

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
INGENIERÍA EN DISEÑO DE PRODUCTOS
VALPARAÍSO - CHILE**



**MEJORANDO LA EFICIENCIA EN PROYECTOS MULTIDISCIPLINARIOS POR MEDIO DE
UNA METODOLOGÍA DE DISEÑO: CASO DE ESTUDIO EN EL REDISEÑO DE UN
HODOSCOPIO DE MUONES.**

**MARCELA BELÉN LÓPEZ SCHOLER
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN DISEÑO DE PRODUCTOS
CHRISTOPHER NIKULIN
DICIEMBRE 2018**

AGRADECIMIENTOS |

En primer lugar, claramente, a mi mamá. Por todo su apoyo, cariño y amor. Sin esos, estos últimos cuatro años habrían sido imposibles. A mi familia y amigos, por ser una constante de apoyo incondicional. A Marcel, por ser una luz y una fuente de apoyo y amor inagotables.

Un agradecimiento especial a la Universidad, que me abrió sus puertas y me permitió ser parte de este castillo encantado, y por su reconocimiento a mis méritos.

A la carrera de Ingeniería en Diseño de Productos y todos quienes la conforman, por acogerme, escucharme y apoyarme, por devolverme la confianza en mí misma y por formarme como la profesional flexible, abierta al cambio e integral que soy y seguiré siendo.

Al CCTVal, por permitirme ser parte de su equipo y crecer profesionalmente.

Y finalmente, pero no menos importante, a mi profesor guía. Por todo el apoyo y paciencia. Me prestó más ayuda de la que esperé recibir. Muchas gracias.

RESUMEN |

Dados los avances en ciencia y tecnología a nivel global, el trabajo multidisciplinario se ha posicionado como una manera concreta de resolver los problemas complejos de la actualidad para continuar desarrollándose tecnológicamente. Sin embargo, este tipo de trabajo en equipo presenta una dificultad propia de la formación de los integrantes, que es el estilo comunicacional. Tiempo y recursos son desperdiciados en la medida que el equipo presente dificultades para comunicarse y entenderse.

Debido a lo anterior, en este trabajo se implementa parcialmente una metodología de diseño que busca disminuir esta brecha comunicacional. Esta metodología se aplicó sobre un proyecto multidisciplinario de carácter ingenieril perteneciente al Centro Científico Tecnológico de Valparaíso, que consistió en el rediseño de un Hodoscopio de Muones (telescopio de rayos cósmicos). La metodología consistió en cuatro pasos, donde en primer lugar se identifican las funciones principales que el producto debe

cumplir, pasando a la identificación de elementos necesarios para lograr cada función, la identificación de sistemas funcionales, hasta las interrelaciones entre elementos y su posterior asignación a los profesionales encargados de desarrollarlos.

Luego de la aplicación de la metodología se evaluó la percepción de los integrantes del equipo sobre su utilidad en materia comunicacional, para el entendimiento de las tareas y cómo influye la toma de decisiones de un área en el trabajo de los demás integrantes, obteniéndose una alta aprobación y aceptación de su utilidad.

ABSTRACT |

With the current global advances in science and technology, multidisciplinary work has made a step forward as one of the fundamental ways to resolve the complex nowadays problems and continued the technological development. Nevertheless, this class of teamwork has its own particular difficulty that comes from each member's discipline, which is the communicational style. Time and other resources are wasted while the team members try to communicate and understand each other.

Having that into consideration, this paper integrates, partially, a design methodology seeking to shorten the communicational gap. This methodology was applied to a multidisciplinary engineering project from the Technological Scientific Center of Valparaíso (CCTVal) that consisted in the redesign of a Muon Hodoscope (cosmic ray detector). It consisted of four steps: the first one identifies the principal functions the product has to include, then to the identification of every necessary element to

fulfill each function. The third step identifies functional systems for a group of elements and then creates a network with elements relation. Finally, every system is assigned to each team member considering its discipline of expertise.

After the application, the perception of every team member was evaluated, regarding the level of usefulness of the methodology in terms of communication and task understanding. The objective is to visualize how decision making in one area affects the others. The methodology was finally accepted as useful by the multidisciplinary team.

ÍNDICE |

ÍNDICE 	7
ÍNDICE DE FIGURAS 	9
ÍNDICE DE TABLAS 	11
INTRODUCCIÓN 	12
OBJETIVOS 	15
OBJETIVOS GENERALES	15
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
ESTADO DEL ARTE 	18
LOS PROYECTOS MULTIDISCIPLINARIOS Y EL DESARROLLO	18
EL APOORTE DEL CCTVAL EN TECNOLOGÍA CON EQUIPOS MULTIDISCIPLINARIOS	20
METODOLOGÍAS DE DISEÑO QUE POTENCIEN LA COMUNICACIÓN TÉCNICA	21
HODOSCOPIOS Y SU APOORTE A LA CIENCIA	24
METODOLOGÍA 	27
ETAPA 1: REQUISITOS DE DISEÑO	28
PRESENTACIÓN DEL PROYECTO	28

DEFINICIÓN DE REQUISITOS	30
ETAPA 2: DISEÑO CONCEPTUAL	32
DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL DEL HODOSCOPIO.....	32
ASIGNACIÓN DE FUNCIONES SEGÚN DISCIPLINA.....	34
ANÁLISIS DE PATENTES Y BENCHMARKING	34
PROPUESTAS DE DISEÑO	38
EVALUACIÓN	40
MAQUETAS	41
ETAPA 3: DISEÑO DE DETALLES	44
DISEÑO CAD	44
PROTOTIPADO	46
METODOLOGÍA DE DISEÑO APLICADO EN EL HODOSCOPIO ..	49
CONCLUSIONES 	71
REFERENCIAS 	74
ANEXOS 	79
CLASIFICACIÓN DE RECURSOS DE TRIZ.....	79
ESTUDIO DE BENCHMARKING	80
ANÁLISIS DE PATENTES	81
MODELO EMS.....	82

PLANIMETRÍA.....	83
-------------------------	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS |

FIGURA 1: METODOLOGÍA A UTILIZAR (4 PRIMERAS ETAPAS)..... 23

FIGURA 2: ETAPAS EN EL DESARROLLO DEL PROTOTIPO 27

FIGURA 3: PRIMER HODOSCOPIO 29

FIGURA 4: PLACAS DETECTORAS..... 29

FIGURA 5: DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL PRIMER HODOSCOPIO..... 33

FIGURA 6: PROPUESTA DE DISEÑO A 38

FIGURA 7: PROPUESTA DE DISEÑO B 39

FIGURA 8: PROPUESTA DE DISEÑO D..... 39

FIGURA 9: PROPUESTA DE DISEÑO C..... 40

FIGURA 10: BOSQUEJO PROPUESTA FINAL DE DISEÑO 41

FIGURA 11: PRIMERA MAQUETA 42

FIGURA 12: SEGUNDA MAQUETA 42

FIGURA 13: DESCOMPOSICIÓN DEL DISEÑO DEL HODOSCOPIO..... 44

FIGURA 14: MODELO CAD DEL HODOSCOPIO DE MUONES 45

FIGURA 15: HODOSCOPIO VISTA GENERAL ... 48

FIGURA 16: PUNTO DE GIRO 49

FIGURA 17: DETECTOR DEL PROTOTIPO 49

FIGURA 18: EMS USUARIO 51

FIGURA 19: EMS EQUIPO DE TRABAJO.....	53
FIGURA 20: EMS CON ELEMENTOS	55
FIGURA 21: SISTEMA DE ENSAMBLE.....	59
FIGURA 22: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....	60
FIGURA 23: SISTEMA DE COMUNICACIÓN	61
FIGURA 24: SISTEMA DE ORIENTACIÓN	61
FIGURA 25: SISTEMA DE GIRO	62
FIGURA 26: SISTEMA DE DESPLAZAMIENTO ..	63
FIGURA 27: SISTEMA DE ROTACIÓN	63
FIGURA 28: SISTEMA DE DETECCIÓN	64
FIGURA 29: ASIGNACIÓN DE ROLES E INTERCONEXIÓN DE ELEMENTOS	66

ÍNDICE DE TABLAS |

TABLA 1: LISTA DE REQUISITOS..... 30

TABLA 2: CLASIFICACIÓN DE LOS RECURSOS
DEL PROYECTO..... 31

TABLA 3: ASIGNACIÓN DE FUNCIONES SEGÚN
DISCIPLINA 34

TABLA 4: ESTUDIO DE BENCHMARKING..... 36

TABLA 5: RESULTADO BÚSQUEDA POR PALABRA
CLAVE..... 37

TABLA 6: LISTADO DE COMPONENTES DEL
HODOSCOPIO DE MUONES..... 47

TABLA 7: *FUNCIONES Y ELEMENTOS*..... 54

TABLA 8: FBS DE LOS ELEMENTOS 57

TABLA 9: FEEDBACK METODOLOGÍA..... 68

INTRODUCCIÓN |

Una de las características que el desarrollo científico ha traído consigo en los últimos años, es la formación de profesionales altamente especializados (Montgomery, 2004). De la mano con lo anterior, vienen también problemas de carácter técnico cada vez más complejos (Leal-Egaña, 2006) que involucran diversas áreas del saber humano. Para resolver los problemas del mundo actual, que exigen cada vez más y diversos conocimientos, es necesaria la conformación de equipos de carácter multidisciplinario con profesionales especializados que estén dispuestos a trabajar colaborativamente con objetivos comunes (Derry et al., 2005) para dar soluciones innovadoras y de alto impacto.

Si bien existe gran diversidad de equipos de carácter multidisciplinario, para efectos de este trabajo se enfocará en aquellos del área ingenieril. Los ingenieros han tenido éxito creando sistemas técnicos complejos que han hecho la vida moderna, como la conocemos, posible (Bell, 2011). Además,

debido a la alta especialización, se ha hecho necesaria la formación de profesionales que generen puentes comunicacionales entre las disciplinas (Leal-Egaña, 2006), para lograr una convergencia de ideas y soluciones, y un trabajo más fluido.

Sin embargo, uno de los problemas más importantes con los que luchan quienes participan en proyectos multidisciplinarios, es la dificultad para comunicarse de manera efectiva (Leal-Egaña, 2006). La formación particular de cada integrante los dota de un lenguaje técnico propio de cada disciplina, el cual, al momento de ser compartido entre integrantes, suele generar confusión y dificulta la generación de ideas innovadoras (Hauser et al, 2002; Sung et al, 2003; Montgomery, 2004). Además de los problemas de comunicación, que tienen un origen en la disciplina, está la manera típica en que se abordan los problemas (Dougherty, 1992) y que al momento de interactuar con personas de distintas áreas puede generar dificultades para avanzar.

Por otro lado, existen problemas de origen contextual, como las diferentes perspectivas y prioridades de los integrantes del equipo (Dougherty, 1992), estas últimas son un problema en común en todo tipo de equipos y no exclusivos de los multidisciplinarios. Lo anteriormente mencionado puede coartar el potencial creativo y la efectividad del trabajo del equipo, por lo que se requiere disminuir estas brechas lo mejor y más rápido posible.

En la búsqueda de eficiencia y productividad en las soluciones a problemas del mundo actual se ha hecho necesario implementar metodologías que guíen y respalden el proceso de toma de decisiones (Berumen y Llamazares, 2007). Estas metodologías aportan un lenguaje común para los integrantes de los equipos y, en consecuencia, potencia la comunicación y entendimiento entre los integrantes. Para este trabajo se toma como caso de estudio el rediseño de un Hodoscopio de Muones en el que se trabaja en conjunto con ingenieros del área electrónica, mecánica y física. Y se

busca la aplicación de una metodología posterior al desarrollo del proyecto para visualizar las falencias en la comunicación dentro de las diferentes áreas y analizar qué se obtiene al implementar el modelo de diseño.

OBJETIVOS |

Los objetivos que guiarán el desarrollo del título se componen de un objetivo general y de objetivos específicos, los que se destacan a continuación.

OBJETIVOS GENERALES

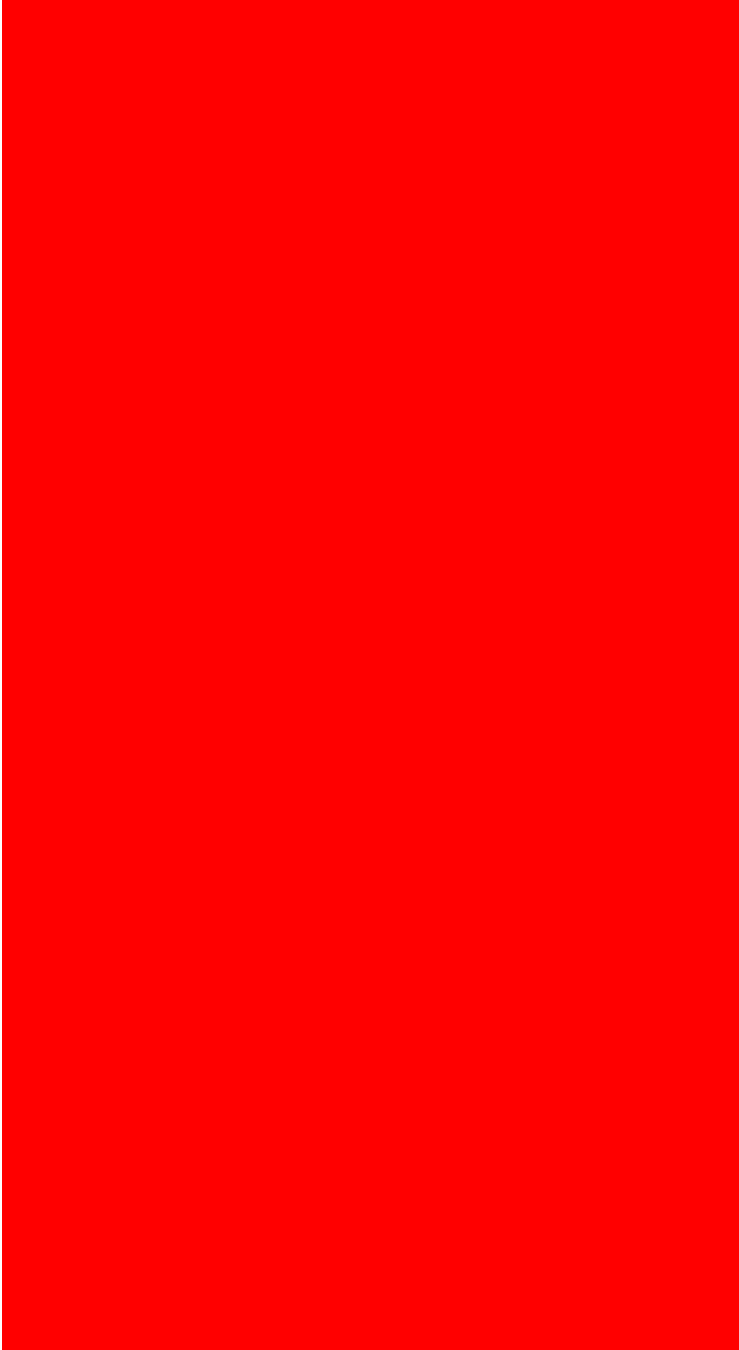
El objetivo general es evaluar la efectividad del desarrollo en un proyecto multidisciplinario a través de la utilización de metodologías de diseño y sus relaciones de cambio en elementos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Rediseñar el Hodoscopio de Muones del Centro Científico Tecnológico de Valparaíso cumpliendo los requisitos funcionales, lúdicos y de construcción definidos.
2. Identificar la ventaja competitiva del prototipo desarrollado por medio del análisis de patentes.
3. Aplicar una metodología de diseño para la estructuración del proceso de desarrollo del proyecto y la

correcta distribución de los recursos.

4. Evaluar la percepción de los integrantes del equipo de trabajo sobre la implementación de la metodología de diseño para identificar la efectividad de la metodología y sus efectos comunicacionales.



ESTADO DEL ARTE |

Actualmente, la sociedad está inmersa en una era del conocimiento, construida a partir de las nuevas tecnologías. A su vez, estos generan niveles cada vez más grandes de información, transformando el conocimiento en el elemento central del desarrollo (Rodríguez-Ponce, 2009). Parte del desarrollo de las sociedades proviene de los saberes de la ingeniería, que buscan lograr un desarrollo a nivel país por medio de innovaciones tecnológicas (The Clover 2030, 2017). Por lo que se puede acordar, que los saberes ingenieriles tienen una gran importancia en el mundo actual, ya que forma parte del crecimiento mismo de las sociedades gracias al desarrollo de nuevas tecnologías.

En la búsqueda por resolver los complejos problemas de la actualidad, está siendo cada vez más necesaria la conformación de

equipos de carácter multidisciplinario con profesionales especializados que estén dispuestos a trabajar colaborativamente con objetivos comunes (Derry et al., 2005). Además del potencial que aporta cada disciplina dentro del desarrollo del proyecto multidisciplinario, el trabajo en equipo genera una convergencia tecnológica en la que se incorporan los conocimientos y metodologías de los diferentes campos involucrados (Rodríguez-Ponce, 2009). El impacto de esta convergencia tecnológica se está viendo reflejado en el desarrollo de la humanidad en diversos campos de la ciencia y tecnología (Duch et al., 2005), como lo son los grandes avances en tecnologías médicas o los complejos sistemas informáticos que unen diseños de experiencia de usuario para crear realidades nunca antes pensadas.

Además, la convergencia tecnológica demanda conocimientos altamente especializados. La posibilidad de contribuir al estado del arte en el nivel de

convergencia tecnológica requiere de una alta especialización y de alta capacidad cognitiva para lograr la integración disciplinaria (Rodríguez-Ponce, 2009), por lo que el desarrollo de proyectos de carácter multidisciplinario en las áreas ingenieriles es fundamental para lograr un desarrollo significativo de la sociedad.

EL APOORTE DEL CCTVAL EN TECNOLOGÍA CON EQUIPOS MULTIDISCIPLINARIOS

El Centro Científico Tecnológico de Valparaíso forma parte de la Universidad Técnica Federico Santa María y es donde se gesta el proyecto de rediseñar un Hodoscopio de Muones con fines educacionales. El centro busca impulsar la generación de nuevo conocimiento en física e ingeniería aplicada a la alta tecnología por medio de equipos de trabajo con profesionales de distintas disciplinas, para impactar positivamente en la sociedad y la industria (CCTVal, 2015a) gracias a la unión de experiencias y conocimientos aportados por cada integrante desde su disciplina particular.

Por medio de la especialización de sus colaboradores en las áreas de Física Teórica de Partículas, Física Experimental de Altas Energías, Electrónica e Informática y Computación, el CCTVal busca generar

nuevo conocimiento, al mismo tiempo que desarrolla un trabajo colaborativo constante con otros establecimientos educativos, generando equipos multidisciplinarios para el desarrollo de este nuevo conocimiento que ayuda a generar avances que faciliten el desarrollo social e industrial del país (CCTVal, 2015b – CCTVal, 2015c). Este trabajo colaborativo entre el centro y otros establecimientos, potencia el rol social que busca generar nuevo conocimiento para aplicarlo en beneficio del crecimiento de la sociedad.

Dentro de las áreas en que se desenvuelven los proyectos abarcados por el centro se destacan la medicina, las ciencias físicas, la minería y las TIC (Tecnologías de la Información y Comunicación), siendo todas estas de alto impacto en la sociedad actual. En algunos de los proyectos se trabaja en conjunto con otros centros científicos de nivel mundial como Jefferson Lab y el CERN, y en otros se trabaja junto a empresas y organizaciones nacionales o

con otras universidades del país. Es por medio de estas colaboraciones que se generan lazos que permiten diversificar los equipos multidisciplinarios que trabajan en los proyectos, creando un flujo de conocimiento que concluye en los aportes tecnológicos que cada solución otorga al país.

METODOLOGÍAS DE DISEÑO QUE POTENCIEN LA COMUNICACIÓN TÉCNICA

El proceso de diseño de las soluciones a los problemas complejos de la actualidad requiere un aumento en la cantidad de conocimiento compartido desde las distintas disciplinas (Schöfer et al, 2013), lo que se puede ver perjudicado debido a las complicaciones que surgen al momento de comunicar ideas con lenguajes técnicos tan diversos. Por lo tanto, para lograr una fluida transferencia de conocimiento científico dentro de los equipos multidisciplinarios se necesita una metodología que facilite este intercambio de ideas y formación de soluciones (Roberts, 2009).

Para lograr una comunicación efectiva es necesario que, en un principio, todos entiendan lo mismo sobre el proyecto a desarrollar. Para lograr esta base de entendimiento y para reducir la incertidumbre y riesgo de los proyectos, se

utilizan metodologías de diseño que guían a los equipos en el proceso de desarrollo proyectual. En particular, en este trabajo se utilizará parte de la metodología desarrollada por la estudiante de Ingeniería en Diseño de Productos Vania Zambra, que consta de seis etapas, de las cuales solo se desarrollarán cuatro, con el propósito de evaluar posterior al desarrollo del proyecto, si todos los participantes entendían lo mismo.

En la figura 1 se observan las cuatro etapas de la metodología que se desarrollarán. En particular, es de gran interés la cuarta etapa, donde se espera evaluar qué tan capacitados estaban los integrantes del equipo al momento de desarrollar el proyecto, además de evaluar si cada integrante estaba consciente de todas las tareas que debía desarrollar y que eran de su exclusiva responsabilidad.

Se esperaría que al conocer desde un principio las etapas a desarrollar, a los responsables de cada etapa y qué se debe

hacer en cada etapa, los equipos tengan una base de conocimientos en común sobre el proyecto, que disminuya los problemas comunicacionales y optimice el uso de recursos (tiempo, materiales, etc.). Por lo tanto, al evaluar estas herramientas luego de un trabajo multidisciplinario más bien intuitivo, se espera identificar los puntos comunicacionales débiles que causaron pérdida de recursos a partir de la percepción de los integrantes.

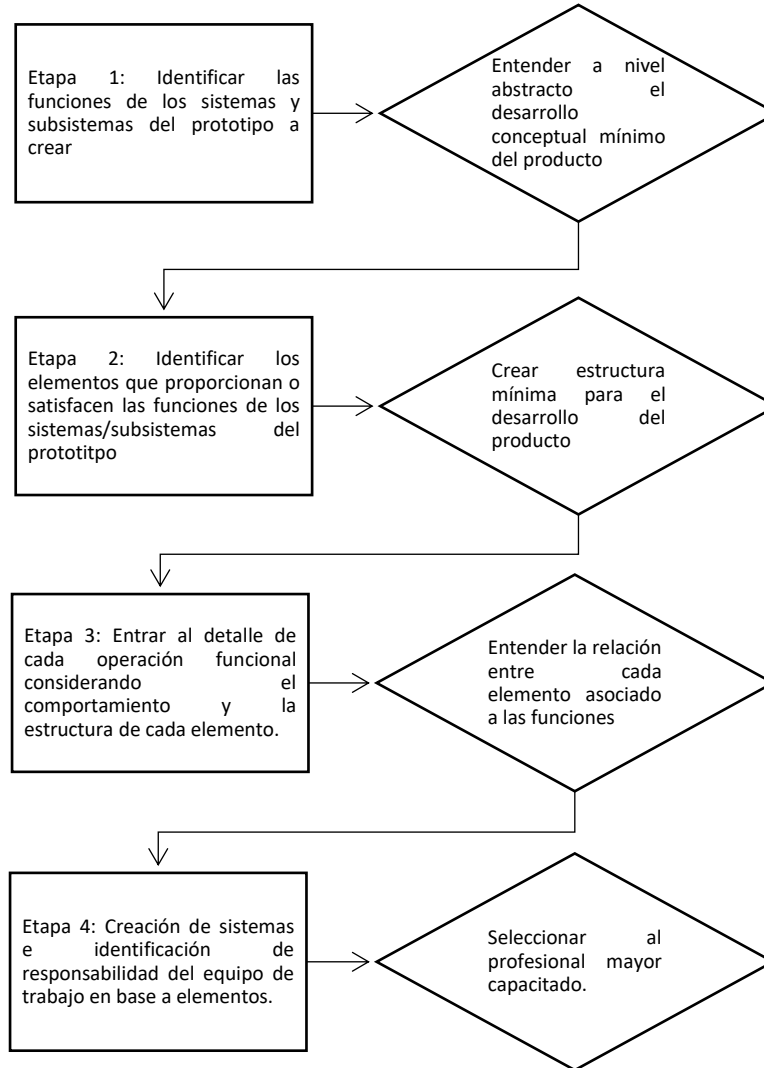


Figura 1: Metodología a utilizar (4 primeras etapas)

HODOSCOPIOS Y SU APOORTE A LA CIENCIA

Los Hodoscopios son instrumentos del área de la física de partículas que se utilizan para la detección de rayos cósmicos. Este tipo de dispositivos puede funcionar en base a diferentes principios: existen hodoscopios de tubos fotomultiplicadores (PMT); diodos PIN; tubos Geiger-Müller; y centelladores. En particular, el Hodoscopio con el que se trabaja en el CCTVal corresponde al último tipo. El detector corresponde a última tecnología de estado sólido: Multi Pixel Photon Counters (MPPC). Esta tecnología permite fabricar un Hodoscopio con una mayor versatilidad y robustez, lo que es óptimo, considerando que serán estudiantes de Enseñanza Media quienes operen el Hodoscopio.

El objetivo del proyecto es implementar este Hodoscopio rediseñado y automatizado en diversos colegios a lo largo del país, con el fin de acercar a los jóvenes a la física de

partículas (CCTVal, 2015d), potenciando la motivación de los estudiantes a aprender contenidos fuera de los pauteados por el Ministerio de Educación. También se espera lograr un aprendizaje significativo en la etapa escolar por medio de la interacción con un producto tecnológico en una instancia de aprendizaje distinta a la clase expositiva, reforzando el modelo constructivista que tan buenos resultados ha dado en términos de aprendizaje significativo.

Gracias al trabajo de los Hodoscopios en la detección de partículas de la atmósfera ha sido posible investigar diferentes fenómenos que ocurren en subcapas de la atmósfera terrestre y obtener una imagen general de la atmósfera, magnetósfera y heliósfera junto a sus cambios dinámicos sin la necesidad de la observación *in situ* (Ampilogov et al., 2015). Lo anterior, con el fin de colaborar en el entendimiento del mundo que nos rodea, y de sus causas y efectos. Por lo tanto, un segundo objetivo del proyecto es el de

generar un sistema de adquisición de datos que permita generar un mapeo de los registros de rayos cósmicos a lo largo del país (CCTVal, 2015d).

METODOLOGÍA |

METODOLOGÍA |

La secuencia de pasos que se desarrollaron para generar el prototipo del Hodoscopio de Muones se ilustra en la figura a continuación. Debido a que el proyecto se inició el 2016, cuando la autora iniciaba su tercer año de carrera, es que el proceso no se rigió por una metodología formal, incurriendo en muchos errores y pérdida de recursos, sin embargo, cierta coherencia se puede identificar en la figura 2.

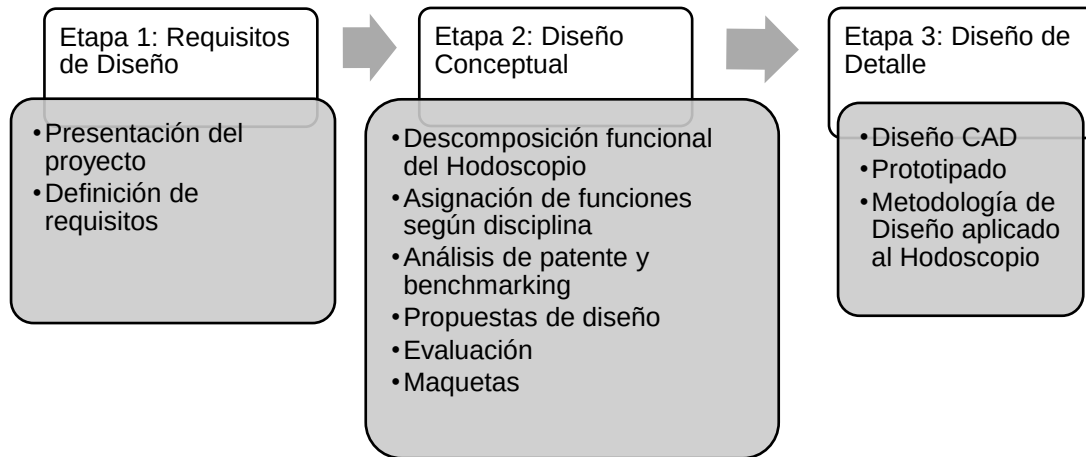


Figura 2: Etapas en el desarrollo del prototipo

ETAPA 1: REQUISITOS DE DISEÑO

Es fundamental, al momento de iniciar un proyecto, tener claros los requisitos de este. Manejar la mayor cantidad de información útil respecto al proyecto y sus requisitos permitirán a los participantes optimizar los recursos disponibles y entender que se espera de ellos, disminuyendo la incertidumbre durante el desarrollo del proyecto. En particular, como ingeniero en diseño, es clave conocer los requisitos tanto funcionales como de construcción, ya que estos se volverán limitantes y guías en el proceso de diseño.

PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

Al formar parte de un equipo que desarrollará un proyecto, sin importar si este es de carácter multidisciplinario o no, es primordial conocer la mayor cantidad de detalles del proyecto, como sus objetivos, recursos disponibles, lineamientos, entre otras cosas. Esta información ayudará a estructurar los pasos siguientes en el proceso de desarrollo.

En este caso, el proyecto consiste en rediseñar un Hodoscopio de Muones (detector de rayos cósmicos) que previamente había sido construido en el Centro Científico Tecnológico de Valparaíso (CCTVal).

El primer Hodoscopio (figura 3) está construido en madera y sostenido con perfiles de aluminio, además cuenta con tres ejes de movimiento, donde solo uno está automatizado y los otros dos son manuales. Las placas detectoras (figura 4) fueron desarrolladas en el mismo centro y serían el

elemento en común que tendrían la primera versión con el rediseño.

Lo que se espera del rediseño es que todos los movimientos de rotación y traslación de los distintos ejes sean automatizados. Esto se debe a que serán estudiantes de Educación Media quienes interactúen con el producto y se quiere evitar errores de descalibramiento por efecto de la

manipulación constante entre los alumnos y el Hodoscopio.

El rediseño del Hodoscopio de Muones está pensado para ser utilizado en colegios a lo largo del país por estudiantes de tercero y cuarto medio, con el fin de acercarlos a la física de partículas, además de generar un registro de la frecuencia con que los muones inciden a lo largo de Chile.



Figura 3: Primer Hodoscopio



Figura 4: Placas detectoras

DEFINICIÓN DE REQUISITOS

Los requisitos que se establecieron a partir de lo que se conoció del proyecto se segmentan de acuerdo a su carácter funcional (establecido por el CCTVal), lúdico (dado por el contexto y quienes lo utilizarán) y de construcción (acordado por la diseñadora con la aprobación del equipo de trabajo).

Los requisitos expuestos en la tabla 1 dan cuenta de los lineamientos que deberá seguir el proceso de diseño, y guiarán o restringirán las posibles soluciones. Por otro lado, en el caso de los requisitos de construcción, donde se pide que sea fácil y rápido de prototipar, se vuelve necesario hacer un análisis de los recursos disponibles. Para ello se utiliza el modelo de clasificación de recursos de TRIZ y los resultados se exponen a continuación en la tabla 2 (más información sobre la clasificación de requisitos de TRIZ se encuentra en los anexos).

Tabla 1: Lista de Requisitos

Funcional	Lúdico	Construcción
Eje de giro basal de 180°	Intuitivo de armar	Económico
Movimiento de separación entre placas equidistante	Piezas fáciles de reemplazar o reparar	Prototipado fácil y rápido
Rotación de las placas de -90° a 90°	Robustez	-
Automatización de los tres movimientos	Seguro de utilizar	-
Uso de software SolidWorks	Llamativo en forma o color	-

A partir de los materiales disponibles se identifica el potencial de la cortadora láser como herramienta para generar prototipos

rápidos y fáciles, lo que limita las materialidades a maderas (MDF o Terciado como el primer Hodoscopio) o acrílico.

Tabla 2: Clasificación de los recursos del proyecto

Clasificación de Recurso de TRIZ	Recurso del proyecto
Material	Impresoras 3D, cortadora láser, router CNC, sierras y otras herramientas de banco, software SolidWorks
Energía	Electricidad, mano de obra
Información	Primer Hodoscopio para análisis y referencia. Equipo multidisciplinario con Ingenieros Civil Electrónicos. Colaboradores del CCTVal (Ingenieros Civil Mecánicos)
Tiempo	Duración del proyecto, tiempos de adquisición de materiales (en la región), tiempos de envío para compras internacionales
Espacio	Silab (laboratorio con herramientas de banco), taller de prototipado del departamento de Ingeniería en Diseño

ETAPA 2: DISEÑO CONCEPTUAL

Una vez que se entiende el proyecto de manera global y se tienen establecidos los requisitos y los recursos, se cruza la información y se comienza a analizar funcionalmente el referente principal (primer Hodoscopio) junto a otros referentes (análisis de patentes y benchmarking) para presentar propuestas de solución.

DESCOMPOSICIÓN FUNCIONAL DEL HODOSCOPIO

Para descomponer funcionalmente el Hodoscopio se toma como principal referente la versión inicial que requiere el rediseño (figura 1). Se analiza la estructura física y se identifica la funcionalidad de cada una de sus partes para posteriormente cruzar esa información con la recabada de los requisitos.

Las funciones encontradas se representan en la figura 5 acompañada de la estructura del primer Hodoscopio para mayor claridad.

De esta figura se observan el funcionamiento básico de la base giratoria y del punto de giro que ya está motorizado como chequeo a la lista de requerimientos, por lo tanto, quedaría un punto de movilidad por desarrollar.

Cruzando la información con el levantamiento de requisitos funcionales asignados por el CCTVal, queda establecido que la Base giratoria, el Punto de giro y el Desplazamiento de detectores deben estar

automatizados, y el último movimiento debe dejar equidistantes las placas detectoras a un punto central. Además, se debe considerar que la Base fija cumpla con entregar robustez al sistema, y que el

mecanismo de unión de las funciones sea intuitivo de armar.

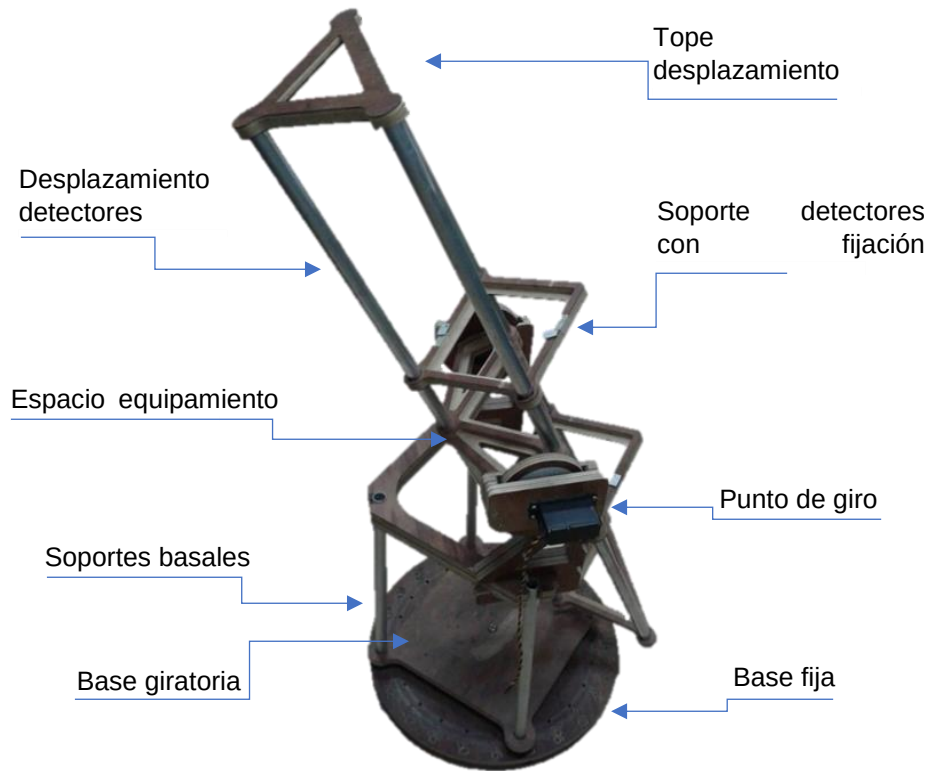


Figura 5: Descomposición funcional primer Hodoscopio

ASIGNACIÓN DE FUNCIONES SEGÚN DISCIPLINA

El siguiente paso es declarar cuales de las funciones será abordará por cada disciplina involucrada en el proyecto, a fin de definir las tareas asociadas a los integrantes del equipo.

Para este proyecto se contó con un equipo compuesto por un líder de profesión Ingeniero Civil Electrónico que gestionaba el proyecto, un estudiante de la misma carrera encargado de la adquisición y programación de los componentes electrónicos necesarios y un estudiante de Ingeniería en Diseño de Productos encargado de la adquisición, diseño y manufactura del prototipo.

De la tabla 3 se desprende que, si bien, existen funciones que solo le compete al diseñador realizar, cualquier función donde intervenga el electrónico influirá directamente en el trabajo del diseñador, por lo que es fundamental la comunicación efectiva entre ambas partes.

Tabla 3: Asignación de funciones según disciplina

Función	Electrónico	Diseñador
Desplazamiento detectores	X	X
Soporte detectores con fijación		X
Espacio equipamiento	X	X
Punto giro	X	X
Soporte basal		X
Base giratoria	X	X
Base fija		X

ANÁLISIS DE PATENTES Y BENCHMARKING

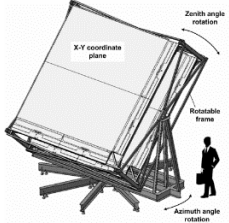
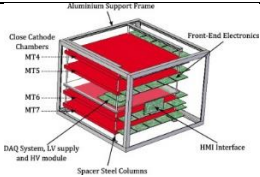
El objetivo del análisis de patentes y el de benchmarking es conocer los sistemas de Hodoscopios de Muones que existen en el mercado desde un punto de vista del diseño, más que del funcionamiento, entendiendo por funcionamiento el tipo de detector que lo compone. Es de gran interés la arista del diseño ya que interesa saber si se han

diseñado previamente Hodoscopios con fines educativos y cómo se han hecho.

Por otro lado, se conoce que los detectores de muones pueden ser de los siguientes tipos: tubos fotomultiplicadores (PMT), diodos PIN, tubos Geiger-Müller, y centelladores. Además, se sabe que el rediseño debe considerar un detector con placa centelladora conocido como MPPC.

En primer lugar, el estudio de benchmarking arrojó los siguientes resultados (tabla 4) a partir de la búsqueda de las siguientes palabras claves: *muon detector*, *muon hodoscope*, *muon equipment* y *muon telescope*.

Tabla 4: Estudio de Benchmarking

Palabra Clave	Título o Nombre	Imagen
Muon Hodoscope	Scintillation hodoscope for muon diagnostics	
Muon Hodoscope	A study of thinner-THGEM, with some applications	
Muon Telescope	Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	
Muon Telescope, Muon Detector	Muon Hunter Project	
Muon Telescope	Design and operation of a field telescope for cosmic ray geophysical tomography	

Para complementar esta búsqueda de información, se procedió a realizar un análisis de patentes tanto nacional como internacional. Para ello se utilizaron las mismas palabras claves y se identificaron los siguientes códigos IPC que corresponden a la clasificación internacional de patentes, es decir, son códigos donde es más probable encontrar patentes para el producto buscado.

Tabla 5: Resultado búsqueda por palabra clave

Palabra Clave	IPC
Muon detector	G01N23
Muon hodoscope	G01V5
Muon equipment	-
Muon telescope	G02B, G02B23/27

Luego se cruzaron los códigos IPC con las palabras claves para tener una búsqueda más específica y se identificó que si bien existen patentes relacionadas con los Hodoscopios de Muones, estas son más

bien del estilo técnico y buscan mejorar la precisión de la detección por medio de cambios morfológicos o arreglos de las placas detectoras. Por lo tanto, no se identificaron resultados relevantes en términos de Hodoscopios de Muones con fines educativos en cuanto a patentes. Sin embargo, del estudio de benchmarking hay un resultado que tiene un fin educacional que corresponde a *Muon Hunter Project*.

Muon Hunter es un producto con origen en UK, según describe su página web (<http://www.muonhunter.com/>), que vende kits de detectores de muones donde lo que buscan es enseñar sobre física de partículas, diseño de detectores, electrónica y programación. Lo anterior, por medio de un sistema de detectores *Geiger-Müller* con una componente electrónica portable que muestra el registro de la incidencia de muones. Un proyecto muy similar al que se busca desarrollar acá, pero a una escala mucho más pequeña y con un sistema de detección (G-M) distinto.

Por otro lado, se rescata del estudio de benchmarking el *Scintillation hodoscope for muon diagnostics* por tener desarrollados dos de los tres ejes de movimiento que se plantean para este proyecto. Por lo que su estructura, junto con la actividad de ensamble de *Muon Hunter* son las características rescatadas del estudio de patentes y benchmarking (más detalle sobre el análisis de patentes y benchmarking se encuentra en los anexos).

PROPUESTAS DE DISEÑO

En esta sub-etapa del proceso de diseño se decantó la información recabada en el levantamiento de requisitos, la descomposición de funciones, y el análisis de patentes y benchmarking en diferentes propuestas de diseño para el Hodoscopio de Muones.

A continuación, se presentan las cuatro propuestas con las que se trabajó, cada una surgió de conversaciones con el equipo y sugerencias de mecanismos, por lo que son

bastante diferentes entre sí. El objetivo de esta variedad de propuestas no es solo el de llegar a un producto específico, sino el de generar diálogo entre los participantes e integración. Este diseño participativo le permite al diseñador y al equipo darle valor y llegar a un acuerdo respecto al resultado deseado del proyecto (Spinuzzi, 2005), en este caso, en cuanto a morfología.

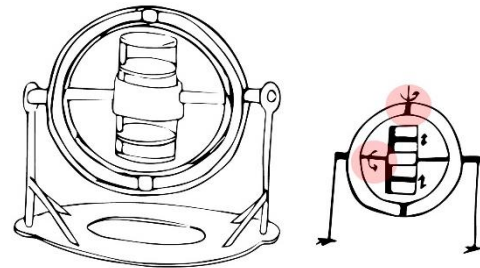


Figura 6: Propuesta de diseño A

La figura 6 muestra la primera propuesta de rediseño, en donde se tomó como referente formal y funcional al giroscopio, ya que los movimientos que realiza se condicen con los del Hodoscopio. Sin embargo, la construcción de esta propuesta se contradice con los requisitos establecidos

previamente, por lo que no se descarta, pero tampoco se aprueba. Se tendrá en consideración para futuras modificaciones.

A continuación, la figura 7 muestra una segunda propuesta, donde la sección de los detectores se encuentra cubierta por una esfera transparente que, por medio de rodillos ubicados en la base cambia de posición. Nuevamente la restricción está en el área constructiva, ya que generar una esfera de polímero y un molde en el que se desplace escapa de la realidad del proyecto. En esta propuesta, la zona del desplazamiento de las placas detectoras

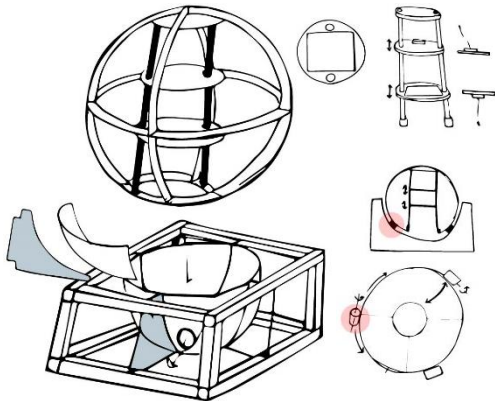


Figura 7: Propuesta de diseño B

cuenta con dos ejes, lo que lo hace más estable que el anterior.

Por otro lado, la figura 8 muestra un sistema de rieles en los que se desplazarían los detectores que rescata la esencia del giroscopio. La zona de la separación entre placas nuevamente incluye dos ejes para mayor estabilidad. La manufactura vuelve a verse complicada por el exceso de curvas, ya que es muy complejo generar perfiles con esa curvatura, por lo que el requisito de la

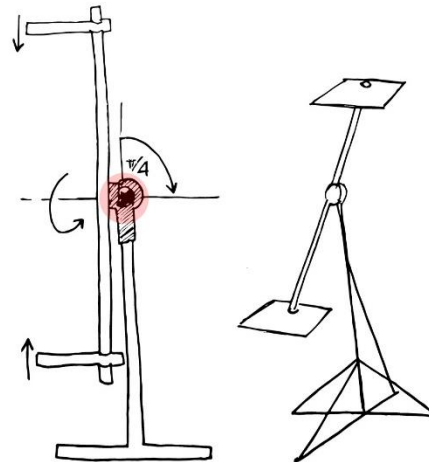


Figura 8: Propuesta de diseño D

construcción fácil, rápida y económica ya no se estaría cumpliendo.

Finalmente, la última propuesta, mostrada en la figura 9, es una versión simplificada del primer Hodoscopio, donde se reduce al mínimo la cantidad de partes y se propone un monopivote encargado de los movimientos rotacionales. En esta ocasión el desplazamiento de las placas cuenta con un solo eje, lo que dificultaría bastante la fluidez y estabilidad del movimiento.

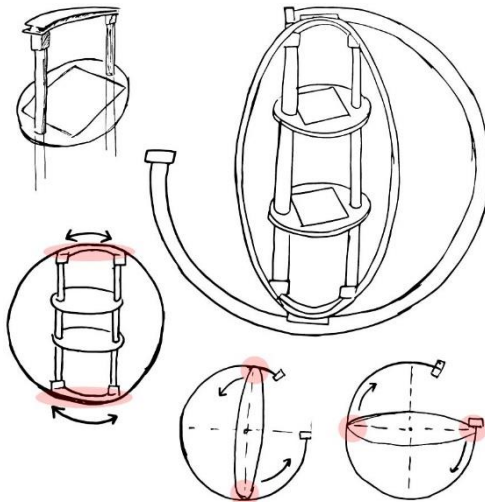


Figura 9: Propuesta de diseño C

Quitando lo precario de la estructura de soporte, el diseño en sí no presenta mayores complicaciones en cuanto a los requisitos de construcción, aunque si presenta una pieza particularmente compleja, que es la encargada de los dos giros.

Por lo tanto, como ninguna propuesta cumple completamente los requisitos antes planteados es que se da pie a un proceso evaluativo en el que todo el equipo aportó con su punto de vista y sus experiencias previas.

EVALUACIÓN

En esta sub-etapa se replantea el punto anterior por no existir un consenso en la propuesta de diseño que mejor satisfaga los requisitos. Es importante dentro de los trabajos en equipo que todos los integrantes participen de las tomas de decisiones, ya que todos están trabajando por objetivos comunes, y esto favorece la comunicación dentro de los equipos junto con la

motivación individual proveniente de un sentimiento de inclusión.

Por lo tanto, luego de conversaciones con el equipo de trabajo se decidió que la estructura general para el Hodoscopio de Muones debía considerar tres cosas principales. En primer lugar, se rescató el movimiento basal del primer Hodoscopio, por factibilidad y precisión, ya que era la forma más efectiva de hacer girar el sistema.

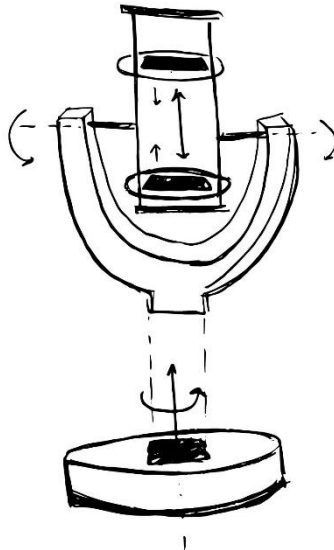


Figura 10: Bosquejo propuesta final de diseño

En segundo lugar, se rescató la forma del giroscopio y se unió al sistema de giro rotacional del primer Hodoscopio, definiendo un semi arco de contención desde cuyos extremos se sostendría el eje que haría rotar las placas detectoras, las que a su vez seguirían una estructura similar a las planteadas en las propuestas de diseño. En la figura 10 se observa el bosquejo de la propuesta desarrollada por el equipo de trabajo.

MAQUETAS

Con la propuesta a grandes rasgos definida, se inicia el proceso de maquetado para afinar detalles en cuando a morfología y previsualización de funciones. Esta subetapa es de gran utilidad para prever posibles fallos estructurales y acordar cambios con el equipo.

La primera prueba que se realizó fue por medio de una impresora 3D y consistió en la estructura de semiarco que se encargará de dar el soporte necesario a la estructura

central desde la que se mueven las placas detectoras, y que además estará en rotación por medio de la base giratoria.

En la figura 11 se observa la forma básica del semiarco que en este punto es un sólido. A partir de él se estableció la segunda maqueta (figura 12) en donde de una estructura sólida se pasó a planchas con una separación interior que permite disminuir peso y da el espacio necesario para el sistema que generará la rotación. Esta maqueta se materializó por medio de dos herramientas, en primer lugar, se utilizó una cortadora láser para dar forma a las planchas que eran de acrílico, junto a las

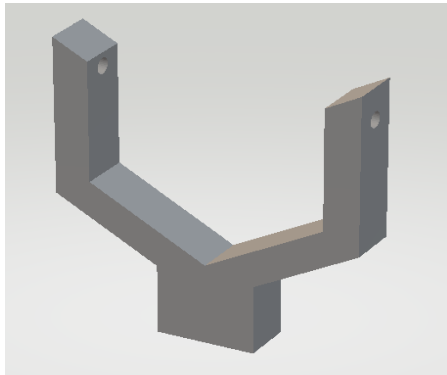


Figura 11: Primera maqueta

bases fijas. En segundo lugar, se utilizó una impresora 3D para hacer la base móvil en donde se encajarían las planchas, y se utilizó también para dar forma a las piezas de los extremos del semiarco en donde irá el sistema de rotación. El sistema de unión de las piezas fue por medio de pernos y tuercas, con esto se logró gran seguridad en la fijación y se identificó un sistema de ensamble que es fácil e intuitivo de repetir.

Por otro lado, la excentricidad del semiarco sigue siendo demasiado amplia, lo que causará un torque mayor al momento de distribuir el movimiento desde sus extremos hasta el interior para generar la rotación del

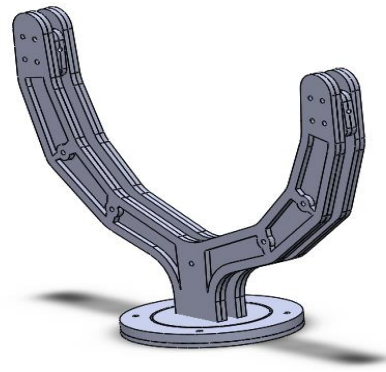


Figura 12: Segunda maqueta

sistema que contiene a las placas detectoras, por lo tanto, se propone angostarlo y asemejarlo más a un óvalo que a un círculo.

ETAPA 3: DISEÑO DE DETALLES

Luego de tener definido lo que será la propuesta de diseño conceptual se procedió a llevarla a cabo. Para ese fue necesario familiarizarse con el programa de modelación 3D del centro. El diseño CAD y la construcción se llevó a cabo en tres partes, que a medida que se fueron uniendo, completaron el rediseño. Cada parte está asociada a una de las funciones principales, que son las de generar movimiento motorizados. Se inició desarrollando la zona inferior, encargada del giro basal. Se continuó con el semiarco que generaría la rotación y soportaría al sistema interno donde están las placas. Y la última parte consistió en desarrollar el desplazamiento entre las placas detectoras y unirlo al resto del proyecto.

DISEÑO CAD

En esta sub-etapa se plantea el uso de software CAD SolidWorks, con el objetivo de precisar la forma final, dimensiones e interconexiones de todas las partes que compondrán al Hodoscopio.

Como se mencionó anteriormente, el diseño CAD de la solución se descompuso en tres partes. En la figura 13 se observa un bosquejo de cada sección marcada por un achurado diferente. La primera sección corresponde al giro basal e involucra, de la

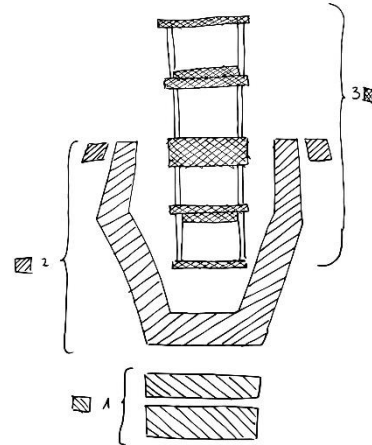


Figura 13: Descomposición del diseño del Hodoscopio

descomposición de funciones hecha con anterioridad, la “base fija” y la “base móvil”. La segunda sección representa el semiarco y la zona encargada de la rotación, e incluyen las funciones de “soporte basal” y “punto de giro”. La tercera y última sección corresponde a la zona interior donde ocurre el desplazamiento de los detectores. Esta parte incluye las funciones de “desplazamiento de detectores”, “tope desplazamiento” y “soporte de detectores con fijación”. Finalmente, se propone incluir en la primera sección la función de “espacio equipamiento”, específicamente en la “base fija”, para eliminar de las zonas de movimiento los componentes electrónicos.

Cabe mencionar que el diseño segmentado del Hodoscopio fue acompañado de una manufactura segmentada, es decir, primero se construyó la base, luego el arco con el punto de giro y finalmente la zona interior donde se desplazan los detectores. Esto con el fin de simplificar la tarea de desarrollar en detalle cada función de movimiento,

evaluando junto al equipo que tipo de motor respondería de mejor forma al desafío.

El resultado final de diseño, en el que se puso atención para su posterior construcción, es el siguiente (figura 14). Se diseñó pensando en el requisito de una fácil

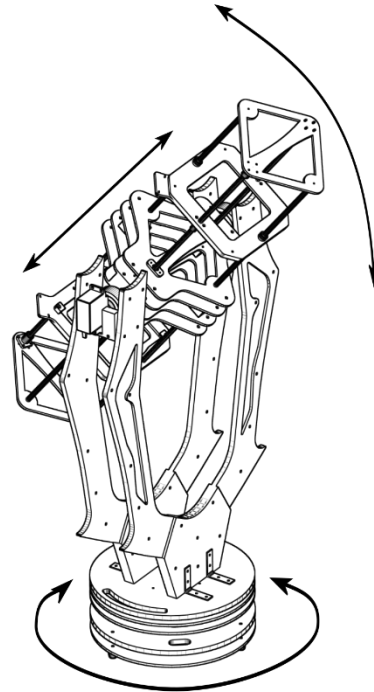


Figura 14: Modelo CAD del Hodoscopio de Muones

y rápida construcción y como se definió utilizar la cortadora láser como herramienta y acrílico como material, el diseño se compuso por muchos cortes de plancha que se propone unir por el sistema de perno y tuerca, lo que lo vuelve un ensamble intuitivo.

PROTOTIPADO

En esta sub-etapa se entra al detalle de lo que consistió el proceso de prototipado, desde los materiales utilizados, hasta los mecanismos desarrollados para lograr los requisitos de movimiento autónomo.

Para la materialización del diseño CAD se trabajó con acrílico transparente de 5mm de espesor, lo que le entregaba a la estructura una robustez adecuada para los movimientos que debía realizar. Y para unir las piezas se usó el sistema de perno y tuerca. Lo anterior corresponde a la estructura básica del Hodoscopio, a continuación, se enlistan los componentes que dieron movilidad, autonomía y otras características al Hodoscopio de Muones para que funcionara como debía.

Tabla 6: Listado de componentes del Hodoscopio de Muones

Sección	Función	Componente
1	Base fija	• Servomotor • Discos de acrílico
	Espacio equipamiento	• Arduino • GPS • Wifi • Bateria
	Base móvil	• Plato giratorio con rodamientos • Discos de acrílico
2	Soporte basal	• Semiarcos de acrílico • Escuadras
	Punto de giro	• Rodamientos • Servomotor • Piezas de acople para motor y rodamientos • Tubos de transmisión de torque • Placa de unión para el cableado
3	Desplazamiento de detectores	• Unión al tubo de transmisión de torque • Motores stepper • Acoples para motor • Guías de movimiento • Ejes ACME • Rodamientos • Giroscopio • Placas de acrílico para encuadrar los motores y las guías
	Tope desplazamiento	• Placas para encuadre de los ejes en acrílico • Rodamientos
	Soporte de detectores con fijación	• Placa centelladora • MPPC • Fin de carrera • Sensor de ultrasonido • Tuerca de avance • Rodamientos • Estructura de soporte de acrílico

Todos los componentes descritos fueron unidos a las placas de acrílico correspondientes mediante el ensamble de pernos y tuercas, como se especificó anteriormente.

Las figuras a continuación detallan de mejor forma el resultado del prototipado y de cómo se fueron construyendo las diferentes secciones junto a cada mecanismo que dio solución a las funciones establecidas.

La figura 15 muestra la vista general del prototipo final del Hodoscopio de Muones en el colegio Altomonte, en donde los alumnos ya hicieron las primera mediciones de rayos cósmicos.

En la figura 16 se observa el punto de giro con la estructura central del brazo telescópico, en donde se encuadran los motores que generarán el desplazamiento de los detectores.

Y finalmente, en la figura 17 se observa el detector, junto a parte del brazo telescópico, específicamente el eje ACME encargado de



Figura 15: Hodoscopio vista general



Figura 16: Punto de Giro

transmitir el movimiento de los motores stepper. Además se observa el sensor de ultrasonido y el cableado que sale de él y del MPPC.



Figura 17: Detector del prototipo

El detalle de las medidas del Hodoscopio de Muones se encuentra en la sección de Planimetría de los Anexos.

METODOLOGÍA DE DISEÑO APLICADO EN EL HODOSCOPIO

En esta sub-etapa se aplica la metodología antes descrita para estudiar el Hodoscopio de Muones desde la perspectiva de las relaciones entre sus componentes funcionales. Esto con el fin de analizar cómo se interrelacionan físicamente los componentes, cómo afecta en el producto global el cambio de elección de alguno de los componentes y a qué disciplinas afectan estos cambios de decisión. Luego se conversó con los participantes del proyecto para evaluar la metodología y sacar algunas conclusiones.

La metodología usada fue desarrollada por la estudiante de Ingeniería en Diseño de Productos Vania Zambra y se centra en los detalles del proyecto; buscando, a partir de la distribución eficiente del recurso humano, disminuir el riesgo y la incertidumbre en los proyectos multidisciplinarios donde principalmente interactúen ingenieros y

diseñadores, con el fin de generar un prototipo funcional.

En primer lugar, la metodología dice que para la etapa 1, de identificación de las funciones de los sistemas y subsistemas del producto a crear, se debe usar el modelo EMS de Energía Materia y Señal. Luego, para la etapa 2, se deben identificar los elementos que proporcionan o satisfacen las funciones de los sistemas/subsistemas del producto. La etapa 3 cuenta con dos partes; en la primera parte se incorporan los elementos previamente identificados en el modelo EMS, añadiéndole una imagen del componente específico que se usará; en la segunda parte se entra al detalle de cada operación funcional, analizándola en base al comportamiento y estructura de cada elemento. Finalmente, para la etapa 4, se crean los sistemas y se identifican y clasifican las responsabilidades del grupo de trabajo de acuerdo a los conocimientos y habilidades de cada integrante.

Lo anterior se aplicó al proyecto ya desarrollado del rediseño del Hodoscopio de Muones, donde se busca que por medio de la estructuración de las etapas de diseño se llegue a una optimización de tiempo y recursos y a una mejor comunicación de los procesos. Como el proyecto ya fue desarrollado sin la aplicación de la metodología no será posible comprobar una disminución en el uso del tiempo y recursos. Sin embargo, la metodología requiere de un diálogo con los integrantes del equipo a lo largo de cada etapa, y acá lo que se busca es evaluar la percepción del equipo respecto al entendimiento del proyecto en cada etapa y el valor que le dan a la metodología en términos de disminución de la incertidumbre. Se espera que el diagrama generado en la cuarta etapa esquematice todos los elementos que están involucradas en el Hodoscopio de Muones, por lo que se evaluará que cada integrante reconozca la existencia de los componentes y las interacciones entre ellos, para así verificar el

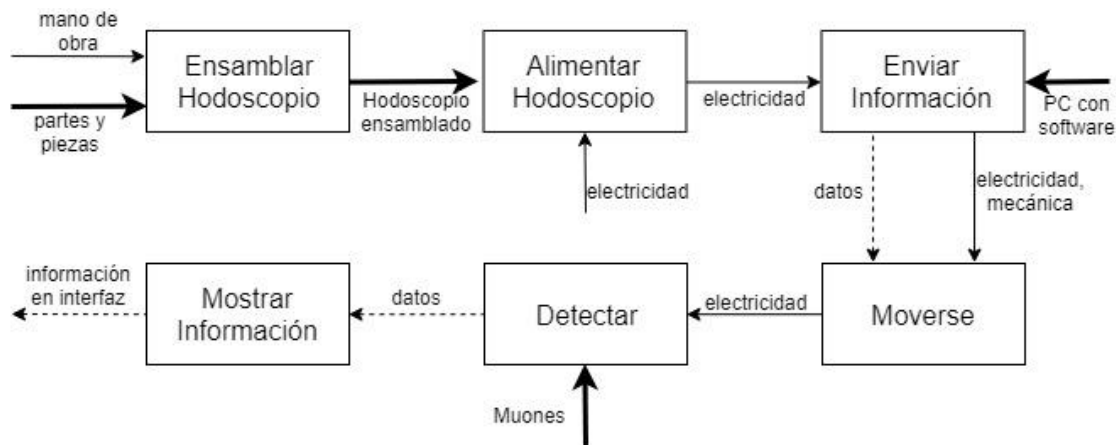


Figura 18: EMS usuario

nivel de responsabilidad de cada integrante sobre sus tareas y cómo estas afectan a las de las otras disciplinas. Por lo que la aplicación de esta metodología dejaría claro no solo las tareas de cada disciplina, sino también como se afectan entre ellas, potenciando así la comunicación dentro del ambiente multidisciplinario.

Para la primera etapa de la metodología se generaron dos diagramas aplicando el modelo EMS de energía, materia y señal. El objetivo de esto era entender el uso/funcionamiento global del Hodoscopio

de Muones a partir de la secuencia de funciones que lo conforman y conocer las variables generales que intervienen (energía en línea simple, material en línea gruesa y señal en línea punteada).

El primer diagrama EMS enlista las funciones principales del Hodoscopio de Muones desde el punto de vista del usuario que interactuará con él, es decir, de los alumnos de colegios y liceos que lo utilizarán en las clases. La figura 18 muestra que las principales funciones son la de ensamblar, alimentar, enviar y mostrar

información, moverse y detectar los muones. Además, se establece que necesitará dos elementos fuera del sistema para hacerlo, uno de ellos son los muones a detectar y el otro elemento es un computador con un software especial que muestre la información.

Por otro lado, el segundo diagrama EMS (figura 19) establece las funciones principales, pero desde el punto de vista de los desarrolladores del proyecto, por lo que estas funciones varían respecto a las anteriores. Una función nueva que aparece, con la que el usuario no se relaciona, es la de orientarse a partir de los sensores del Hodoscopio. Esta función es importante ya que el Hodoscopio debe reconocer geográficamente dónde está y cuál es su orientación actual para saber interpretar la información que posteriormente ingrese el usuario. Además, se segmenta la función de moverse en los tres ejes de movimiento que cambiarán la orientación del Hodoscopio. La segmentación busca darle independencia a

cada movimiento para desarrollarlo por separado. Para más información sobre EMS, visitar la sección dedicada al modelo en los Anexos.

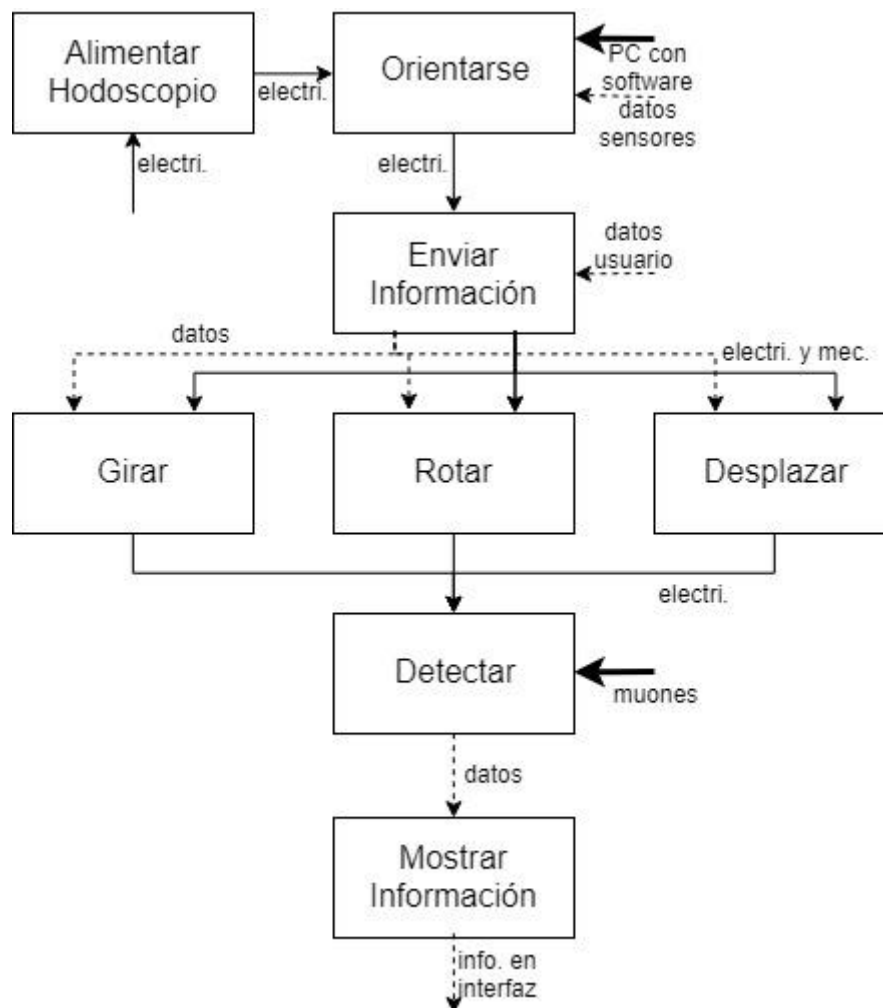


Figura 19: EMS equipo de trabajo

Luego, se desarrolla la segunda etapa de la metodología, donde para cada función mencionada se identifica al menos un elemento que la satisfaga.

Tabla 7: Funciones y Elementos

Función	Elementos
Ensamblar Hodoscopio	• Placas de Acrílico • Pernos y Tuercas
Alimentar Hodoscopio	• Fuente de Poder (12V y 5V)
Orientarse	• Sensor Ultrasonido • GPS • Giroscopio
Enviar Información	• Arduino • Wifi • Software
Girar	• Plato Giratorio • Servo Motor • Base Fija • Base Giratoria
Rotar	• Rodamiento • Servomotor • Eje de transmisión de Movimiento • Soporte Basal
Desplazar	• Guías de Movimiento • Eje ACME • Motores stepper • Rodamientos (guías y eje) • Soporte y Topes Detector • Tuerca de Avance • Acople Motores • Fin de carrera • Soporte Detector • Tope Desplazamiento
Detectar	• Placa Centelladora • MPPC
Mostrar Información	• Wifi • Software • Arduino

En la tabla 7 se muestran los elementos seleccionados para cada función anteriormente expuesta (salvo “moverse”

que fue tratada como el desglose de los movimientos).

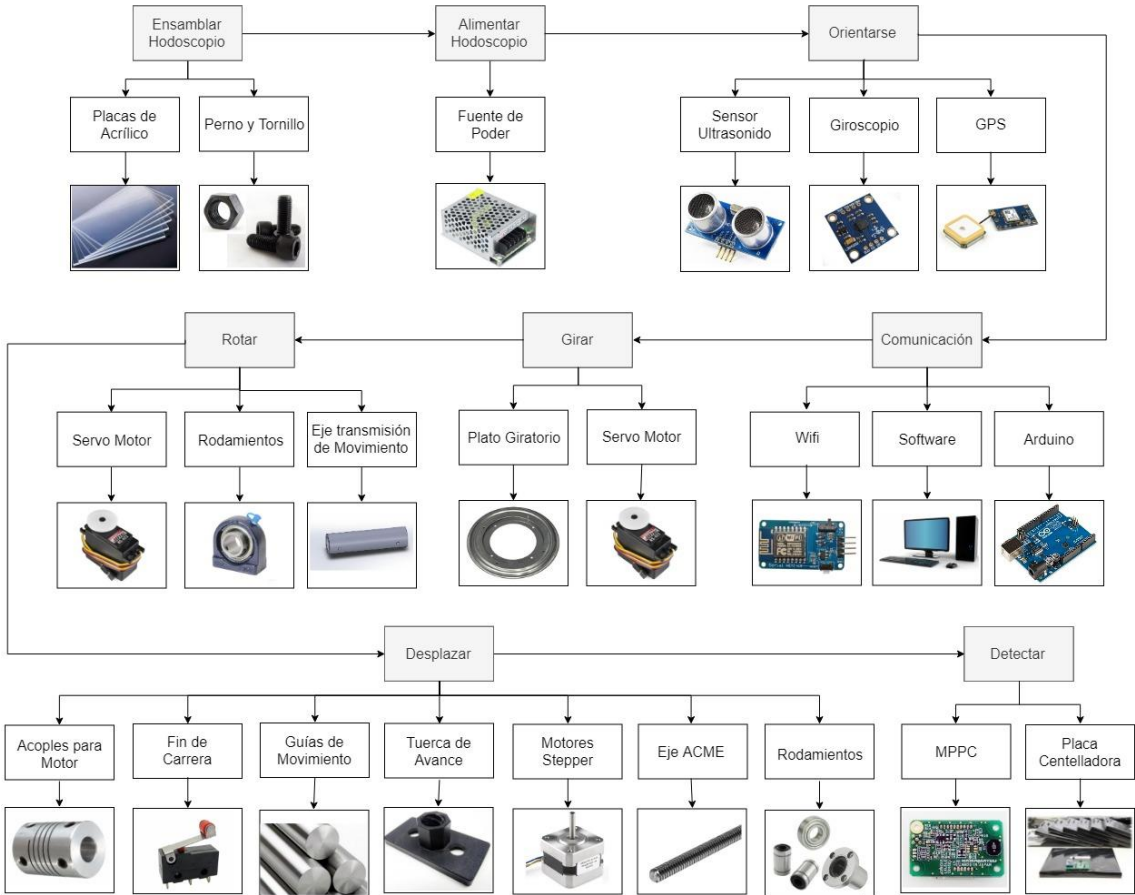


Figura 20: EMS con Elementos

Una vez que todos los elementos están identificados se inicia la primera parte de la tercera etapa, que busca incorporar estos elementos en el modelo EMS junto a una ilustración de cada componente para mayor detalle. Sin embargo, como se identificó que tanto enviar como mostrar información requieren los mismos elementos se decide englobar ambas funciones como “comunicación”, de esta manera se trata indistintamente la dirección del envío de datos (desde o hacia el arduino). El diagrama completo se observa a continuación (figura), y permite dar inicio a la segunda parte de la tercera etapa, en donde los elementos son agrupados y analizados según el modelo FBS.

Para el análisis FBS de los elementos, estos se presentan ordenados por función en la tabla según la estructura “Elemento + Función + Elemento”. Esta información permitirá entender cómo se relacionan los elementos inter-funcionalmente, lo que dará paso a la posterior creación de sistemas.

Por otro lado, para este caso se englobaron los elementos que componen la función de desplazar como un todo funcional que es el “brazo telescópico”, compuesto por los motores stepper, los acoples para motores, los rodamientos, ejes ACME, y guías de movimiento. Aparte, se tiene la estructura “detector” que involucra la placa centelladora, el MPPC, fin de carrera, tuerca de avance y uno de los rodamientos del elemento asociado a “desplazar”. El resto de los elementos funcionan por separado y en el caso de los servomotores, funcionan en compañía del rodamiento correspondiente. El motivo del englobe es que cada elemento mecánico no funciona por si solo con el objetivo que tiene, y es la suma de estos elementos los que generan la función completa. No así los elementos de carácter electrónico donde el sensor de ultrasonido cumple una función por si solo (obviando la necesidad de conexiones).

Tabla 8: FBS de los Elementos

Función	Elemento + Función + (Parámetro) + Elemento
Ensamblar Hodoscopio	• Pernos y Tuercas unen Placas de Acrílico • Base Fija contiene Arduino • Plato Giratorio une Base Fija y Base Giratoria • Base Giratoria se ensambla con Soporte Basal • Soporte Basal contiene Punto de Giro • Punto de Giro se ensambla con Brazo Telescópico • Brazo Telescópico contiene Soporte Detector • Brazo Telescópico se ensambla con Tope Desplazamiento
Alimentar Hodoscopio	• Fuente de Poder alimenta Hodoscopio • Fuente de Poder alimenta Motores • Fuente de Poder alimenta Arduino • Arduino distribuye energía a sensores
Orientarse	• Sensores orientan Hodoscopio • Sensor de Ultrasonido indica Separación entre Placas a Arduino • GPS indica Ubicación Geográfica a Arduino • Giroscopio indica Inclinación a Arduino
Comunicación	• Wifi transmite información a Arduino y Software • Arduino comunica información a Software • Software comunica información Arduino • Software muestra información en Interfaz
Girar	• Base Giratoria gira Hodoscopio

	• Base Fija contiene Servomotor • Servomotor transmite movimiento a Plato Giratorio • Plato Giratorio gira Base Giratoria
Rotar	• Punto de Giro rota Brazo Telescópico • Servomotor transmite movimiento a Eje transmisor de Movimiento • Eje transmisor de Movimiento rota Brazo Telescópico • Rodamiento facilita Fluidéz de Rotación
Desplazar	• Brazo telescópico desplaza Detectores • Acople de Motores unen Motores Stepper con Ejes ACME • Motores Stepper transmiten movimiento a los Ejes ACME • Ejes ACME desplazan Tuerca de Avance • Tuerca de Avance desplaza Detector • Rodamientos facilitan Fluidéz de Rotación • Fin de carrera detiene el Desplazamiento
Detectar	• Detectores detectan Muones • Placa Centelladora detecta Muones • Placa Centelladora transmite detección a MPPC • MPPC comunica detección al Arduino

Por medio de esta tabla se comienza con la cuarta etapa de la metodología. En primer lugar, se definen los sistemas a partir de las

funciones que se han trabajado anteriormente. Por lo tanto, el listado de sistemas quedaría como:

- Sistema de ensamble
- Sistema de alimentación
- Sistema de orientación
- Sistema de comunicación
- Sistema de giro
- Sistema de rotación
- Sistema de desplazamiento
- Sistema de detección

de la tabla, seguidas de las funciones secundarias asociadas a cada elemento.

En primer lugar, del sistema de Ensamble (figura 21) se destaca la unión de las partes identificadas del Hodoscopio con las placas de acrílico que, por medio del sistema de pernos y tuercas, generan el prototipo del Hodoscopio de Muones.

En las figuras x a y se diagrama cada sistema partiendo con las funciones principales encabezando la jerarquización, que corresponden a las funciones en negrita



Figura 21: Sistema de Ensamble

Luego, del Sistema de Alimentación (figura 22) se destaca la importancia de la fuente de alimentación en el funcionamiento general del prototipo, cabe destacar que se utilizaron

dos fuentes de alimentación, una especial para alimentar al arduino (que distribuye la energía a los sensores) y otra fuente de alimentación exclusiva para los motores.

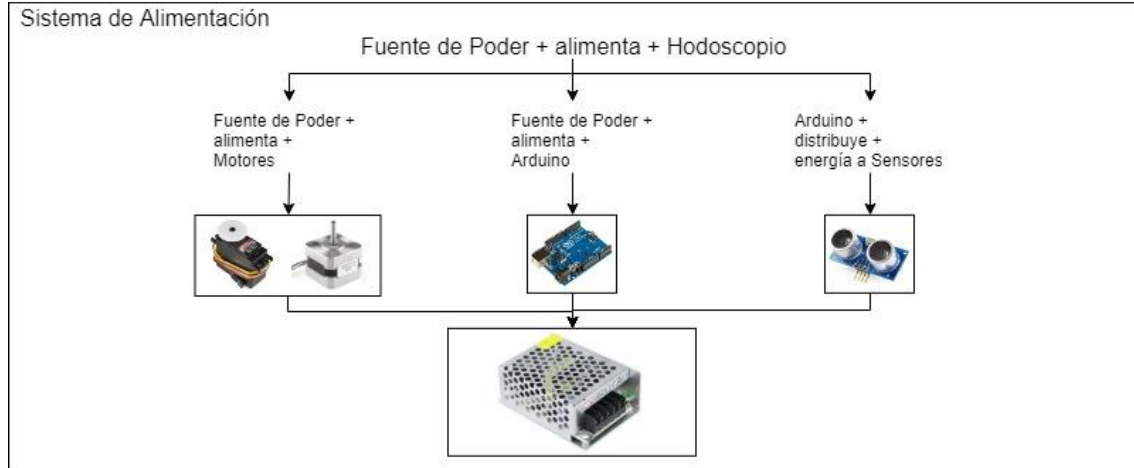


Figura 22: Sistema de Alimentación

Del Sistema de Orientación (figura 23) se destaca la importancia del arduino como lector, procesador y transmisor de información.

Para el Sistema de Comunicación (figura) se hace énfasis en el dispositivo de Wifi como principal transmisor de la información, sin embargo, no es el único canal de

transmisión, pero sí el único que necesitaba un trabajo individual por parte del electrónico, ya que el otro medio de transmitir información era directamente por un cable con puerto USB que conectaba el arduino al computador, pero que era mucho más seguro y estable que el Wifi y no se quería contar exclusivamente con él.

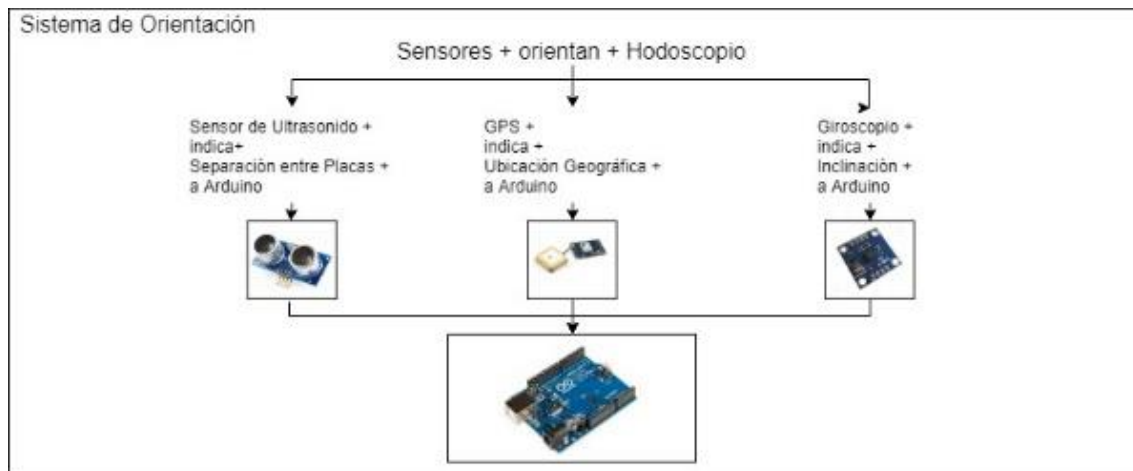


Figura 24: Sistema de Orientación

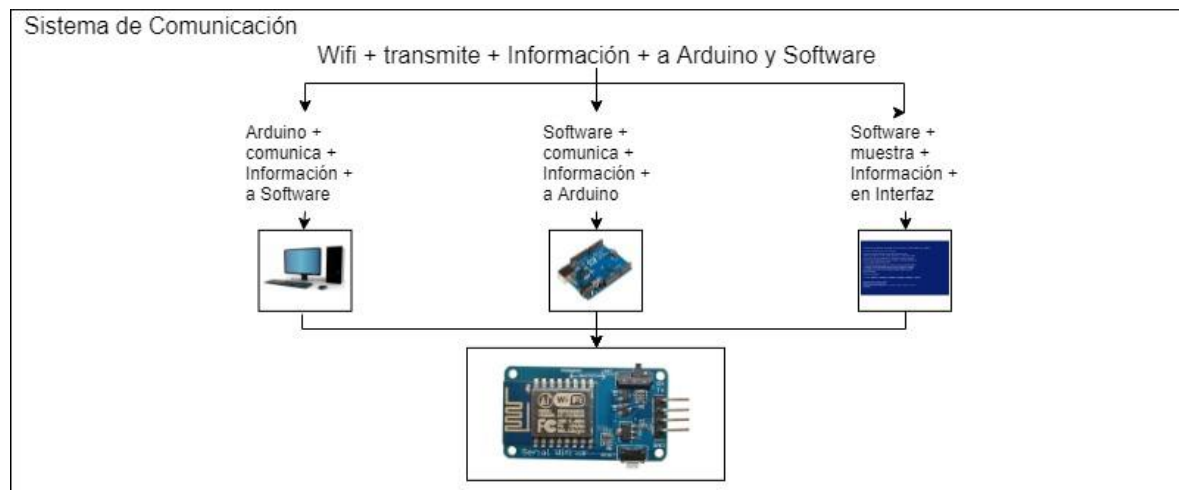


Figura 23: Sistema de Comunicación

Tanto para los Sistemas de Giro (figura 25), Rotación (figura 26) y Desplazamiento (figura 27) se destacan las partes de la descomposición del Hodoscopio que se identificaron previamente en la etapa 2 de la metodología “Descomposición Funcional del Hodoscopio”. Además, se identifica una relación directa entre la complejidad de resolución del movimiento y la cantidad de piezas necesarias para llevarlo a cabo.



Figura 25: Sistema de Giro

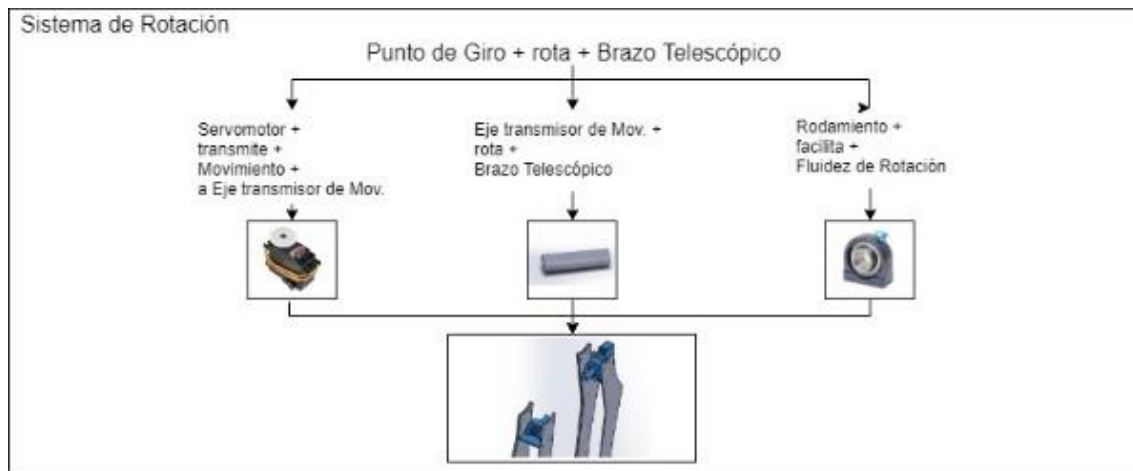


Figura 27: Sistema de Rotación

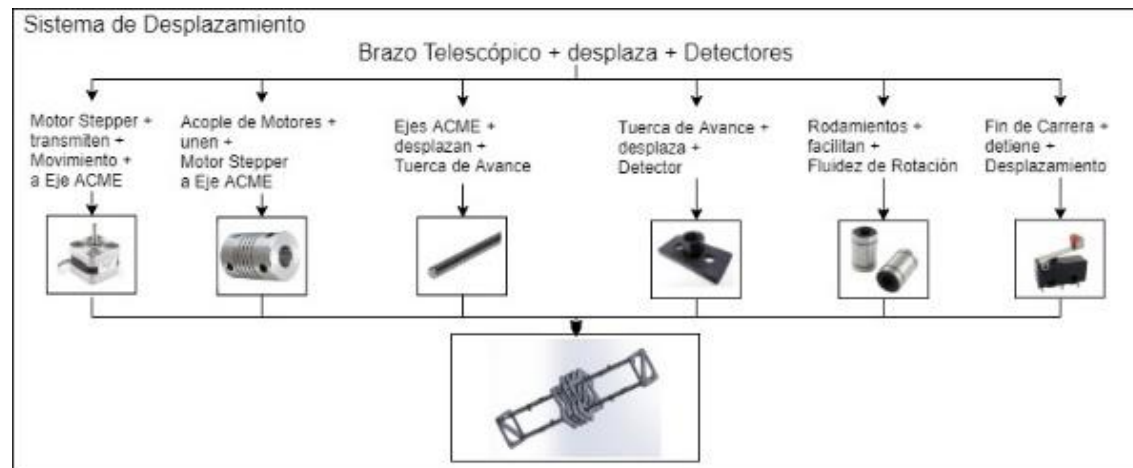


Figura 26: Sistema de Desplazamiento

Finalmente, del Sistema de Detección (figura 27) se destaca no solo la relevancia de las placas detectoras, sino de la estructura que las soporta, ya que por medio de esta se generan los arreglos de posición que destacan al Hodoscopio de Muones de la competencia.

Luego, con el diagrama ya armado se procede a interconectar los sistemas funcionalmente, para visualizar que elementos interactúan entre sí fuera del sistema que los contiene. Y finalmente, se

asignan responsabilidades a cada sistema según el profesional (integrante del equipo que desarrolló el proyecto) que mejor responda a las tareas. En la figura 29 se pueden observar las conexiones entre sistemas por medio de dos tipos de flecha. Por un lado, están las conexiones de carácter físico que se indican con una flecha continua de color rojo, y por otro lado se identifican las conexiones sensoriales que no implican un contacto ni unión física, representadas por flechas discontinuas de color morado.

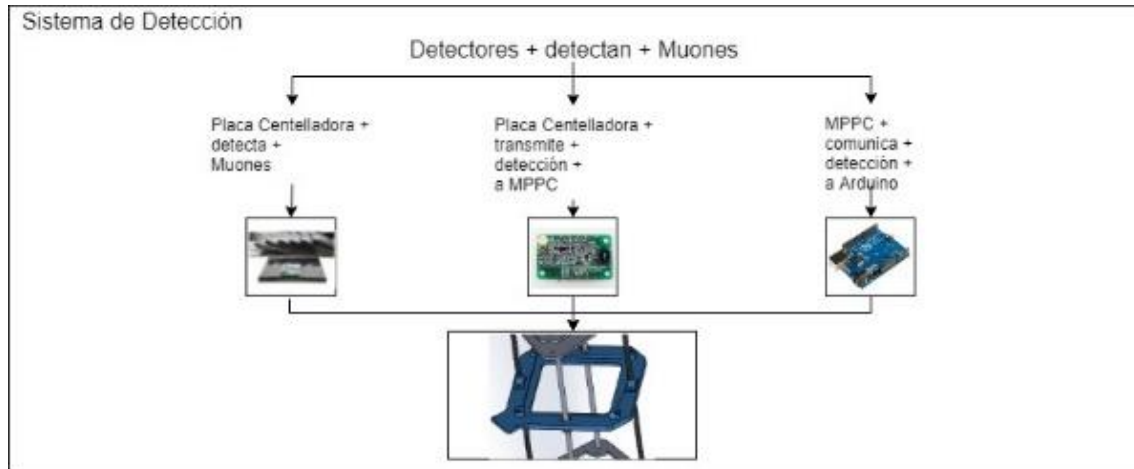


Figura 28: Sistema de Detección

La importancia de ilustrar visualmente las conexiones entre sistemas y las tareas que realiza cada uno de los profesionales radica en dar a conocer las repercusiones que cada decisión tiene en otros sistemas. Dando a entender también, la importancia de la comunicación y correcta distribución del recurso humano dentro de los proyectos multidisciplinarios para evitar la pérdida de recursos.

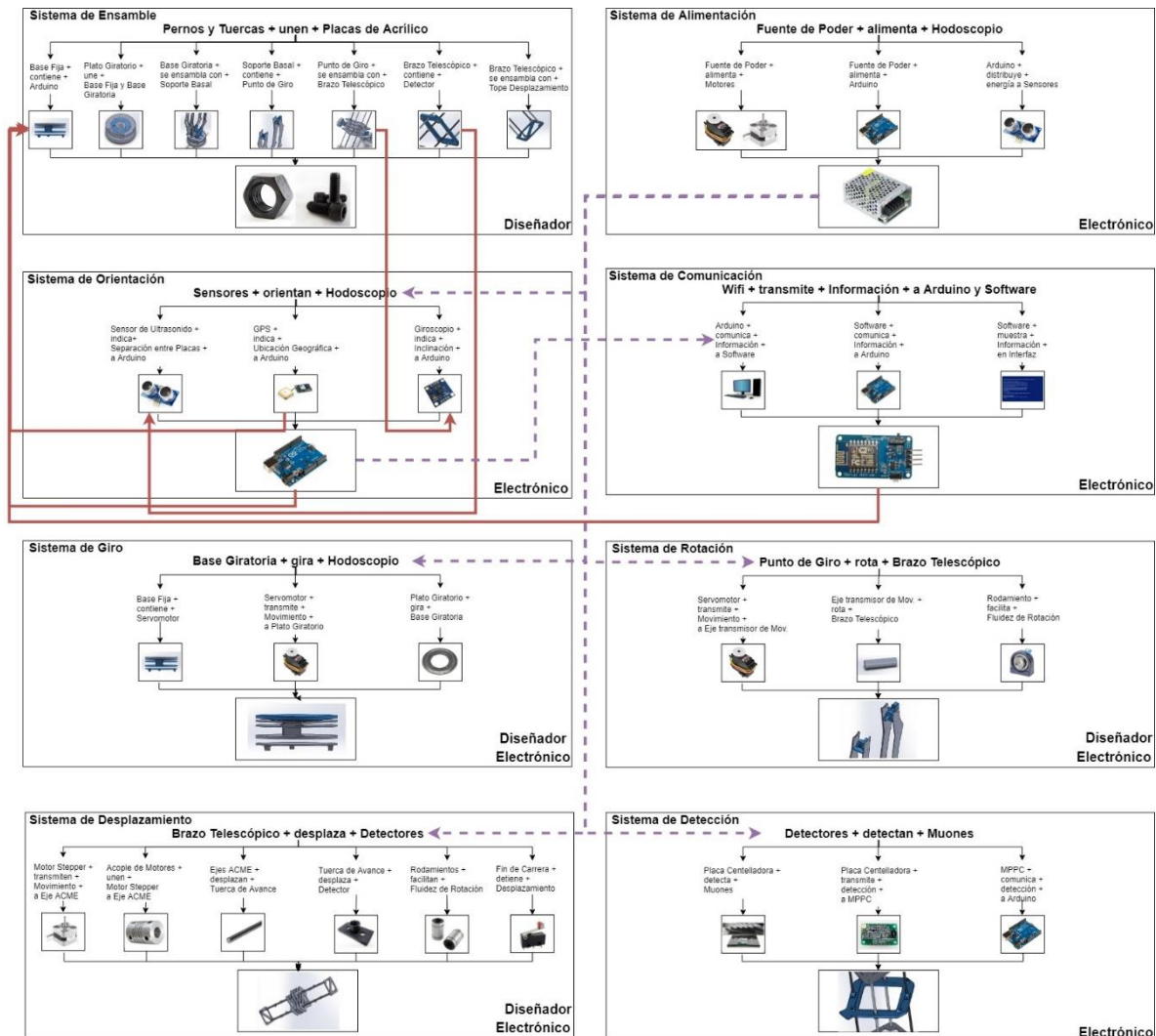


Figura 29: Asignación de Roles e Interconexión de Elementos

Con el trabajo metodológico ya concluido se procedió a encuestar a los participantes del proyecto sobre el nivel de entendimiento de cada etapa de la metodología. En un principio, la idea de esta es que sea desarrollada en conjunto con el equipo multidisciplinario al abordar un tema proyectual nuevo, de manera que cada etapa se elabora con el aporte de todos los integrantes que aportan desde su disciplina particular, generando un diálogo entre miembros y una claridad de las tareas que se abordarán en a lo largo del proyecto. Para este caso, la metodología fue desarrollada por la autora y evaluada por los integrantes con el fin de encontrar alguna relación entre la aplicación de la metodología y el nivel de entendimiento del proyecto.

Los temas que se buscó evaluar con cada integrante tienen relación con cada una de las cuatro etapas del proyecto; en primer lugar, sobre las funciones principales del Hodoscopio; luego sobre los elementos

asociados a cada función; después sobre las relaciones entre los elementos; y finalmente, se evaluó la relación de los elementos con las áreas disciplinarias.

Las preguntas formales que se hicieron para evaluar la metodología son dos por etapa y se ven en la tabla a continuación. Las preguntas se evaluaron con escala Likert del 1 al 5 (por ser un tema de percepción), donde el 1 es “muy en desacuerdo”, el 2 es “en desacuerdo”, el 3 es “ni de acuerdo ni en desacuerdo”, el cuatro es “de acuerdo”, y el 5 “totalmente de acuerdo”.

En la tabla 9 se pueden observar las respuestas entregadas tanto por el jefe del proyecto como por el ayudante encargado de la parte electrónica. La autora (encargada de la parte de diseño y mecánica) no se incluyó en la encuesta para evitar imparcialidad.

Tabla 9: Feedback Metodología

Pregunta	Orlando Soto (Jefe del Proyecto)	Diego Jiménez (Ayudante Electrónico)
¿Tenía claridad en la totalidad de funciones que debía desarrollar el Hodoscopio de Muones?	5	4
¿Considera que desarrollar el modelo EMS al inicio del proyecto habría contribuido a tener claridad del proceso total de rediseño y programación?	3	5
¿Tenía claridad de todos los elementos que resolverían las funciones del Hodoscopio de Muones?	3	3
¿Considera que realizar este diagrama al inicio del proyecto habría facilitado el proceso global (en temas de comunicación del equipo y tiempos de compra)?	4	5
¿Tenía claridad en cómo se relacionaban los elementos entre sí?	4	3
¿Considera que realizar este diagrama de interrelaciones habría facilitado la toma de decisiones?	5	5
¿Tenía claridad de todas las tareas que debía realizar y de cómo estas se relacionaban con las de sus compañeros?	5	4
¿Considera que conocer desde el inicio cómo se relacionan sus tareas con las de sus compañeros habría agilizado el proceso del proyecto?	4	5

Los resultados indican una alta aceptación de la metodología, donde cada etapa implementada es considerada como facilitadora del proceso de diseño y toma de decisiones. La excepción está en el desarrollo del modelo EMS, donde el jefe de proyecto no lo considera particularmente útil, lo que se puede explicar desde su alto entendimiento de las funciones principales del proyecto, haciendo la realización del modelo EMS algo redundante. Sin embargo, si se entiende el modelo EMS como el primer paso necesario para el desarrollo completo de la metodología, es fundamental generar el esquema con las funciones.

Por otro lado, si bien se considera que se tiene conocimiento de las tareas que cada uno debe realizar y las funciones principales, se evidencia una debilidad en el manejo de los detalles del proyecto, como los elementos que responden a cada función y cómo se relacionan. Debido a esto, se concluye que la aplicación de la metodología traería beneficios a la hora de desarrollar un

proyecto multidisciplinario, desde las aristas de la comunicación dentro del equipo (manejo de tareas y cómo estas influyen al resto) y el uso eficiente de los recursos (conocimiento de los elementos que resuelven cada función).



CONCLUSIONES |

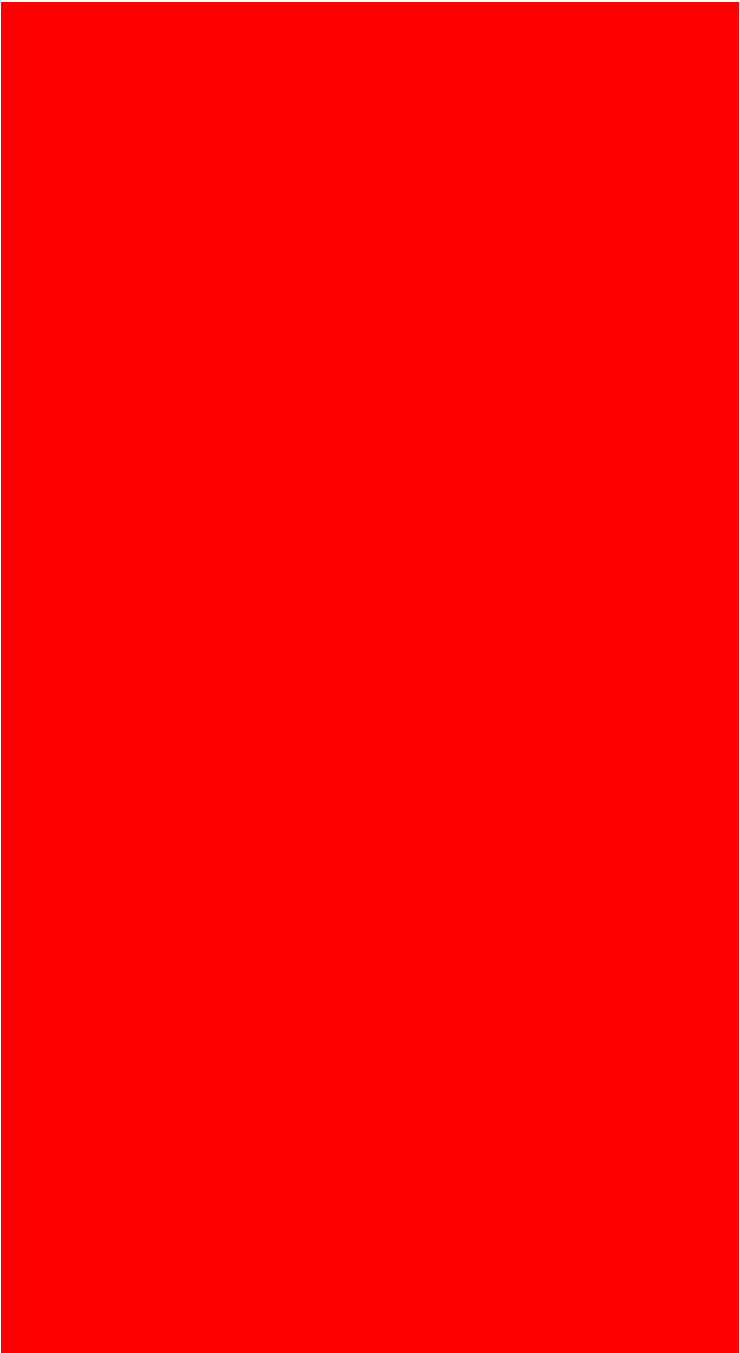
CONCLUSIONES |

Luego del rediseño del Hodoscopio de Muones, se identifica que, de los requisitos funcionales planteados, todos fueron logrados. Aunque siempre hay espacio para mejoras en términos de fluidez y precisión de movimientos motorizados, para efectos del proyecto se dan por cumplidos los requisitos funcionales. Por otro lado, los requisitos de construcción también fueron cumplidos dentro del marco económico del proyecto. Y finalmente, sobre los requisitos lúdicos, queda por mejorar lo llamativo en color, ya que, al haber utilizado acrílico transparente, solo resaltan los elementos mecánicos y electrónicos y no la estructura que los contiene. Esta misma falta de color lo vuelve algo inseguro de usar, ya que, al no ser visualmente llamativo, puede causar accidentes si el usuario no está pendiente de los límites físicos del Hodoscopio. Por lo tanto, queda pendiente para trabajos futuros la aplicación de un material con color y la mejora en la fluidez de los movimientos.

Gracias al estudio de patentes y benchmarking, se identificó la real ventaja competitiva que presenta el producto, al ser único en el mercado educativo con las características de movimiento que posee, convirtiendo al producto en un gran aporte. Este estudio de patentes resulta muy útil para conocer los avances más importantes en materia tecnológica sobre lo que se pretende hacer, de esta manera se puede analizar si la forma actual de resolver un problema es la más óptima o si se puede resolver de otra manera, evitando el ensayo y error, y la pérdida de recursos.

Además, se concluyó que la metodología aplicada en este trabajo logra su propósito de distribuir de manera más eficiente los recursos, aunque se considera que es necesario realizar más pruebas para confirmarlo, ya que en este caso la aplicación ocurrió luego del desarrollo del proyecto y “la distribución eficiente” es una percepción de la autora y su equipo de trabajo.

Finalmente, gracias a la metodología aplicada se considera que la comunicación dentro del equipo se potencia desde el punto de vista del entendimiento de tareas, la influencia de la toma de decisiones sobre cada área del proyecto y el entendimiento de las interrelaciones entre los elementos que componen al prototipo. Por lo que se considera que, para proyectos multidisciplinarios de carácter ingenieril, la aplicación de esta metodología de diseño tiene reales ventajas a la hora de potenciar la comunicación entre los integrantes y sobre la distribución eficiente de recursos.



REFERENCIAS |

REFERENCIAS |

Ampilogov, N. V., Astapov, I. I., Barbashina, N. S., Dmitrieva, A. N., Kovylyayeva, A. A., Kompaniets, K. G., Petrukhin, A.A., Shutenko, V.V. & Yashin, I. I. (2015). Muon hodoscope with scintillation strips. *Physics Procedia*, 74, 478-485.

Becattini, N., Borgianni, Y., Cascini, G., & Rotini, F. (2015). ARIZ85 and Patent-driven Knowledge Support, *131*, 291–302.

Bell, S. (2011). Engineers, society, and sustainability. *Synthesis Lectures on Engineers, Technology, and Society*, 6(3), 1-109.

Berumen, S., Llamazares, F. (2007). La utilidad de los métodos de decisión multicriterio (como el AHP) en un entorno de competitividad creciente. *Cuadernos de administración*, 20(34).

Bregonje, M. (2015). Patents: A unique source for scientific technical

information in chemistry related industry? *World Patent Information*, 27, 309–315.

Camp, R. (1994). *Business Process Benchmarking: Finding and Implementing Best Practices*. Milwaukee: ASQC Quality Press.

CCTVal. (2015a). *Quiénes Somos*. Centro Científico Tecnológico de Valparaíso. Disponible en: <http://www.cctval.cl/index.php/es/quienes-somos#qui-eacute-nes-somos>

CCTVal. (2015b). *Objetivos*. Centro Científico Tecnológico de Valparaíso. Disponible en: <http://www.cctval.cl/index.php/es/quienes-somos#qui-eacute-nes-somos>

CCTVal. (2015c). *Visión*. Centro Científico Tecnológico de Valparaíso. Disponible en: <http://www.cctval.cl/index.php/es/quienes-somos#qui-eacute-nes-somos>

[ienes-somos#qui-eacute-nes-somos](http://www.cctval.cl/index.php/es/quienes-somos#qui-eacute-nes-somos)

CCTVal. (2015d). *Proyectos*. Centro Científico Tecnológico de Valparaíso. Disponible en: <http://www.cctval.cl/index.php/es/proyectos/ciencias>

Derry, S. J., Schunn, C. D., & Gernsbacher, M. A. (Eds.) (2005). *Interdisciplinary collaboration: An emerging cognitive science*. Mahwah, NJ: Erlbaum

Dougherty, D. (1992). Interpretative barriers to successful product innovation in large firms. *Organ Sci.* 3(2):179–202.

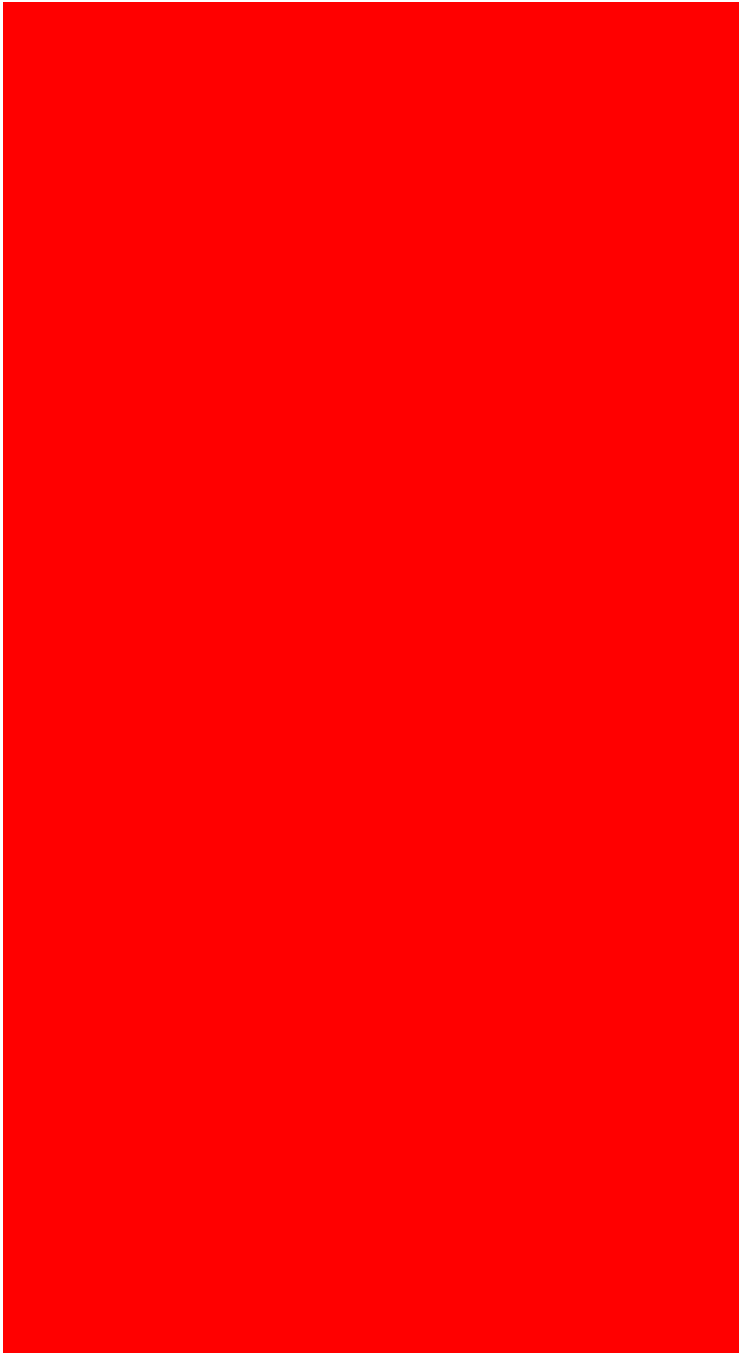
Duch, A., Gabriel, G., Viñas, J.L. (2005). *Tecnologías Convergentes NBIC Situación y Perspectiva*. CSIC. Barcelona, España. 170 pp

Hauser, M., Chomsky, N., Fitch, T., (2002). *The Faculty of Language: What is it,*

- Who has it and How did it Evolve?
Science. Vol. 298, p. 1569-79.
- Leal-Egaña, A. (2006). Multidisciplinary Teams: The Next Step in Science. *Journal of Technology Management & Innovation*, 1(2), 21-26.
- Montgomery, S., (2004). Of Towers, Walls, and Fields: Perspectives on Language in Science. *Science*. Vol. 303, p. 1333-35.
- Pahl, G., Beitz, W., Feldhusen, J., & Groote, K. (2007). Engineering Design: A Systematic Approach, 157.
- Roberts J. (2009) From Knowledge Management to Ignorance Management. OLKC 2009, Amsterdam, 26-28 April 2009.
- Rodríguez-Ponce, E. (2009). El rol de las universidades en la sociedad del conocimiento y en la era de la globalización: evidencia desde Chile. *Interciencia*, 34(11), 824-829.
- Schöfer, M., Maranzana, N., Aoussat, A., & Bersano, G. (2013). Testing the value of TRIZ and its derivatives for knowledge transfer in problem solving attempts by multidisciplinary teams. International conference on engineering design.
- Spinuzzi, C. (2005). The methodology of participatory design. *Technical communication*, 52(2), 163-174.
- Sung, N., Gordon, J., Rose, D., Getzoff, E., Kron, S., Mumford, D., Onuchic, J., Scherer, N., Summers, D., Kopell, N., (2003). Educating Future Scientist. *Science*. Vol. 301, p. 1485
- The Clover 2030. 2017. Descripción. Ingeniería 2030. Disponible en: <https://www.ingenieria2030.org/descripcion/>

Altshuller, G., Shulyak, L., & Rodman, S.
(1999). The innovation algorithm:
TRIZ, systematic innovation and
technical creativity (Technical
Innovation Center Inc.).

Watson, G. (1993). Strategic benchmarking:
how to rate your company's
performance against the world's
best. *New York: John Wiley and
Sons Ltd.*



ANEXOS |

ANEXOS |

En esta sección se expone la información complementaria que se utilizó para la realización de este trabajo.

CLASIFICACIÓN DE RECURSOS DE TRIZ

El objetivo de esta técnica, planteada inicialmente por Altshuller et al. (1999), es el de identificar las oportunidad y limitaciones relacionadas a los recursos (que siempre son limitados) para el desarrollo de un proyecto/solución.

Esta técnica consta de cinco categorías explicadas a continuación:

Material: recursos físicos disponibles, por ejemplo, materias primas, productos semi-terminados y desechos.

Energía: cualquier tipo de energía dentro o alrededor del sistema, por ejemplo, gravedad, electricidad, mecánica, mano de obra, cuando esta contribuye con su fuerza y movimiento.

Información: información relacionada al sistema, por ejemplo, propiedades del sistema y sus cambios, información

temporal, flujos de información, hasta la información que poseen las personas.

Tiempo: intervalos de tiempo como trabajo preliminar, cronograma de trabajo, procesos paralelos, pausas, etc.

Espacio: libre o sin uso en un sistema o en su ambiente.

ESTUDIO DE BENCHMARKING

Corresponde al proceso por el cual se obtiene información mediante la comparación y análisis de productos similares al que se desea desarrollar.

Este proceso se realiza a nivel industrial con el objetivo de identificar y definir factores que afectan la rentabilidad de los diferentes actores del mercado (Camp, 1994). Además, busca identificar las oportunidades y parámetros para la promoción de futuras estrategias y modelos de negocio (Watson, 1993).

El benchmarking varía según su naturaleza, propósito y contexto. El contexto permite realizar un análisis desde diferentes puntos de vista, como el proceso, función, rendimiento o estrategia. Es debido a esta clasificación que se plantea realizar el análisis del tipo benchmarking, ya que se busca tener referentes al momento de generar el rediseño, se quiere conocer lo

que se ha planteado en la industria de los Hodoscopios (de existir) y analizar cómo han resuelto el funcionamiento.

En otras palabras, el análisis de benchmarking permite detectar fortalezas y debilidades. Sin embargo, según el enfoque que se le dé, serán los resultados para el desarrollo de nuevas oportunidades, estrategias y modelos de negocios.

ANÁLISIS DE PATENTES

El análisis de patentes permite adquirir información, en especial si se trata de productos tecnológicos, que sirve de base para el desarrollo de productos.

El desarrollo de productos crece de manera exponencial gracias a una especialización cada vez mayor y abarca nuevas áreas de trabajo, esto complejiza manejar todos los temas necesarios (Becattini et al., 2015) y requiere de herramientas que faciliten la obtención de fortalezas y debilidades.

En comparación con otras fuentes de información, las patentes poseen dos ventajas principales. En primer lugar, se ha estimado que estas contienen una enorme cantidad de información que no está disponible en ningún otro lugar, aproximadamente un 80% de todo el contenido (Bregonje, 2015). Y, en segundo lugar, dada su alta estructuración, facilita la

recopilación de información relevante del documento (Becattini et al., 2015).

MODELO EMS

El modelo “Energía Material Señal” (EMS) es una herramienta que busca mejorar los métodos de diseño por medio de la descripción de las funciones principales y la identificación de la Energía, Material y Señal que las intervienen como input y output.

Este modelo se representa como una caja negra con entradas y salidas del sistema que pueden corresponder a Energía, Material y/o Señal. Gráficamente, la energía se representa como una línea delgada que entra o sale del sistema, el material se representa con una línea más gruesa y la señal se representa con línea punteada. Estas entradas y salidas van conectando las funciones de forma que se obtiene un supersistema con todas las funciones del producto, cada sistema/función puede ser tan detallada como se requiera, dependiendo de la necesidad del equipo.

Si bien, el enfoque principal del modelo es representar las funciones que intervienen en

el sistema, se puede dar una interpretación personalizada que aborde diferentes comportamientos (Pahl et al., 2007). Específicamente, se puede diferenciar entre las funciones de desarrollo donde intervienen quienes trabajan sobre el producto y las funciones de usabilidad asociadas al usuario final. Esto entrega una visión más completa sobre lo que se debe tener en cuenta al momento de trabajar sobre el diseño.

PLANIMETRÍA

A continuación, se muestra la planimetría del Hodoscopio de Muones, con las medidas más relevantes y los módulos funcionales nombrados.

