faders' o botones.
- Textura lisa en acabado brillante
- Acentos de color para denotar las funciones del objeto.
- Ventiladores que funjan como acento visual simple.

< Imagen 23. Bocetos para definir la configuración del objeto.

### 6.3 Bocetos

Como primer paso se bocetó imitando algunas de las formas y ensamblajes de las imágenes de inspiración. Posteriormente se realizaron bocetos incorporando sólo algunas de las características de las imágenes, pero desarrollando ideas originales que se adaptaran a las necesidades del proyecto. Progresivamente los bocetos realizados fueron diferenciándose de las imágenes de referencia y consolidando las propuestas.

El proceso para desarrollar cada propuesta también pasó por varios pasos para definir las características del diseño. Inicialmente todas comenzaron como volúmenes básicos y a través de un proceso iterativo obtuvieron cada vez mayor detalle. Posteriormente se realizaron más bocetos considerando la factibilidad productiva, es decir, tomando en cuenta detalles de materiales, componentes electrónicos y ensamblajes. Los bocetos en corte y explosivo fueron de vital importancia en este paso del proceso para corroborar que el diseño de la carcasa sería capaz de albergar los componentes electrónicos y armarse sin complicaciones.



**Imagen 24.** Fotografías de modelos volumétricos para el generador de vibraciones y el generador de frecuencias.

## 6.4 Modelos volumétricos

Se realizaron modelos de papel para asegurar que las dimensiones de los conceptos desarrollados respondieran a las condiciones ergonómicas, funcionales y productivas del proyecto. Estos fueron también útiles para probar formas nuevas y encontrar la proporción adecuada entre las partes del objeto y entre los dos dispositivos. Además, se utilizaron para experimentar a escala real con los patrones gráficos de las ventilas y las perillas de control del generador de frecuencias.

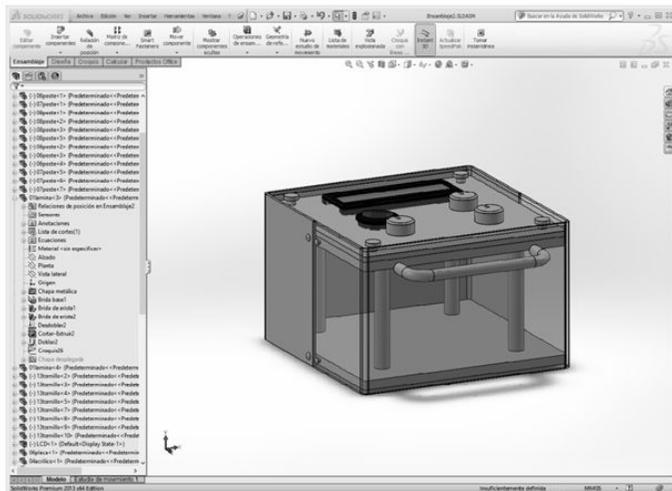
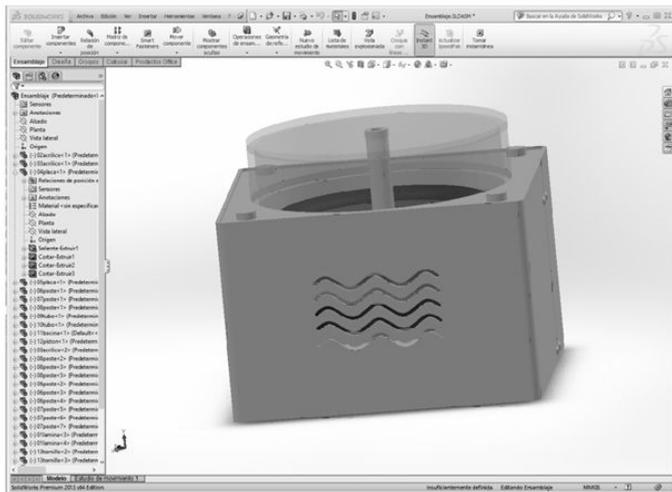


Imagen 25. Capturas de pantalla del modelo desarrollado en Solidworks.

## 6.5 Modelos digitales

Para crear los modelos digitales se utilizó el programa Solidworks. Se seleccionó este software por su capacidad para generar sólidos que responden a las normas estandarizadas de materiales. Los componentes electrónicos, al ser piezas estandarizadas, se descargaron de librerías gratuitas y en algunos casos se modificaron para adaptarse a las dimensiones de los componentes específicos que se utilizarán en producción. Posteriormente, se utilizó el programa KeyShot para generar los renders.



Imagen 26. Render del primer intento de rediseño del generador de vibraciones.

## 6.6

### Primera propuesta

Para la primera propuesta se implementó la estética desarrollada únicamente al generador de vibraciones, ya que este posee menos componentes y funciones que el generador de frecuencias.

Uno de los logros más importantes en este paso del proceso de diseño fue definir la estructura interna del dispositivo. En el modelo anterior muchos de los problemas funcionales tenían origen en la inestabilidad de la carcasa, es por ello que en esta iteración tener una estructura robusta es fundamental para la configuración del objeto y por lo tanto para su estética. Además, la estructura se diseñó de tal manera que pudiera existir una secuencia de armado que facilitara la conexión de los componentes y el ensamble de las piezas.

Otra de las ventajas que esta propuesta tiene sobre la versión anterior son las aberturas de ventilación, que también fungen como detalle decorativo. En esta primera propuesta su forma remite a la silueta de una onda, aunque posteriormente se optará por patrones no figurativos.

Los materiales principales de esta propuesta son lámina de metal y acrílico. El primero fue seleccionado por su resistencia y durabilidad, mientras que el segundo se utiliza para permitir que los estudiantes observen la bocina al interior del dispositivo con el fin de generar referentes visuales que les ayuden a comprender mejor los temas.

Imagen 27. Render de la progresión de ensamble del generador de vibraciones.





**Imagen 28.** Render de la segunda propuesta de rediseño para el generador de vibraciones y primer rediseño del generador de frecuencias.

## 6.7

### Segunda propuesta

La segunda propuesta incluye al generador de frecuencias y al de vibraciones. Se buscó que ambos dispositivos tuvieran el mismo tamaño, pero que tuvieran características que los diferenciaran uno del otro.

En este punto del proceso aún no se encontraban definidos los controles del dispositivo. Pero se pensaba que el cambio de frecuencia y amplitud sería controlado por una serie de perillas. La frecuencia sería mostrada en un display, tal y como se tenía en el dispositivo anterior.

Al generador de frecuencias se le agregó un par de agarraderas buscando que el objeto comunicara la movilidad de esta parte del equipo. Además de permitir una posición inclinada que facilita el acceso a los controles.

Por razones de durabilidad del producto y para que ambos dispositivos tuvieran el mismo tamaño, se eliminó la pieza de acrílico que poseía el generador de vibraciones en la propuesta anterior.

En esta ocasión se comenzó a experimentar con los colores de los botones para significar su uso, sin embargo, el uso de los colores en la carcasa todavía resulta arbitrario.

**Imagen 29.** Segunda propuesta de rediseño.





## 6.8

### Adopción de los medios digitales

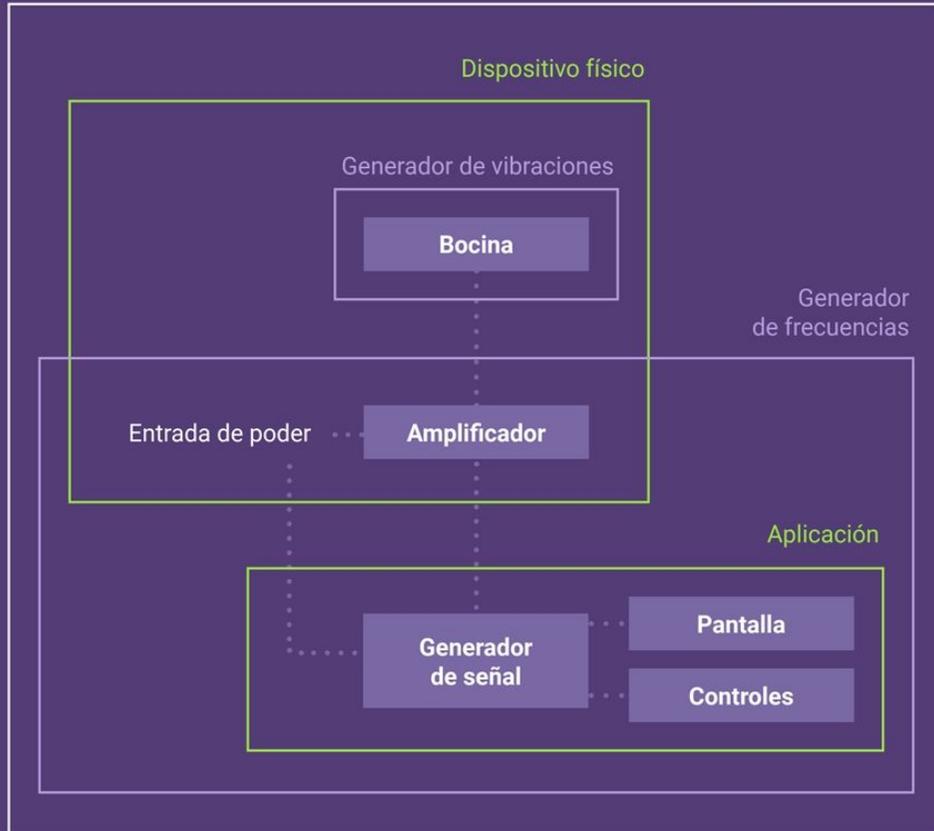
Durante las pruebas con los estudiantes se determinó que se debían modificar los controles del generador de frecuencias para aumentar la resolución y hacer más precisa la selección de frecuencia. Sin embargo, después de platicarlo con los ingenieros involucrados en el proyecto e investigar los componentes electrónicos disponibles en el mercado, se comenzó a considerar que quizás sería más sencillo encontrar una solución alterna a la fuente de señal.

A la par, el contexto de la educación durante la pandemia de COVID-19 presentó nuevos retos que obligaron a repensar el proyecto desde su raíz. En un principio, la incorporación de medios digitales había sido evitada por la importancia que posee la interacción física en la retención de conocimientos. Sin embargo, ante esta nueva realidad, se planteó la idea de que los medios digitales podrían fungir como una alternativa que ayudara a adaptar el material didáctico al contexto vigente.

Actualmente, se prevé que la educación híbrida (presencial + a distancia) se convertirá en la norma durante los próximos años. Ante esa situación, el proyecto no deja de reconocer la importancia de la experiencia presencial pero busca dar alternativas que se adapten al estado actual de la educación. Es decir, no intenta reemplazar los materiales educativos existentes, sino aportarles algo nuevo.

La incorporación de los medios digitales también trae consigo otras ventajas. Por ejemplo: Simplifica la producción y reduce costos al reducir el número de componentes. También responde al interés de los profesores por encontrar maneras de convertir a los celulares en aliados de la educación, en vez de ser distractores. Y por último, el uso de nuevas tecnologías podría aumentar el interés y motivación de los estudiantes.

Dispositivo original



Versión original —

Primera y segunda propuesta —

Tercera propuesta —

**Figura 25.** Gráfico que muestra los componentes electrónicos esenciales del proyecto y la manera en la que han sido agrupados en cada propuesta.

## Modificación de la fuente de señal

El dispositivo anterior contenía todos los componentes en una sola carcasa. Después de hacer la prueba con los estudiantes se descubrió que por razones ergonómicas y funcionales se debía separar en dos dispositivos: El generador de vibraciones y el de frecuencias. El primero se mantendría fijo a la mesa durante la experimentación y el segundo podría ser movido para que cada estudiante tuviera la oportunidad de manipularlo.

El carácter estético de cada uno debía comunicar estas características, es decir, el generador de vibraciones sería más grande y pesado, mientras que el de frecuencias invitaría al usuario a manipularlo y pasarlo entre los participantes. Sin embargo, por los componentes que cada uno debía contener, el tamaño del generador de frecuencias tendía a ser siempre mayor. Esta fue otra de las razones por las cuáles se decidió reemplazar el generador de frecuencias por una aplicación móvil.

En la propuesta final la fuente de señal proviene del teléfono móvil en tanto que el dispositivo físico contiene los componentes para amplificar y reproducir la señal. El control de la onda se manipula a través de la interfaz digital, lo cual elimina la necesidad de perillas o botones físicos, a la vez que simplifica la producción y reduce costos.

El siguiente diagrama muestra de manera simplificada la división de componentes para cada una de las propuestas:



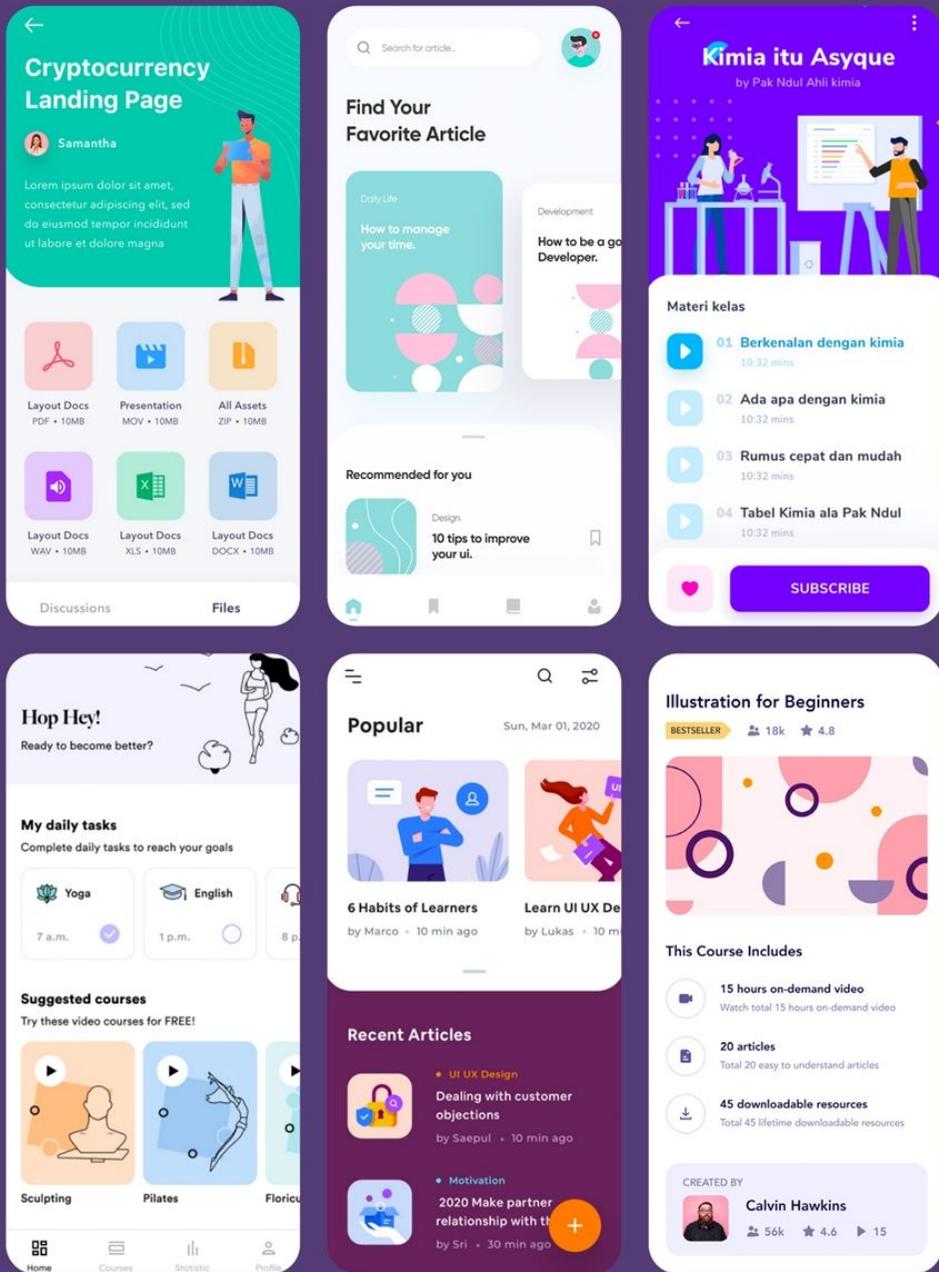
< Imagen 30. Capturas de pantalla de algunas aplicaciones diseñadas para generar frecuencias.

## Análogos

Se buscaron aplicaciones que funcionaran como generador de frecuencias para conocer diferentes opciones de presentar la información y controlar la señal. Se descubrió que muchas de ellas poseían características más avanzadas de lo que se requiere para su aplicación en este material didáctico. Algunas pueden, por ejemplo, reproducir dos señales al mismo tiempo o variar la forma de la onda. Sin embargo, también se encontraron algunas funciones que el modelo físico no sería capaz de tener y representan una mejora, por ejemplo: marcar una frecuencia o seleccionarla a través de entrada numérica.

La manera en la que se modula la frecuencia varía de una aplicación a otra. En algunos casos se utilizan barras de selección, en otros perillas y en otros gestos de desplazamiento sobre la pantalla. Otros controles comunes son botones para parar la señal o para modificar la frecuencia por pasos de un sólo Herz.

Algunas aplicaciones presentan gráficos para simular el movimiento de la onda y en ocasiones la forma se modifica para simular el cambio de frecuencia. En términos de aprendizaje, esto puede ser una herramienta de gran ayuda para que el estudiante comprenda en términos concretos los conceptos teóricos y para facilitar su entendimiento del dispositivo.



< **Imagen 31.** Imágenes de inspiración para definir la estética de la parte digital del proyecto.

## Homólogos

Se buscaron ejemplos de aplicaciones cuya función no fuera necesariamente la misma que la de la aplicación a desarrollar, pero que pudieran servir como referencia para el gráfico y la estructura de los contenidos.

De estas imágenes se extrajeron ideas para los tipos de navegación y detalles gráficos que utilizará la aplicación, por ejemplo:

- Listados horizontales para agrupar información.
- Un menú para las secciones principales en la parte inferior.
- Menú de opciones en la esquina superior izquierda.
- Colores vibrantes contrastando con fondos blancos.
- Cabezales y botones con ilustraciones referentes al tema.
- Cabezales con título e introducción a la sección.
- Personalización al perfil del alumno.
- Plegas simulando pestañas para el desplazamiento vertical.
- Tipografías sans serif en diferentes pesos para cada uso.
- Imágenes con patrones abstractos como decoración.

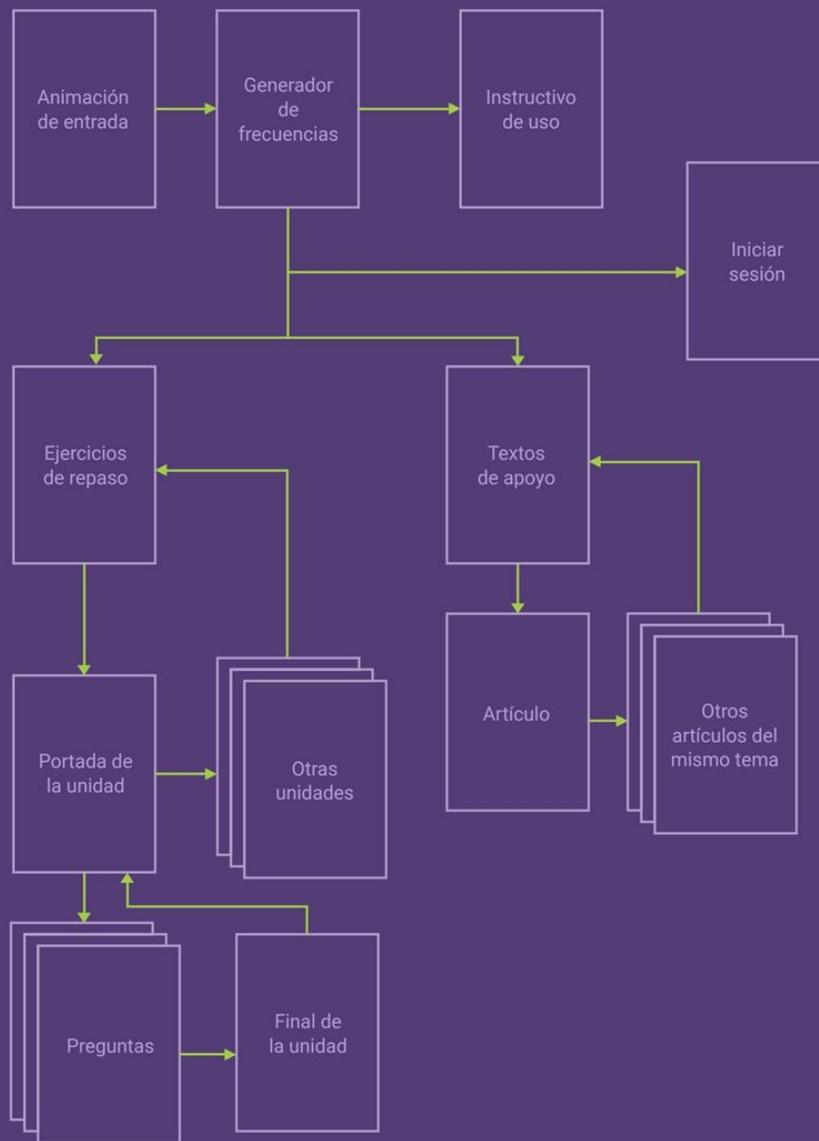
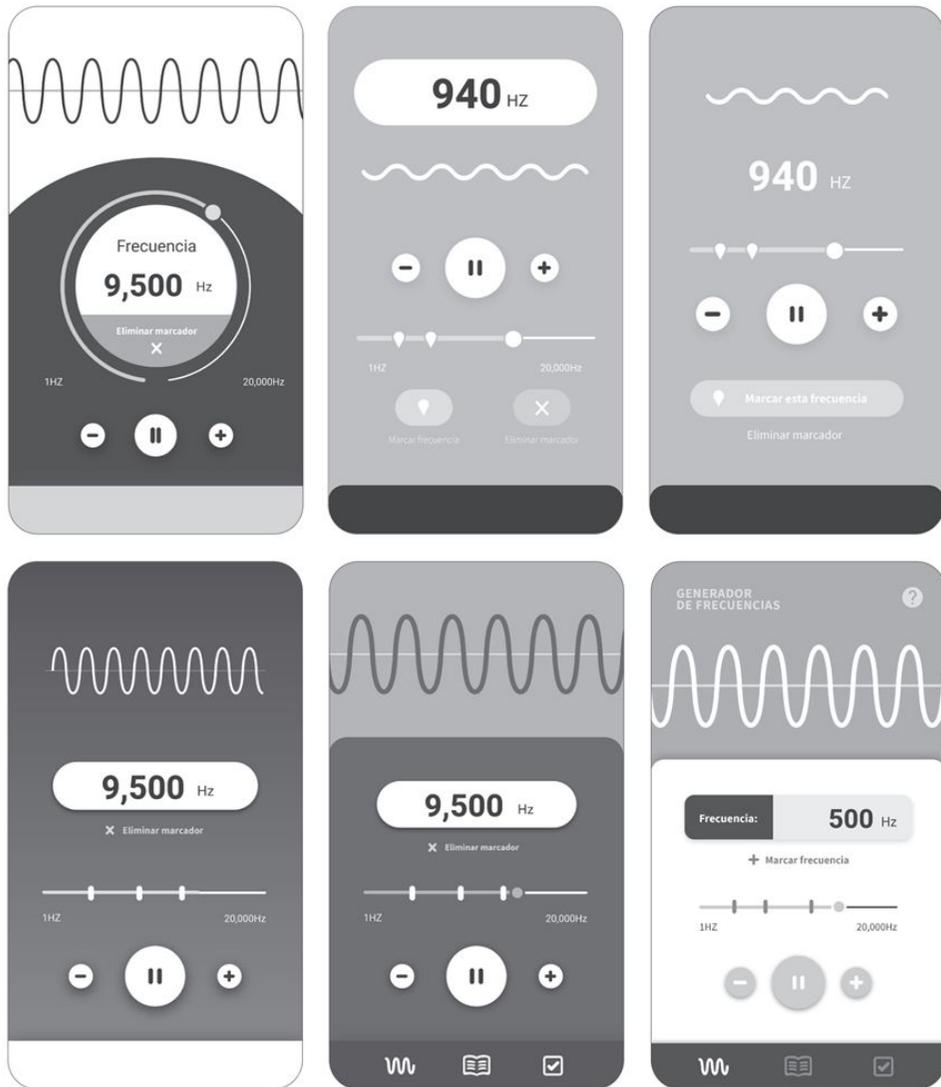


Figura 26. Estructura básica de contenidos de la aplicación.

## Contenidos de la aplicación y "wireframes"

Como se comentó anteriormente, se buscó que el uso de los medios digitales no fuera sólo un cambio arbitrario sino una forma de complementar y mejorar al material didáctico. Por ello, además de sustituir al generador de frecuencias, se le agregaron las secciones de 'textos de apoyo' y 'ejercicios de repaso'. Las cuales ayudarán al estudiante a comprender los temas y asentar los conocimientos.

Para generar la estructura de la aplicación, se hizo un listado de los contenidos que debía poseer cada una de las secciones y posteriormente se realizaron bocetos y esquemas que detallaran las características y vínculos de cada una de las páginas. Durante este proceso se mantuvo el enfoque en la experiencia del usuario como guía para tomar las decisiones de diseño. Los 'wireframes' sirvieron para prever todas las rutas que el usuario podría seguir y de esta manera generar los botones y vínculos necesarios. Por otro lado, los bocetos fueron útiles para decidir qué textos, imágenes y botones debía poseer cada pantalla.



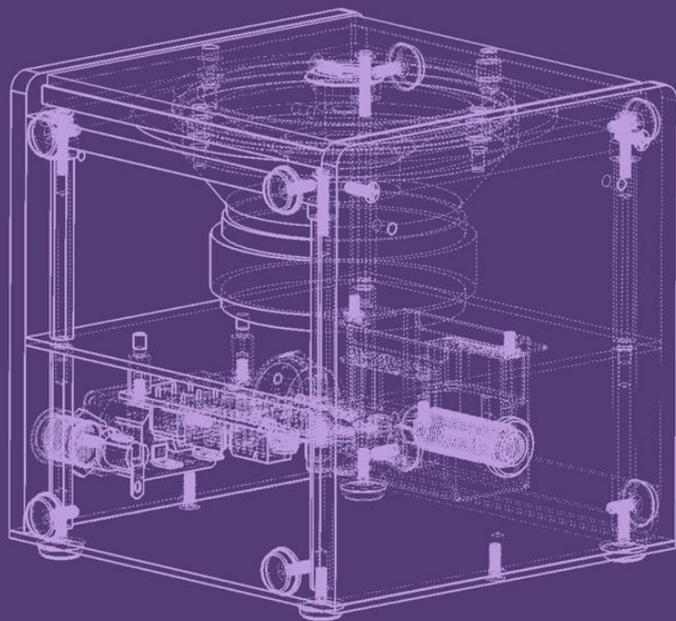
< **Imagen 32.** Capturas de pantalla de los primeros prototipos de interfaz para el generador de frecuencias.

## Prototipos

Tomando como referencia los diagramas y bocetos realizados en el paso anterior, se generaron prototipos de alta resolución utilizando el software Adobe XD. El proceso de prototipado fue un proceso iterativo para asegurar que la aplicación tuviera todas las funciones requeridas y que su estética se adaptara a la del objeto físico.

Durante este paso fue importante diseñar cada componente de la aplicación de manera que se adaptara al lenguaje visual y de interacción de las interfaces modernas, con el fin de que el usuario pueda comprender intuitivamente el funcionamiento y estructura de la aplicación.

Se realizaron previzualizaciones de cada tipo de pantalla que contendría la aplicación, los cuales serán expuestos en el capítulo siguiente.



**Imagen 33.** Vista X-ray de la versión final del generador de vibraciones.

## 6.9

### Tercer propuesta

Después de decidir eliminar el controlador y reemplazarlo por una aplicación, inició el proceso de rediseñar el material didáctico como un solo dispositivo. Para ello se utilizaron todas las actividades descritas en secciones anteriores de este capítulo, es decir: bocetos, modelos volumétricos y modelado digital. El diseño fue adaptado a la estética de la aplicación con el fin de que existiera una correspondencia estética entre los dos.

Al igual que con las propuestas anteriores, se comenzó por modelar la carcasa del dispositivo, posteriormente se agregaron los componentes internos y finalmente se modelaron los accesorios. Para terminar, se diseñó el contenedor en el que se almacenará el material didáctico.

En el siguiente capítulo se presentarán las características y logros de la propuesta final.



7

**Propuesta  
final**



**Imagen 34.** Vista final del proyecto.  
Generador de vibraciones controlado por la aplicación móvil.

## 7.1 Kit de Ondas

El Kit de Ondas es un material didáctico para el aprendizaje significativo de los temas de vibraciones y resonancia a nivel bachillerato.

Se compone de dos partes: una física y otra digital. La primera se trata de un contenedor que incluye al dispositivo denominado “Generador de vibraciones” y los accesorios para la experimentación con el dispositivo. La parte digital se trata de una aplicación móvil que funge como “Generador de Frecuencias” a la vez que aporta textos de apoyo y ejercicios de repaso para complementar el aprendizaje.

Está diseñado de acuerdo a los programas educativos de la materia de física de sexto semestre de la Escuela Nacional Preparatoria y cuarto semestre del Colegio de Ciencias y Humanidades. Sirve para el estudio de los conceptos básicos sobre ondas (como su definición y partes), así como algunos fenómenos relacionados con las vibraciones.

## ¿Cómo funciona?

En su interior, el generador de vibraciones posee una bocina con un poste adherido al centro de su cono. Desde una aplicación se controla un 'generador de frecuencias' para que la bocina reproduzca una señal senoidal constante, haciendo que el poste se desplace verticalmente. En la parte superior del poste se pueden ensamblar los diferentes accesorios incluidos en el material didáctico para hacerlos vibrar y presenciar diferentes fenómenos ondulatorios.



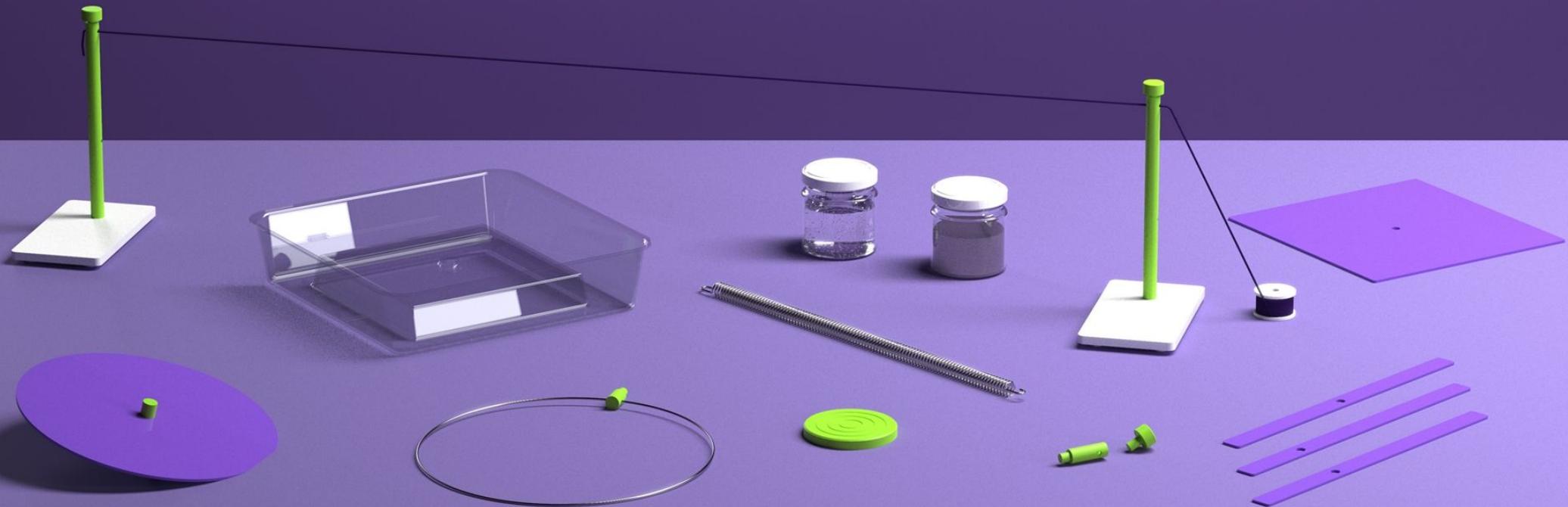
Imagen 35. Generador de vibraciones conectado a dispositivo móvil.

Imagen 36. Accesorios incluidos en el Kit de ondas.

## 7.2

### Accesorios

El *Kit de Ondas* incluye accesorios para realizar 6 experimentos diferentes: Cuerda, muelle, láminas concéntricas, aro, placas de Chladni y burbujas. La secuencia de los accesorios está diseñada para realizar un aprendizaje progresivo de los conceptos teóricos. A continuación se explicará cómo funciona cada uno de ellos y los temas que cada uno ayuda a aprender:



## Cuerda

### Piezas requeridas

Hilo / Poste con base / Poste con ojal para bocina

### Preparación del experimento

Los postes están diseñados para poder fijarse con las prensas disponibles en los laboratorios de preparatoria. Primero se montan los postes a cada extremo de la mesa y se coloca entre ellos el generador de vibraciones. Se ensarta el hilo por el ojal de uno de los postes, se pasa por el ojal del poste ensamblado a la bocina y se extiende hasta el ojal del segundo poste. Se fija la cuerda atornillando la pieza en el extremo superior del poste de la bocina. Finalmente, se tensa la cuerda entre los dos postes. Esto se puede hacer atornillando ambos seguros en la parte superior de los postes o atando un peso a uno de los extremos de la cuerda.

### Experimentación

Es el experimento inicial por ser el más simple y el más útil para enseñar los nombres de cada parte de la onda. Al activar el generador de frecuencias, el poste ensamblado al generador de vibraciones comienza a vibrar de arriba a abajo, enviando energía a través de la cuerda hasta el extremo fijo unido al poste con base.

El estudiante debe encontrar la frecuencia a la cual ocurre el fenómeno de resonancia y se genera una onda estacionaria en el sistema. Mediante la observación de la onda estacionaria el alumno puede apreciar y enunciar las partes de la onda. Posteriormente, se pueden buscar las otras frecuencias a las que el sistema genera una onda estacionaria y comparar, tanto cualitativa como cuantitativamente, la relación entre el número de nodos, la frecuencia y la longitud de la cuerda.

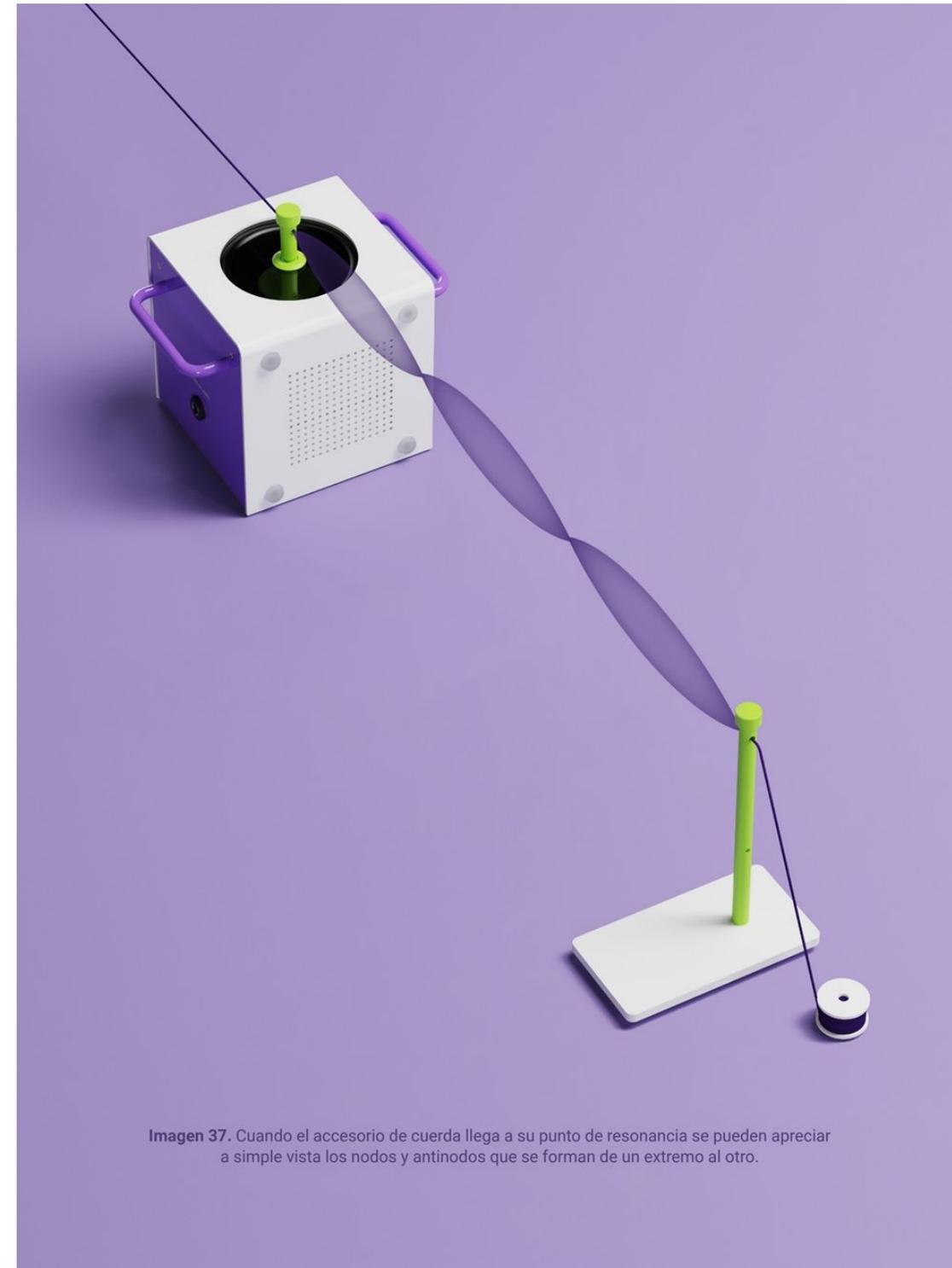


Imagen 37. Cuando el accesorio de cuerda llega a su punto de resonancia se pueden apreciar a simple vista los nodos y antinodos que se forman de un extremo al otro.

## Muelle

### Piezas requeridas

Poste con base / Muelle / Poste con ojal para bocina

### Preparación del experimento

Se monta el generador de frecuencias en su posición lateral. Se atornilla el poste con ojal al eje de la bocina. Se inserta el extremo del muelle por el ojal y se ajusta en su lugar utilizando el tornillo en la parte superior del poste. Posteriormente se inserta el otro extremo del muelle en el ojal inferior del poste con base. Éste debe fijarse a la mesa de manera que el muelle quede tenso, pero sin llevarlo a su extensión máxima.

### Experimentación

Después de experimentar con el hilo, el muelle permite al estudiante comparar las diferencias entre las ondas transversales y longitudinales.

Las ondas viajan a través del resorte hasta llegar al poste contrario. Al igual que con la cuerda, se puede encontrar la frecuencia de resonancia para generar ondas estacionarias y estudiar sus características.

El principal aporte educativo de este experimento es que aporta un modelo tangible mediante el cual los estudiantes pueden reflexionar sobre las ondas longitudinales y transversales, además de ser un referente visual a fenómenos intangibles como las ondas electromagnéticas.



Imagen 38. El generador de vibraciones se puede montar lateralmente para estudiar las ondas longitudinales que actúan sobre un muelle.

## Láminas concéntricas

### Piezas requeridas

3 láminas metálicas / Poste para bocina

### Preparación del experimento

Se atornilla el poste para la bocina al generador de vibraciones. Se insertan en el poste las 3 láminas metálicas. Se acomodan de tal forma que no choquen entre sí y se fijan atornillando la tapa del poste.

### Experimentación

Debido a las diferencias de longitud entre las láminas, su punto de resonancia se encontrará a diferentes frecuencias y variará la distancia entre sus nodos. Cada lámina puede ser medida con una regla para traducir estas observaciones en datos numéricos y comprender la relación numérica entre longitud de onda, frecuencia y resonancia.



Imagen 39. Láminas concéntricas sobre el generador de vibraciones.

## Aro

### Piezas requeridas

Aro

### Preparación del experimento

Sólo se necesita atornillar el aro al eje de la bocina.

### Experimentación

El aro se deforma al activar la señal del generador de frecuencias. Cuando se encuentra una de las frecuencias resonantes se pueden apreciar los nodos y antinodos que se forman a lo largo del alambre. Al igual que con el accesorio de cuerda, se pueden buscar y comparar las diferentes frecuencias a las que resuena el sistema.

Este experimento enseña al estudiante que las vibraciones no sólo viajan de manera lineal y unidireccional como en el caso de la cuerda, sino que se expanden a lo largo de todo un sistema. Esto permite la reflexión sobre los tipos de onda de acuerdo a sus dimensiones de propagación.

Imagen 40. Accesorio de aro.



## Placas de Chladni

### Piezas requeridas

Charola contra derrames / Poste para bocina /  
Placa circular o placa cuadrada / Arena

### Preparación del experimento

Se coloca la charola antiderrames encima del generador de vibraciones y se ensambla el poste a la bocina del generador de vibraciones.

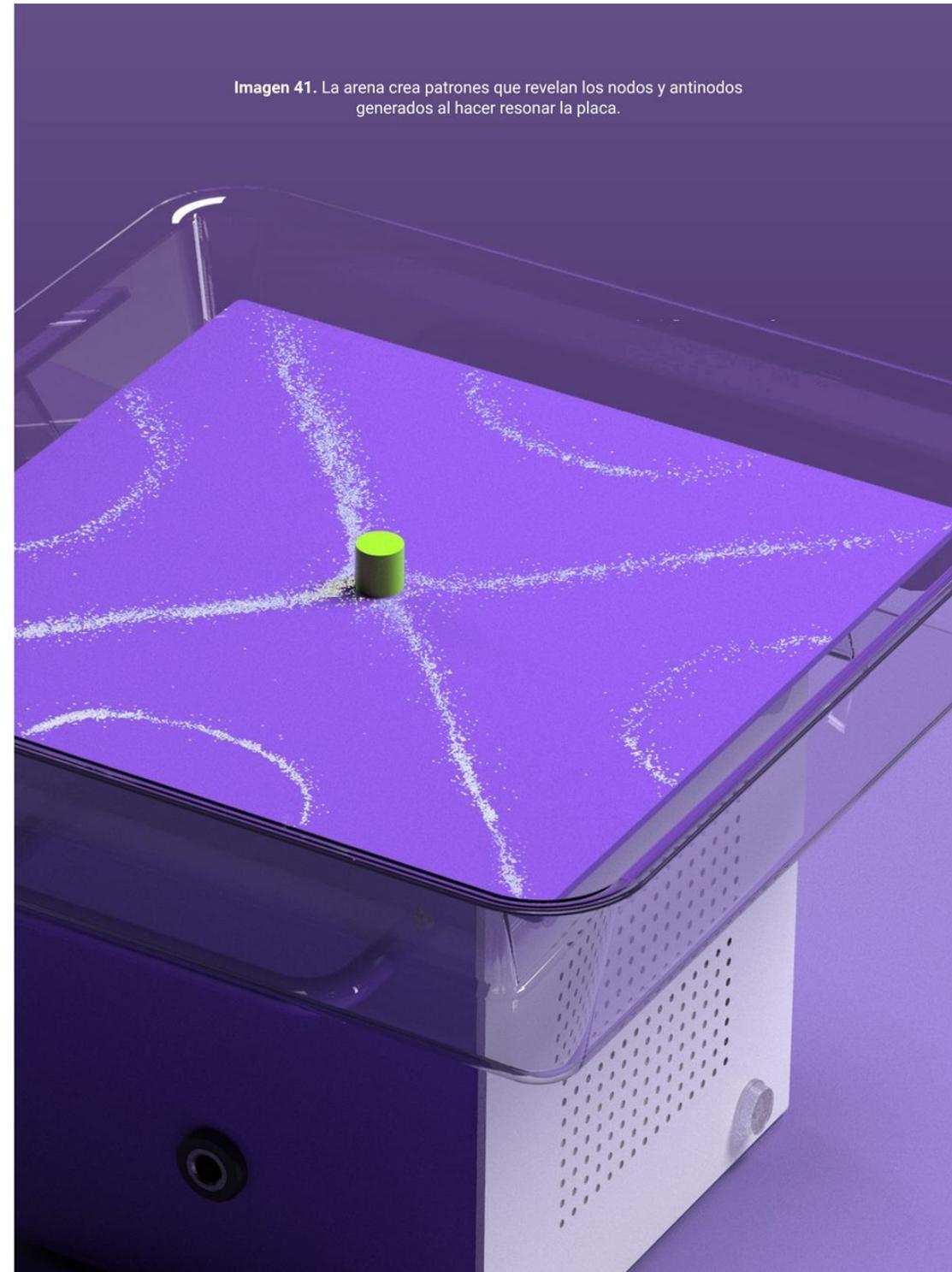
Se posiciona una de las dos placas de Chladni y se fijan con la tapa del poste. Se esparce una pequeña cantidad de arena sobre la placa.

### Experimentación

Las placas de Chladni son uno de los experimentos más llamativos del Kit de Ondas. Cuando se hacen vibrar, la arena se redistribuye sobre la superficie, formando patrones geométricos. Todas las frecuencias producen diferentes patrones de dispersión de la energía, lo cual resulta en diferentes patrones de arena. Modulando la frecuencia en secuencias específicas se pueden generar una variedad infinita de figuras.

Los patrones que dejan las ondas en la arena son un referente visual el cual reitera que las ondas pueden viajar en más de una dirección a través de un sistema. La posibilidad de observar los nodos y antinodos sobre una superficie plana, aumenta la complejidad con la que el estudiante puede comprender los fenómenos ondulatorios.

Imagen 41. La arena crea patrones que revelan los nodos y antinodos generados al hacer resonar la placa.



## Burbujas

### Piezas requeridas

Charola contra derrames / Poste para bocina / Base para burbujas / Solución jabonosa / Popote desechable

### Preparación del experimento

Se coloca la charola antiderrames encima del generador de vibraciones y se atornilla la base para burbujas al poste de la bocina. Antes de comenzar el experimento es importante humedecer la base, para ello se puede utilizar un popote, sumergiéndolo en la solución jabonosa y utilizándolo para esparcir un poco de líquido sobre la superficie de la base. Es importante repetir este último paso cada vez que se crea una nueva burbuja.

Posteriormente, se sumerge y se saca un extremo del popote en la solución jabonosa. Luego se sopla suavemente por el otro extremo para formar una burbuja. Este paso debe ser realizado relativamente cerca del dispositivo, para que cuando la burbuja tenga un tamaño similar al diámetro de la base, ésta se transfiera del popote a la base.

### Experimentación

Las vibraciones se transmiten por toda la película de la burbuja y la deforman. Al igual que con los otros experimentos, se puede encontrar una frecuencia de resonancia para ver su deformación máxima. Se recomienda utilizar un celular con la función de cámara lenta para apreciar a mayor detalle los nodos y antinodos que se forman sobre la burbuja.

El experimento de burbujas es el último de la sucesión de experimentos, ya que exhibe la representación más compleja de onda.



Imagen 42. Generador de vibraciones con accesorio para burbujas y charola contra derrames.

## 7.3

### Apariencia y estética del generador de vibraciones

#### Características generales

La estética del material didáctico se adapta a las tendencias de los materiales STEM para adolescentes.

Los colores seleccionados, tanto para el diseño físico como el digital, son blanco, morado y verde. El contraste entre el blanco y los acentos de colores brillantes buscan encontrar un balance entre la formalidad del equipo de laboratorio y el carácter educativo/juvenil del material didáctico.

El volumen cúbico del dispositivo surge de la necesidad de adaptar su dirección dependiendo del experimento que se realice. Es prácticamente simétrico y su geometría se compone únicamente de formas simples.

Utiliza lenguaje explícito e implícito para denotar la función del dispositivo y conectar de manera emocional con el estudiante.



Imagen 43. Vista del generador de vibraciones.

Imagen 44. Vistas ortogonales del generador de vibraciones.



#### Vista frontal

Las ventilas y los regatones son necesarios por cuestiones funcionales, pero se aprovechan para darle carácter al objeto.

Los regatones están adheridos sobre los tornillos que cierran la carcasa para esconderlos y lograr una apariencia más limpia.

#### Vista superior

El acrílico transparente en la cara superior del dispositivo permite que los alumnos vean la bocina y el eje al interior. Genera un referente visual a otro objeto conocido para facilitar el entendimiento del dispositivo y los conceptos teóricos.

Los acentos en color verde denotan acentos y puntos de contacto. Esta característica se repite también en los accesorios y la aplicación móvil.



#### Vistas laterales

Uno de los laterales contiene la entrada de audio, mientras que la otra contiene la entrada de corriente, el switch y el portafusible. El texto impreso muestra la función de cada componente.

La entrada de audio y la entrada de corriente se encuentran en lados opuestos para evitar que los cables se enreden.

Los tornillos se insertan a paño para reducir su peso visual.

Las agarraderas sobresalen a cada lado de los laterales. Además de cumplir su función de área de contacto al transportar el dispositivo, también dan direccionalidad y carácter visual al objeto.

## 7.4

### Aspectos ergonómicos

Aunque el contacto físico con el generador de vibraciones es muy escaso, se tomaron las consideraciones necesarias para que el dispositivo fuera seguro y fácil de manipular.

Se colocaron regatones antideslizantes en las tres caras que pueden fungir como base, para liberar al estudiante de sujetar el dispositivo mientras experimenta con él. Esto redujo el momento de contacto a sólo cuatro momentos durante toda la experiencia de uso: Extraerlo del contenedor, colocar los accesorios, reposicionarlo sobre la mesa e introducirlo al contenedor. Para que el movimiento del dispositivo se pueda realizar de manera estable y cuidadosa se colocaron agarraderas a cada lado.

El tiempo de contacto con las agarraderas es de apenas unos segundos y el dispositivo es relativamente ligero, por lo cual las agarraderas son una pieza simple (sin relieves que se ajusten a la forma de la manos, recubrimientos antiderrapantes, ni texturas en la zona de contacto).

Naturalmente, debe procurarse la seguridad del usuario. Por tal razón, todas las orillas de lámina han sido redondeadas y todas las piezas metálicas pintadas para prevenir la oxidación.

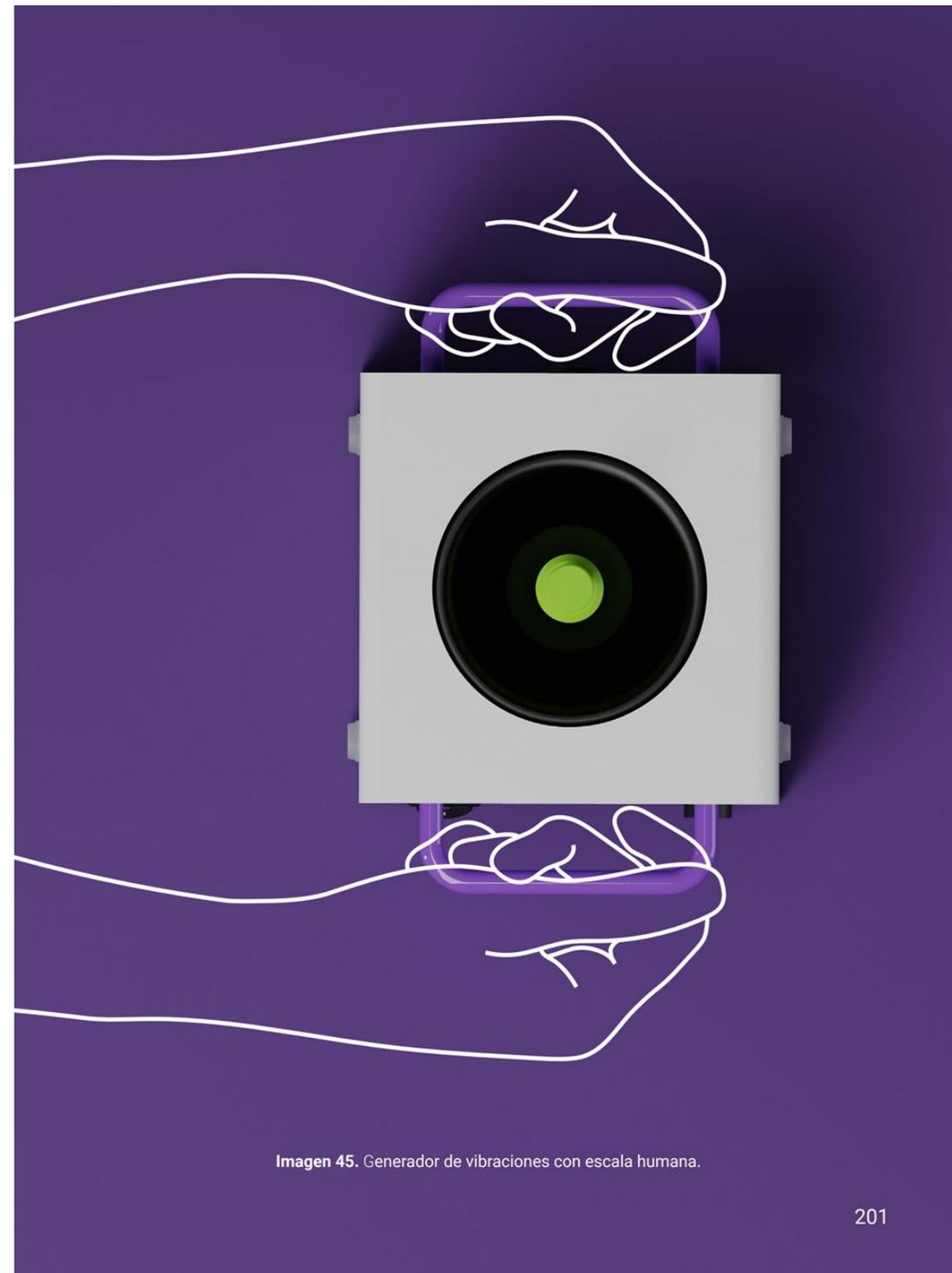


Imagen 45. Generador de vibraciones con escala humana.

## 7.5

### La aplicación móvil

La función principal de la aplicación es generar la señal senoidal para la experimentación con el generador de vibraciones. A la par, proporciona artículos y ejercicios que apoyan el aprendizaje teórico.

Se divide en tres secciones principales: El generador de frecuencias, los textos de apoyo y los ejercicios de repaso.



Imagen 46. Mockup de la aplicación móvil.

## Mapa de los contenidos

A continuación se presenta la estructura de la aplicación. En el diagrama se muestran las rutas posibles para navegar los contenidos.

La primera sección que los estudiantes visualizan cuando abren la aplicación es el generador de frecuencias. Pueden acceder a las otras dos secciones utilizando el menú en la parte inferior de la pantalla. Sin embargo, la primera vez que lo hacen, serán direccionados a la pantalla de inicio de sesión. Más adelante se explicarán las características de cada sección de la aplicación, así como su estructura interna.

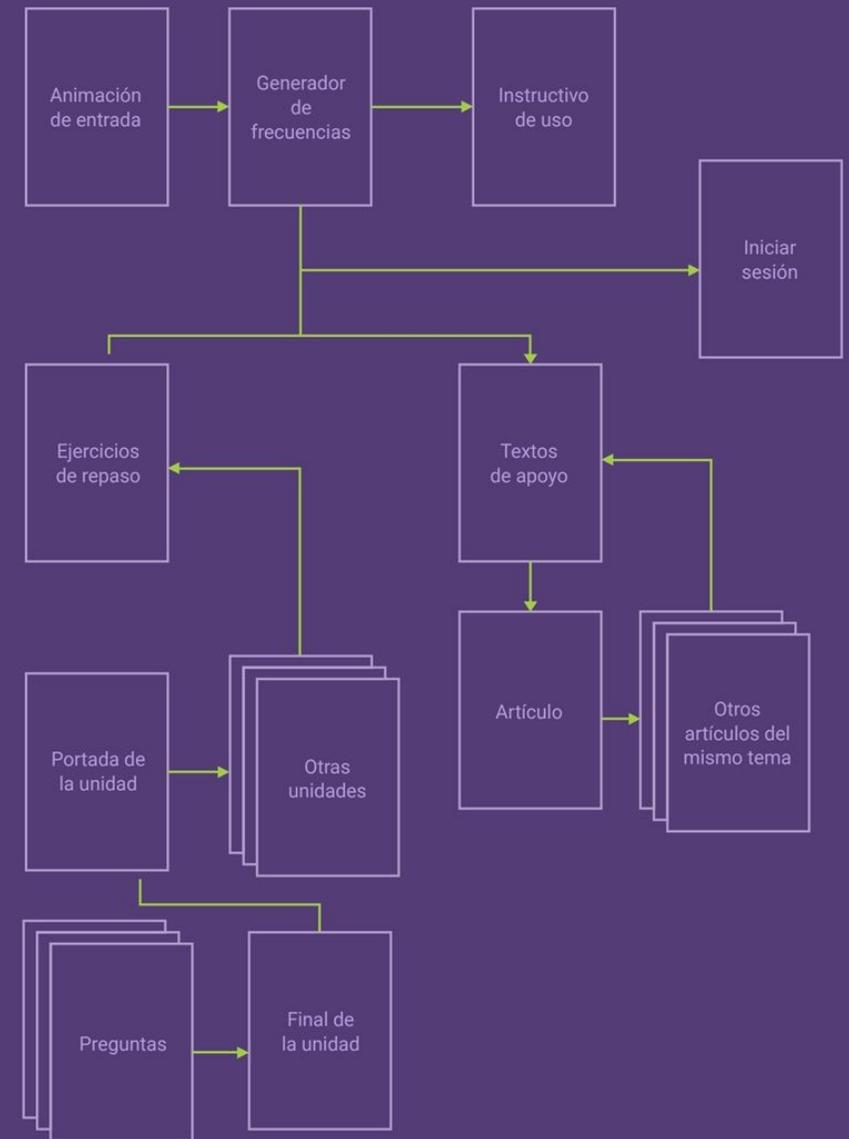


Figura 26. Estructura básica de contenidos de la aplicación.



Imagen 47. Generador de frecuencias.

## Generador de frecuencias

Esta es la primera sección que se muestra al iniciar la aplicación. Se utiliza en conjunto con el generador de vibraciones para realizar los experimentos de ondas en el laboratorio de física. A través de un cable de audio, el generador de frecuencias manda la señal senoidal que hace vibrar a la bocina al interior del generador de vibraciones.

La aplicación muestra el valor de frecuencia en Hercios, así como una animación que simula el movimiento de la onda y cambia de acuerdo a la frecuencia. Mostrando ambos datos se busca que el estudiante logre relacionar los valores numéricos con los conceptos teóricos.

El generador permite cuatro maneras de cambiar la frecuencia:

- Entrada numérica - Al presionar sobre el dato numérico, aparece el teclado y se puede cambiar la frecuencia al valor deseado.
- Barra deslizante - Permite cambiar rápidamente de una frecuencia a otra, arrastrando el marcador horizontalmente. Es útil para modificar la frecuencia de manera rápida, pero menos exacta.
- Pasos de un Hz - Los botones con los símbolos de más y menos permiten aumentar la frecuencia en pasos de un herz. Es especialmente útil para encontrar la frecuencia exacta a la cual resuenan los accesorios.
- Salto a frecuencia marcada - El botón de "Marcar frecuencia" agrega un marcador a la barra deslizante, el cual más tarde puede ser presionado para saltar directamente a la frecuencia registrada.

En la esquina superior izquierda se encuentra un botón para acceder al instructivo del generador de frecuencias.

Imagen 48. Cambio de frecuencia utilizando el teclado numérico.





Imagen 49. Página principal de la sección *Textos de Apoyo*.

## Textos de apoyo

El propósito de los textos de apoyo es que el estudiante tenga una fuente confiable de información que aborde y resuma todos los conceptos teóricos básicos de la lección.

La información presentada está basada en el temario de la ENP y el CCH. Se clasifica en 6 “temas”, incluyendo las explicaciones para los experimentos que se realizarán con el generador de vibraciones.

El desplazamiento vertical permite visualizar todos los temas disponibles, mientras que el desplazamiento horizontal revela todos los artículos disponibles dentro de cada tema.

Imagen 50. Ejemplo del desplazamiento vertical y horizontal dentro de la sección.



Tema 1: Definición de onda



Imagen 51. Ilustraciones desarrolladas para cada artículo.

Tema 2: Tipos de ondas



Tema 3: Elementos de las ondas



Tema 4: Aplicaciones de las ondas



Tema 5: Fenómenos ondulatorios



Laboratorio: Generador de frecuencias



Cada botón en la página principal de los textos de apoyo representa un artículo. A su vez, cada botón contiene el nombre del artículo y una ilustración referente al subtema.

Se busca que el orden de los artículos y las representaciones gráficas ayuden al estudiante a navegar y encontrar la información.

Los artículos comienzan con un cabezal que muestra el título del subtema y la ilustración que los representa. El cuerpo del artículo se compone de texto, el cual puede ir acompañado con imágenes o videos para facilitar el entendimiento de los contenidos.

Los botones al final de la página sirven para desplazarse al artículo siguiente o al anterior dentro del mismo tema. Para regresar al menú y acceder a los artículos de los otros temas se utiliza la flecha de retorno en la esquina superior izquierda.

Imagen 52. Ejemplo del diseño de página de los artículos.





Imagen 53. Página principal de la sección *Ejercicios de Repaso*.

## Ejercicios de repaso

Los ejercicios de repaso son una herramienta tanto para los estudiantes como para los maestros. A los primeros les puede servir para repasar lo visto en clase, quizás para prepararse para un examen. Y para los docentes puede ser una manera de asegurarse que los temas vistos fueron realmente comprendidos.

La página principal de esta sección presenta 7 cuestionarios diferentes: uno para cada tema abordado en los textos de apoyo, uno general con preguntas de todos los temas y uno sobre los experimentos con el generador de vibraciones.

Cada uno de los botones incluye el nombre del cuestionario y el número de preguntas que contiene. En caso de que ya se haya realizado, también muestra la cantidad de aciertos obtenidos.

En la esquina superior izquierda de cada cuestionario se encuentra un botón de 'compartir'. Su propósito es que los estudiantes puedan mandar al profesor sus resultados. Al final de la página existe también un botón para compartir al mismo tiempo todos los resultados.

Imagen 54. Página principal de la sección *Ejercicios de Repaso*.



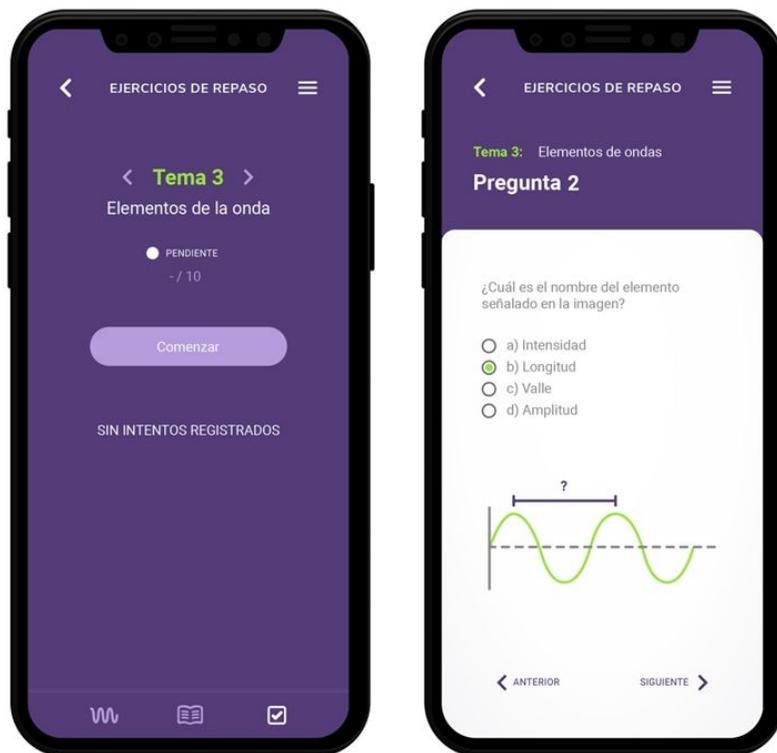
Los botones en la pantalla principal de los ejercicios de repaso conducen a la portada de cada tema. Ésta muestra de nuevo la información básica e indica si ya se han realizado intentos del cuestionario.

A los costados del título del tema existen botones para pasar de un cuestionario a otro sin tener que regresar a la página principal.

Para iniciar se presiona el botón con la leyenda 'Comenzar'. Una vez iniciado se debe acabar por completo el cuestionario para que los resultados se guarden, por lo cual los botones de las otras secciones desaparecen.

Las preguntas del cuestionario son de opción múltiple y pueden contener imágenes o animaciones como apoyo. En la parte inferior se muestran los botones de 'anterior' y 'siguiente' para pasar de una pregunta a otra, con la opción de modificar alguna de las respuestas anteriores.

Imagen 55. Portada del ejercicio y ejemplo de pregunta.



Al finalizar el cuestionario aparece una pantalla de confirmación que felicita al estudiante por haber completado el cuestionario y le muestra la cantidad de respuestas correctas que obtuvo. Posteriormente, la aplicación regresa a la portada del cuestionario, pero ahora muestra el desglose de los resultados. A manera de lista se muestra si se contestó correcta o incorrectamente cada una de las preguntas. Se puede expandir cada etiqueta para mostrar la pregunta, la respuesta correcta y una explicación corta. Que el alumno tenga a su disposición esta información le permite reconocer específicamente qué temas debe continuar estudiando.

Imagen 57. Resultados del ejercicio y explicación de la respuesta correcta.

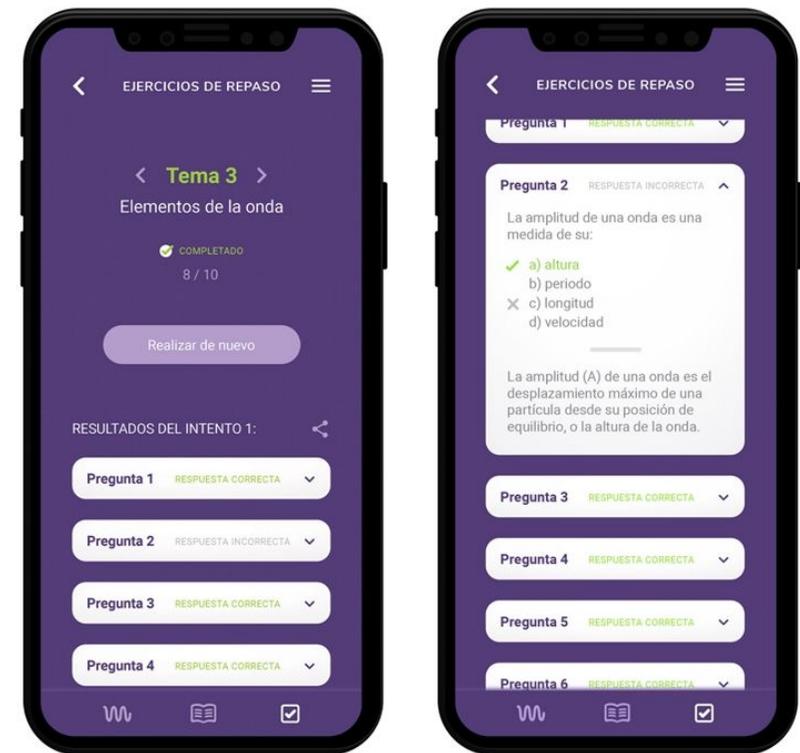




Imagen 58. Página de inicio de sesión.

## Inicio de sesión

La pantalla de inicio de sesión solicita que el alumno ingrese su escuela, su nombre y un código que el profesor le debe suministrar para tener acceso a los textos de apoyo y los ejercicios de repaso. La información obtenida se utilizará para personalizar la aplicación y guardar los resultados de los ejercicios realizados.

El código de acceso se otorgará a cada escuela al momento de adquirir el Kit de Ondas. Esta estrategia busca recopilar información del uso del material didáctico en cada institución y controlar el acceso a los estudiantes de las escuelas que han adquirido el equipo.

Imagen 59. Ejemplo de llenado de datos.



## 7.6

### Diseño de interfaz

El diseño de la aplicación fue basado en el "Material System", un sistema de diseño desarrollado por Google para ayudar a desarrolladores a crear experiencias digitales. El sistema propone estándares para la estructura, las características visuales, los componentes y las interacciones que conforman una aplicación o sitio web.

En su sitio de internet, 'Material' ofrece un gran número de guías, componentes y herramientas para el desarrollo de interfaz, entre las que destacan: biblioteca de iconos estandarizados descargables; recomendaciones sobre las dimensiones y uso adecuado de componentes y símbolos; descripciones y explicaciones sobre el correcto uso de los componentes de la interfaz; guías sobre el uso de tipografías; etcétera.

Al desarrollar una aplicación es importante conocer el lenguaje visual simbólico que las interfaces digitales ocupan en ese momento. De no hacerlo, es probable que el usuario sufra confusión o frustración al utilizar nuestro producto. Por ello, seguir un sistema como el desarrollado por Google, nos pone en el camino correcto para construir una interfaz que ofrezca una buena experiencia de usuario.

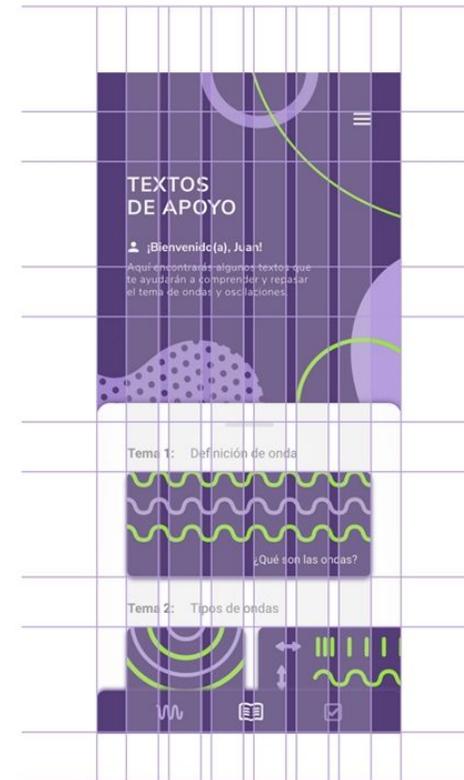


Figura 27. Retícula generada para el diseño de la aplicación.

#### Retícula

La creación de una retícula da orden a los elementos y genera cohesión entre los componentes aunque su forma o dimensiones sean diferentes.

Se utilizó una retícula vertical de 6 columnas por ser una de las más versátiles, pudiendo dividir el espacio en tres componentes de dos columnas, dos de tres o uno sólo de seis. En el eje horizontal también se dividió el espacio para dimensionar algunos botones, pero es importante recordar que estas dimensiones cambian de acuerdo al tamaño del dispositivo que se utilice para visualizar la aplicación.



Figura 28. Paleta de colores de la aplicación.

### Color

Además de remitir a los colores del dispositivo físico, es decir el generador de vibraciones, los colores de la aplicación se utilizan para generar contraste y resaltar información.

La combinación de texto negro sobre fondo blanco se utilizó para las secciones que contienen textos extensos, por ser un contraste que facilita la lectura. Para resaltar botones y dar mayor peso visual al inicio de cada una de las secciones se utilizaron dos tonos diferentes de morado. El verde se utilizó sólo en algunos detalles gráficos o como acento para información importante. Algunos tonos de gris ayudan a dar jerarquía a información secundaria.

### Formas

Al igual que el color, remiten al dispositivo físico y hacen referentes visuales con el mundo material. Los bloques con esquinas redondeadas son un tema que se utiliza y da cohesión a través de toda la aplicación.

### Sombras y degradados

Se utilizaron para crear la ilusión de profundidad dentro de la interfaz. La diferencia de distancia entre los elementos genera jerarquía, además de remitir al usuario a sus experiencias con el mundo tangible, lo cual hace la interacción más intuitiva.

### Tipografía

Se utilizó la tipografía abierta de Google 'Roboto' como fuente principal y Nunito Sans para los capitulares. Se seleccionaron fuentes sans serif, y en particular 'Roboto', porque éstas suelen estar diseñadas para tener un mejor desempeño en medios digitales que las tipografías con serifas.

La escala de tamaño de los caracteres fue determinada utilizando las guías del "Material System". El tamaño de cada componente responde a una jerarquía, diferenciando información de diferente importancia, pero dando cohesión a través de todas las secciones de la aplicación.

### Iconografía

Se utilizaron iconos estandarizados y otros hechos particularmente para la aplicación. Se buscó que todos tuvieran un mismo peso visual a pesar de la diferencia entre sus formas y tamaños. También fue importante que fueran simples y con el menor número de elementos para que fueran reconocibles a pesar de su tamaño.

Scale Category	Typeface	Weight	Size	Case	Letter spacing
H1	Roboto	Light	96	Sentence	-1.5
H2	Roboto	Light	60	Sentence	-0.5
H3	Roboto	Regular	48	Sentence	0
H4	Roboto	Regular	34	Sentence	0.25
H5	Roboto	Regular	24	Sentence	0
H6	Roboto	Medium	20	Sentence	0.15
Subtitle 1	Roboto	Regular	16	Sentence	0.15
Subtitle 2	Roboto	Medium	14	Sentence	0.1
Body 1	Roboto	Regular	16	Sentence	0.5
Body 2	Roboto	Regular	14	Sentence	0.25
BUTTON	Roboto	Medium	14	All caps	1.25
Caption	Roboto	Regular	12	Sentence	0.4
OVERLINE	Roboto	Regular	10	All caps	1.5

Figura 28. Escala de estilos tipográficos utilizados en la aplicación.

**Se adapta al estudiante**

El kit de ondas toma en cuenta las características psicológicas de los estudiantes y se adapta a sus capacidades intelectuales para presentar la información de una manera lógica y digerible para ellos. Los experimentos facilitan la comprensión de la información mediante representaciones tangibles del fenómeno físico.

**Promueve el aprendizaje progresivo de los contenidos**

Mediante el uso de los accesorios se pueden presentar diversos fenómenos ondulatorios que guían la reflexión sobre las cualidades de las ondas. De esta manera, a través de la sucesión de experimentos, se va profundizando en la complejidad de los conceptos. Esto no sólo contribuye al aprendizaje significativo, sino que también representa un apoyo para el profesor, pues guía la secuencia de ejercicios y da estructura a la lección.

**Diseñado para fomentar la participación activa**

Con otros materiales didácticos el profesor presenta y manipula el experimento, pero este equipo está diseñado para que los estudiantes construyan el conocimiento individual a través de la actividad en grupo. El apoyo y la guía del profesor siguen siendo importantes, pero la experimentación se convierte en un medio esencial para reforzar los aprendizajes.

**Utiliza la representación multisensorial**

El dispositivo físico da la oportunidad de experimentar el fenómeno de las vibraciones a través de los sentidos del oído, vista y tacto, lo cual propicia la retención de conocimientos a través del aprendizaje significativo. A la par, la aplicación provee al alumno información puntual acerca de los temas y ayuda a concretar las observaciones obtenidas de manera intuitiva durante la experimentación.

**Diseñado para el modelo educativo híbrido**

Ante los cambios que la pandemia de COVID-19 ocasionó sobre el modelo educativo de nuestro país, se replanteó el diseño original del Kit de Ondas para que se pudiera adaptar a las condiciones actuales de la educación. El diseño aún reconoce la importancia de la experimentación directa, sin embargo, también reconoce la necesidad de adaptarse a su contexto. Aún utilizando el material didáctico sin tener acceso a sus componentes físicos, se pretende que el estudiante posea herramientas que le ayuden a comprender los contenidos teóricos a través de la experimentación y con la mayor cantidad de referentes visuales y auditivos posibles.

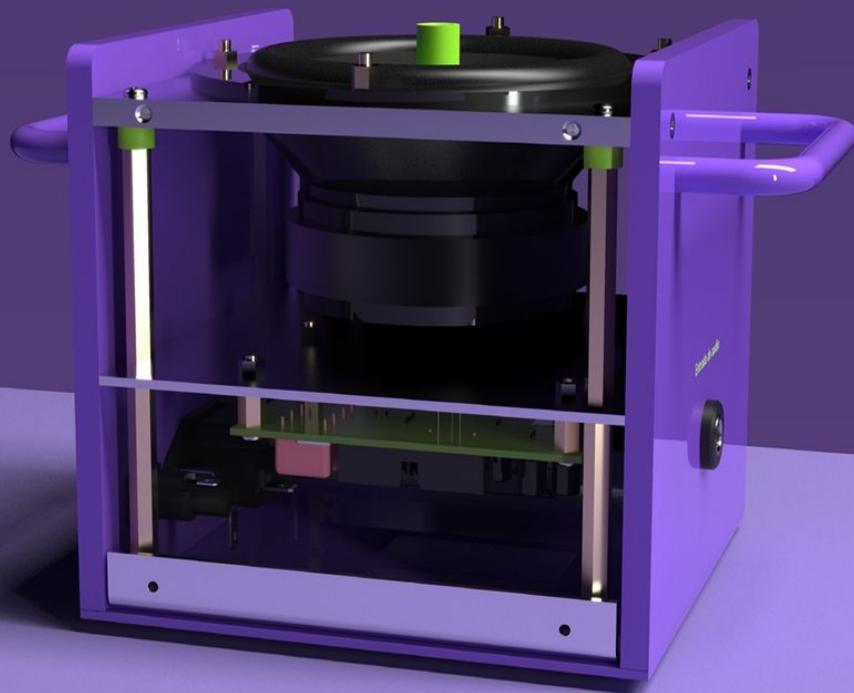


Imagen 60. Generador de vibraciones con circuitos expuestos.

## 7.8

### Aspectos productivos

#### Estructura interna del generador de vibraciones

La correcta función del generador de vibraciones depende de que sea estable, por ello, se le dió gran importancia a generar una estructura que no se deformara y que fuera lo suficientemente pesada para no desplazarse con la vibración de la bocina.

Se utilizó una estructura de postes, los cuales trabajan en sentido perpendicular a la superficie de apoyo y a la bocina.

Se reforzó y se agregó peso al agregar las dos placas de aluminio en los laterales del dispositivo.

Con el mismo propósito, los componentes eléctricos se instalaron en la mitad inferior del generador de vibraciones.

## Secuencia de armado

Con el propósito de facilitar el proceso de producción y aumentar la calidad del producto, se diseñó el generador de vibraciones tomando en cuenta la secuencia en la que se ensamblarán cada una de las piezas.

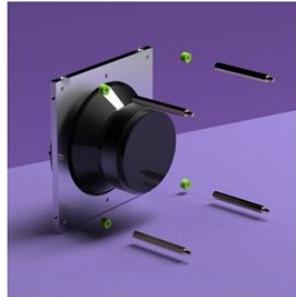
1. Pegar con silicón el eje al centro de bocina.



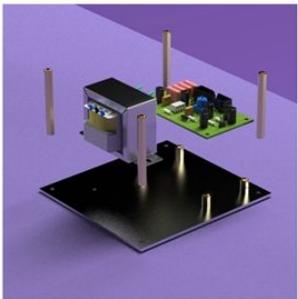
2. Atornillar la bocina a la placa interna utilizando los separadores.



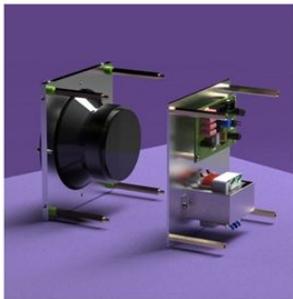
3. Fijar los separadores y los espaciadores a la placa interna.



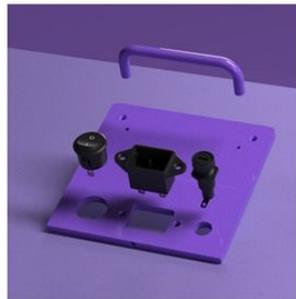
4. Montar los componentes eléctricos y los separadores a la lámina interna.



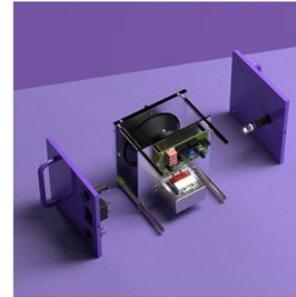
5. Fijar la lámina interna al resto de la estructura.



6. Montar los componentes eléctricos y las agarraderas a las placas laterales.



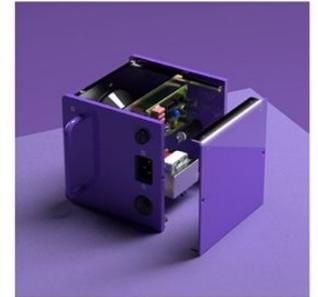
7. Fijar las placas laterales al resto de la estructura.



8. Terminar de soldar los componentes.



9. Fijar las escuadras y la placa inferior a los postes.



10. Pegar los acrílicos y el centrador de eje a los separadores de la bocina.



11. Cerrar la carcasa con la lámina blanca.



12. Pegar regatones.



Imagen 61. Secuencia de armado del generador de vibraciones.

## Sistema de partes

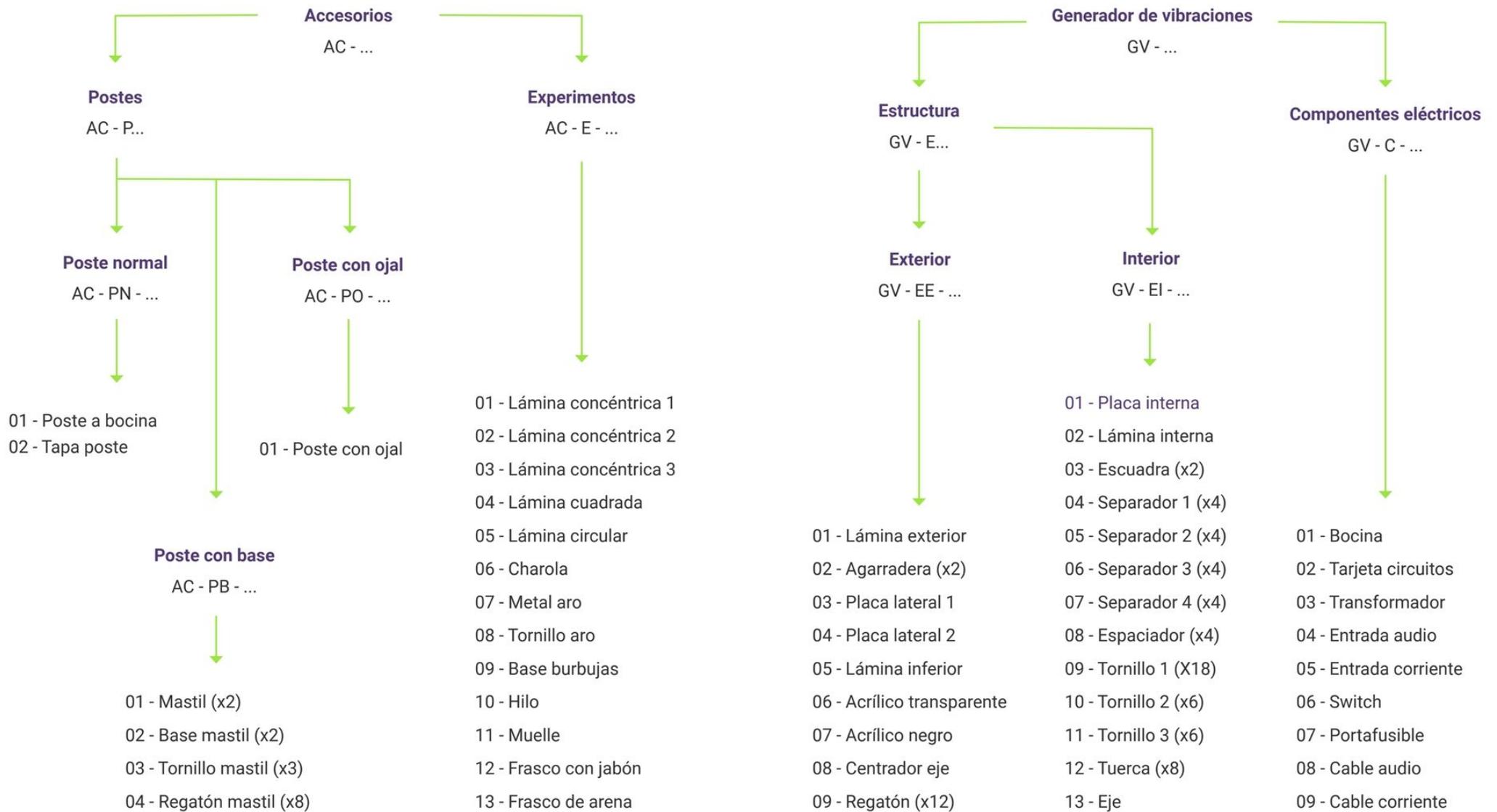


Figura 29. Diagramas de sistemas y partes.

## Tabla de partes, procesos y materiales

	Código	Nombre	Material	Procesos	Acabado
	GV - EI - 01	Placa interna	Placa de aluminio calibre 4	Corte chorro Machuelo Avellanado	-
	GV - EI - 02	Lámina interna	Lámina de aluminio calibre 14	Corte chorro	-
	GV - EI - 03	Escuadra (x2)	Lámina de aluminio calibre 14	Corte chorro Avellanado Doblado	-
	GV - EI - 04	Separador 1 (x4)	Pieza comercial	-	-
	GV - EI - 05	Separador 2 (x4)	Pieza comercial	-	-
	GV - EI - 06	Separador 3 (x4)	Pieza comercial	-	-
	GV - EI - 07	Separador 4 (x4)	Pieza comercial	Torneado	-
	GV - EI - 08	Espaciador (x4)	Nylomaq verde	Torneado	-
	GV - EI - 09	Tornillo 1 cónico M3 8mm (x18)	Pieza comercial	-	-

	GV - EI - 10	Tornillo 2 M3 5mm (x6)	Pieza comercial	-	-
	GV - EI - 11	Tornillo 3 cónico M3 16mm (x6)	Pieza comercial	-	-
	GV - EI - 12	Tuerca M3 (x8)	Pieza comercial	-	-
	GV - EI - 13	Eje	Nylomaq verde	Torneado	-
	GV - EE - 01	Lámina exterior	Lámina de aluminio calibre 14	Corte chorro Avellanado Doblado	Pintura electrostática blanca
	GV - EE - 02	Agarradera (x2)	Barra de metal	Corte Torneado Doblado	Pintura electrostática morada
	GV - EE - 03	Placa lateral 1	Placa de aluminio calibre 4	Corte chorro Machuelo Avellanado	Pintura electrostática morada
	GV - EE - 04	Placa lateral 2	Placa de aluminio calibre 4	Corte chorro Machuelo Avellanado	Pintura electrostática morada
	GV - EE - 05	Lámina inferior	Lámina de aluminio calibre 14	Corte chorro	Pintura electrostática morada
	GV - EE - 06	Acrílico 1	Acrílico transparente 3mm	Corte láser	-
	GV - EE - 07	Acrílico 2	Acrílico negro 5mm	Corte láser	-
	GV - EE - 08	Centrador eje	Nylomaq verde	Torneado	-
	GV - EE - 09	Regatón (x12)	Pieza comercial	-	-
	GV - C - 01	Bocina	Pieza comercial	-	-

	GV - C - 02	Tarjeta circuitos	Pieza comercial	-	-
	GV - C - 03	Transformador	Pieza comercial	-	-
	GV - C - 04	Entrada audio	Pieza comercial	-	-
	GV - C - 05	Entrada corriente	Pieza comercial	-	-
	GV - C - 06	Switch	Pieza comercial	-	-
	GV - C - 07	Portafusible	Pieza comercial	-	-
	GV - C - 08	Cable audio	Pieza comercial	-	-
	GV - C - 09	Cable corriente	Pieza comercial	-	-
	AC - PN - 01	Poste a bocina	Nylomaq verde	Torneado	-
	AC - PN - 02	Tapa poste	Nylomaq verde	Torneado	-
	AC - PO - 01	Poste con ojal	Nylomaq verde	Torneado	-
	AC - PB - 01	Mastil (x2)	Nylomac verde	Torneado	-
	AC - PB - 02	Base mastil (x2)	Placa de aluminio calibre 4	Corte chorro Machuelo	Pintura electrostática blanca
	AC - PB - 03	Tornillo mastil (x3)	Nylomaq verde	Torneado	-

	AC - PB - 04	Regatón mastil (x8)	Pieza comercial	-	-
	AC - E - 01	Lámina concéntrica 1	Lámina de aluminio calibre 16	Corte chorro	Pintura electrostática morada
	AC - E - 02	Lámina concéntrica 2	Lámina de aluminio calibre 16	Corte chorro	Pintura electrostática morada
	AC - E - 03	Lámina concéntrica 3	Lámina de aluminio calibre 16	Corte chorro	Pintura electrostática morada
	AC - E - 04	Lámina cuadrada	Lámina de aluminio calibre 16	Corte chorro	Pintura electrostática morada
	AC - E - 05	Lámina circular	Lámina de aluminio calibre 16	Corte chorro	Pintura electrostática morada
	AC - E - 06	Charola	Lámina de PET	Termoformado	-
	AC - E - 07	Aro	Alambre	Doblado	-
	AC - E - 08	Tornillo aro	Nylomaq verde	Torneado	-
	AC - E - 09	Base burbujas	Nylomaq verde	Torneado	-
	AC - E - 10	Hilo	Pieza comercial	-	-
	AC - E - 11	Muelle	Pieza comercial	-	-
	AC - E - 12	Frasco con jabón	Pieza comercial	-	-
	AC - E - 13	Frasco de arena	Pieza comercial	-	-

## Aproximado de precios

### Cálculo de materiales

Código	Dimensión (mm)	Total
--------	----------------	-------

#### Nylomaq verde 2 1/2"

AC - E - 09	Ø63 x 12	1.2 cm
GV - EI - 13	Ø39 x 23	2.3 cm
Total		3.5 cm

#### Nylomaq verde 3/4"

GV - EE - 08	Ø19 x 10	1.0 cm
AC - PB - 03	Ø15 x 18 (3)	5.4 cm
Total		6.4 cm

#### Nylomaq verde 1/2"

GV - EI - 08	Ø8 x 5	0.5 cm
AC - PN - 01	Ø10 x 31	3.1 cm
AC - PN - 02	Ø10 x 10	1.0 cm
AC - PO - 01	Ø10 x 27	2.7 cm
AC - PB - 01	Ø10x150 (2)	30.0 cm
AC - E - 08	Ø10 x 23 (4)	9.2 cm
Total		46.5 cm

#### Placa de aluminio calibre 4

GV - EI - 01	126 x 118	149 cm <sup>2</sup>
GV - EE - 03	126 x 126	158 cm <sup>2</sup>
GV - EE - 04	126 x 126	158 cm <sup>2</sup>
AC - PB - 02	70 x 130 (2)	182 cm <sup>2</sup>
Total		647 cm <sup>2</sup>

#### Lámina de aluminio calibre 14

GV - EI - 02	126 x 118	148 cm <sup>2</sup>
GV - EI - 03	116 x 25 (2)	58 cm <sup>2</sup>
GV - EE - 01	385 x 130	500 cm <sup>2</sup>
GV - EE - 05	126 x 130	163 cm <sup>2</sup>
Total		869 cm <sup>2</sup>

#### Placa de aluminio calibre 16

AC - E - 01	240 x 15	36 cm <sup>2</sup>
AC - E - 02	240 x 15	36 cm <sup>2</sup>
AC - E - 03	240 x 15	36 cm <sup>2</sup>
AC - E - 04	180 x 180	324 cm <sup>2</sup>
AC - E - 05	180 x 180	324 cm <sup>2</sup>
Total		756 cm <sup>2</sup>

### Costo de materiales

Material	Tamaño estándar	Costo	Material requerido	Porcentaje del estándar	Costo
Placa de aluminio calibre 4	Placas de 122 x 305 cm	\$9540 por placa <sup>73</sup>	647cm <sup>2</sup>	1.7% de placa	\$165
Lámina de aluminio calibre 14	Placas de 122 x 305 cm	\$3445 por placa <sup>73</sup>	869cm <sup>2</sup>	2.3% de placa	\$80
Placa de aluminio calibre 16	Placas de 122 x 305 cm	\$2654 por placa <sup>73</sup>	756 cm <sup>2</sup>	2% de placa	\$53
Nylomaq verde 2.5"	Barra de 61 cm	\$647 por barra <sup>73</sup>	3.5 cm	5.7% de placa	\$37
Nylomaq verde 3/4"	Barra de 61 cm	\$172 por barra <sup>73</sup>	6.4 cm	10.5% de placa	\$18
Nylomaq verde 1/2"	Barra de 61 cm	\$85 por barra <sup>73</sup>	46.5 cm	76.2% de placa	\$65
Barra de metal 3/8"	Varilla de 360 cm	\$200 por barra <sup>74</sup>	27 cm	7.5% de placa	\$15
Acrílico transparente 3mm	Placas de 120 x 240 cm	\$1578 por placa <sup>75</sup>	130 cm <sup>2</sup>	.5% de placa	\$8
Acrílico negro 5mm	Placas de 120 x 240 cm	\$2747 por placa <sup>75</sup>	135 cm <sup>2</sup>	.5% de placa	\$13
Lámina de PET 1.5 mm	Placas de 120 x 240 cm	\$1021 por placa <sup>75</sup>	-	3.1% de placa	\$31
				Subtotal	\$485

### Costo de piezas comerciales

Código	Nombre	Presentación en mercado	Precio en mercado	Cantidad requerida	Costo
GV - EI - 04	Separador 1	20 pz <sup>76</sup>	\$225	4pz	\$45
GV - EI - 05	Separador 2	10 pz <sup>77</sup>	\$157	4pz	\$62
GV - EI - 06	Separador 3	50 pz <sup>78</sup>	\$169	4pz	\$14
GV - EI - 07	Separador 4	50 pz <sup>79</sup>	\$208	4pz	\$17
GV - EI - 09	Tornillo 1	100 pz <sup>80</sup>	\$191	18pz	\$34
GV - EI - 10	Tornillo 2	100 pz <sup>81</sup>	\$199	6pz	\$12
GV - EI - 11	Tornillo 3	100 pz <sup>82</sup>	\$265	6pz	\$16
GV - EI - 12	Tuerca	100 pz <sup>83</sup>	\$49	8pz	\$3
GV - EE - 09	Regatón	100 pz <sup>84</sup>	\$260	20pz	\$52
GV - C - 01	Bocina	1 pz <sup>85</sup>	\$302	1pz	\$302
GV - C - 03	Transformador	1 pz <sup>86</sup>	\$160	1pz	\$160
GV - C - 04	Entrada audio	10 pz <sup>87</sup>	\$182	1pz	\$18

GV - C - 05	Entrada corriente	10 pz <sup>88</sup>	\$182	1pz	\$18
GV - C - 06	Switch	50 pz <sup>89</sup>	\$628	1pz	\$13
GV - C - 07	Portafusible	20 pz <sup>90</sup>	\$546	1pz	\$27
GV - C - 08	Cable audio	50 pz <sup>91</sup>	\$1113	1pz	\$22
GV - C - 09	Cable corriente	1 pz <sup>92</sup>	\$99	1pz	\$99
AC - E - 12	Frasco	24 <sup>93</sup>	\$648	2pz	\$54

Subtotal \$968

### Costo total de piezas y materiales

Subtotal de materiales	\$485
Subtotal de piezas comerciales	\$968

Total \$1453



# 8

## Conclusiones

## 8.1

### Conclusión

Al comenzar esta tesis se planteó como uno de los objetivos principales que el rediseño del generador de frecuencias respondiera a las necesidades de su contexto educativo. Nunca se pensó que durante la realización del proyecto, el contexto educativo cambiaría tan drásticamente a nivel global. Los sucesos relacionados con la pandemia de COVID-19 obligaron a tomar en consideración nuevos factores, repensar el diseño del objeto y, en cierto sentido, replantear el proyecto en sí. Sin embargo, las dificultades no evitaron que se concluyera el proyecto y, por el contrario, trajeron consigo grandes aprendizajes que aportan profundidad y complejidad al diseño final.

Uno de los cambios más significativos ocasionados por esta circunstancia fue la incorporación de la tecnología digital. Ésta posibilidad no había sido considerada e incluso había sido descartada al inicio del proyecto. Sin embargo, a través del estudio de las teorías del aprendizaje significativo, logró integrarse de manera que no sólo permite al producto final adaptarse al nuevo contexto de la educación, sino que apoya al estudiante para facilitar su aprendizaje. En términos de diseño de material didáctico, esto demuestra que el uso de tecnología puede contribuir ampliamente a la educación, siempre y cuando dichas tecnologías sean pertinentes para el contexto y estén al servicio de la educación.

Otro de los aprendizajes obtenidos durante la realización de esta tesis, fue la de la importancia del trabajo multidisciplinario para el desarrollo de material didáctico. Durante la investigación realizada de manera individual pude corroborar la gran cantidad de aspectos que involucra el diseño de material didáctico y que sobrepasan al área de experiencia del diseñador industrial. Gracias al Seminario de Desarrollo de Material Didáctico organizado por el Instituto de Ciencias y Tecnología de la UNAM pude obtener apoyo y orientación en áreas como Física, Educación y Electrónica. La colaboración de los expertos presentes en el seminario fue de gran aportación y considero que esta experiencia puede servir de ejemplo para otras personas interesadas en desarrollar un proyecto similar.

Actualmente, debido al cierre de las instalaciones de la UNAM, existen todavía algunos detalles de producción y comercialización que deben ser resueltos antes de poder comenzar con el proceso de producción, por lo cual no se puede descartar la posibilidad de que aún se deban llevar a cabo algunas pequeñas modificaciones al diseño expuesto en este documento. Sin embargo, este es el primer paso para poder alcanzar la meta de llevar un material didáctico de calidad a los bachilleratos de la UNAM. Más allá del estado de la producción, una de las metas principales fue comprender los beneficios y características del material didáctico de manera que pudiera servir como guía para su creación. Al concluir esta tesis, considero que la forma en la que fue abordado el tema, es decir, a través de la creación de un marco teórico basado en el aprendizaje significativo y su traducción a los aspectos de diseño, puede servir de guía o por lo menos de punto de partida para otros diseñadores interesados en la creación de material didáctico.

En términos más generales y optimistas, espero que este documento pueda contribuir, en mayor o menor medida, a cultivar una industria de producción de material didáctico en México con el propósito de mejorar la calidad de la educación y por consiguiente la calidad de vida en nuestro país.

# 9

## Anexos

## 9.1

### Referencias

1. Moran, M. Objetivos de desarrollo sostenible. Objetivo 4: Educación. Organización de las Naciones Unidas <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>.
2. Educación de calidad: Porqué es importante. (2015).
3. Morales Muñoz, P. A. Elaboración de Material Didáctico. (Red Tercer Milenio, 2012).
4. Marquès Graells, P. Los Medios Didácticos. Universidad de Barcelona <https://orion2020.org/archivo/docencia/05%20Medios%20didacticos.htm> (2004).
5. Sarmiento Santana, M., González Soto, Á. P., Universitat Rovira i Virgili, & Departament de Pedagogia. La Enseñanza de las Matemáticas y las Nuevas Tecnologías de las Información y Comunicación. Una estrategia de Formación Permanente. (Universitat Rovira i Virgili, 2007).
6. Area Moreira, M. Los Medios de Enseñanza: Conceptualización y Tipología. Web de Tecnología Educativa - Universidad de la Laguna (2000).
7. Bartolomé, M. G. Selección, Elaboración, Adaptación y Utilización de Materiales, Medios y Recursos Didácticos en Formación Profesional para el Empleo. (Tutor Formación, 2018).
8. Aznar, M. S. S., Giménez, I., Fanlo, A. J. & Marcén, J. F. E. El mapa conceptual: Una nueva herramienta de trabajo. Diseño de una práctica para Fisiología. in 90 (Universidad de Zaragoza, 2007).
9. Shepherd, C. A Brief History of Instructional Technology and the Ideas Affecting It. Found. Instr. Technol. (2007).
10. Zabalza, M. Á. Fundamentación de la didáctica y el conocimiento didáctico. in Didáctica-Adaptación. El Currículo: Fundamentación, diseño, desarrollo y evaluación. (eds. Medina, A. & Sevillano, M. L.) 85–220 (Universidad Nacional de Educación a Distancia, 1990).
11. Elementos de la comunicación. Proyecto Cíceros [http://recursos.cnice.mec.es/lengua/profesores/eso1/t1/teoria\\_1.htm](http://recursos.cnice.mec.es/lengua/profesores/eso1/t1/teoria_1.htm).
12. Diccionario de Etimologías. Diccionario de Etimologías <http://etimologias.dechile.net/?aprender>.
13. Ballester Vallori, A. El Aprendizaje Significativo en la Práctica. in 192 (Seminario de Aprendizaje Significativo, 2002).
14. ASALE, R.- & RAE. interpretar | Diccionario de la lengua española. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario (2019).
15. Ausubel, D. Significado y aprendizaje significativo. in Psicología Educativa. Un punto de vista cognoscitivo. 53–106 (Trillas, 1976).
16. Colegio de Ciencias y Humanidades. Programa de Estudios. Física I y II. (2016).
17. Escuela Nacional Preparatoria. Plan de estudios 1996. Física IV. Área I. (2018).
18. Escuela Nacional Preparatoria. Plan de Estudios 1996. Física IV. Área II. (2018).
19. Cussó Pérez, F., López Martínez, C. & Villar Lázaro, R. Fundamentos Físicos de los Procesos Biológicos. vol. 3 (Editorial Club Universitario, 2012).
20. Onda: concepto, tipos, partes y cómo se propaga. Concepto.de <https://concepto.de/onda-2/>.
21. Reflexión y Refracción de Ondas. <https://www.fisicalab.com/apartado/reflexion-refraccion-ondas>.
22. Sound Waves. PASCO scientific <https://www.pasco.com/products/guides/sound-waves>.
23. Superposición de ondas: Interferencia y ondas estacionarias. Curso de Acústica en Bachillerato <http://www.ehu.eus/acustica/bachillerato/suones/suones.html>.
24. Energía, Potencia e Intensidad de Ondas. <https://www.fisicalab.com/apartado/energia-ondas>.
25. Intensidad de Onda. Anaya Educación [https://www.edistribucion.es/anayaeducacion/proyectedigital/web\\_alumno.html](https://www.edistribucion.es/anayaeducacion/proyectedigital/web_alumno.html).
26. Difracción de ondas: El principio de Huygens. Cuaderno de Cultura Científica <https://culturacientifica.com/2019/01/01/difraccion-de-ondas-el-principio-de-huygens/> (2019).
27. Water Wave Channel. 3B Scientific [https://www.a3bs.com/mx/canal-de-ondas-de-agua-1000807-u8431411-3b-scientific,p\\_835\\_1994.html](https://www.a3bs.com/mx/canal-de-ondas-de-agua-1000807-u8431411-3b-scientific,p_835_1994.html).
28. Cubeta para ondas. 3B Scientific [https://www.a3bs.com/mx/cubeta-para-ondas-pm02-1017591-u219101-3b-scientific,p\\_835\\_25744.html](https://www.a3bs.com/mx/cubeta-para-ondas-pm02-1017591-u219101-3b-scientific,p_835_25744.html).
29. Par de diapasones de 440 Hz sobre cajas de resonancia. 3B Scientific [https://www.a3bs.com/mx/par-de-diapasones-de-440-hz-sobre-cajas-de-resonancia-1002612-u10120-3b-scientific,p\\_437\\_674.html](https://www.a3bs.com/mx/par-de-diapasones-de-440-hz-sobre-cajas-de-resonancia-1002612-u10120-3b-scientific,p_437_674.html).
30. Resonance Apparatus. Sci-Supply <https://sci-supply.com/resonance-apparatus/>.
31. Doppler Effect. Eisco Labs <https://www.eiscolabs.com/products/def2013>.
32. Sonometer on Stand Complete. Science Lab Ltd <https://www.sciencelab.co.ke/products/sonometer-on-stand-complete>.
33. Demonstration Wave Machine. 3B Scientific [https://www.a3bs.com/mx/maquina-de-ondas-de-demostracion-modulo-individual-1003492-u45012,p\\_834\\_1904.html](https://www.a3bs.com/mx/maquina-de-ondas-de-demostracion-modulo-individual-1003492-u45012,p_834_1904.html).
34. Wave Modeling Spring, Laws of Physics: Educational Innovations, Inc. <https://www.teachersource.com/product/wave-modeling-spring/physics-laws>.
35. Wave Modeling Spring. Educational Innovations, Inc. <https://www.teachersource.com/product/wave-modeling-spring/physics-laws>.
36. Aparato de ondas de cuerdas. 3B Scientific <https://www.a3bs.com/mx/aparato->

de-ondas-de-cuerdas-1000808-u8431776-3b-scientific,p\_834\_8496.html.

37. Force Oscillation and Resonance Demonstration Kit. Eisco Labs <https://www.eiscolabs.com/products/ph0753for>.
38. Generador de vibraciones. 3B Scientific [https://www.a3bs.com/mx/generador-de-vibraciones-1000701-u56001-3b-scientific,p\\_834\\_1977.html](https://www.a3bs.com/mx/generador-de-vibraciones-1000701-u56001-3b-scientific,p_834_1977.html).
39. Byrnes, J. Cognitive Development During Adolescence. in Blackwell Handbook of Adolescence 227–246 (2008). doi:10.1002/9780470756607.ch11.
40. Laboratorio Nacional de Manufactura Aditiva y Digital (MADiT). Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología <https://www.icat.unam.mx/secciones/servi/sub6/proto.html>.
41. Manufactura Aditiva. 3dcadportal.com <https://www.3dcadportal.com/manufactura-aditiva.html>.
42. Moldeo por Vacío. ENGELS <https://www.engels.es/moldeo-por-vacio>.
43. Desarrollo de Prototipos. Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología <https://www.icat.unam.mx/secciones/servi/sub2/svmadit.html>.
44. Maquinado de CNC. 3D Systems <https://es.3dsystems.com/on-demand-manufacturing/cnc-machining> (2017).
45. CNC Turning. Kirkstall <https://www.kirkstallprecision.co.uk/cnc-turning/>.
46. Corte por chorro de agua. Flow <https://www.flowwaterjet.es/Aprender-es/Como-funciona-el-chorro-de-agua.aspx#basics>.
47. Soldadura. Wikipedia, la enciclopedia libre (2021).
48. Corte por láser. Sculpteo <https://www.sculpteo.com/es/glosario/corte-por-laser-definicion/>.
49. Doble de lámina y tubo. Maquilas metalicas <https://maquilas-metalicas.com/servicio/doble-de-lamina-y-tubo/3>.
50. Pintura electrostática. Axalta [http://www.axalta.com/content/axalta\\_blog\\_mx/es\\_ES/pintura\\_industrial/que-es-pintura-electroestatica-como-funciona-y-sus-beneficios.html](http://www.axalta.com/content/axalta_blog_mx/es_ES/pintura_industrial/que-es-pintura-electroestatica-como-funciona-y-sus-beneficios.html).
51. Generador de vibraciones | 3B Scientific. 3B Scientific [https://www.a3bs.com/mx/generador-de-vibraciones-1000701-u56001-3b-scientific,p\\_834\\_1977.html](https://www.a3bs.com/mx/generador-de-vibraciones-1000701-u56001-3b-scientific,p_834_1977.html).
52. Electromechanical Driver | Daedalon. Science First <https://shop.sciencefirst.com/daedalon/7525-electromechanical-driver.html>.
53. Vibration generator | Leybold. Leybold <https://www.leybold-shop.com/physics/physics-equipment-old/mechanics/mechanical-oscillations/resonance/vibration-generator-58709.html>.
54. Vibration Generator Set | United Scientific Supplies. <https://www.unitedsci.com/product-catalog/vibration-generator-set-0>.
55. Vibration Generator | Eisco Labs. Eisco Labs <https://www.eiscolabs.com/products/vibration-generator-premium>.
56. Mechanical Wave Driver | Pasco. PASCO scientific <https://www.pasco.com/products/lab-apparatus/waves-and-sound/ripple-tank-and-standing-waves/sf-9324>.
57. Mechanical Wave Driver | Arbor Scientific. Arbor Scientific <https://www.arborsci.com/products/mechanical-wave-driver>.

58. Vibration Generator | Phywe. <https://www.phywe.com/en/vibration-generator.html>.
59. Vibration Generator | Inspire Physics. Inspire Physics <https://www.inspirephysics.com/vibration-generator/>.
60. Vibration Generator | Eduscience UK. Eduscience <https://eduscienceuk.com/product/vibration-generator/>.
61. Mechanical Oscillator | Ward's Science. Ward's Science <https://www.wardsci.com/store/product/8880426/mechanical-oscillator>.
62. Mechanical Oscillator | CENCO®. VWR <https://us.vwr.com/store/product/16730440/cenco-mechanical-oscillator>.
63. Vibrationsgenerator | Optika. HeutinkTechniScience <https://www.techniscience.com/de/de/vibrationsgenerator/product/4275/>.
64. Function Generator | PASCO scientific. PASCO scientific <https://www.pasco.com/products/lab-apparatus/instrumentation/function-generators-and-oscilloscopes/pi-8127>.
65. Function generator | Leybold. Leybold <https://www.leybold-shop.com/physics/physics-experiments/mechanics/wave-mechanics/transversal-and-longitudinal-waves/investigation-of-resonance-vibrations-of-the-leaf-spring-model-and-determination-the-wavelength/function-generator-p-522561.html>.
66. Sine Wave Generator | Arbor Scientific. Arbor Scientific <https://www.arborsci.com/products/sine-wave-generator>.
67. Generatore di oscillazioni sinusoidali a frequenza acustica | Optika Science. Optika Science <https://www.optikascience.com/optikascience/product/3016-generatore-di-oscillazioni-sinusoidali-a-frequenza-acustica/>.
68. Vibration and Audio Frequency Generator | Eduscience UK. Eduscience <https://eduscienceuk.com/product/audio-frequency-generator/>.
69. Power Signal Generator | Inspire Physics. Inspire Physics <https://www.inspirephysics.com/power-signal-generator/>.
70. Audio Driver | Deadalon. School Specialty <https://www.schoolspecialty.com/deadalon-audio-driver-1296152>.
71. Digital Function Generator | Phywe. Phywe <https://www.phywe.com/en/phywe-digital-function-generator-usb.html>.
72. Generador de funciones | 3B Scientific. 3B Scientific [https://www.a3bs.com/mx/generador-de-funciones-fg-100-115-v-5060-hz-1009956-u8533600-115-3b-scientific,p\\_807\\_18844.html](https://www.a3bs.com/mx/generador-de-funciones-fg-100-115-v-5060-hz-1009956-u8533600-115-3b-scientific,p_807_18844.html).
73. La paloma metales. [https://www.lapaloma.com.mx/lapaloma\\_metales/index.html](https://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/index.html)
74. Catálogo | La paloma metales. [https://www.lapaloma.com.mx/lapaloma\\_metales/index.html](https://www.lapaloma.com.mx/lapaloma_metales/index.html)
75. Plastimundo. <https://plastimundooficial.com/>
76. Separador 50 mm | Amazon. [https://www.amazon.com.mx/IIVVERR-hexagonal-Separador-Longitud-Hexagonal/dp/B08LDVQ6GT/ref=sr\\_1\\_1?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=m3+separador+50m](https://www.amazon.com.mx/IIVVERR-hexagonal-Separador-Longitud-Hexagonal/dp/B08LDVQ6GT/ref=sr_1_1?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=m3+separador+50m)

m&qid=1620102466&sr=8-1

77. Separador 50 mm | Amazon. [https://www.amazon.com.mx/IIVVERR-Hembra-Separador-Espaciador-Standoff/dp/B08LDXR5GL/ref=sr\\_1\\_6?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=m3+separador+50mm&qid=1620102819&sr=8-6](https://www.amazon.com.mx/IIVVERR-Hembra-Separador-Espaciador-Standoff/dp/B08LDXR5GL/ref=sr_1_6?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=m3+separador+50mm&qid=1620102819&sr=8-6)

78. Separador 5 mm | Amazon. [https://www.amazon.com.mx/IIVVERR-separadores-espaciadores-hexagonales-Standoffs/dp/B08LDX92TC/ref=sr\\_1\\_37?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=m3+separador+5mm&qid=1620103110&sr=8-37](https://www.amazon.com.mx/IIVVERR-separadores-espaciadores-hexagonales-Standoffs/dp/B08LDX92TC/ref=sr_1_37?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=m3+separador+5mm&qid=1620103110&sr=8-37)

79. Separador 10 mm | Amazon. [https://www.amazon.com.mx/Aexit-50Pcs-Hembra-Separador-Hexagonal/dp/B07DRLKHW6/ref=sr\\_1\\_1?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=m3+separador+10mm&qid=1620103001&sr=8-1](https://www.amazon.com.mx/Aexit-50Pcs-Hembra-Separador-Hexagonal/dp/B07DRLKHW6/ref=sr_1_1?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=m3+separador+10mm&qid=1620103001&sr=8-1)

80. Tornillo M3 8mm | Amazon. [https://www.amazon.com.mx/Tornillo-avellanada-inoxidable-tornillo-avellanado/dp/B08GCFJBRT/ref=sr\\_1\\_3?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=tornillo+m3+8mm&qid=1620104701&sr=8-3](https://www.amazon.com.mx/Tornillo-avellanada-inoxidable-tornillo-avellanado/dp/B08GCFJBRT/ref=sr_1_3?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=tornillo+m3+8mm&qid=1620104701&sr=8-3)

81. Tornillo M3 5mm | Amazon. [https://www.amazon.com.mx/Lysee-Tornillos-Phillips-tornillo-pulgadas/dp/B08Z9YFJS/ref=sr\\_1\\_13?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=tornillo+m3+5mm&qid=1620104893&sr=8-13](https://www.amazon.com.mx/Lysee-Tornillos-Phillips-tornillo-pulgadas/dp/B08Z9YFJS/ref=sr_1_13?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=tornillo+m3+5mm&qid=1620104893&sr=8-13)

82. Tornillo M3 16mm Cónico | Amazon. [https://www.amazon.com.mx/Mro-Max-Hardware-tornillos-avellanada-unidades/dp/B07ZM4Z3TK/ref=sr\\_1\\_2?\\_\\_mk\\_es\\_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=tornillo+m3+16mm&qid=1620105084&sr=8-2](https://www.amazon.com.mx/Mro-Max-Hardware-tornillos-avellanada-unidades/dp/B07ZM4Z3TK/ref=sr_1_2?__mk_es_MX=%C3%85M%C3%85C5%BD%C3%95C3%91&dchild=1&keywords=tornillo+m3+16mm&qid=1620105084&sr=8-2)

83. Tuerca M3 | Mercado libre. [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-798502502-tuerca-hexagonal-mm-inoxidable-m3-100pz-\\_JM#position=1&search\\_layout=grid&type=item&tracking\\_id=cd324e8c-94c8-4806-80a5-f0f8cdd35578](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-798502502-tuerca-hexagonal-mm-inoxidable-m3-100pz-_JM#position=1&search_layout=grid&type=item&tracking_id=cd324e8c-94c8-4806-80a5-f0f8cdd35578)

84. Regaton de silicón | Amazon. [https://www.amazon.com.mx/Peque%C3%B1o-transparente-parachoques-Circular-superior/dp/B0798H5WL2?ref\\_ast\\_sto\\_dp](https://www.amazon.com.mx/Peque%C3%B1o-transparente-parachoques-Circular-superior/dp/B0798H5WL2?ref_ast_sto_dp)

85. Bocina | Ebay. [https://www.ebay.com/itm/174010803763?\\_ul=MX&chn=ps&norover=1&mkevt=1&mkrid=21562-222008-2056-1&mkcid=2&itemid=174010803763&targetid=878892090234&device=c&mktype=pla&googlel oc=1010043&poi=&campaignid=1823483887&mkgroupid=71048310433&rlsatarget=pla-878892090234&abclid=1140956&merchantid=141711615&gclid=CjwKCAjwhM-mEBhBwEiwAXwFoEe1AqHgoSU9EYybQyiPVNG\\_TdMkrN4GT-fo7hbhY1\\_WNrcGm-3JwSgRoC\\_w4QAvD\\_BwE](https://www.ebay.com/itm/174010803763?_ul=MX&chn=ps&norover=1&mkevt=1&mkrid=21562-222008-2056-1&mkcid=2&itemid=174010803763&targetid=878892090234&device=c&mktype=pla&googlel oc=1010043&poi=&campaignid=1823483887&mkgroupid=71048310433&rlsatarget=pla-878892090234&abclid=1140956&merchantid=141711615&gclid=CjwKCAjwhM-mEBhBwEiwAXwFoEe1AqHgoSU9EYybQyiPVNG_TdMkrN4GT-fo7hbhY1_WNrcGm-3JwSgRoC_w4QAvD_BwE)

86. Transformador | Steren. <https://www.steren.com.mx/transformador-de-24-vca-500-ma-con-tap-central.html>

87. Entrada audio | Ebay. [https://www.ebay.com/itm/303912148376?\\_ul=MX&chn=ps&norover=1&mkevt=1&mkrid=21562-222008-2056-1&mkcid=2&itemid=303912148376&targetid=853938989187&device=c&mktype=pla&googlel oc=1010043&poi=&campaignid=1824172998&mkgroupid=69261309013&rlsatarge](https://www.ebay.com/itm/303912148376?_ul=MX&chn=ps&norover=1&mkevt=1&mkrid=21562-222008-2056-1&mkcid=2&itemid=303912148376&targetid=853938989187&device=c&mktype=pla&googlel oc=1010043&poi=&campaignid=1824172998&mkgroupid=69261309013&rlsatarge)

t=pla-853938989187&abclid=1140946&merchantid=134317480&gclid=CjwKCAjwhM-mEBhBwEiwAXwFoEQI1p7g5\_5sda5BiQ61E-kRdHEuANEKt3S8Pf3ihYIGH2RxLZD1nxo-Cr9wQAvD\_BwE

88. AC Switch socket | Ebay. [https://www.ebay.com/itm/254459543932?\\_ul=HN](https://www.ebay.com/itm/254459543932?_ul=HN)

89. Switch | Alibaba. [https://www.alibaba.com/product-detail/Round-Switch-Round-Round-On-Off\\_1600160453078.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_title.52731ec2Z8XGjo&s=p](https://www.alibaba.com/product-detail/Round-Switch-Round-Round-On-Off_1600160453078.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.52731ec2Z8XGjo&s=p)

90. Portafusibles | Ebay. [https://www.ebay.com/itm/392555307294?\\_ul=MX&chn=ps&norover=1&mkevt=1&mkrid=21562-222008-2056-1&mkcid=2&itemid=392555307294&targetid=853938989187&device=c&mktype=pla&googlel oc=1010043&poi=&campaignid=1824172998&mkgroupid=69261309013&rlsatarget=pla-853938989187&abclid=1140946&merchantid=134316683&gclid=CjwKCAjwhM-mEBhBwEiwAXwFoEWz6luzU9HjRq0iNEJMS8b3v7dShMP-qTjiToUl-hl9Omg89gDy6K-BoC5AoQAvD\\_BwE](https://www.ebay.com/itm/392555307294?_ul=MX&chn=ps&norover=1&mkevt=1&mkrid=21562-222008-2056-1&mkcid=2&itemid=392555307294&targetid=853938989187&device=c&mktype=pla&googlel oc=1010043&poi=&campaignid=1824172998&mkgroupid=69261309013&rlsatarget=pla-853938989187&abclid=1140946&merchantid=134316683&gclid=CjwKCAjwhM-mEBhBwEiwAXwFoEWz6luzU9HjRq0iNEJMS8b3v7dShMP-qTjiToUl-hl9Omg89gDy6K-BoC5AoQAvD_BwE)

91. Cable de audio | Alibaba. [https://www.alibaba.com/product-detail/Braided-Gold-Plated-3-5mm-Jack\\_1600136567203.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal\\_offer.d\\_image.794074b0tJsARV](https://www.alibaba.com/product-detail/Braided-Gold-Plated-3-5mm-Jack_1600136567203.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_image.794074b0tJsARV)

92. Transformador | Steren. <https://www.steren.com.mx/cable-de-alimentacion-interlock-para-computadora-de-2-5-m.html>

93. Frasco | Uline. <https://es.uline.mx/Product/Detail/S-15847M-W/Jars/Straight-Sided-Glass-Jars-6-oz-White-Metal-Lid>

## 8.2 Planos

1

2

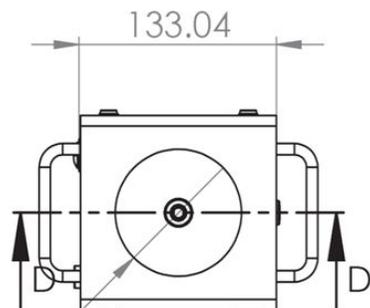
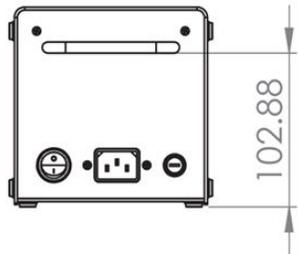
3



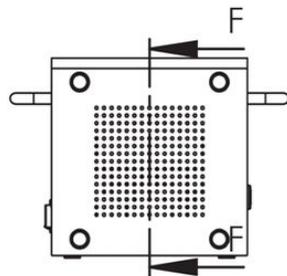
4

5

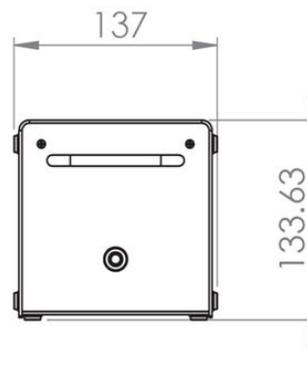
6


 $\phi 85$ 


102.88

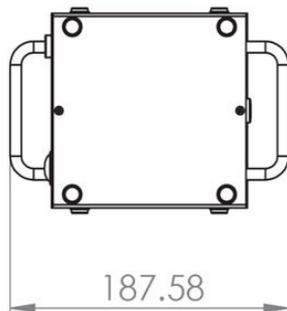


F

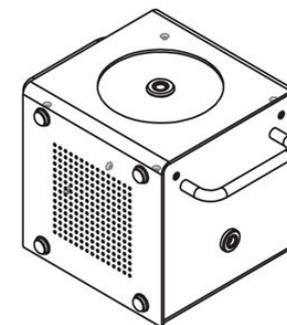


137

133.63



187.58



A

B

C

D

Brenda Ojanguren Pinedo

CIDI - UNAM

Fecha  
05/05/21Escala  
1:5

Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio

A4



Vista general

Cotas  
mm

1 / 38

1

2

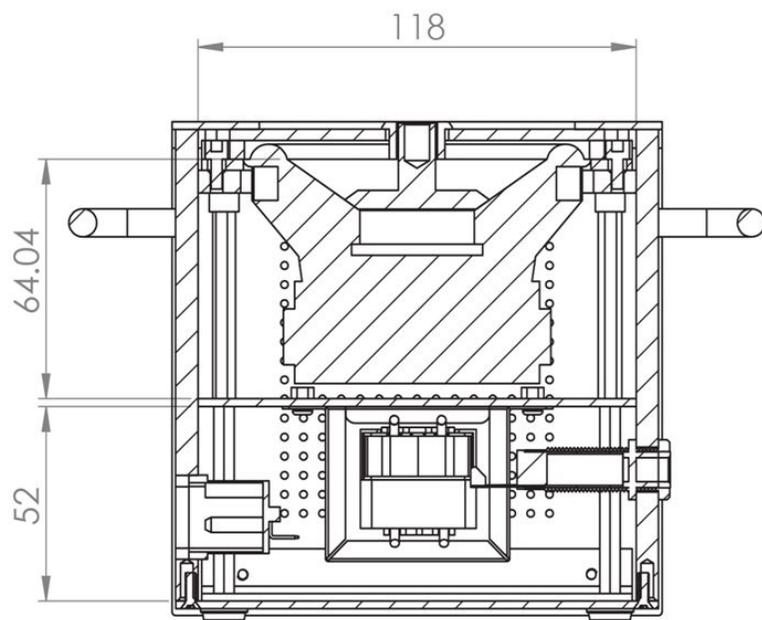
3



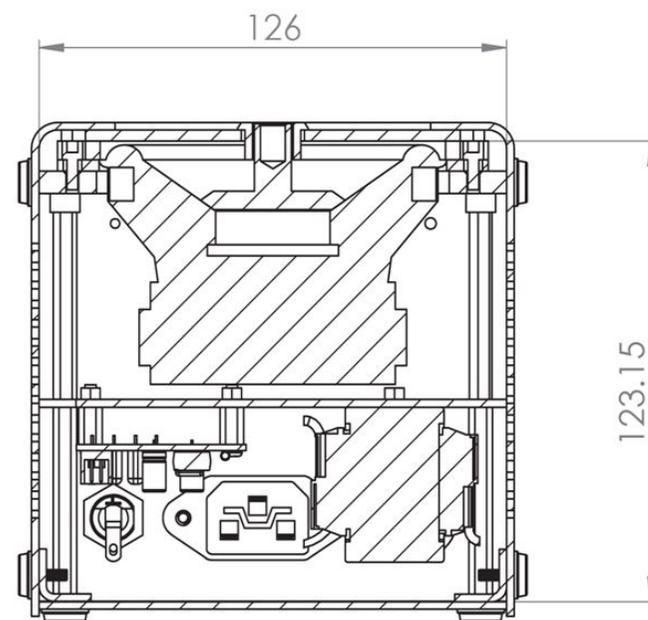
4

5

6



SECCIÓN D-D  
ESCALA 1 : 2



SECCIÓN F-F  
ESCALA 1 : 2

A

B

C

D

Brenda Ojanguren Pinedo

CIDI - UNAM

Fecha  
05/05/21Escala  
1:2

Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio

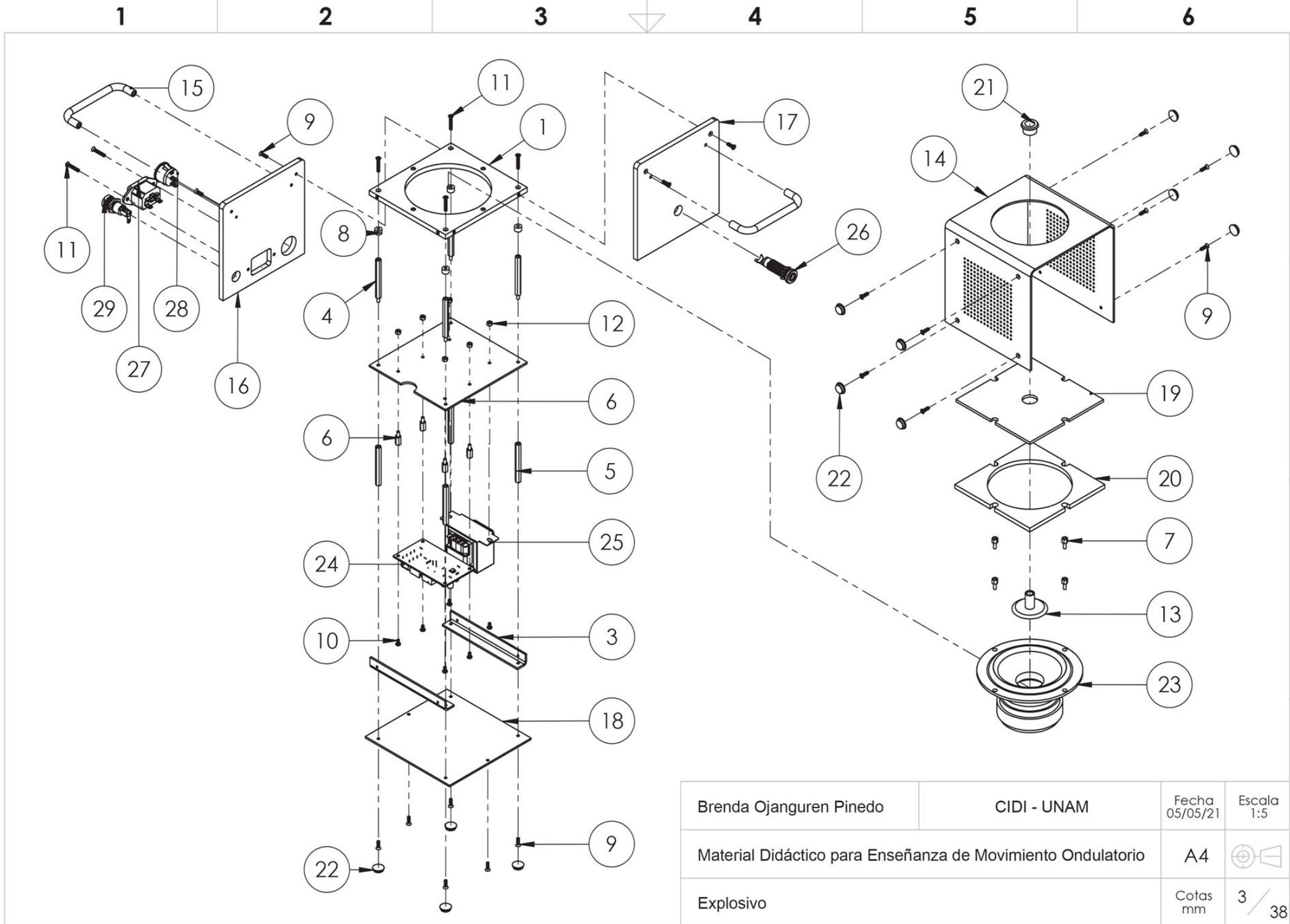
A4



Cortes generales

Cotas  
mm

2 / 38



Brenda Ojanguren Pinedo	CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:5
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio		A4	
Explosivo		Cotas mm	3 / 38

**1****2****3****4****5****6**

#	Código		Material	Proceso
29	GV - C - 07	1	Pieza comercial	-
28	GV - C - 06	1	Pieza comercial	-
27	GV - C - 05	1	Pieza comercial	-
26	GV - C - 04	1	Pieza comercial	-
25	GV - C - 03	1	Pieza comercial	-
24	GV - C - 02	1	Pieza comercial	-
23	GV - C - 01	1	Pieza comercial	-
22	GV - EE- 09	12	Pieza comercial	-
21	GV - EE- 08	1	Nylomaq verde	Torneado
20	GV - EE- 07	1	Acrílico negro	Corte láser
19	GV - EE- 06	1	Acrílico transparente	Corte láser
18	GV - EE- 05	1	Lámina aluminio C14	Corte por chorro
17	GV - EE- 04	1	Placa aluminio C4	Corte por chorro
16	GV - EE- 03	1	Placa aluminio C4	Corte por chorro

15	GV - EE- 02	2	Barra de metal	Doblado
14	GV - EE- 01	1	Lámina aluminio C14	Corte por chorro/ Doblado
13	GV - EI - 13	1	Nylomaq verde	Torneado
12	GV - EI - 12	8	Pieza comercial	-
11	GV - EI - 11	6	Pieza comercial	-
10	GV - EI - 10	10	Pieza comercial	-
9	GV - EI - 09	18	Pieza comercial	-
8	GV - EI - 08	4	Nylomaq verde	Torneado
7	GV - EI - 07	4	Pieza comercial	-
6	GV - EI - 06	4	Pieza comercial	-
5	GV - EI - 05	4	Pieza comercial	-
4	GV - EI - 04	4	Pieza comercial	-
3	GV - EI - 03	2	Lámina aluminio C14	Corte por chorro/ Doblado
2	GV - EI - 02	1	Lámina aluminio C14	Corte por chorro
1	GV - EI - 01	1	Placa aluminio C4	Corte por chorro

Brenda Ojanguren Pinedo

CIDI - UNAM

Fecha  
05/05/21Escala  
1:5

Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio

A4

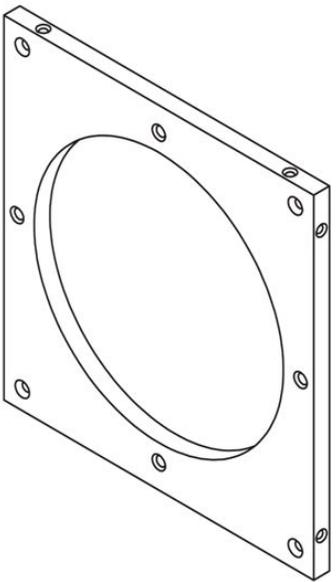
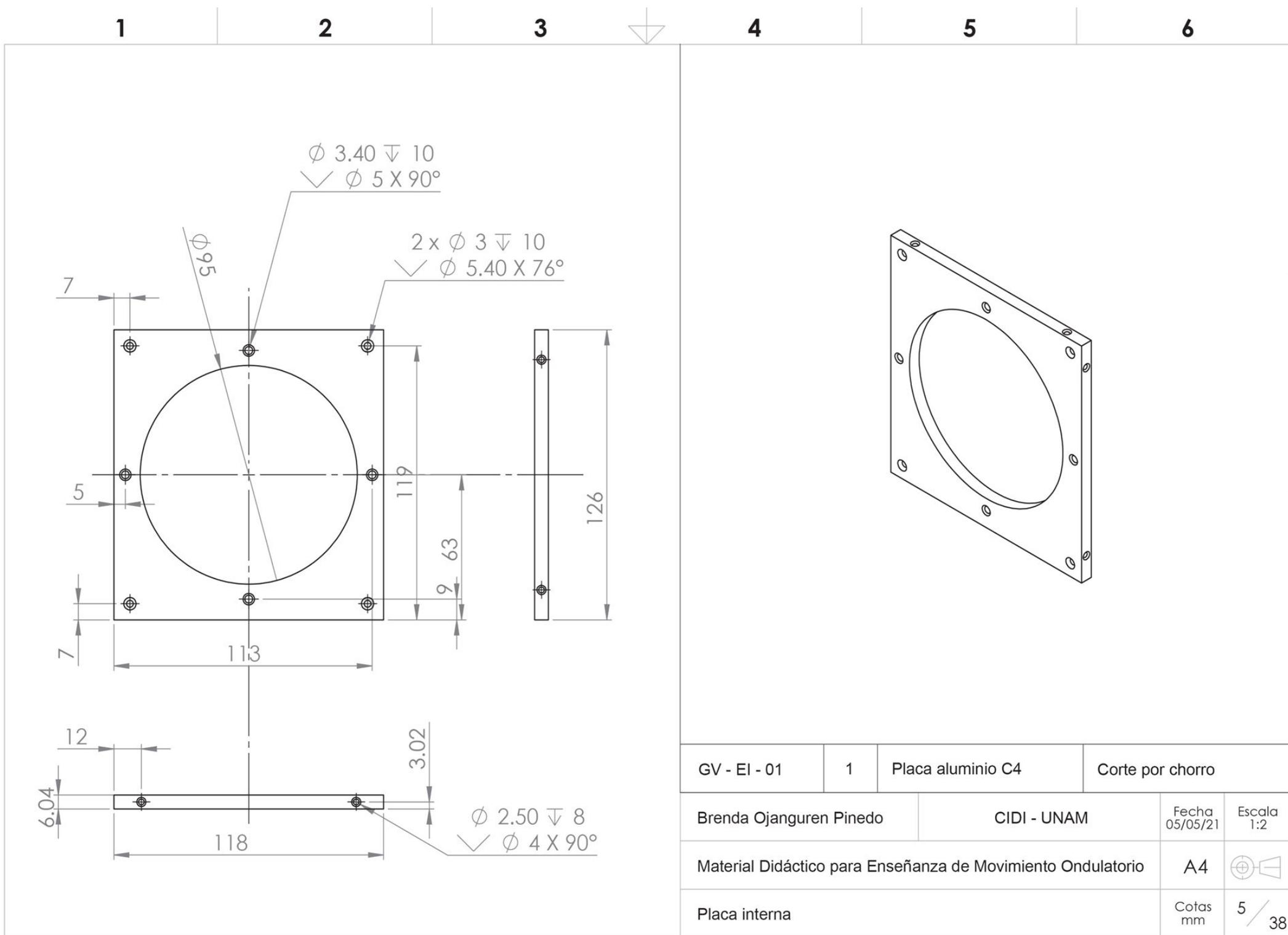


Explosivo 2 (Lista de piezas)

Cotas  
mm

4 / 38

**A****B****C****D**



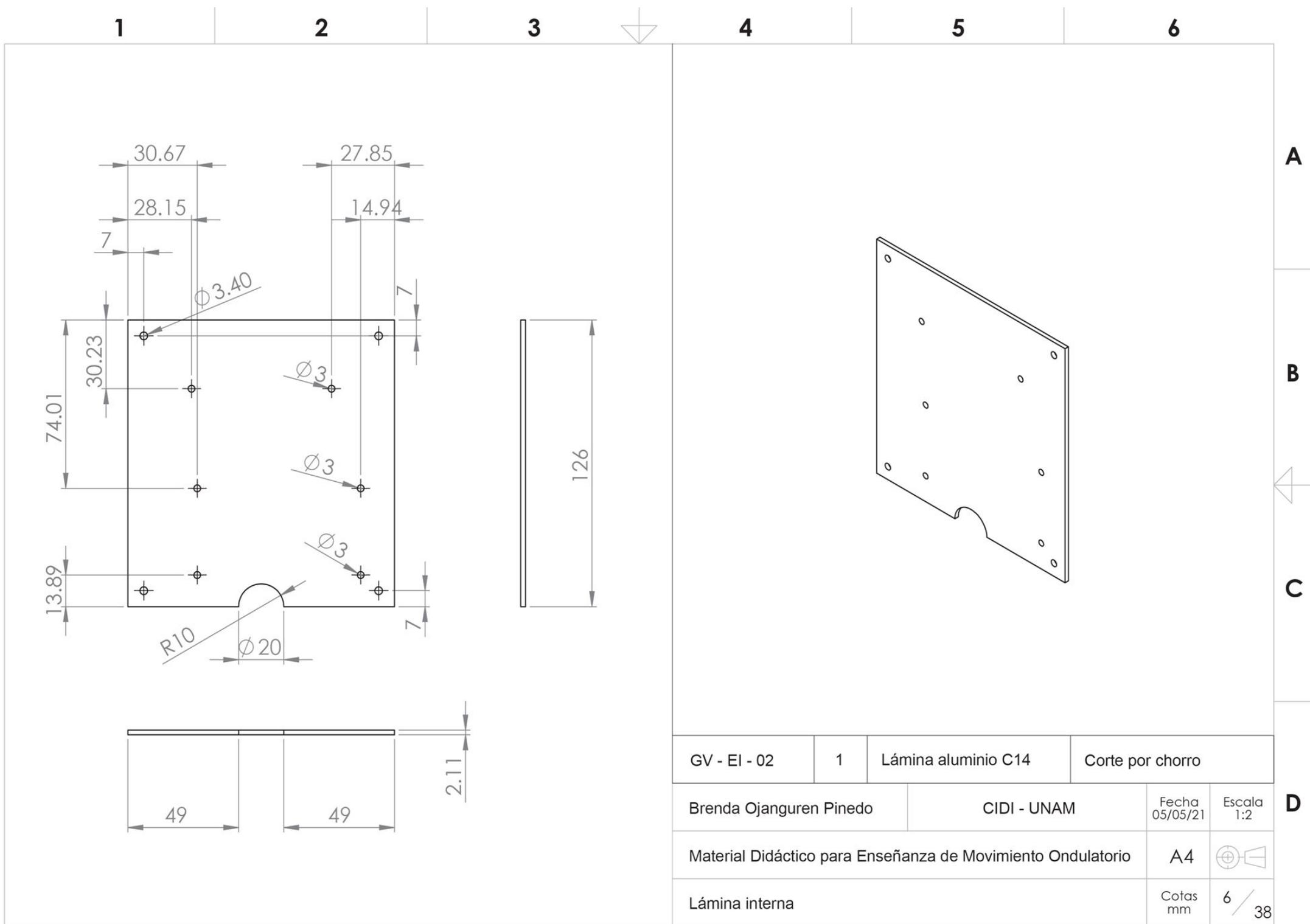
GV - EI - 01	1	Placa aluminio C4	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Placa interna			Cotas mm	5 / 38

A

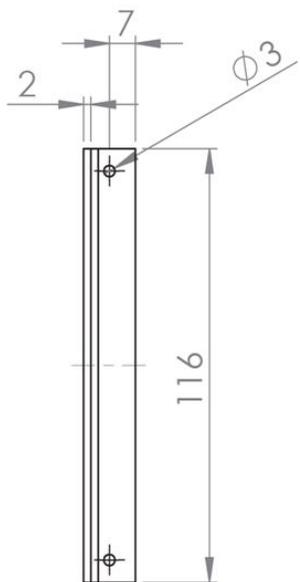
B

C

D

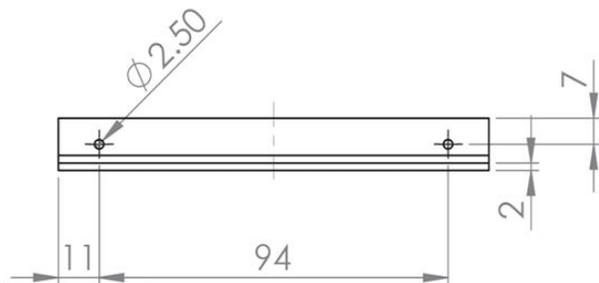
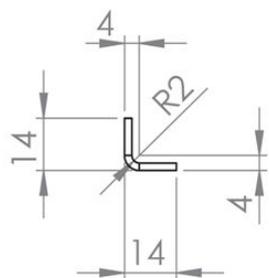
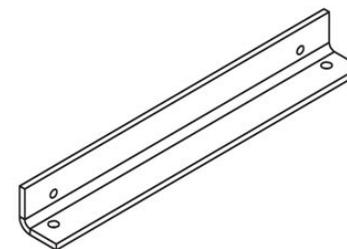


GV - EI - 02	1	Lámina aluminio C14	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:2
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Lámina interna			Cotas mm	6 / 38

**1****2****3****4****5****6**

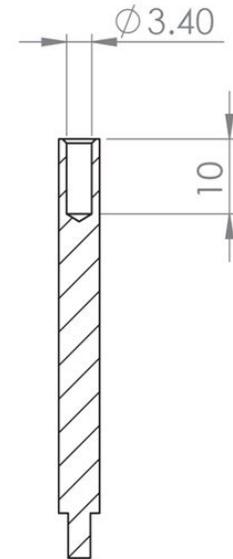
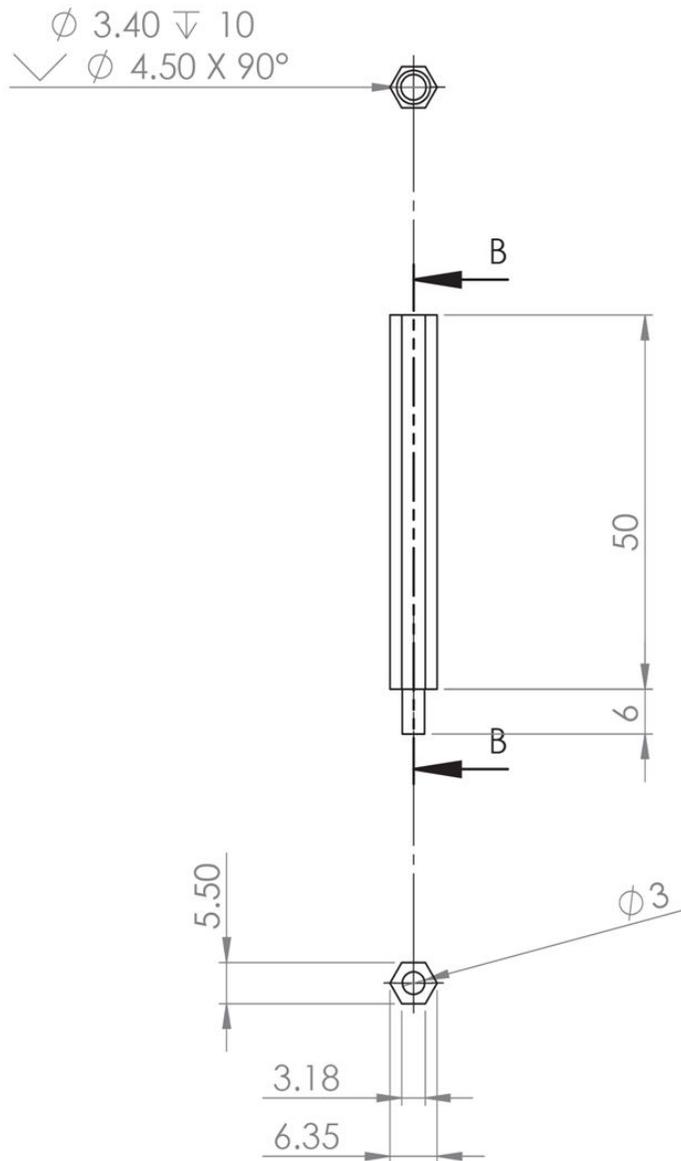
HACIA ARRIBA 90° R 2

Vista desplegada



GV - EI - 03	2	Lámina aluminio C14	Corte chorro/ Doblado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	Escala 1:2
Escuadra			Cotas mm	7 / 38

**A****B****C****D**

**1****2****3****4****5****6**

GV - EI - 04

4

Pieza comercial

-

Brenda Ojanguren Pinedo

CIDI - UNAM

Fecha  
05/05/21Escala  
1:1

Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio

A4

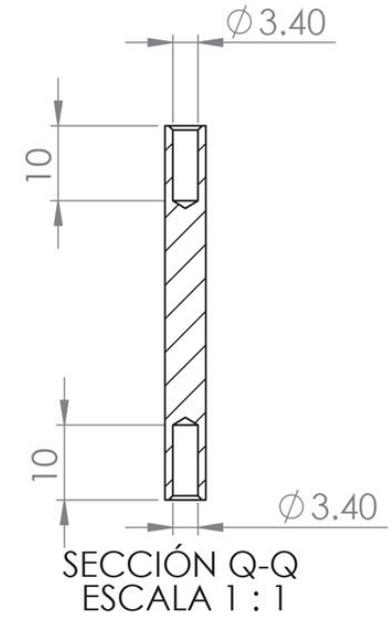
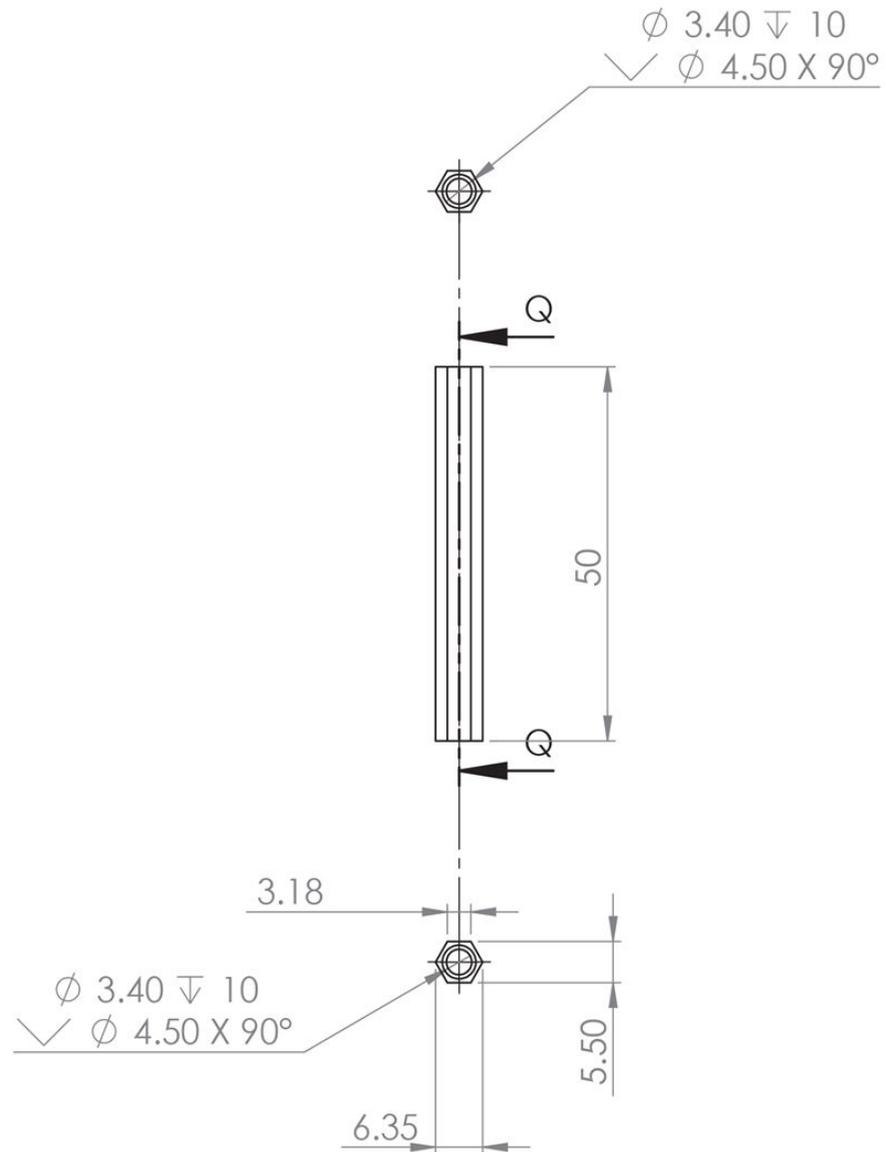


Separador 1

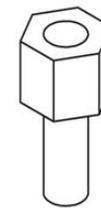
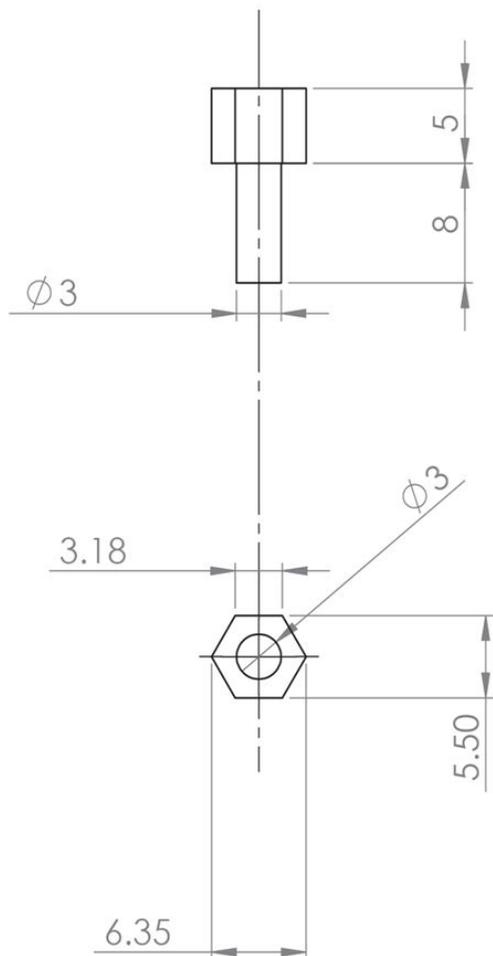
Cotas  
mm

8 / 38

**A****B****C****D**

**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

GV - EI - 05	4	Pieza comercial	-
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio		A4	Escala 1:1
Separador 2		Cotas mm	9 / 38

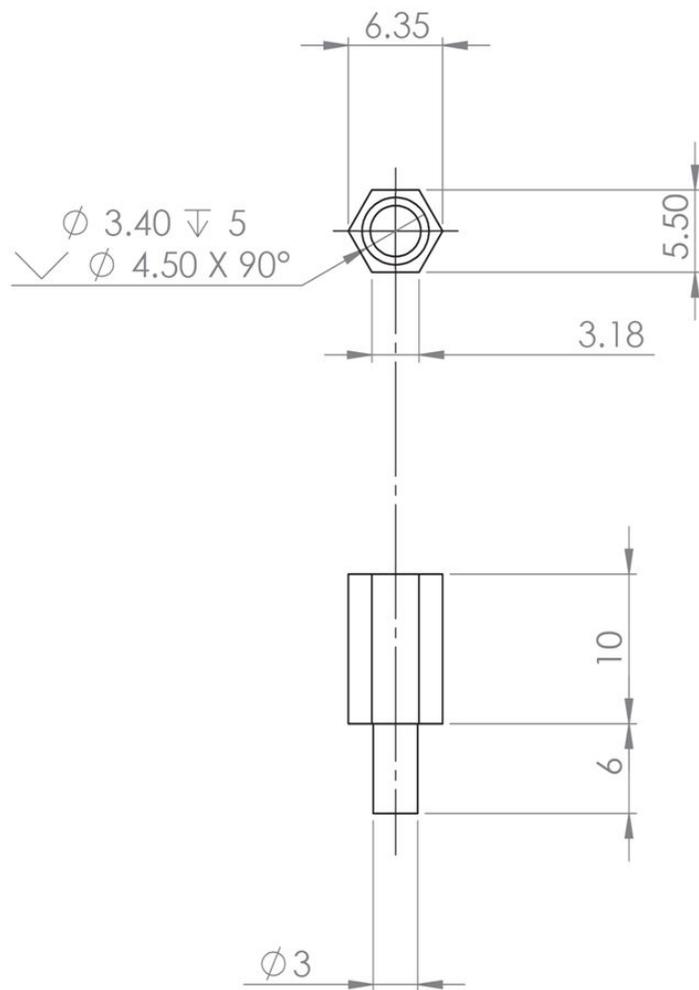
**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

GV - EI - 06	4	Pieza comercial	-
--------------	---	-----------------	---

Brenda Ojanguren Pinedo	CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 2:1
-------------------------	-------------	-------------------	---------------

Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio	A4	
---	----	--

Separador 3	Cotas mm	10/38
-------------	-------------	-------

**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

GV - EI - 07

4

Pieza comercial

-

Brenda Ojanguren Pinedo

CIDI - UNAM

Fecha  
05/05/21Escala  
2:1

Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio

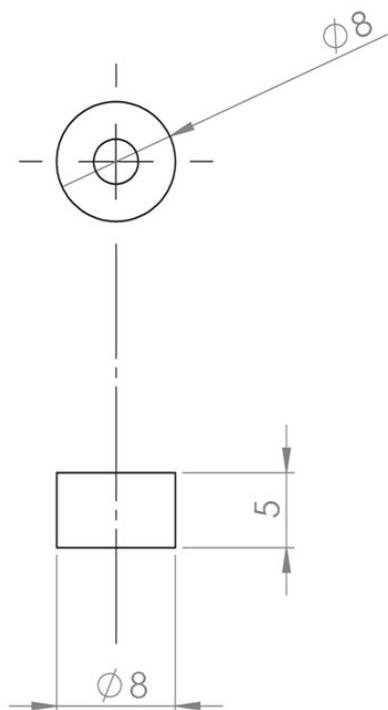
A4



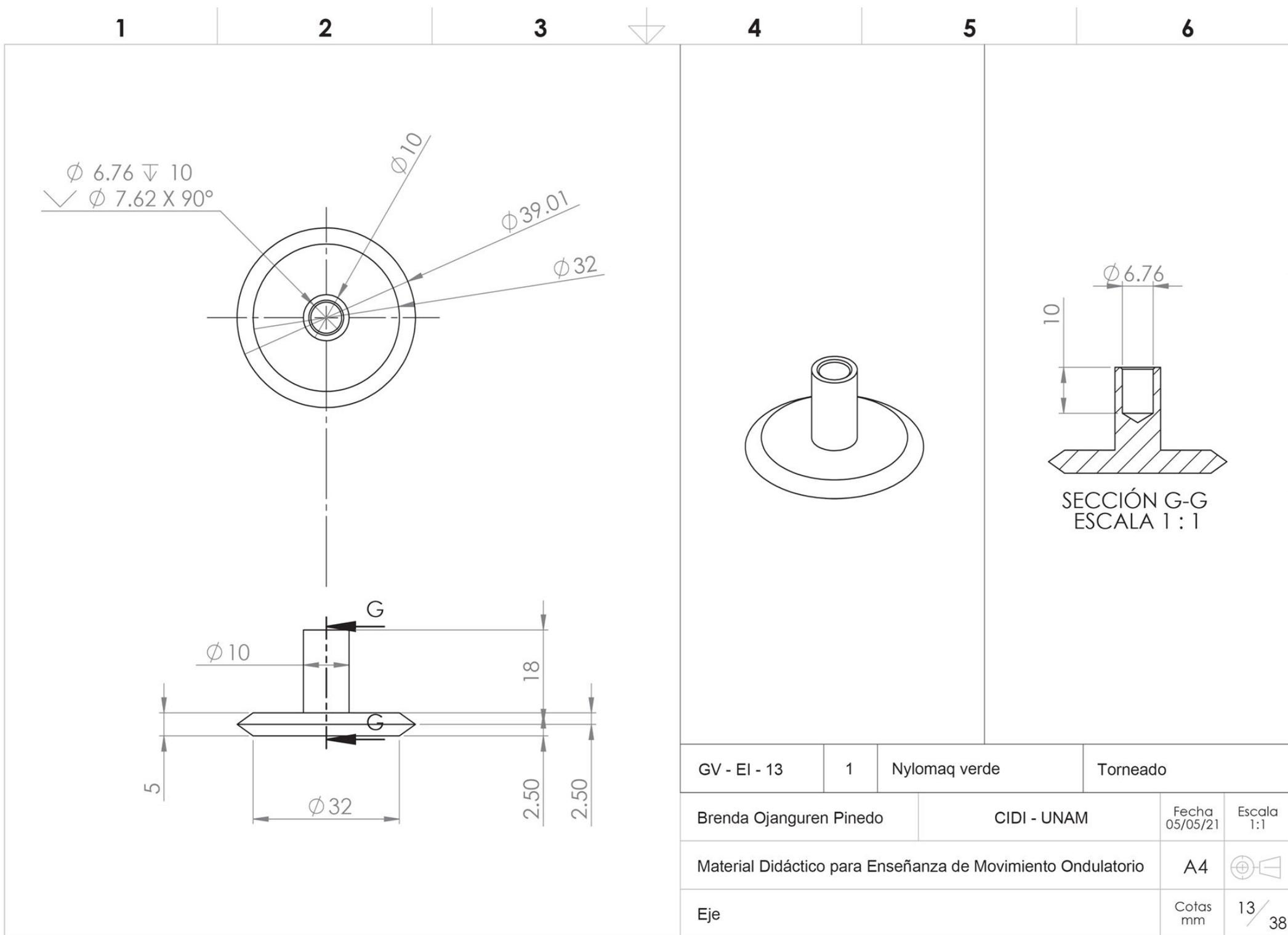
Separador 4

Cotas  
mm

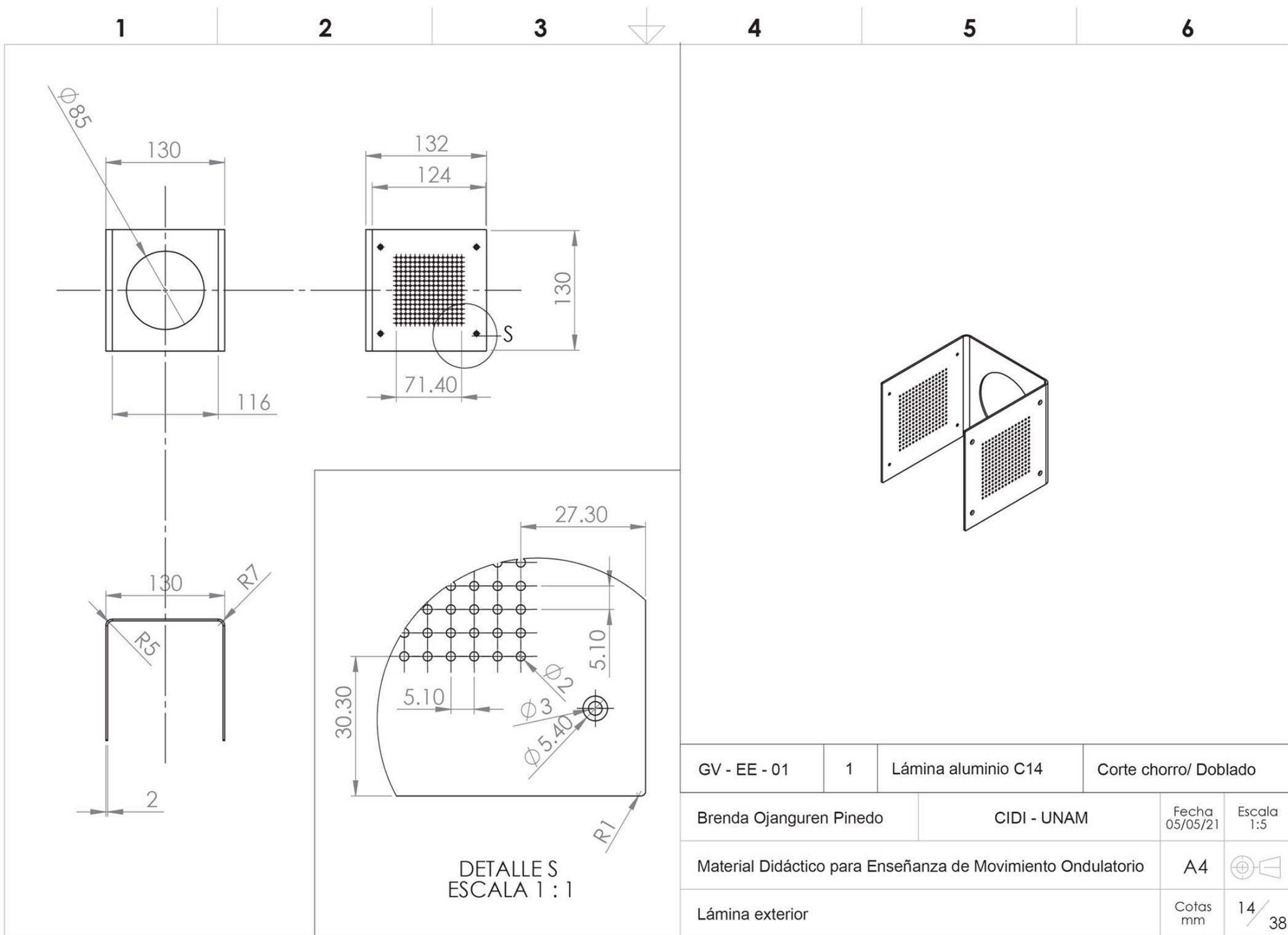
11 / 38

**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

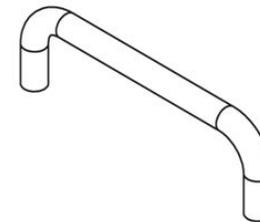
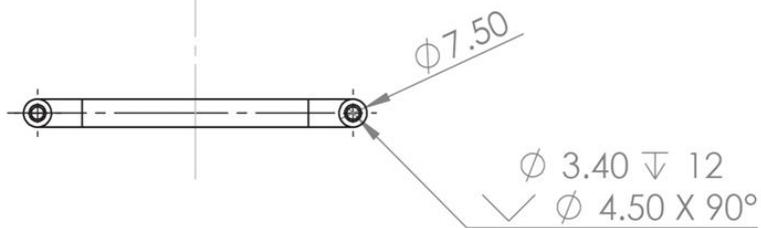
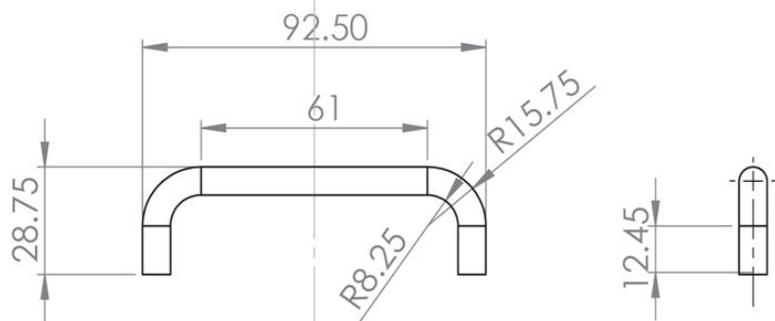
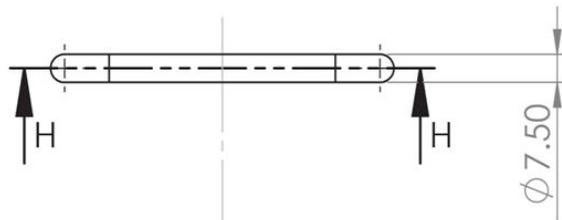
GV - EI - 08	4	Nylomaq verde	Torneado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Espaciador			Cotas mm	12/38



GV - EI - 13	1	Nylomaq verde	Torneado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	Escala 1:1
Eje			Cotas mm	13/38





**1****2****3****4****5****6**

GV - EE - 02

2

Barra de metal

Doblado

Brenda Ojanguren Pinedo

CIDI - UNAM

Fecha  
05/05/21Escala  
1:2

Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio

A4

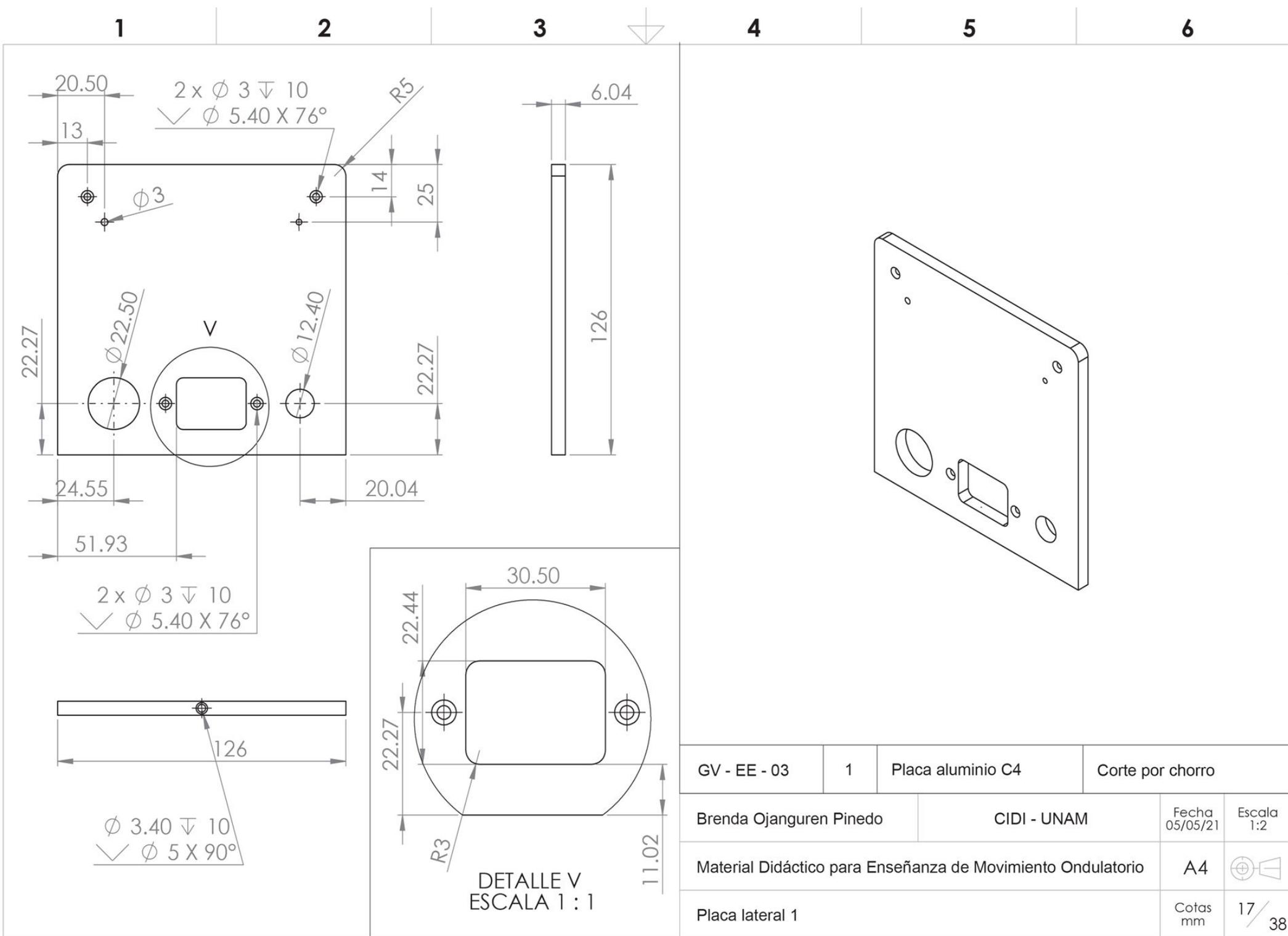


Agarradera

Cotas  
mm

16 / 38

**A****B****C****D**

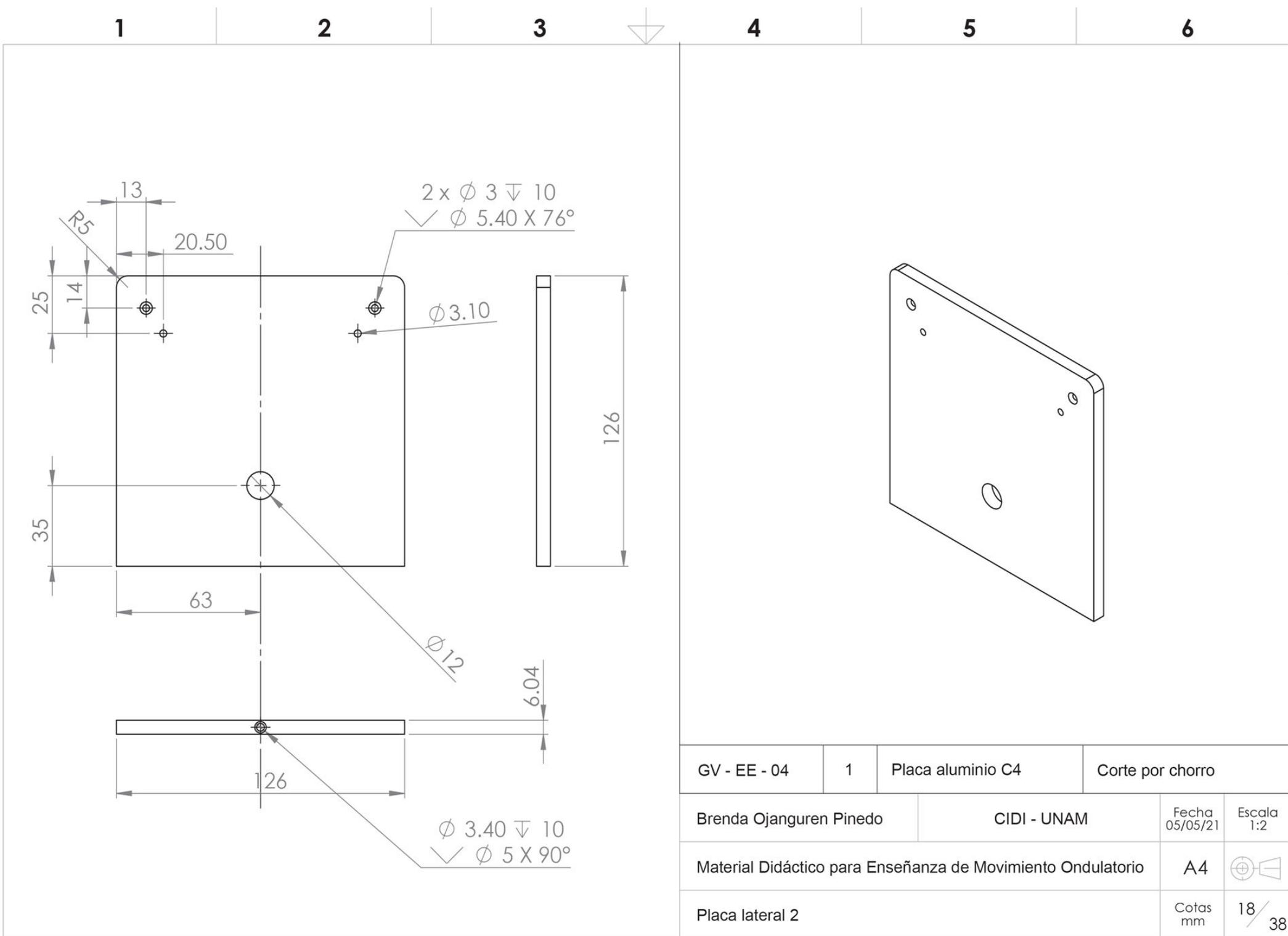


A

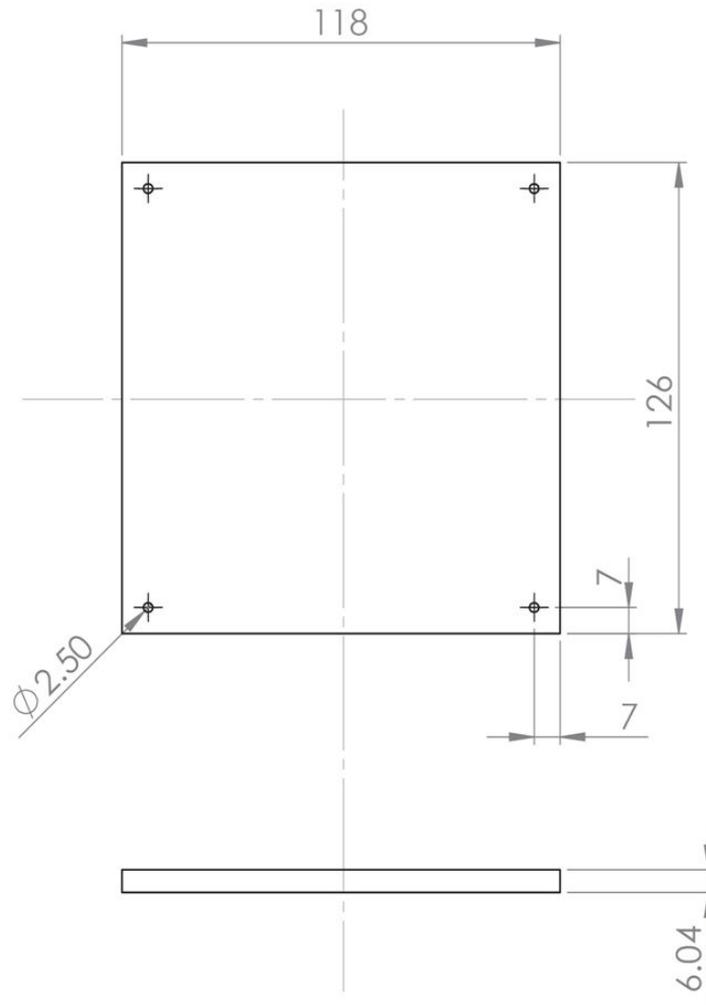
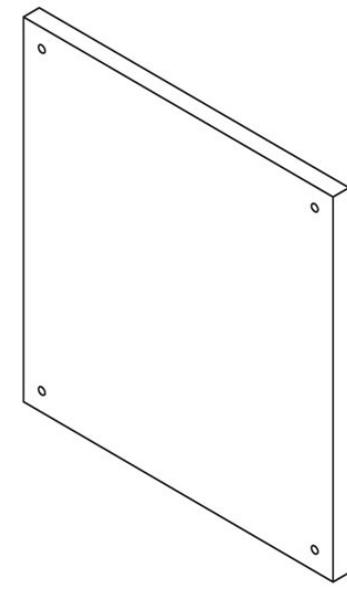
B

C

D

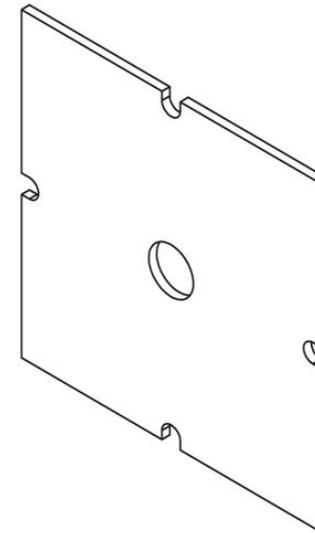
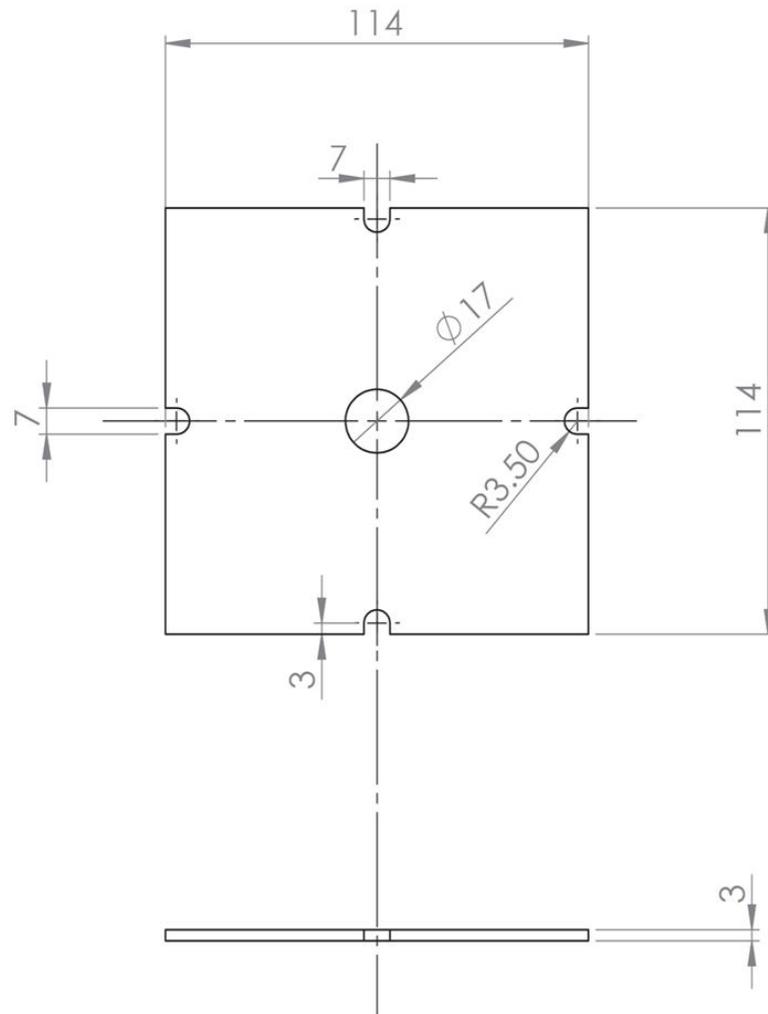


GV - EE - 04	1	Placa aluminio C4	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio		A4	Escala 1:2	
Placa lateral 2		Cotas mm	18 / 38	

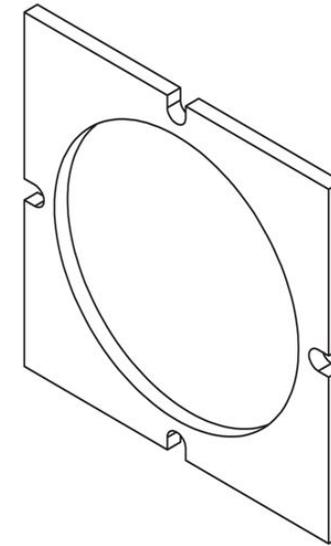
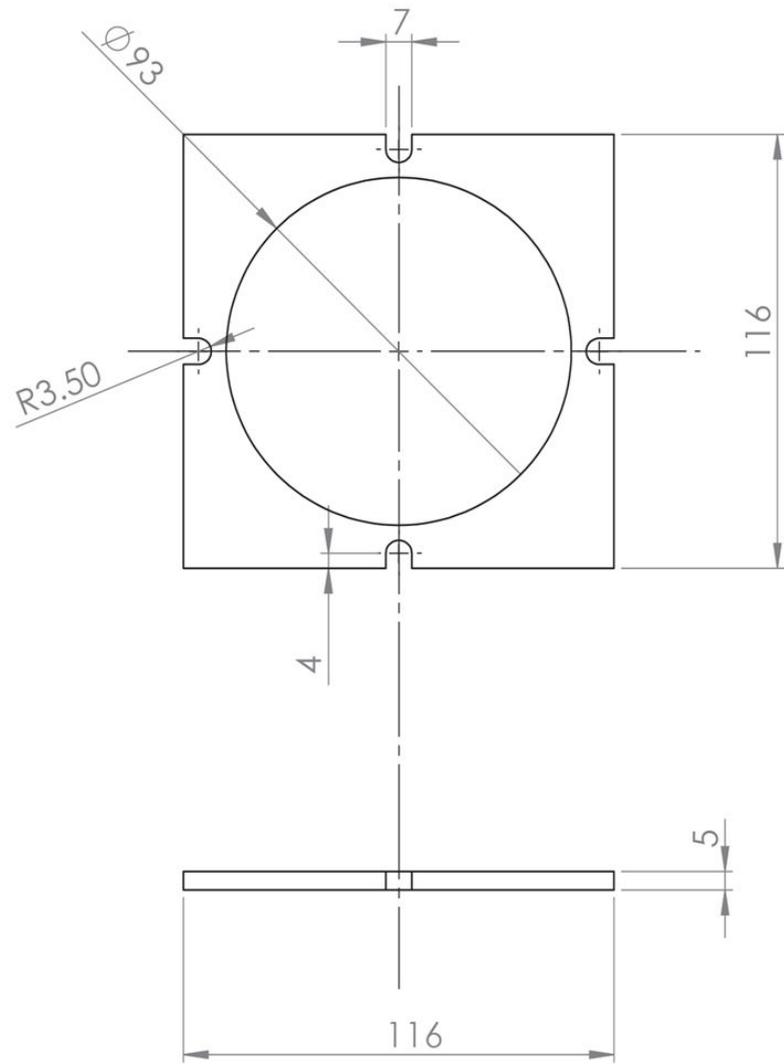
**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

GV - EE - 05	1	Lámina aluminio C14	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:2
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Lámina inferior			Cotas mm	19 / 38

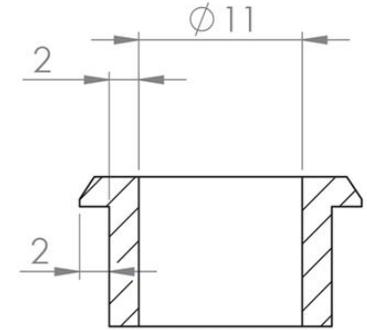
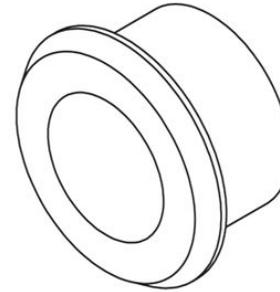
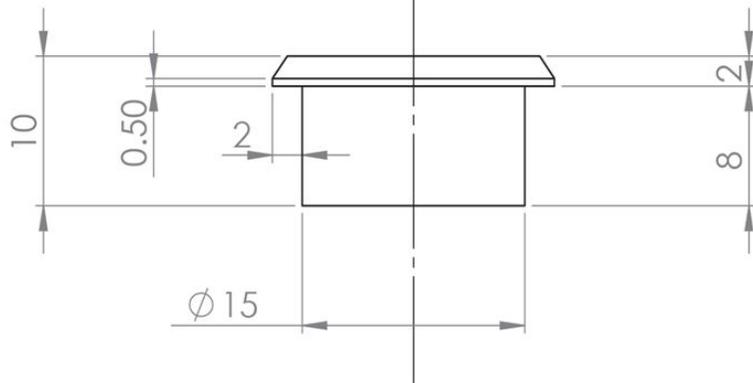
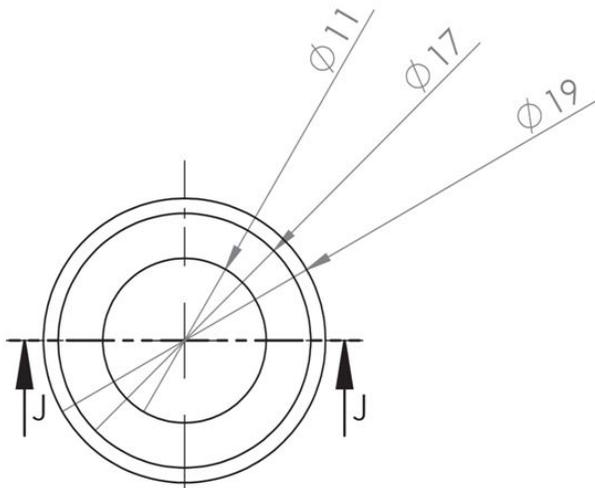


**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

GV - EE - 06	1	Acrílico transparente	Corte láser	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	Escala 1:2
Acrílico 1			Cotas mm	20/38

**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

GV - EE - 07	1	Acrílico negro	Corte láser	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	Escala 1:2
Acrílico 2			Cotas mm	21 / 38

**1****2****3****4****5****6**

SECCIÓN J-J  
ESCALA 2 : 1

**A****B****C**

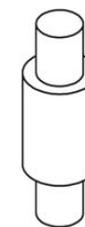
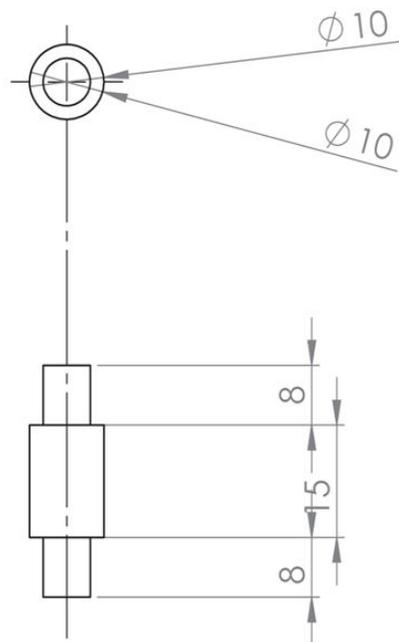
GV - EE - 08	1	Nylomaq verde	Torneado
--------------	---	---------------	----------

Brenda Ojanguren Pinedo	CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:1
-------------------------	-------------	-------------------	---------------

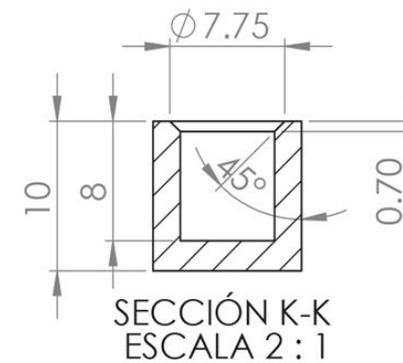
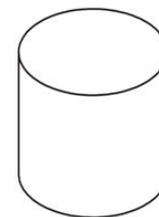
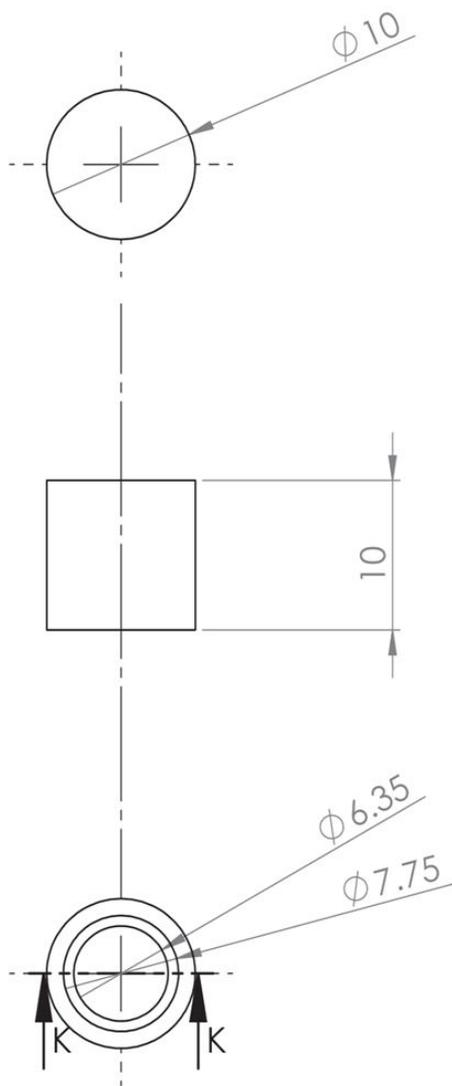
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio	A4	
---	----	--

Centrador eje	Cotas mm	22/38
---------------	-------------	-------

**D**

**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

AC - PN- 01	1	Nylomaq verde	Torneado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	Escala 1:1
Poste a bocina			Cotas mm	23/38

**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

AC - PN- 02

1

Nylomaq verde

Torneado

Brenda Ojanguren Pinedo

CIDI - UNAM

Fecha  
05/05/21Escala  
2:1

Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio

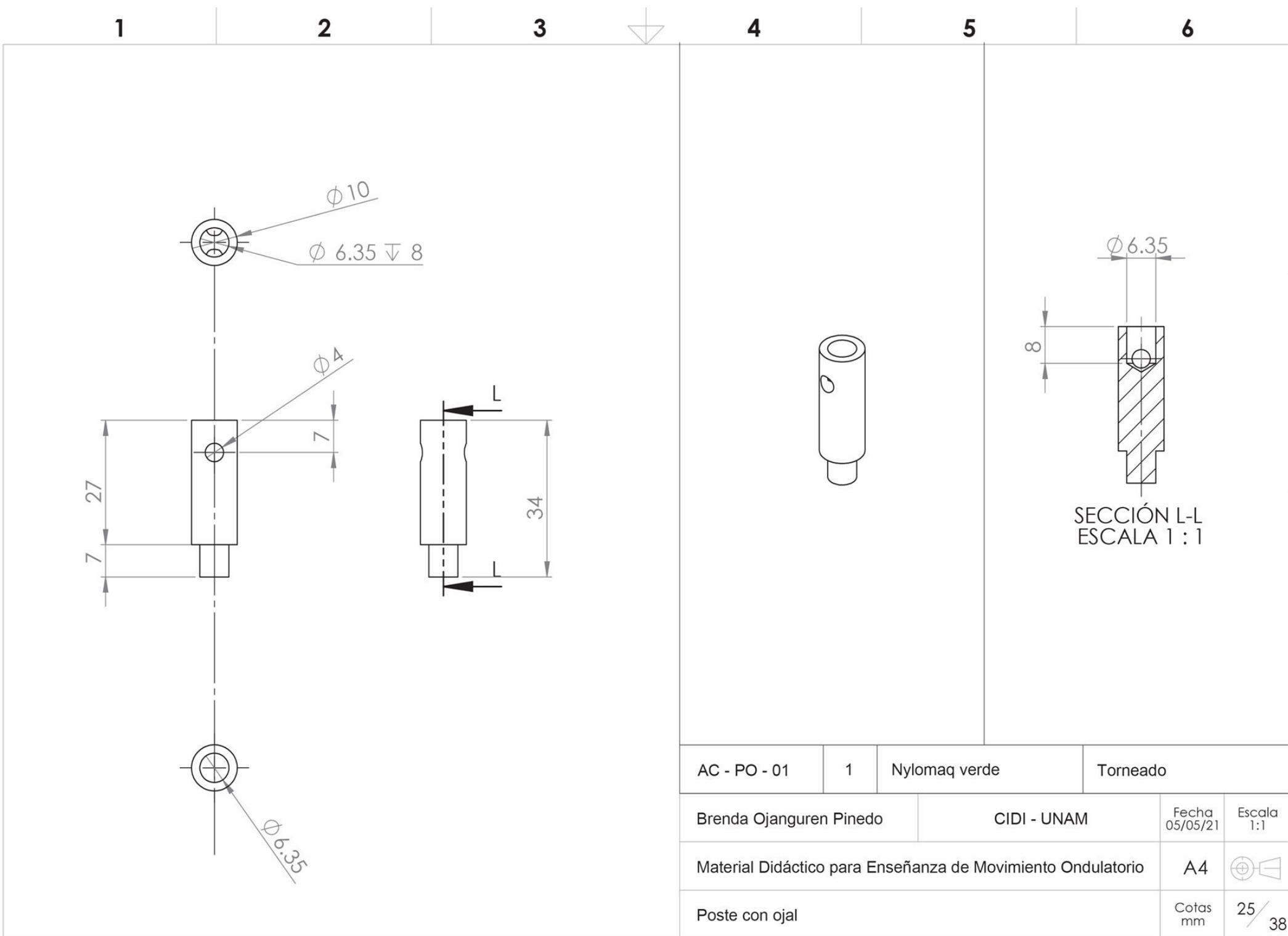
A4



Tapa poste

Cotas  
mm

24 / 38



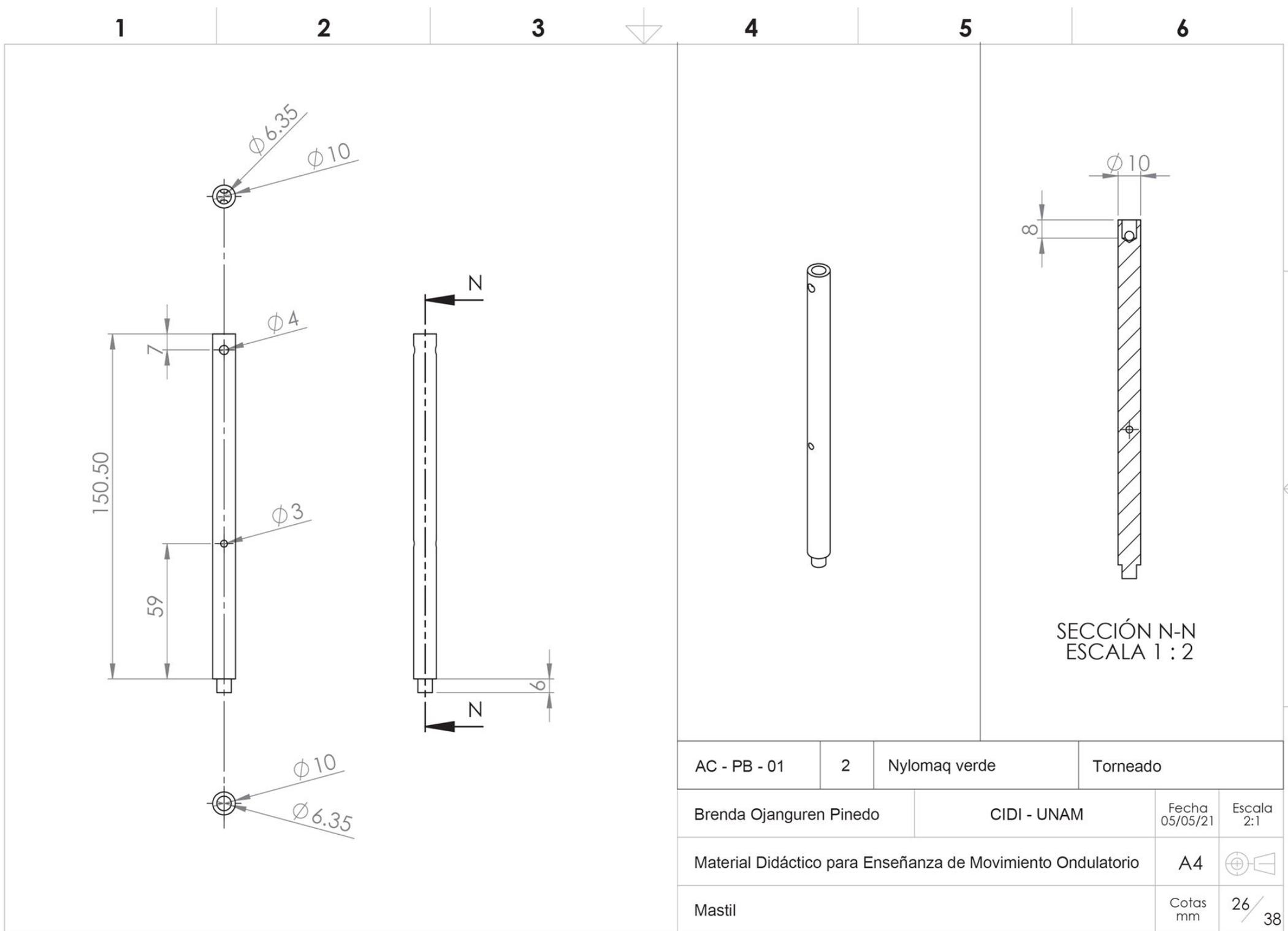
AC - PO - 01	1	Nylomaq verde	Torneado
Brenda Ojanguren Pinedo	CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			Escala 1:1
Poste con ojal			A4
			Cotas mm
			25 / 38

A

B

C

D



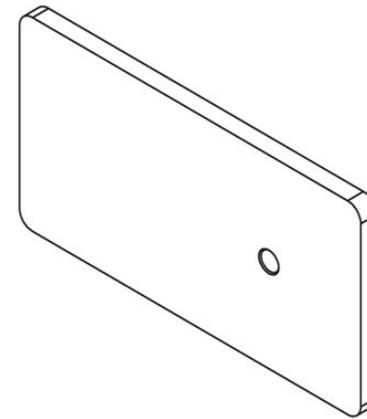
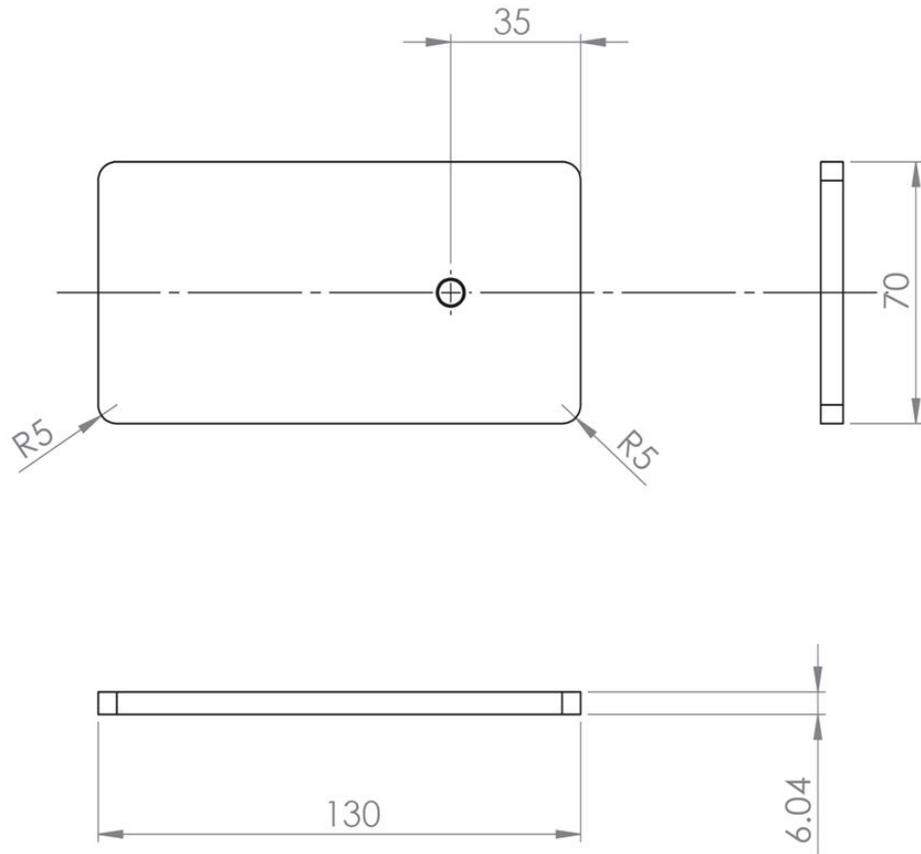
AC - PB - 01	2	Nylomaq verde	Torneado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	Escala 2:1
Mastil			Cotas mm	26/38

A

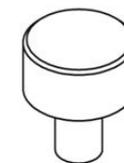
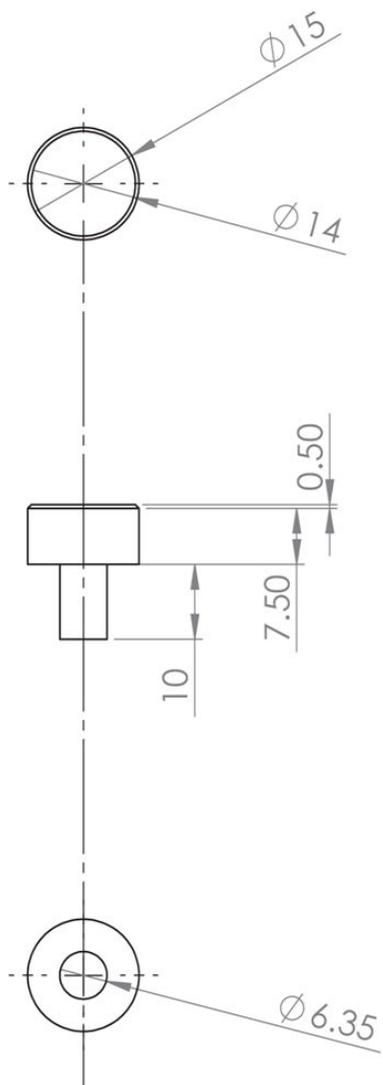
B

C

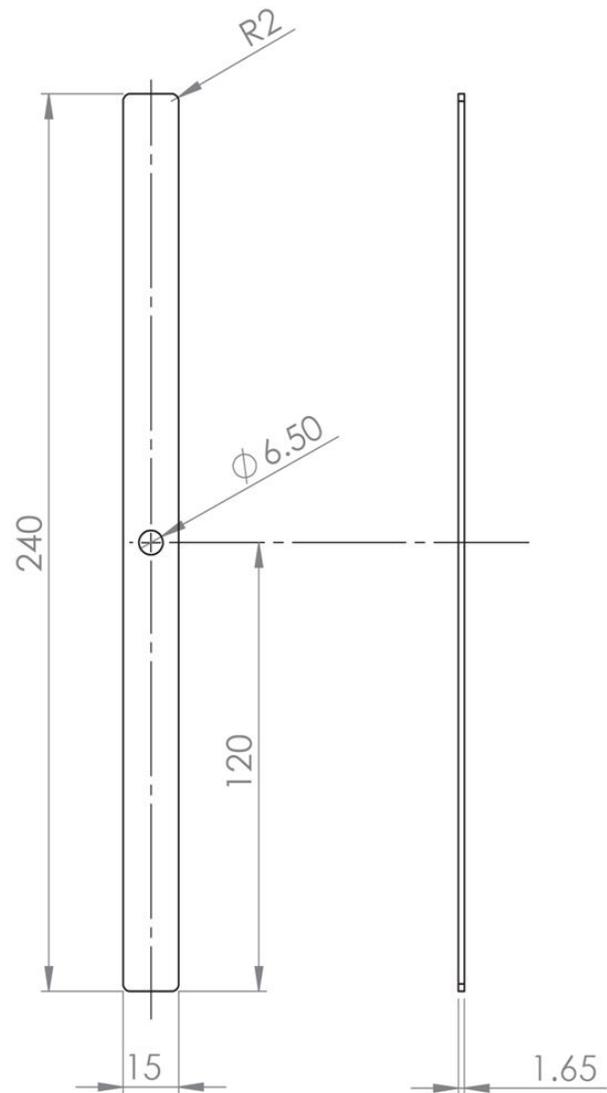
D

**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

AC - PB - 02	2	Placa aluminio C4	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:2
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Base mastil			Cotas mm	27 / 38

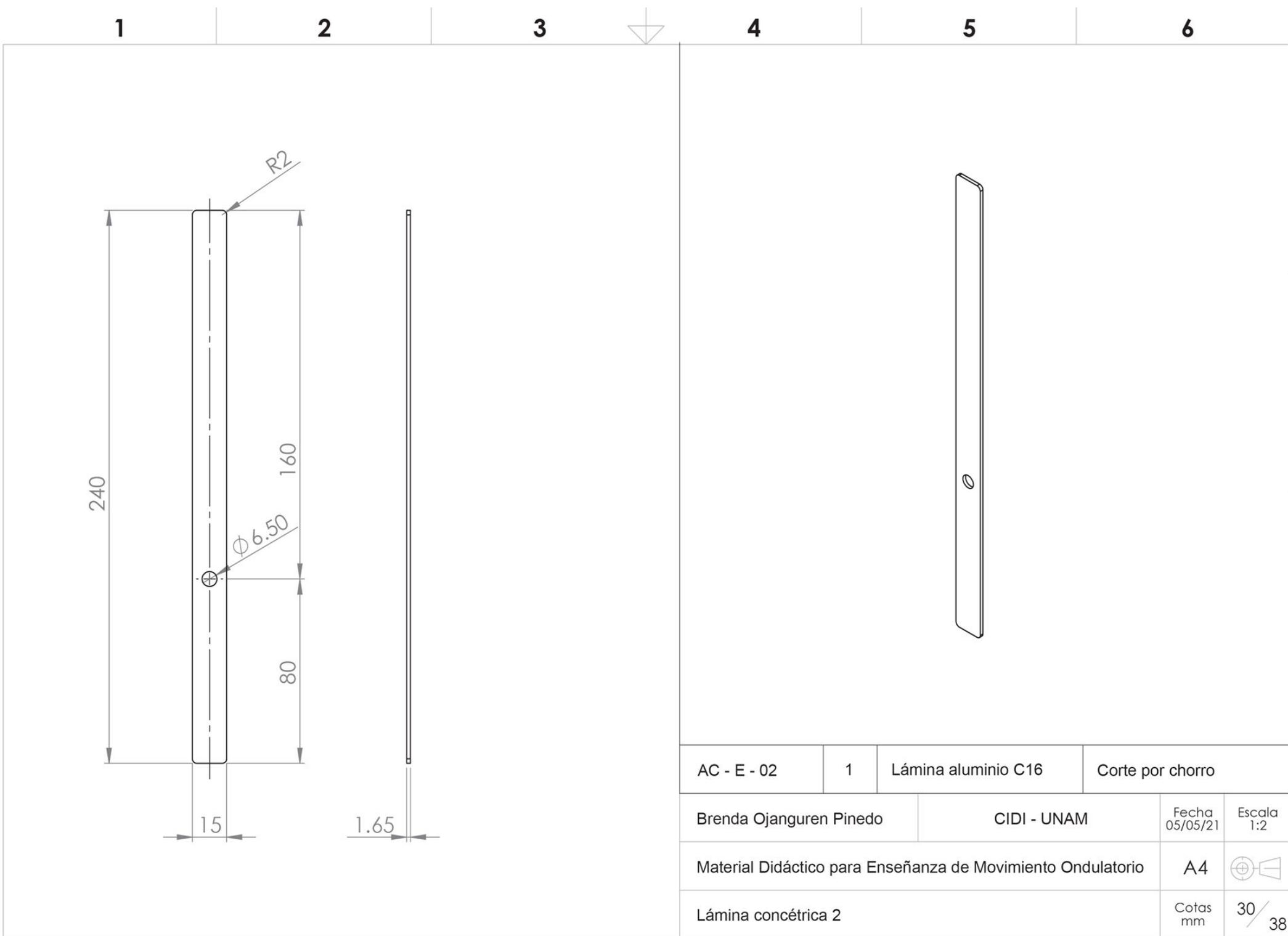
**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

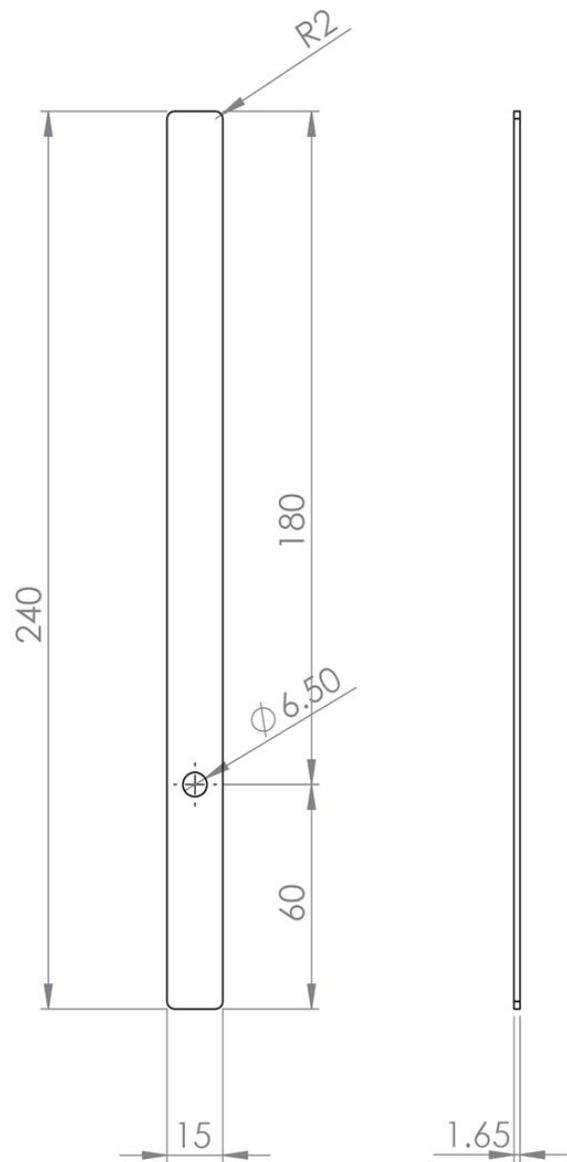
AC - PB - 03	3	Nylomaq verde	Torneado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	Escala 1:1
Tornillo mastil			Cotas mm	28/38

**1****2****3****4****5****6****A****B****C**

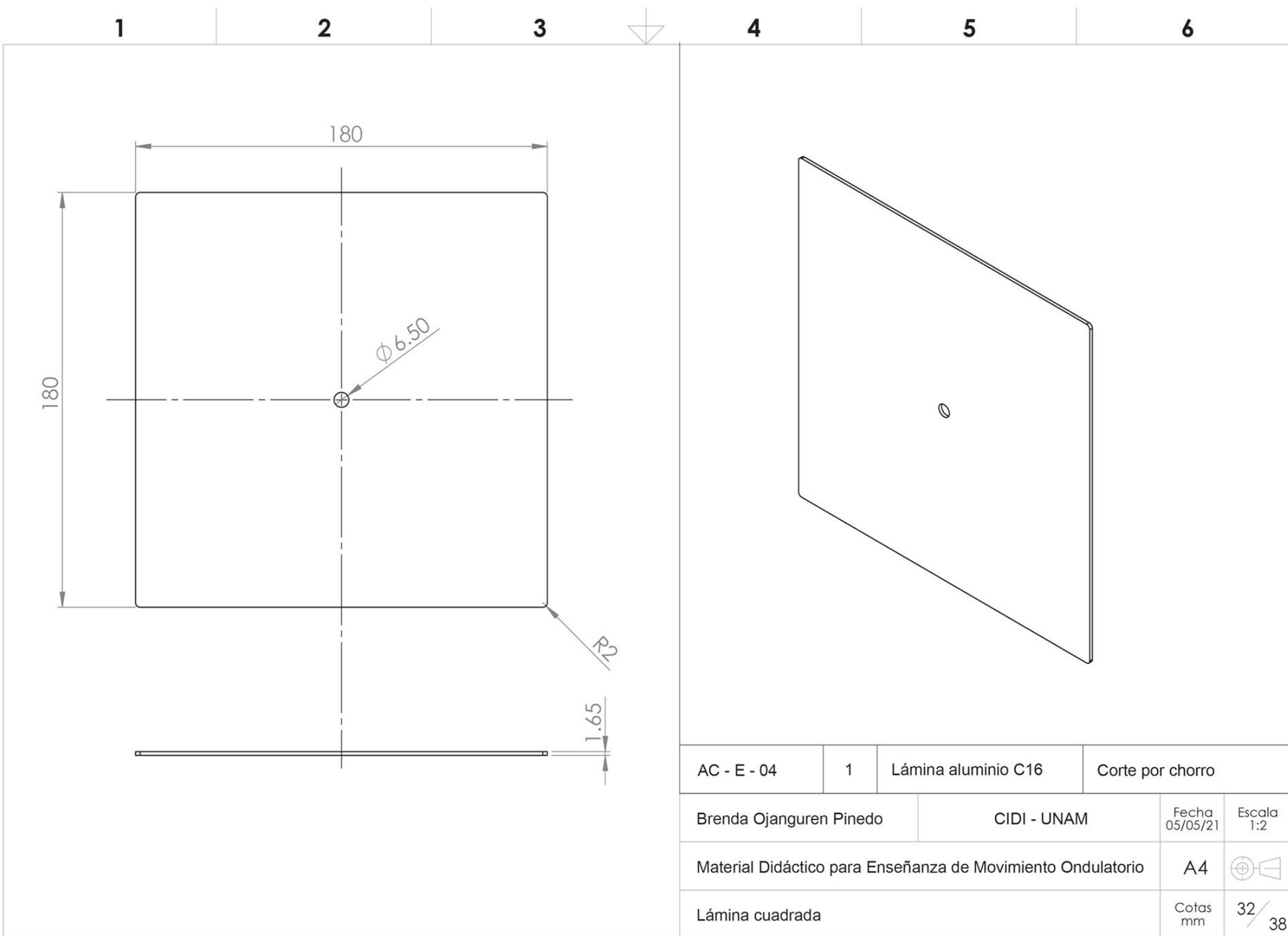
AC - E - 01	1	Lámina aluminio C16	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:2
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Lámina concéntrica 1			Cotas mm	29 / 38

**D**



**1****2****3****4****5****6****A****B****C****D**

AC - E - 03	1	Lámina aluminio C16	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:2
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Lámina concéntrica 3			Cotas mm	31 / 38



AC - E - 04	1	Lámina aluminio C16	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:2
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Lámina cuadrada			Cotas mm	32/38

1

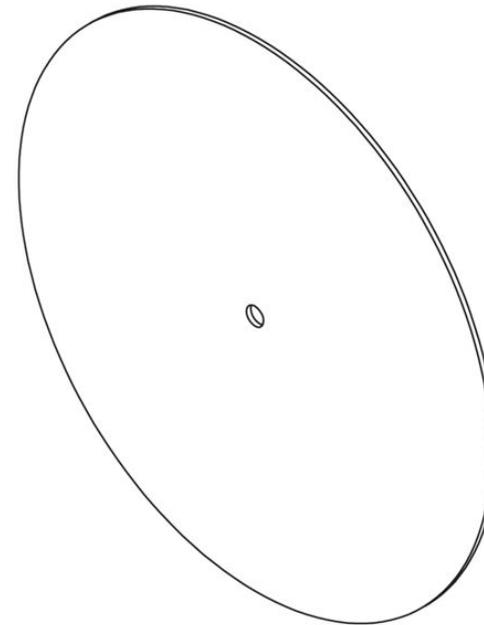
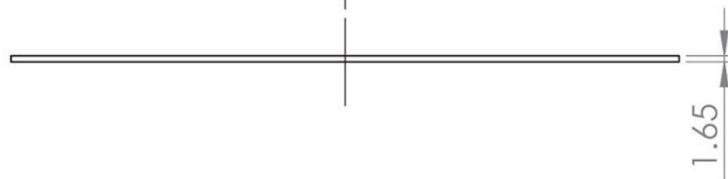
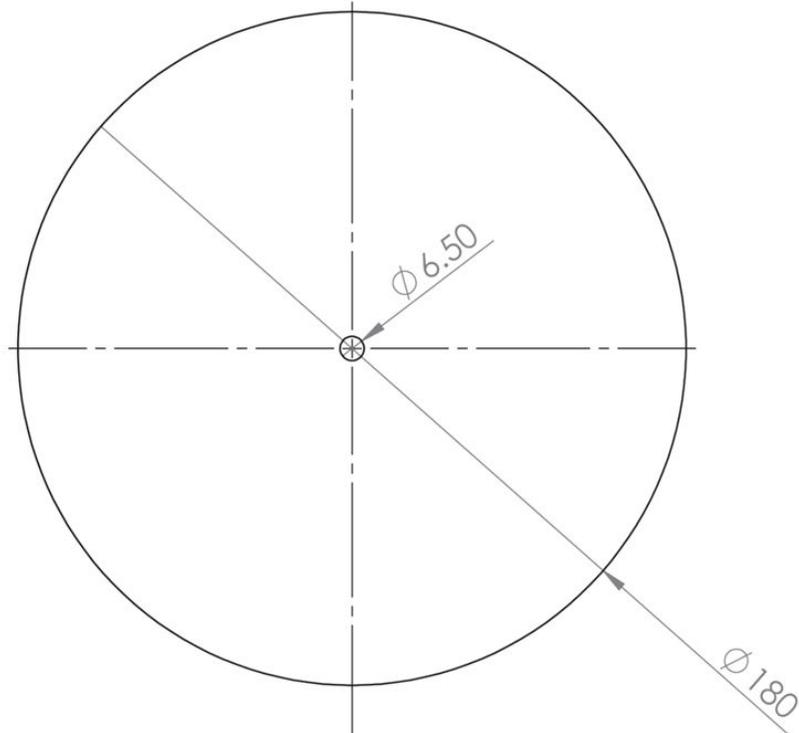
2

3

4

5

6



A

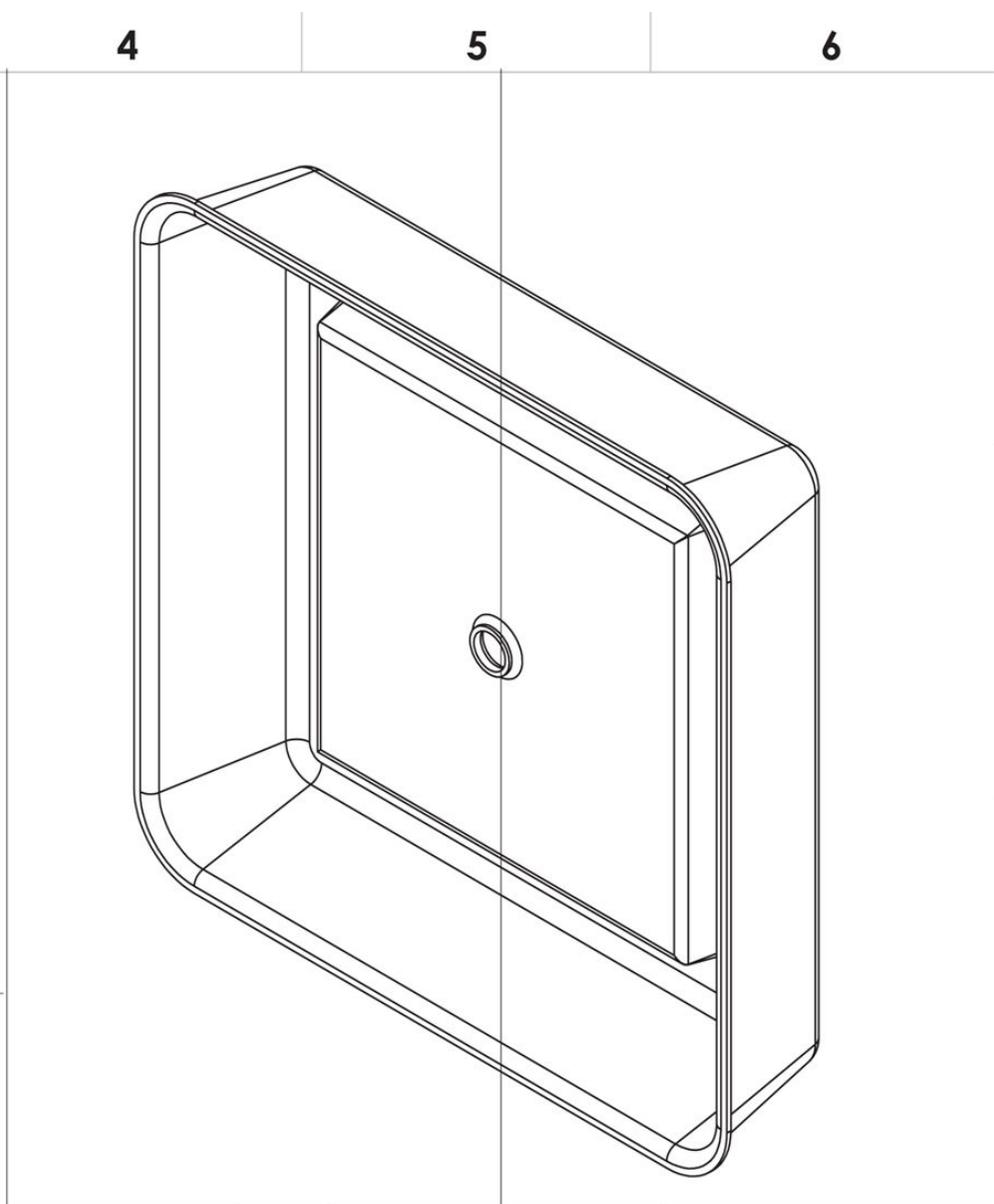
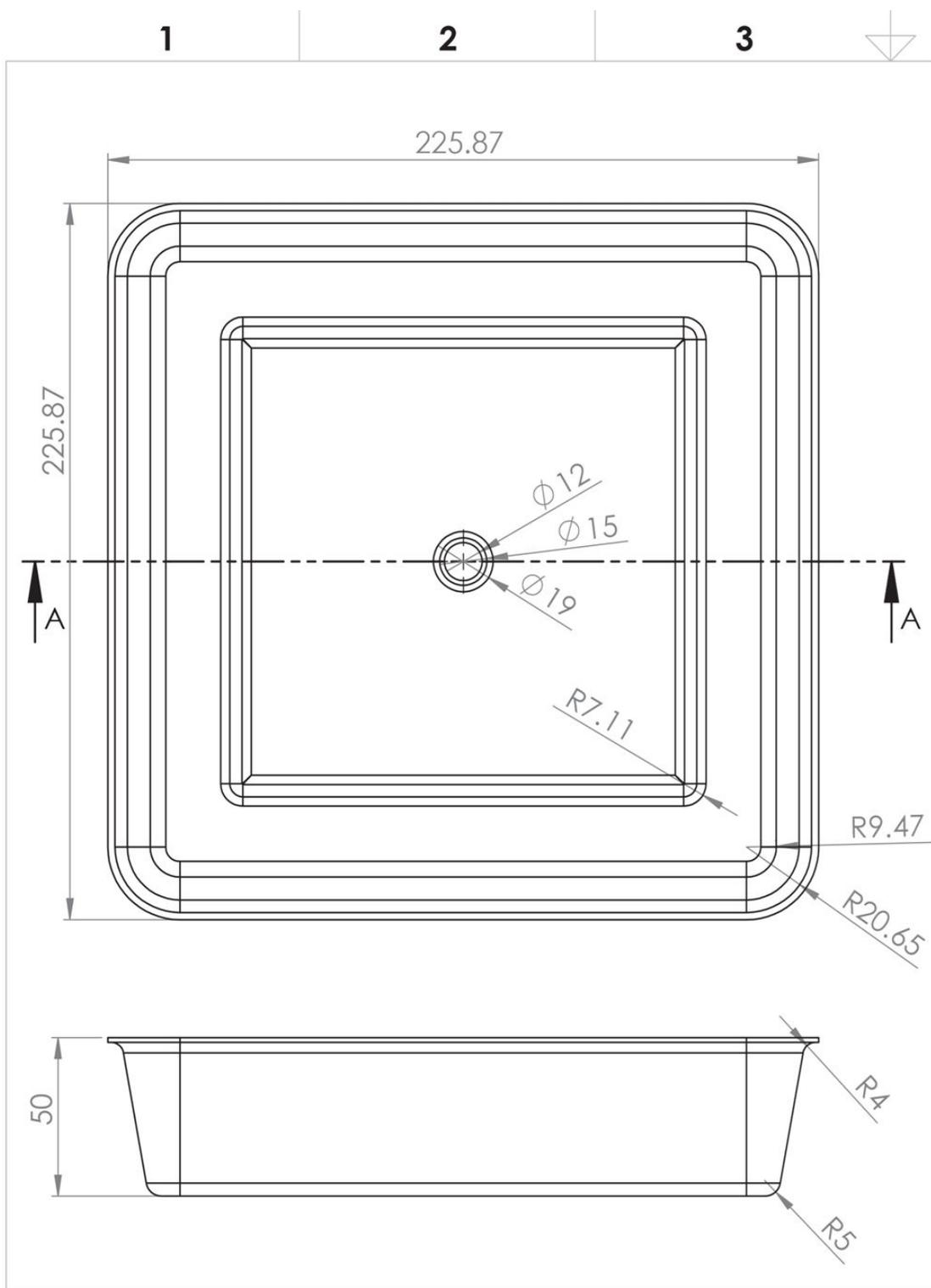
B



C

D

AC - E - 05	1	Lámina aluminio C16	Corte por chorro	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:2
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Lámina circular			Cotas mm	33/38



AC - E - 06	1	Lámina de PET	Termoformado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21	Escala 1:5
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	
Charola			Cotas mm	34/38

A

B

C

D

1

2

3

4

5

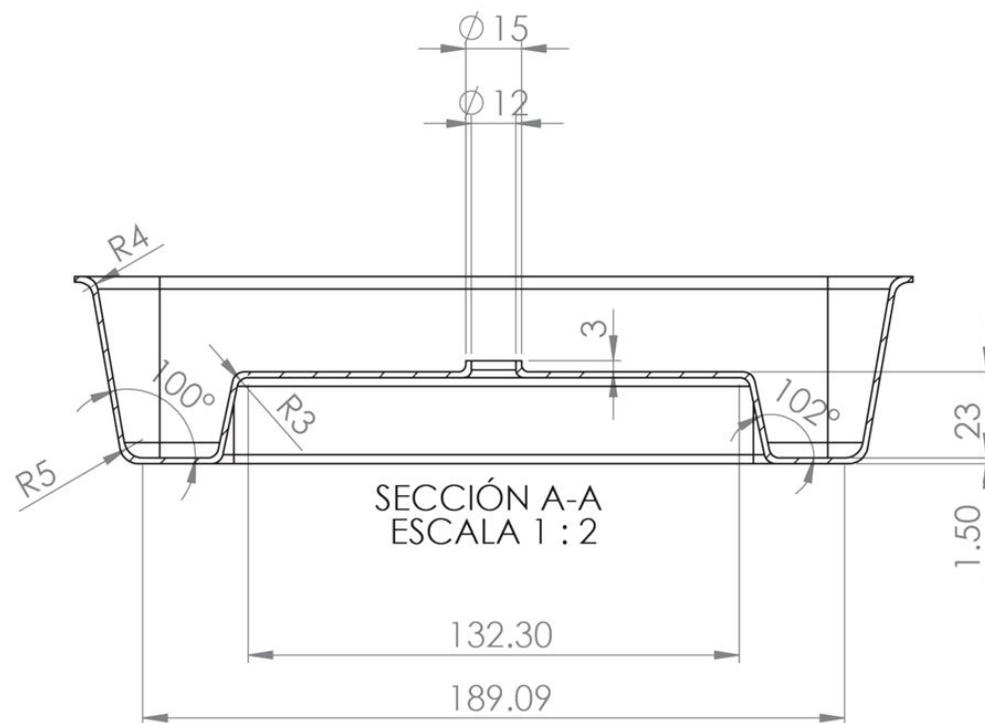
6

A

B

C

D



AC - E - 06	1	Lámina de PET	Termoformado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio		A4	Escala 1:5	
Charola (corte)		Cotas mm	35/38	

1

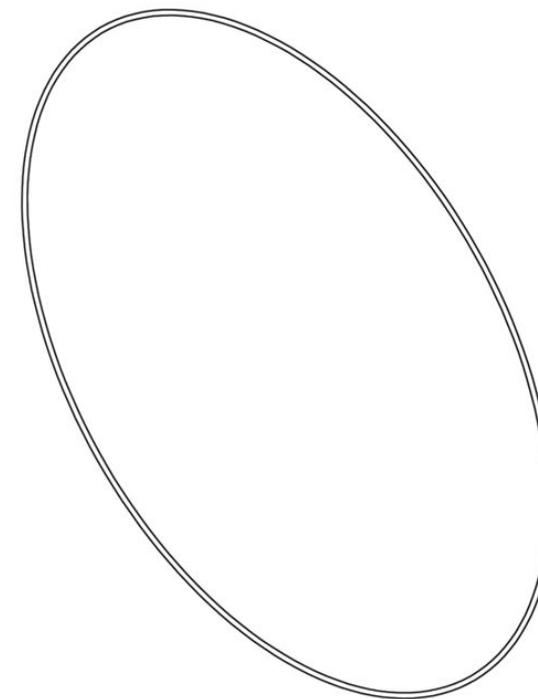
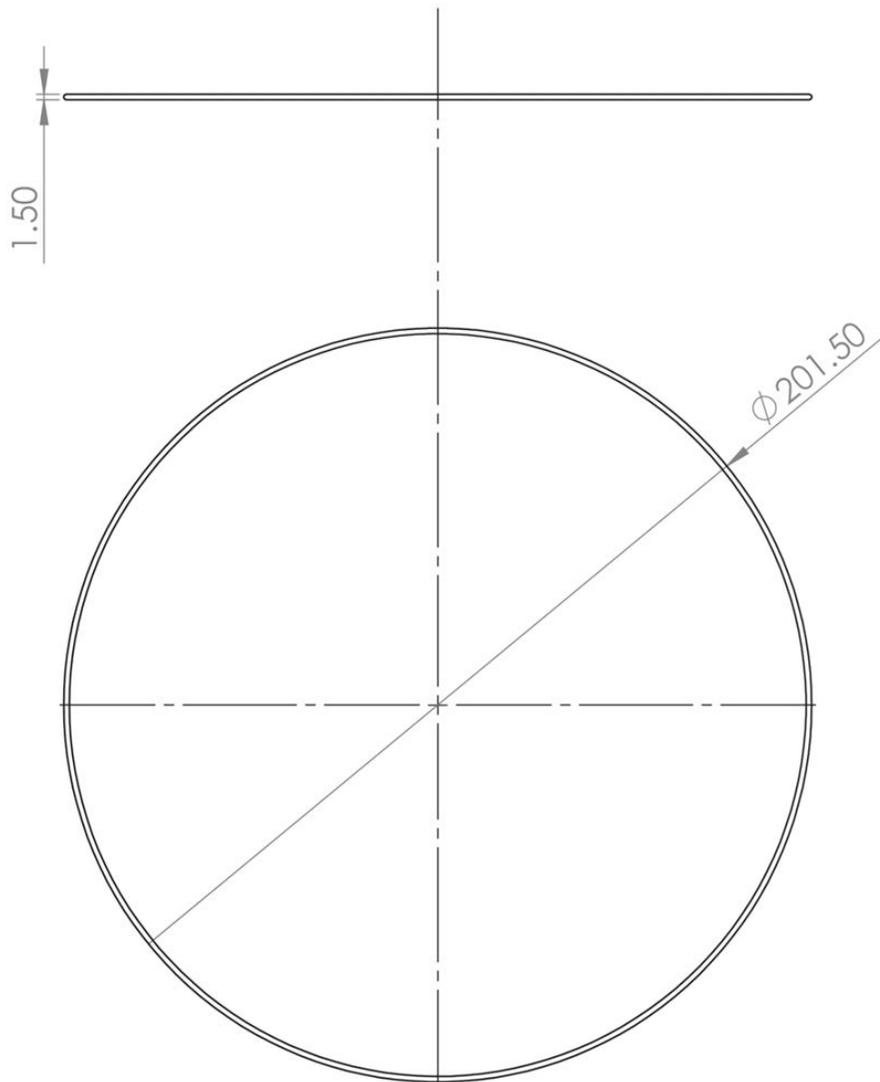
2

3

4

5

6



A

B

C

D

AC - E - 07	1	Alambre	Doblado	
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			A4	Escala 1:2
Aro			Cotas mm	36 / 38

1

2

3

4

5

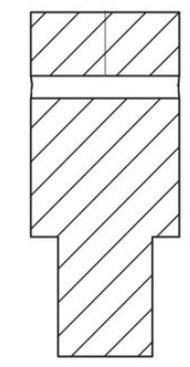
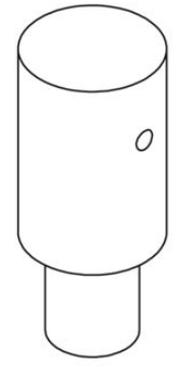
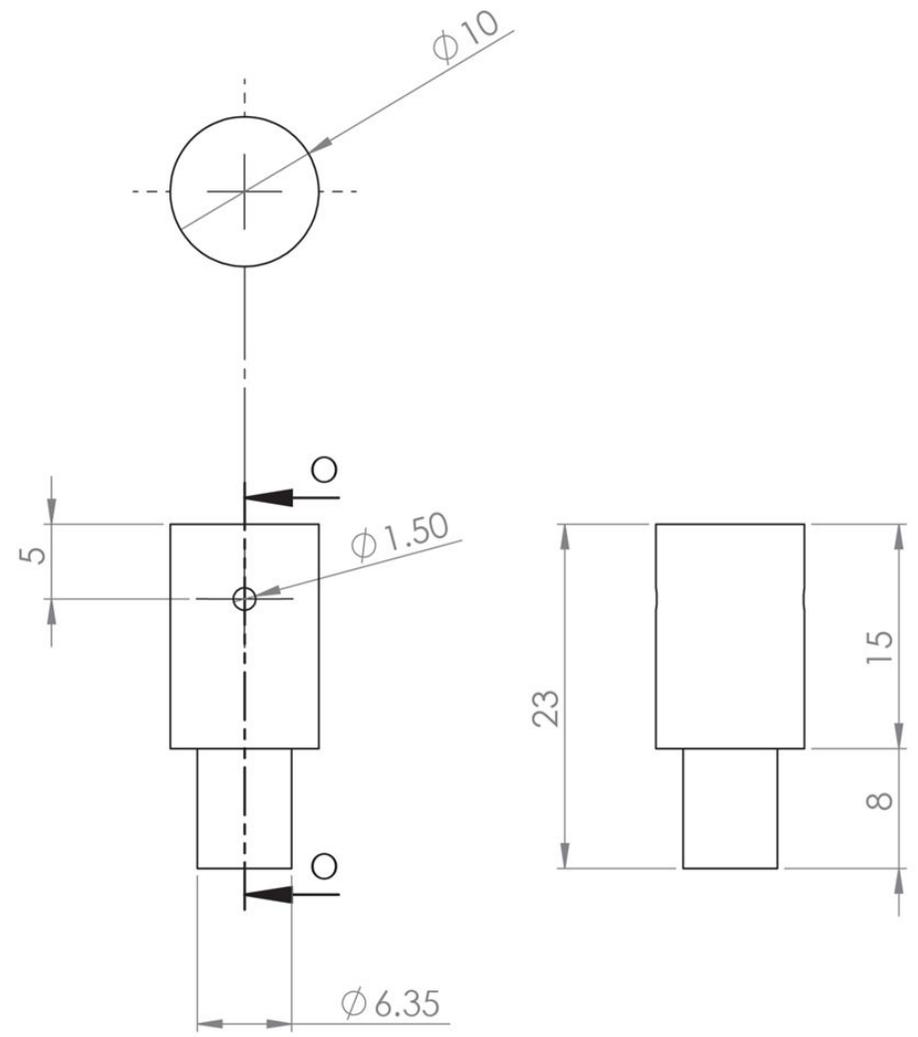
6

A

B

C

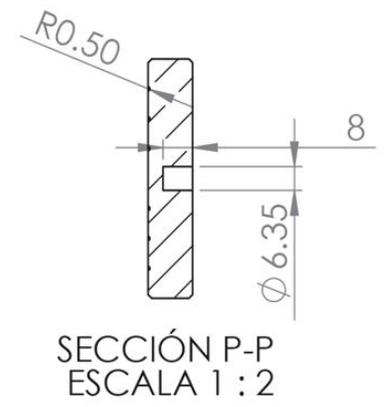
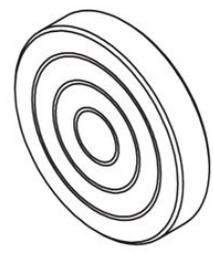
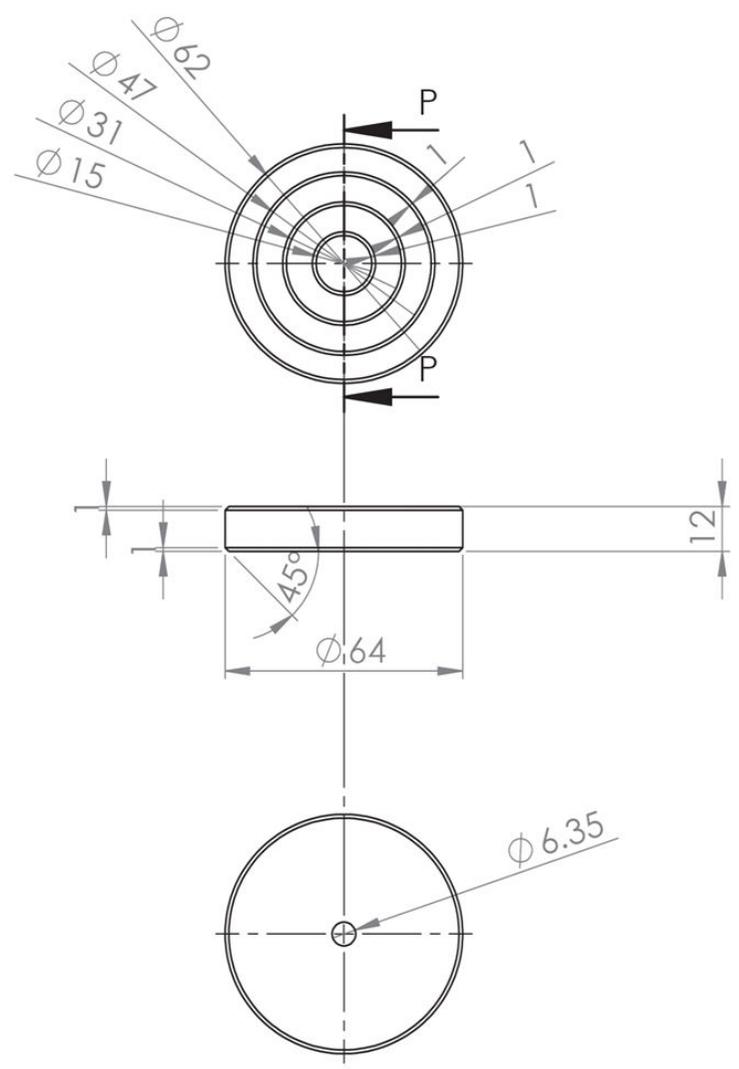
D



SECCIÓN O-O  
ESCALA 2:1

AC - E - 08	1	Nylomaq verde	Torneado
Brenda Ojanguren Pinedo		CIDI - UNAM	Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio		A4	Escala 2:1
Tornillo aro		Cotas mm	37/38

1                      2                      3                      4                      5                      6



A  
B  
C

AC - E - 09	1	Nylomaq verde	Torneado
Brenda Ojanguren Pinedo	CIDI - UNAM		Fecha 05/05/21
Material Didáctico para Enseñanza de Movimiento Ondulatorio			Escala 1:1
Base burbujas			A4
			Cotas mm
			38 / 38

D