



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECÁNICO

“DESIGN THINKING” (Pensamiento de Diseño)
Y SU APLICACIÓN EN EL DISEÑO MECÁNICO

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
JOSÉ SEBASTIÁN QUIJANO MARTÍNEZ

TUTOR PRINCIPAL
Dr. ALEJANDRO RAMÍREZ REIVICH

COMITÉ TUTOR
DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ
DR. MARCELO LÓPEZ PARRA
DR. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA
DR. VÍCTOR GONZÁLES VILLELA

MÉXICO, D. F. Noviembre 2015

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. López Parra Marcelo

Secretario: Dr. González Villela Víctor Javier

Vocal: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.

1 er. Suplente: Dr. Borja Ramírez Vicente

2 d o. Suplente: Dr. Espinosa Bautista Adrián

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: NOMBRE DEL LUGAR

TUTOR DE TESIS:

Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.

FIRMA

A mis padres, que me han dado el libre albedrío para tomar los caminos que me parecen correctos...

Contenido

Prefacio	ii
Objetivos	vi
Objetivos Generales	vi
Objetivos Secundarios.....	vi
Introducción	2
Metodología	3
1. Pensamiento de Diseño: Un Enfoque Diferente	8
Categorización por Niveles en las Prácticas de Diseño	9
Definición Lógica del Pensamiento de Diseño	10
Pensamiento Divergente/Convergente	13
2. Pensamiento de Diseño: Filosofía, Procesos y Métodos	17
Filosofía	17
Características del Pensamiento	17
Reglas del “Design Thinking”	19
Breve Historia del <i>Pensamiento de Diseño</i>	20
¿Por qué utilizar el <i>Pensamiento de Diseño</i> ?.....	22
¿Quién puede usar el <i>Pensamiento de Diseño</i> ?.....	24
<i>El Valor de la Diversidad</i>	26
<i>La Importancia de los Espacios de Trabajo para el Pensamiento de Diseño</i>	26
Procesos	29
Métodos	33
3. Pensamiento de Diseño en la Ingeniería	37
Método ME-310 (Mechanical Engineering - 310)	37
Proceso de Diseño ME-310	37
<i>Curso</i>	38
Misiones ME-310.....	39
4. El Hielo del Futuro	48
Resumen.....	48
Contexto.....	50

Planteamiento de Necesidades.....	50
Planteamiento del Problema	51
Socio Corporativo	51
Equipo de Diseño.....	52
<i>Proceso de Diseño</i>	53
Primer Análisis del Problema - Lluvia de Ideas.....	54
Búsqueda de Necesidades y Estudio de Mercado (“Benchmarking”).....	57
Desarrollo de Usuario Típico (Persona).....	61
Estudio de Mercado	62
Comparación Virtual Entre Diferentes Manufactureras de Refrigeradores	66
Estudio Tecnológico de Mercado	67
Prototipos De Función Crítica (PFC)	72
Resumen de PFC para Enfriamiento Rápido Sin Hielo	78
Resumen de PFC para Congelamiento Rápido.....	83
Prototipos de Experiencia Crítica (PEC).....	85
Resumen de PEC.....	90
Re-definición de Problema.....	91
Prototipos “Dark Horse”	92
Resumen de Prototipos “Dark Horse”	97
<i>Prototipos “Funk-tional”</i>	97
Prototipos “Func-tional”	107
Resumen de Prototipos “Func-tional”	112
Requerimientos Finales.....	113
Concepto Final: Polar Roller	119
<i>Mejoras a Futuro</i>	146
5. Investigación del Pensamiento de Diseño	148
Análisis de Proceso.....	148
Modelo Unificado del Proceso de Innovación para Diseñadores y Equipo de Revisión	148
Relación entre MUPIDER y ME-310.....	151
Cadenas Internas.....	153
Eficiencia en Niveles de Comunicación	168
Análisis Funcional del Concepto Final	175

Conclusiones	182
---------------------------	-----



Mastretta MXT – Primer Automóvil Diseñado en México

Fuente: <http://www.motorpasion.com.mx>

Prefacio

En la última década, la economía mundial ha estado viviendo una nueva revolución industrial en la que la prosperidad y el crecimiento de las naciones depende, no de la cantidad de recursos naturales ni de la mano de obra que éstas posean, sino de la capacidad de generar *innovaciones*¹ tecnológicas, empresariales y sociales que den un valor agregado a los productos comerciales. Este principio se ve reflejado en el hecho de que los países más exitosos no son los que tienen más petróleo, más reservas de agua o más minerales, sino los que desarrollan las mentes y las tecnologías para transformarlos, generar necesidades de adquisición y venderlos. Este proceso implica la constante evolución de los productos, tecnologías y servicios para seguir siendo competitivos dentro de los mercados tanto locales como mundiales.

Un país con mayores fortalezas en el ámbito de la innovación tendrá mayor capacidad para incrementar su productividad, no solo por el efecto directo que genera cualquier mejora, sino porque estará mejor preparado para enfrentar las incertidumbres generadas por el actual entorno de competencia global y para adaptarse a las condiciones cambiantes del mismo. Además de que, el participar en procesos innovadores, genera grandes beneficios para todos los actores involucrados:

- Los consumidores obtienen mejores productos y servicios en lo que a calidad, diseño, precio y eficiencia se refiere.
- Las empresas aumentan su rentabilidad, derivada de la posibilidad de diseñar y producir nuevos o mejores bienes y servicios, así como de utilizar técnicas productivas más eficientes que la competencia. Estas empresas, que adoptan la innovación como un camino al crecimiento, cuentan con el conocimiento necesario para aprovechar las oportunidades que se presentan en un ecosistema de globalización, así como de responder a las amenazas que la competencia representa.
- En la sociedad, la innovación genera soluciones a problemas que afectan a todos sus participantes como en el medio ambiente, la salud, la pobreza, la seguridad, entre otros, y logra un crecimiento económico sustentado en mejoras de productividad [1].

Actualmente, una empresa como Apple, líder en innovación de productos computacionales, vale 20% más que todo el producto bruto de Argentina, rica en ganado y minerales, y más del doble del producto bruto de Venezuela, país con abundancia en petróleo. Inclusive, algunos de los países más ricos del mundo en ingresos per cápita (según

¹ Capacidad de generar nuevos productos, diseños, procesos, servicios, métodos u organizaciones o de incrementar valor a los existentes. – Ley de Ciencia y Tecnología, Artículo 4, IX/ DOF20-05-2014

datos del Banco Mundial²) son países como Luxemburgo, Hong Kong y Singapur que carecen de abundancia en recursos básicos [2].

A mediados de la década actual, el auge económico con el que las materias primas habían beneficiado a muchos países latinoamericanos en la década anterior llegó a su fin. Los países que habían basado su economía en sus exportaciones de materias primas (entre ellos México) sin invertir en educación de calidad, ciencia, tecnología e innovación, están empezando a sufrir las consecuencias. El crecimiento económico de la región, que había llegado a 9% cayó a un promedio regional de 2.2% en 2014 e inclusive los países que se encuentran por encima del promedio regional (México con 2.5%), lo están haciendo por debajo de lo que necesitan para darle empleo a los millones de jóvenes que se integran todos los años a la fuerza laboral [2].

Según el estudio del Banco Mundial sobre la innovación en Latinoamérica, publicado en 2014 con el título *“Muchas empresas, pero poca innovación”*:

“América Latina y el Caribe sufren de un rezago en innovación. En general, sus emprendedores introducen nuevos productos menos frecuentemente, invierten menos en investigación y desarrollo, y registran menos patentes que los emprendedores de otras partes del mundo [3]”.

A pesar de la importante participación económica que tiene México en el mundo, existe un rezago muy significativo en el mercado global del conocimiento. Algunas cifras que fundamentan este hecho son: la contribución del país a la producción mundial del conocimiento no alcanza el 1% del total; los investigadores mexicanos por cada 1,000 miembros de la población económicamente activa, representan alrededor de un décimo de lo observado en países más avanzados y el número de doctores graduados por millón de habitantes (29.9) no es suficiente para lograr, en el futuro próximo, el capital humano que requerimos [4].

La economía, basada en actividades industriales primarias y secundarias tales como la agricultura, la minería, la explotación petrolera básica y la maquila, no incluye un valor agregado alto y genera un margen de ganancia muy bajo, comparado a los productos en los que son transformados por los países que los consumen.

La cuestión, entonces, es identificar cuáles son los aspectos que han detenido el desarrollo de una cultura de innovación dentro del diseño mexicano y, que por consiguiente no impulsan la capacidad para crear la riqueza necesaria para promover y mantener la prosperidad o bienestar económico y social de los habitantes ni la capacidad de competir con las naciones más ricas del mundo.

² INB per cápita, PPA (a valores internacionales actuales)

Se plantean dos hipótesis fundamentales que conformarían la respuesta a esta cuestión:

- La falta de una estructura política y legal que impulse la creatividad de las personas y apoye los capitales de riesgo que hacen posible el surgimiento de nuevas ideas y proyectos.
- La existencia de una cultura social que no tolera el fracaso y que es poco tolerante con las ideas nuevas o diferentes.

Para transformar los aspectos políticos que aparecen en la primera hipótesis, deberán de aparecer cambios en la postura del gobierno mexicano que apunten hacia nuevos enfoques en la industria para desarrollar e implementar reformas que impulsen los procesos creativos en la solución de problemas, así como la aparición de nuevos marcos legales y económicos que permitan, a los emprendedores, arriesgar a ideas poco convencionales sin correr el peligro de perder todo en el intento.

Al revisar el Plan de Desarrollo Nacional 2013-2018, el gobierno reconoce que la transformación de México es una responsabilidad que no se puede eludir. De las cinco Metas Nacionales presentadas, que pretenden responder a las barreras que evitan el progreso mexicano, la tercera menciona:

“(...) Garantizar un desarrollo integral de todos los mexicanos y así contar con un capital humano preparado, que sea fuente de innovación y lleve a todos los estudiantes a su mayor potencial humano (...) El enfoque, en este sentido, será promover políticas que cierren la brecha entre lo que se enseña en las escuelas y las habilidades que el mundo de hoy demanda desarrollar para un aprendizaje a lo largo de la vida. En la misma línea, se buscará incentivar una mayor y más efectiva inversión en ciencia y tecnología que alimente el desarrollo del capital humano nacional, así como nuestra capacidad para generar productos y servicios con un alto valor agregado.”[4]

En este mismo documento, se reconoce que para hacer del desarrollo científico, tecnológico y la innovación pilares para el progreso económico y social, se requiere de la vinculación entre escuelas, universidades, centros de investigación y el sector privado. Además, se debe incrementar la inversión pública y promover la inversión privada en actividades de innovación y desarrollo. Estos esfuerzos agregarán valor a los productos y servicios mexicanos, además de potenciar la competitividad de la mano de obra nacional.

Esto presenta un avance, al reconocer la necesidad de una mayor inversión en el desarrollo de capital humano en pro de la creación de productos de valor, y demuestra que, poco a poco, se está empezando a formar un ambiente que favorece el desarrollo creativo e innovador de los mexicanos.

La segunda hipótesis implica un giro en el punto de vista de la cultura mexicana hacia *métodos tolerantes con el fracaso* (como un camino al aprendizaje) y promover la aparición de ideas diferentes para terminar con los improductivos dogmas industriales y creativos actuales. Ésta es la razón principal por la cual se plantea el estudio y adaptación del ““Design Thinking”” (Pensamiento de Diseño), paradigma de pensamiento que define al diseño como una actividad social y contextualmente dependiente para poder desarrollar metodologías y procesos útiles para la innovación centrada en el usuario, como una posible herramienta útil para promover este cambio cultural.

Es muy común el relacionar la innovación con la ingeniería ya que ésta es una de las disciplinas más importantes para el desarrollo de tecnología y productos dentro de cualquier sociedad. A pesar de esto, solo es una parte de la estructura económica de los países y, por lo mismo, sus principios y enfoques se verán determinados por las características culturales que los rodean.

Tradicionalmente, la cultura mexicana es reconocida en el mundo por ser rica en ingenio y creatividad. Pero la realidad indica que estas características no se han podido imprimir en la visión industrial nacional, de aquí la carencia de nuevos enfoques y mercados que amplíen el valor comercial del país.

A pesar de diversos esfuerzos, llevados a cabo por diferentes individuos y empresas, los productos que genera el diseño mexicano siguen sin presentar un valor agregado de alto impacto a los consumidores. Uno de los ejemplos más actuales es el Mastretta MXT, el primer automóvil diseñado y fabricado en su totalidad en México. Una historia que comenzó con un producto con características tecnológicas y estéticas suficientes para competir en un mercado internacional de lujo pero que no contaba con una correcta planeación comercial. Esto, aunado a diversos problemas políticos, llevó a una gran oportunidad nacional a su final.

En esta tesis se explora la aplicación de un enfoque diferente, dentro de la ingeniería de diseño mexicana, como una opción de herramienta de cambio que ayude a generar una identidad dentro del diseño nacional más innovadora y, sobre todo, a convertir las ideas en proyectos no solo tecnológicamente factibles sino que sean deseables y comercialmente viables.

Objetivos

Objetivos Generales

- Desarrollar proyectos ingenieriles, utilizando el paradigma de trabajo “Design Thinking”, para entender su aplicación en la Ingeniería de Diseño.
- Desarrollar herramientas para la evaluación y verificación de proyectos de diseño en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Objetivos Secundarios

- Construir una base teórica sólida para fundamentar las herramientas de evaluación y verificación de proyectos de diseño.
- Comprobar la aplicación de las herramientas desarrolladas para la evaluación y verificación de proyectos de diseño.

Una Nota Sobre Cómo Utilizar Esta Tesis

Una frase, muy utilizada en la filosofía del “Design Thinking”, es:

“Una imagen vale más que mil palabras, pero un prototipo vale más que mil imágenes.”

Durante la elaboración de este documento, ha surgido la necesidad de mostrar ciertos videos y enlaces para poder ejemplificar mejor los puntos expuestos, pero ¿cómo mostrar un contenido cambiante (como los videos) en un documento estático (impresión o archivo digital)?

La tecnología ha dado la solución a esta necesidad con la aplicación de los códigos QR y los enlaces directos a páginas web.

A lo largo del documento se encuentran estas imágenes que, al ser escaneadas por medio de un celular o una tableta*, envían la información necesaria para poder descargar contenido extra que pretende generar una mayor interacción entre el lector y la información expuesta. De igual forma, se encuentra la liga (link) necesaria para poder buscar la información directamente en una computadora o tableta común.



<https://www.youtube.com/watch?v=215GwIHRTNg>

Video 1. Códigos QR en la Educación

*Utilizar el teléfono o la tableta para aprovechar esta tecnología requiere descargar un lector genérico de códigos QR gratuito.

Introducción

(...) Todo el mundo ama una innovación, “una idea que vende”. Desafortunadamente, esto solo es un resultado, no un proceso para alcanzar una meta (...) [5]

¿Cómo un individuo o una comunidad puede incrementar la probabilidad de innovar satisfactoriamente?

Un poderoso paradigma ha surgido, integrando a los factores humanos, económicos y tecnológicos en la creación-solución de problemas y el diseño: el *Pensamiento de Diseño* (“Design Thinking”). [5]

El *Pensamiento de Diseño* busca el entendimiento, la creación y el uso adaptativo de cierto grupo de comportamientos y valores dentro de los procesos de diseño. Este objetivo aparece en agudo contraste, y al mismo tiempo complementario, al modelo disciplinario predominante, basado en la creación y validación de un cuerpo de conocimiento (modelo científico tradicional). [5]

El *Pensamiento de Diseño* incluye distintos métodos y herramientas aplicables dentro de la ingeniería. Dentro de la academia, el Centro de Investigación de Diseño (“Center for Design Research”) de la Universidad de Stanford en California, liderado por los profesores Larry Leifer y Mark Cutkosky, ha desarrollado el *Método ME-310*, a partir de los resultados obtenidos de sus investigaciones sobre el *Pensamiento de Diseño* (“Design Thinking Research”). Este curso se basa en el desarrollo de innovaciones físicas, discretas e ingenieriles³ para la solución de retos reales en la industria.

En esta tesis lleva a cabo un análisis de la aplicación de este método en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, ya que su Departamento de Ingeniería de Diseño, en repetidas ocasiones, ha participado dentro de las actividades del curso ME-310 y, por ende, se ha adoptado como paradigma de pensamiento por parte de algunos grupos de trabajo locales.

³ En los últimos años, y como resultado del crecimiento de las tecnologías informáticas, las características de los proyectos desarrollados en este curso han ido cambiando por lo que se incluyen servicios digitales, aplicaciones y software.

Metodología

Esta tesis se basa en un proyecto de investigación-acción (carácter participativo) en donde se pretende definir el impacto que genera el uso del paradigma del *Pensamiento de Diseño* en los procesos de diseño de los proyectos ingenieriles que aparecen como ejemplos.

El carácter cognitivo de esta investigación pretende definir:

- ¿Qué es el *Pensamiento de Diseño*?
- ¿Por qué es utilizado?
- ¿Para qué es utilizado?
- ¿Cómo se utiliza?

Esto, acotado a la utilización de este paradigma dentro de los proyectos del Centro de Investigación de Diseño de la Universidad de Stanford y su adaptación en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Para poder obtener resultados tanto analíticos como descriptivos y llegar al cumplimiento de los objetivos de la tesis, se plantean 3 etapas:

Etapas 1: “El Hielo del Futuro” – ME-310

Periodo y lugar: UNAM – Stanford, octubre 2013- junio 2014

Sujetos de estudio:

- Ocupación: Estudiantes
- Nacionalidad: Mexicanos, estadounidenses, colombianos y hongkoneses
- Disciplinas: Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Mecánica, Diseño Industrial y Administración
- Edad: 23-26 años

Métodos y herramientas:

- Observación del comportamiento de los participantes.
- Anotaciones descriptivas del proceso de diseño.

Objetivo parcial:

- Obtener una descripción detallada del proceso de diseño del proyecto “El Hielo del Futuro”. Esta información será utilizada para la evaluación del proyecto en la última etapa de esta tesis por lo que debe de ser lo más completa posible.

Etapa 2: Investigación del Pensamiento de Diseño

Periodo y lugar: Universidad de Stanford, marzo 2015 – junio 2015

Sujetos de estudio:

- Ocupación: Estudiantes y académicos
- Nacionalidad: Estadounidenses, chinos, indios
- Disciplinas: Ingeniería Mecatrónica, Ingeniería Mecánica, Desarrollo de Productos
- Edad: 23-26 años para estudiantes, edad libre para académicos

Métodos y herramientas:

- Observación
- Entrevistas
- Grupos de discusión
- Investigación mediática

Objetivo parcial:

- Obtener un estudio empírico y cualitativo de las características organizacionales que suceden en los proyectos de diseño que utilizan el método ME-310 en la Universidad de Stanford.
- Obtener herramientas estadísticas y analíticas para la evaluación cualitativa de proyectos de diseño.

Etapa 3: Evaluación del Proyecto “El hielo del Futuro”

Periodo y lugar: UNAM – junio 2015

Sujetos de estudio:

- Ocupación: Estudiantes
- Nacionalidad: Mexicanos, estadounidenses, colombianos y hongkoneses

- Disciplinas: Ingeniería - Mecatrónica, Ingeniería Mecánica, Diseño Industrial y Administración
- Edad: 23-26 años

Métodos y herramientas:

- Herramientas de evaluación de proyectos obtenidas en la Etapa 2.

Objetivo parcial:

- Obtener un estudio cualitativo de las características del pensamiento que sucedió durante el proceso de diseño del proyecto “El Hielo del Futuro.
- Obtener un estudio cualitativo de las características organizacionales que sucedieron dentro del proyecto “El Hielo del Futuro”

De esta forma, se logran los objetivos generales de esta tesis, ya que el resumen descriptivo obtenido en la 1^{er} etapa funge como información de entrada para la 3^{er} etapa (análisis y síntesis) y en la 2^a etapa se construye una referencia teórica para la obtención de las herramientas y métricas cualitativas aplicadas en la última etapa para obtener los resultados finales.

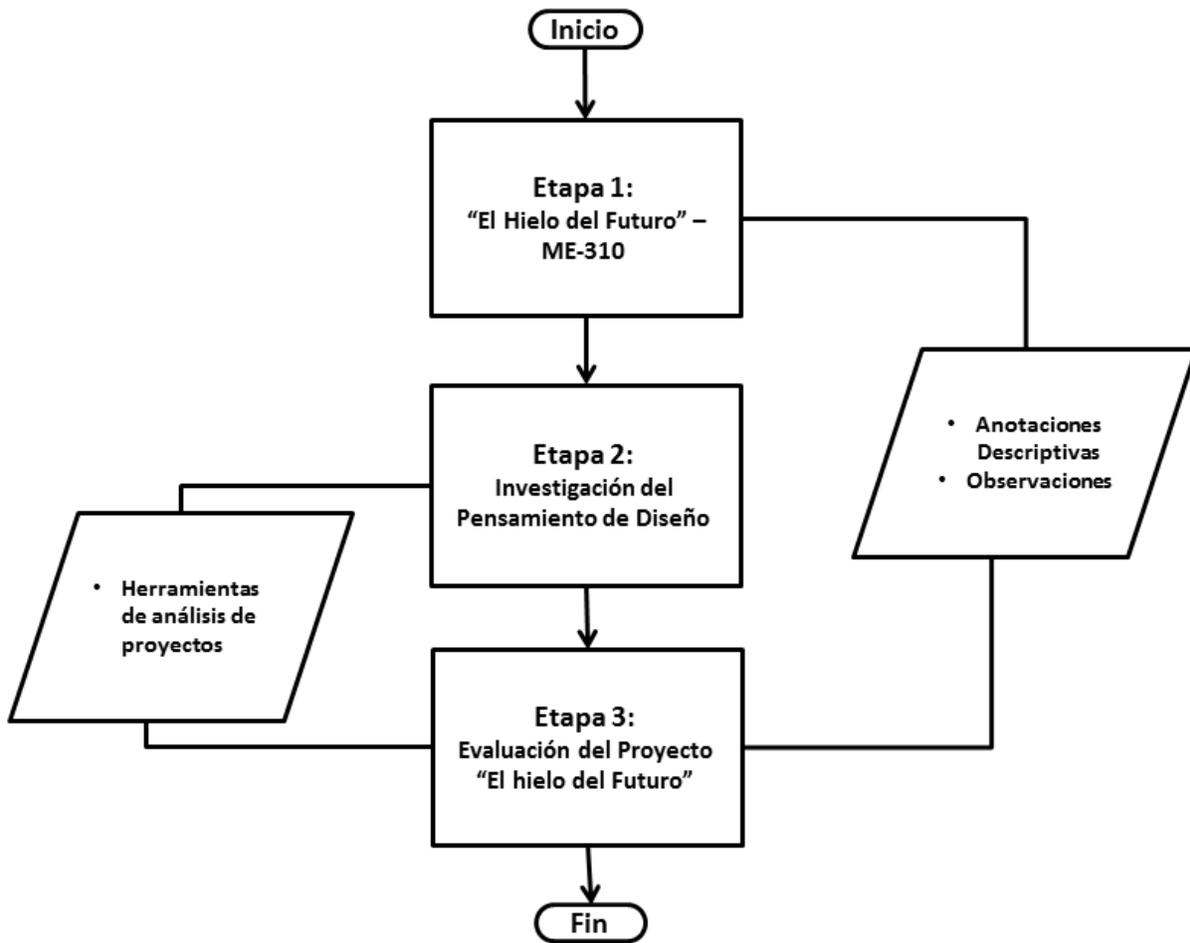
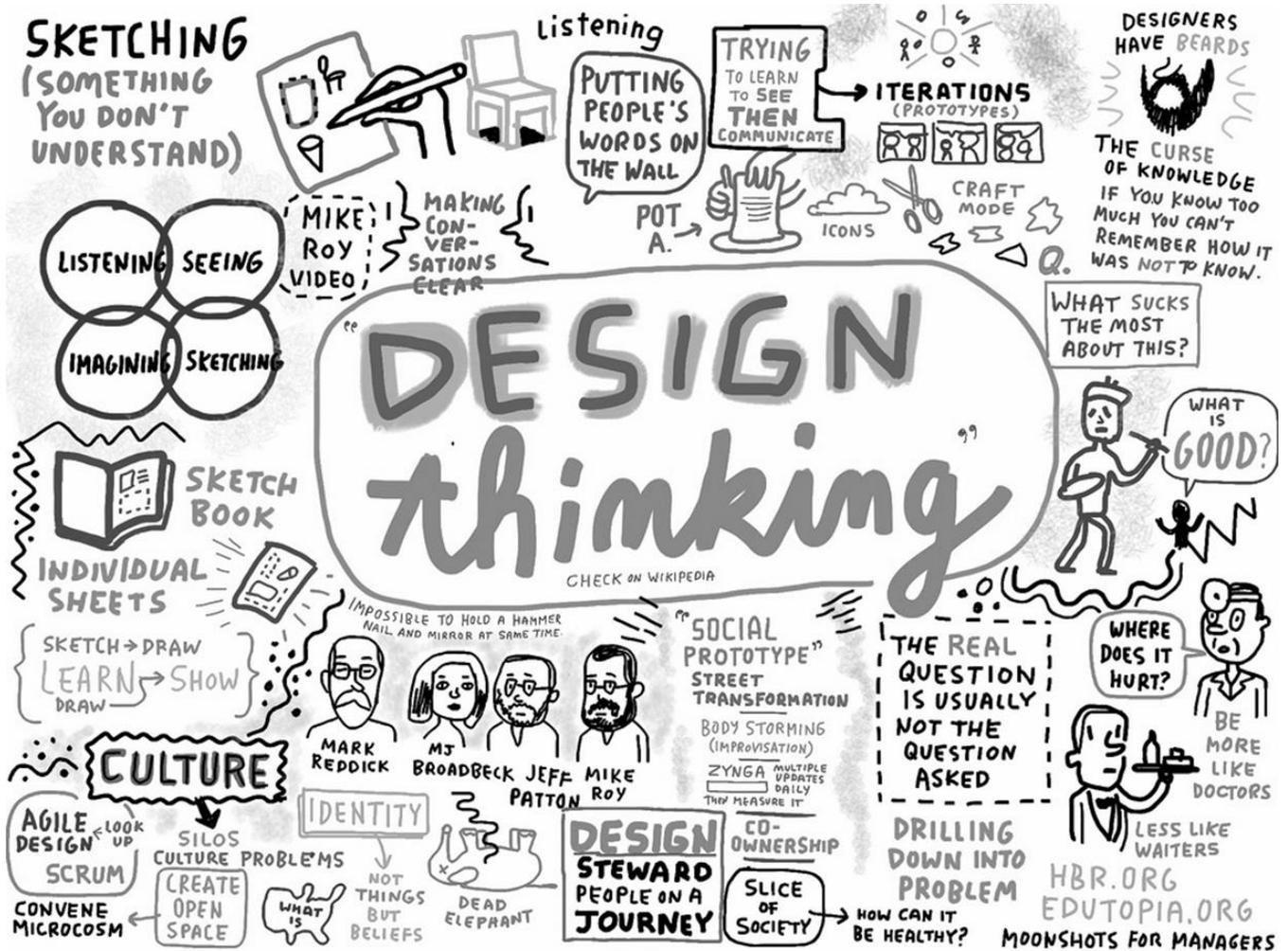


Figura 1. Diagrama de Flujo - Metodología



“Los diseñadores expertos no solo enfocan sus esfuerzos en la realización de proyectos sino que los incluyen en el desarrollo de procesos de trabajo propios.”

Lawson y Dorst 2009

1. Pensamiento de Diseño: Un Enfoque Diferente

“La mayoría de las personas ajenas al proceso, ven al diseño como arte aplicado, relacionado totalmente con la estética y no como una profesión sólida con conocimiento técnico, habilidades y responsabilidades. Las personas incluidas en este proceso, hablan de ideas innovadoras, de la coordinación de varias disciplinas, de abogar por los usuarios y del balance entre consideraciones sociales, políticas, culturales y ecológicas.”

Klaus Krippendorf (2006)

Pareciera que la naturaleza misma del diseño no es siempre fácil de entender o definir. Como se expone en la cita anterior, las personas involucradas en los procesos de diseño tienen una visión amplia de la definición de esta disciplina que no solo está relacionada con la estética, las formas, las funciones y los productos sino con el rol de coordinar otras disciplinas, actores, y el efecto del ambiente que rodea el proceso de desarrollo de productos. El siguiente argumento demuestra las diferencias entre la solución de problemas en el diseño, y la ciencia.

Al comparar los problemas que aparecen en las ciencias, formalmente establecidas, como la astronomía, la mecánica cuántica o las ciencias computacionales, con aquellos del diseño, parece obvio que estos últimos están más cercanos a los problemas de cada día. La motivación para encontrar las respuestas a las preguntas planteadas por el diseño no se encuentra en la búsqueda de conocimiento científico o en el descubrimiento de nuevos principios (aunque el diseño los aproveche constantemente) sino en la necesidad de crear ideas y encontrar soluciones (productos, servicios, sistemas), que son viables para los usuarios finales. A través de esto, el diseño pretende ofrecer una solución concreta a un problema con un efecto social más ambiguo y, por lo tanto, no tan fácil de comprender. Los problemas de diseño son, en palabras de Horst Rittel, *Problemas Abiertos* (“Wicked Problems”), con un carácter no definido.

Las personas involucradas en el diseño han logrado desarrollar habilidades en la solución de problemas que les permiten la interacción con el tipo de problemas planteado. Esto implica una forma de pensamiento totalmente diferente a lo que normalmente se enseña en los programas científicos. La resolución de *problemas abiertos* no se da a través del pensamiento deductivo/inductivo que se utiliza en la ciencia, el cual sigue una lógica epistemológica para adquirir conocimiento sobre verdades científicas, ya que en el diseño se buscan aspectos como la viabilidad y la novedad de los productos [6].

PENSAMIENTO DE DISEÑO: UN ENFOQUE DIFERENTE

Los problemas científicos generalmente se solucionan con la utilización de teorías, conceptos, taxonomías o modelos y solo son aceptados cuando representan un problema analíticamente en todas sus dimensiones. Esto no solo demanda esfuerzos inmensos en la investigación y el análisis sino que implica la reducción en la complejidad de un problema propuesto a una forma de problema cerrado que es perfectamente descriptible. En cambio, para los problemas de diseño, esta forma de actuar no siempre lleva a buenos resultados por dos razones: la primera es que los diseñadores tienen que interactuar con los problemas de forma pragmática y obtener soluciones en tiempos menores que aquellos de la ciencia y, en segundo lugar, los diseñadores no tienen la posibilidad de reducir la complejidad de un problema por la misma *naturaleza exógena* que califica la viabilidad de la solución (los usuarios, los clientes, los ingenieros, los manufactureros, los abogados, los ambientalistas, los empleadores, etc.).

Resulta obvio que el diseño implique la coordinación de múltiples actores, ya que éstos dependen de los conocimientos de todos para poder obtener una visión mucho más general de lo que se está resolviendo. Para lograr esto, se han desarrollado estrategias de aprendizaje profesionales para el diseño: patrones cognitivos para comprender múltiple conocimiento y múltiples perspectivas para sintetizar y transformar creativamente el conocimiento en un nuevo producto o servicio. En contraste con el pensamiento analítico en la ciencia, estas estrategias se conocen como *Pensamiento de Diseño* (“Design Thinking”).

Tabla 1. Pensamiento Científico vs Pensamiento de Diseño

Pensamiento Científico	Pensamiento de Diseño
Análisis	Constructivo/ Síntesis
Reflexivo/ Observacional	Generativo/ Proyectivo
Basado en la Verdad/ Causalidad	Basado en el Valor/ Agencia
Visión al Pasado	Visión al Futuro
Investigación Científica	Investigación de Diseño
Independiente del Contexto	Dependiente del Contexto

Categorización por Niveles en las Prácticas de Diseño

Los diseñadores han desarrollado y profesionalizado muchas formas de trabajo para dar solución al reto que supone la aparición de problemas abiertos y complejos. Muchas de estas actividades son muy universales, por lo que no sería apropiado establecerlas como

propias del diseño, aun así, las características que las conforman representan una ventaja en otros campos de aplicación. Esto implica que el valor de establecer estas actividades no es el definir algo tan ambiguo como el *Pensamiento de Diseño*, sino que radica en su aplicación y obtención de resultados en problemas de la vida real.

Lawson y Dorst (2009) definen una categorización de los niveles en la práctica del diseño: proyecto, proceso y campo. El fundamento de esta categorización se encuentra en el hecho de que los diseñadores expertos no solo enfocan sus esfuerzos en la realización de proyectos sino que los incluyen en el desarrollo de procesos de trabajo propios. La categoría de “campo” se refiere al ambiente tanto físico, organizacional e intelectual en el que estos procesos de diseño se llevan a cabo [7].

El conjunto de marcos predefinidos con los que, uno o varios diseñadores, cuentan se convierten en los elementos claves que definen las estrategias que conforman el campo de diseño para cada situación y que establecen las características de los métodos utilizados por cada individuo o institución de diseño, esto se conoce como *Principios de Diseño*.

Este proceso organizacional por niveles representa una opción para la adopción de las prácticas del diseño en otras áreas de aplicación.

Definición Lógica del Pensamiento de Diseño

El Pensamiento de Diseño, como se explicó antes, se refiere a un conjunto de métodos utilizados para desarrollar nuevas soluciones a una variedad de retos abiertos y complejos de índole personal, social y empresarial de forma creativa, utilizando los procesos que comúnmente se aplican en el diseño.

Para entender estos métodos, es imperativo referirse al gran reto que representa el pensamiento de diseño. Para definir este proceso, se construyen y describen, a través de la lógica, las diferentes formas de razonamiento que utiliza el humano para resolver problemas [8]:

El primer paso es establecer una ecuación con la cual se puedan representar las distintas situaciones en las que se presenta un problema:

$$\text{Qué (Objeto)} + \text{Cómo(Principio de trabajo)} \rightarrow \text{Resultado(Observado)}$$

Ecuación 1. Elementos de un Problema

La primera forma de razonamiento a describir se conoce como *Deducción* y aparece cuando se conocen el *Qué* y el *Cómo* de la ecuación anterior. En esta situación, se puede predecir de manera segura el *Resultado* que se obtendría al final del proceso.

Qué (Objeto) + Cómo(Principio de trabajo) → ??? (Resultado Seguro)

Ecuación 2. Pensamiento Deductivo

Una segunda situación es aquella que se conoce como *Inducción* y aparece cuando se conoce el *Qué* y el *Resultado* obtenido, pero se desconoce el *Cómo*. Esto lleva a la propuesta de principios de trabajo que expliquen el fenómeno observado (conocidos comúnmente como hipótesis) y representan un trabajo creativo, totalmente ligado al concepto de “Descubrimiento” en las ciencias. Posteriormente, la propuesta de principio de trabajo es sometida a un proceso de *deducción* para comprobar si el resultado obtenido es igual al esperado y así validar la hipótesis.

Qué (Objeto)+ ??? (Hipótesis) → Resultado(Observado)

Ecuación 3. . Pensamiento Inductivo

La tercera forma de razonamiento que se describe es la *Abducción* y aparece cuando se quiere obtener cierto *Valor* para otras personas, tal y como sucede en las actividades productivas como el diseño. En este proceso la Ecuación 1 cambia a:

Qué (Objeto) + Cómo(Principio de trabajo) → Valor (Aspiración)

Ecuación 4. Elementos de un Problema en Diseño

Esta forma representa el patrón básico de pensamiento para el diseño. La *abducción* se presenta de dos maneras. La primera, *Abducción-1*, se asocia con los procesos comunes de resolución de problemas y se basa en el conocimiento del *Valor* al que se quiere llegar y del

Principio de Trabajo que ayudaría a alcanzar este mismo valor. Lo que falta es el *Objeto* que logra utilizar el *Proceso de Trabajo* propuesto para alcanzar el *Valor* buscado.

??? + *Cómo*(*Principio de Trabajo*) → *Valor* (*Aspiración*)

Ecuación 5. Pensamiento en Abudcción-1

Este proceso es la manera más común como los diseñadores e ingenieros resuelven una situación. Se concentran en crear un diseño que opere con cierto *Principio de Trabajo* dentro de cierto escenario para generar un *Valor* deseado. Esta forma es conocida como *Resolución Cerrada de Problemas* y es lo que comúnmente se utiliza por la mayoría de las empresas en sus procedimientos establecidos.

El segundo tipo de *abducción* que aparece, *Abducción-2*, es más complejo ya que se comienza el proceso conociendo solo el *Valor* al que se quiere llegar y no se conoce ni el *Objeto* ni el *Principio de Trabajo* que permitan llegar al objetivo. Esta forma es conocida como “Resolución Abierta de Problemas” y está directamente asociada con el *Diseño Conceptual*.

??? (*Objeto*) + ??? (*Principio de Trabajo*) → *Valor* (*Aspiración*)

Ecuación 6. Pensamiento en Abducción-2

El reto en esta forma de pensamiento es desarrollar un *Objeto* (desconocido al inicio) que, a través de un *Principio de Trabajo* (desconocido al inicio), alcance el *Valor* buscado. Esto implica el desarrollo de un *Qué* y un *Cómo* de forma paralela. La necesidad de construir estas dos incógnitas al mismo tiempo, lleva a la utilización de métodos que son diferentes a los utilizados en un proceso de *Abducción-1*. El reto en esta forma de razonamiento está totalmente asociado con el diseño y representa los problemas abiertos y complejos a los que las empresas actuales buscan nuevos enfoques [9].

La respuesta a la forma de razonamiento de *Abducción-2* se conforma por diferentes estrategias para aproximarse al complejo reto que representa el generar un *Objeto* y su *Principio de Trabajo* para relacionarse entre sí y alcanzar cierto *Valor*. Estas estrategias se basan en el desarrollo de *Marcos* (“Frames”), que se basan en la implicación lógica que al aplicar cierto *Principio de Trabajo* se llegará a cierto *Valor*.

$$\text{Qué (Objeto)} + \boxed{\text{Cómo (Principio de trabajo)} \rightarrow \text{Valor (Aspiración)}} \\ \text{Marco}$$

Ecuación 7. Creación de Marcos en Abducción-2

La creación de marcos o “Framing” es utilizada dentro de la literatura de diseño para indicar un punto de partida desde el cual una problemática se puede atacar. Estos *marcos* son un conjunto complejo de declaraciones que indican la percepción específica de una problemática, la adopción implícita de ciertos conceptos que la describen y un *Principio de Trabajo* que fundamente la postura clave para resolver el problema. Éste es el reto que se le presenta al *Pensamiento de Diseño* y requiere que el diseñador proponga *Qué(s)* y *Cómo(s)* para ser probados conjuntamente. La manera más lógica de resolver estas situaciones tan complejas es el tomar como punto de partida la única variable de la incógnita que es conocida, el *Valor* al que se aspira, y, con esto, crear o adoptar un *marco* que, de principio, se forme a través de un proceso inductivo, al razonar a través de consecuencias. Una vez que aparezca un *marco* que se considere propio, óptimo o correcto (usualmente a través de procesos iterativos) para alcanzar el *Valor* requerido, se regresa a un proceso de *abducción-I* para crear un *Objeto* que permita a la ecuación ser completada y probada, a través de un proceso deductivo, para su validación.

Se puede observar que el diseño no solo tiene una forma de razonamiento sino que es una mezcla que incluye tanto procesos *abductivos* como procesos de análisis (*deducción e inducción*) para verificar si el diseño logra su cometido o no [9].

Pensamiento Divergente/Convergente

Con el fin de comprender la forma en la que trabajan las estrategias de diseño, es necesario trabajar con dos pares fundamentales de términos: espacio del problema/solución y pensamiento divergente/convergente.

La distinción entre el espacio del problema y de la solución muestra el enfoque dual que define al Pensamiento de Diseño. Mientras que la ciencia se enfoca en la exploración de la solución con un problema previo definido, el diseño trata con las dos partes: tanto el problema como la solución. La distinción entre pensamiento divergente y convergente muestra como los diseñadores se involucran con estos dos espacios. El aprendizaje, por sí

PENSAMIENTO DE DISEÑO: UN ENFOQUE DIFERENTE

solo, no es suficiente en el diseño si es que el conocimiento adquirido no es aplicado para obtener alguna opción de solución al problema planteado, por lo tanto, el Pensamiento de Diseño siempre es un proceso que pasa de la exploración divergente del problema a la construcción convergente de soluciones (síntesis y selección).

Contrario al razonamiento en la ciencia, el conocimiento en el Pensamiento de Diseño no es ni representativo (como en el pensamiento Inductivo) ni enteramente racionalizado (como en el pensamiento deductivo), más bien sirve para obtener una comprensión ejemplar pero multi-persepectiva para tratar creativamente la ambigüedad de los problemas abiertos. Bajo esta argumentación, se pueden establecer los siguientes tres aspectos básicos:

- Exploración del Espacio del Problema: El Pensamiento de Diseño adquiere un entendimiento intuitivo, principalmente al observar casos ejemplares y escenarios, en oposición a la generación de hipótesis o teorías que traten de solucionar el problema. Al sintetizar esta información, se generan puntos de vista.
- Exploración del Espacio de Solución: El Pensamiento de Diseño busca un gran número de ideas alternativas, paralelamente, y elabora técnicas para bosquejarlas y prototiparlas. De esta forma, las ideas son conscientemente transformadas en representaciones tangibles.
- Alineación Iterativa de los dos Espacios: Esta representación de ideas y conceptos facilitan la comunicación, no solo en el equipo de diseño, sino con los usuarios, clientes y expertos. Así, el Pensamiento de Diseño ayuda a mantener una relación entre los diseñadores y el ambiente relevante que afecta el problema y puede utilizar esta información para refinar y revisar los caminos de solución seleccionados. [10]

PENSAMIENTO DE DISEÑO: UN ENFOQUE DIFERENTE

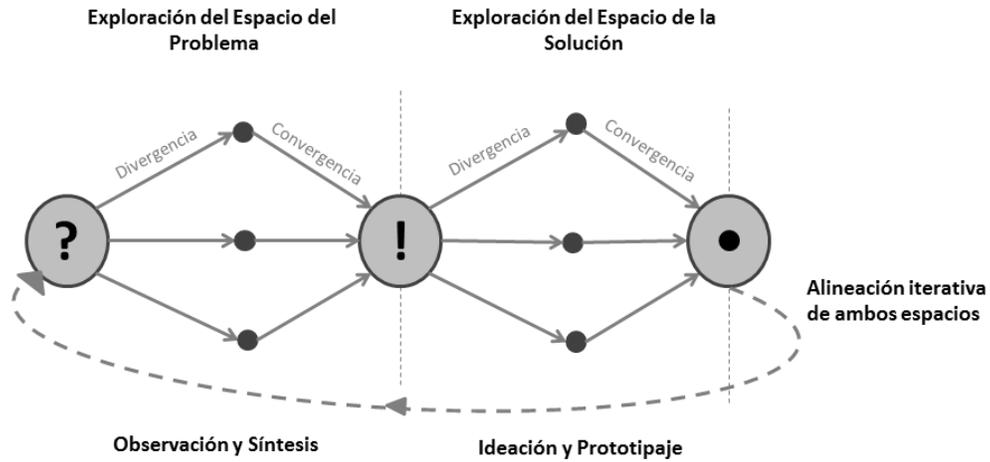


Figura 2. Espacios de Problema y Diseño en el Pensamiento de Diseño

En consecuencia, la correcta aplicación de un *Pensamiento de Diseño* representa un sistema de pesos y contrapesos para garantizar que la solución definitiva será innovadora y adecuada para el sistema social en el que el problema de diseño aparece.

2. Pensamiento de Diseño: Filosofía, Procesos y Métodos

“Un salto fuera de la caja resulta más perspicaz que toda una vida de pensamiento estándar.”

Giovanni E. Corazza

Filosofía

Características del Pensamiento

Desde el principio de los años 90's, el concepto de *Pensamiento de Diseño* (“Design Thinking”) ha derivado en una serie de principios filosóficos que han influenciado los procesos y métodos, tanto en el diseño como en cualquier proceso de solución de problemas, y han llevado al desarrollo de productos y servicios a un alto nivel de innovación tanto incremental como disruptiva.

Este concepto se basa en la habilidad natural del ser humano de ser intuitivo, reconocer patrones y construir ideas que tienen un significado no solo funcional sino emocional. Esto no implica que las decisiones de cualquier proyecto se deban de tomar solamente con base a los sentimientos, intuición e inspiración. Lo que realmente significa es que un análisis solo de lo racional y lo analítico puede representar riesgos para el producto final. Este enfoque es una buena herramienta para avanzar mediante la empatía y el prototipaje, si es que se tiene un problema difícil de analizar o que no cuenta con una métrica definida o datos suficientes (Wicked Problem).

Se reconocen siete elementos principales que constituyen la base filosófica del denominado *Pensamiento de Diseño*, como una corriente de pensamiento:

- **Fracasar para Aprender:** Este elemento no implica que se celebre el fracaso, sino el aprendizaje que se obtiene de él. Muchas veces, al llevar a cabo un experimento, no se obtiene el resultado buscado, pero el análisis y síntesis de esta falla puede arrojar mucha información útil. En este punto, el *Pensamiento de Diseño* y el Método Científico tienen el mismo enfoque experimental para obtener aprendizajes y descubrimientos útiles para tomar las decisiones necesarias y seguir con el proceso de diseño.
- **Probar:** Para poder entender una idea, no solo se debe de analizar teóricamente sino que se debe de construir, aunque sea de forma burda y barata. Este punto va de la

mano con las ideas del punto anterior ya que invita a la experimentación y tangibilización del pensamiento humano. Las bases científicas que utiliza un análisis teórico sobre cualquier sistema son interpretaciones y traducciones humanas de la naturaleza a un lenguaje manipulable, como las matemáticas, que muchas veces no representa todas las variables que influyen en un sistema. Por esto, un enfoque más pragmático lleva a obtener resultados que quizá no aparecerían en un análisis teórico pero que definirían el éxito o el fracaso de una idea en un ambiente real.

- **Enfoque Creativo:** Es la capacidad de cada actor, dentro de un proceso, para realizar las actividades correspondientes de forma diferente a lo común. Esta actitud es necesaria para evitar rutinas que lleven siempre al mismo resultado y que inhiban el potencial innovador de cualquier persona.
- **Empatía:** Se refiere a la capacidad de una persona de poder entender el pensamiento de otra, influenciado por un entorno percibido tanto intrínseco como extrínseco. La empatía con los usuarios hace de las observaciones una fuente muy poderosa de inspiración, al permitir entender por qué es que la gente se comporta como lo hace y teniendo como meta el comprender cómo se comportará en un futuro. Un enfoque empático implica el no olvidar que se está diseñando para gente real y permite el descubrimiento de “*insights*”⁴ y oportunidades para la aplicación de soluciones realmente creativas. Esta es la base de cualquier proceso centrado en el usuario.
- **Ambigüedad:** Este elemento permite la coexistencia de varias ideas al mismo tiempo. Impulsa la exploración divergente y lleva a no definir un camino único para la solución de un problema. Un proceso ambiguo permite no desechar ideas, por más absurdas que parezcan, ya que forman parte del espacio de diseño en el que se está trabajando y representan nuevas posibilidades para el desarrollo de conceptos totalmente diferentes a lo común.
- **Optimismo:** Es creer que cualquier idea es posible, aun cuando represente un reto técnico, económico o social. Mientras mayor sea este reto, la solución del mismo tendrá un éxito mayor.
- **Iterar:** Este punto lleva a validar las ideas durante todo el proceso de diseño y a mejorarlas de forma sistemática. Se basa en investigar, experimentar y aprender, no solo de las teorías sino de las representaciones físicas construidas y los usuarios para los que se está diseñando. Permite comprobar muchos conceptos de forma

⁴ Insights: Comprensión de la naturaleza esencial de objetos y/o acciones.

temprana para evitar invertir grandes esfuerzos en una sola idea que al final podría no ser la mejor. [11]



<http://www.designkit.org/>

Video 2. Características del Pensamiento en “Design Thinking”

Reglas del “Design Thinking”

Cualquier producto físico entrega un servicio, así como todo servicio es manifestado a través de productos físicos, aun así, sin una estrategia empresarial perspicaz del contexto que la rodea, importa poco el que alguien tenga los tenga.

Del resultado de las investigaciones en el Centro de Investigación de Diseño (CDR) en la Universidad de Stanford, se han desarrollado las siguientes *Cuatro Reglas del Pensamiento de Diseño* [5]:

1. La Regla Humana: Toda actividad del diseño es últimamente social en naturaleza.
Existen estudios que sostienen la idea de que una innovación satisfactoria a través de las actividades del *Pensamiento de Diseño* siempre regresará a un *punto de vista centrado en el humano*. Esto es imperativo para resolver problemas técnicos en formas que satisfagan necesidades humanas.
2. La Regla de la Ambigüedad: Los “Design Thinkers⁵” deben de preservar la ambigüedad.

No existe oportunidad para un *descubrimiento por accidente* si la *caja* está cerrada, las restricciones están excesivamente enumeradas y el miedo al fracaso está a la mano. La innovación demanda experimentación en los límites del conocimiento, en

⁵ Individuos que utilizan el *Pensamiento de Diseño* como paradigma de trabajo.

los límites de la habilidad de controlar eventos y con la libertad de ver las cosas de forma diferente.

3. La Regla del Re-diseño: Todo diseño es re-diseño.

Las necesidades humanas que se buscan satisfacer han estado latentes durante milenios. A través del tiempo y la evolución, ha habido numerosas soluciones satisfactorias para estos problemas. Por el cambio constante de la tecnología y las circunstancias sociales, es imperativo el entender cómo estas necesidades han sido abordadas en el pasado. Posteriormente, se pueden aplicar métodos y herramientas de predicción para estimar, de una mejor forma, las condiciones sociales y técnicas que se podrán encontrar en 5, 10 o 20 años en el futuro.

4. La Regla de la Tangibilidad: Hacer las ideas tangibles siempre facilita la comunicación.

Los prototipos son representaciones utilizadas para la comunicación. De esta forma, obtienen características como la granularidad, constancia en el tiempo y dependencias contextuales.

Breve Historia del *Pensamiento de Diseño*

El *Pensamiento de Diseño*, en su versión más reciente, ha venido evolucionando en un periodo de 20 a 30 años e incluye ideas de diferentes metodologías y movimientos.

Durante los años 60's, se llevaron a cabo un gran número de esfuerzos con el fin de obtener herramientas para mejorar la definición sobre las prácticas del diseño, lo que llevó el actual campo de la *Investigación de Diseño*.

La noción del diseño como *una forma de pensamiento* fue desarrollada por Herber A. Simon en el libro "La ciencia de lo Artificial" de 1969 y posteriormente fue explorada por Robert McKim en su libro "Experiencias en el Pensamiento Visual" en 1973. Rolf Faste expandió el trabajo de McKim en los años 80's y 90's como maestro en Stanford, definiendo y popularizando la idea de *Pensamiento de Diseño* como una forma de acción creativa. Esta idea fue adoptada, posteriormente, para fines comerciales por su colega, David M. Kelley y su firma de diseño IDEO.

La primera aparición de este término se remonta a los años 80's con el auge del *Diseño Centrado en el Humano*. Peter Rowe fue el primer autor que utilizó el término *Pensamiento de Diseño* ("*Design Thinking*") en la literatura de diseño (1987), siendo éste el título de su libro. En

1992 el artículo de Richard Buchanan titulado “Wicked Problems in Design Thinking” expresó una visión más amplia del *Pensamiento de Diseño*.

En los años 80’s se reconoció la necesidad del diseño de enfocarse en el entendimiento tanto de las necesidades de las personas como de los negocios. Fue así como en los años 90’s, David Kelley, Larry Leifer y Terry Winograd fueron los fundadores de lo que ahora es conocido como el movimiento *Pensamiento de Diseño*.

En 2005, el co-fundador de SAP, Hasso Plattner, por medio de una donación personal de 35 millones de dólares estadounidenses, ayudó a fundar la d.school en Stanford, bajo el nombre oficial de “Hasso Plattner Institute of Design” que ha sido pionera en la enseñanza del *Pensamiento de Diseño*. Este enfoque se ha esparcido por un gran número de escuelas de negocios, líderes en su campo, que incluyen a la Rotman School en Toronto y Harvard, así como por varias escuelas de diseño alrededor del mundo.

Existe, también, un interés académico en entender los procesos de pensamiento y cognición de los diseñadores. El primer simposio formal de investigación en *Pensamiento de Diseño* fue organizado por la Universidad Tecnológica de Delft en Holanda, en 1991, el cual se lleva a cabo de manera regular hasta la fecha [12].



<https://www.youtube.com/watch?v=VhzrxPgDHbY>

Video 3. Larry Leifier y la Metáfora del “Cazador”

Movimientos de Diseño Relacionados

En la siguiente tabla se presentan los movimientos de diseño, tanto académicos como filosóficos, que han influenciado y fundamentado, en gran parte, al *Pensamiento de Diseño* moderno [12]:

Tabla 2. Movimientos de Diseño Relacionados al “Design Thinking”

Año	Movimiento de diseño	Enfoque de Diseño	Actores
1950's	Métodos Creativos	Lluvia de Ideas	Alex Osborn
1960's	Ciencia de Diseño	Diseño Participativo	Hurst Rittel
1970's		Métodos de Diseño	Herbert A. Simon Bruce Archer
1980's	Reflexiones Cognitivas	Diseño Centrado en el Usuario	Don Norman Donal Schon Nigel Cross Peter Rowe Bryan Lawson Robert McKim
1990's	Metodología de los Procesos	Meta-diseño	Ezio Manzini William Rause Richard Buchanan
2000's	Diseño de Servicios	Diseño Centrado en el Humano	Lucy Kimbell
2010's	“Design Thinking”	Clase Creativa	Tim Brown Roger Martin Bruce Nussbaum Rolf Faste David Kelley
		Diseño de Experiencias	

¿Por qué utilizar el *Pensamiento de Diseño*?

El *Pensamiento de Diseño* es un paradigma de trabajo utilizado para el diseño de productos, servicios, arquitectura, espacios y experiencias que buscan resolver algunos de los problemas que han sido asociados con el diseño desde el principio de la revolución industrial [12].

Estos problemas incluyen:

1. El diseño final refleja, comúnmente, la perspectiva del diseñador, más que la perspectiva de un grupo de personas que usaran el producto final.
2. Los problemas de diseño se han vuelto más complejos y la solución debe de involucrar el conocimiento de especialistas en muchas otras áreas aparte de los especialistas en diseño.
3. La capacitación de los diseñadores ha evolucionado desde un entrenamiento en las artes, basado en la satisfacción de la creatividad del diseñador, hacia la búsqueda de necesidades y deseo de los usuarios del producto final.

4. La capacitación de los diseñadores no se relaciona con otras actividades durante el proceso de diseño, esto trunca la obtención de un diseño balanceado.
5. Los diseñadores tienden a tener una mayor fortaleza en el pensamiento creativo, a diferencia del analítico, pero el uso de estos dos es requerido para encontrar una solución balanceada.
6. El proceso de diseño, utilizado por los diseñadores, necesita ser más ágil y adaptativo para manejar una ambigüedad creciente, compleja y cambiante.

Los procesos de diseño, anteriores a este movimiento, presentan algunas debilidades debido a la utilización de enfoques sesgados:

- Las *Corporaciones* se han concentrado en el éxito de sus negocios y han fallado en la satisfacción de necesidades y deseos humanos.
- El *Diseño Centrado en el Humano* se ha concentrado en las personas pero no incluye los aspectos de negocio.
- El *Eco-Diseño* busca un diseño ambientalmente sustentable pero los productos y servicios que resultan no siempre son tan deseables y exitosos desde una perspectiva de negocio.
- El *Diseño Funcional* desarrolla nuevas tecnologías que satisfacen funciones necesarias tanto en la industria como en el aspecto doméstico. No obstante, maneja el desarrollo comercial y humano como consecuencias de la tecnología, lo cual puede generar productos poco deseables y viables.

El *Pensamiento de Diseño* busca un balance entre el negocio, la tecnología y los valores humanos, implicando sistemas social, ambiental y económicamente sustentables al tomar un enfoque basado en el trabajo en equipo para poder combinar habilidades complementarias, educación y experiencias de un grupo de profesionales. Es un enfoque más integral que busca la inteligencia colectiva para producir resultados que son mejores que los posibles resultados individuales.

En la actualidad, las organizaciones definen sus problemas actuales y futuros como cambiantes, volátiles, ambiguos y llenos de incertidumbre. Por esta razón, éstas necesitan encontrar métodos de trabajo que les permitan ser capaces de responder con mayor facilidad y flexibilidad a cualquier situación; ventaja que representa el uso del *Pensamiento de Diseño* al generar una manera ágil de resolver problemas organizacionales [12].

Durante el proceso de resolución de problemas, los métodos incluidos en el *Pensamiento de Diseño* se utilizan para:

- Definir metas
- Entender y construir contextos
- Entender a los usuarios

- Construir marcos de trabajo (“framing”)
- Generar conceptos
- Crear soluciones

Con esto, las organizaciones obtienen cierta claridad y logran:

- Anticipar los problemas que conforman las condiciones del proceso
- Entender las consecuencias de los problemas y acciones
- Apreciar la interdependencia de las variables
- Prepararse para realidades y retos alternos.
- Interpretar y aprovechar oportunidades relevantes.
- Crear sentidos entre conceptos
- Planear y preparar
- Estar preparados para responder a cualquier situación o cambio del proceso



<https://www.youtube.com/watch?v=UAinLaT42xY&list=PL8DD01A5D8C6CA140>

Video 4. Tim Brown, “Del Diseño al Design Thinking”

¿Quién puede usar el Pensamiento de Diseño?

El *Pensamiento de Diseño* es una técnica para todos y cualquier tipo de problema abierto. Este proceso involucra muchos actores trabajando juntos para encontrar una solución de diseño balanceada. Así el diseñador se convierte en miembro de un tipo de orquesta. Los clientes están involucrados en el proceso de diseño y trabajan con el equipo de diseño para comunicar sus necesidades y deseos y para ayudar a generar soluciones que, para ellos, son importantes.

Los diversos métodos utilizados ayudan a cualquier persona a entender las diversas perspectivas de todos los actores. Se requiere de cierto coraje para escuchar y reconocer el

punto de vista de los involucrados en el proceso (gerentes, diseñadores, científicos, sociólogos, ingenieros, mercadólogos, clientes).

El proceso implica co-creación por lo que el diseñador es un oyente y un facilitador. Todos agregan valor al diseño. *Pensamiento de Diseño* no solo es para diseñadores profesionales, todos pueden contribuir. Un ejemplo es la enseñanza de estos métodos a preescolares, como un enfoque aplicable en la vida.

Características de un “Design Thinker”

La utilización eficiente de los métodos del *Pensamiento de Diseño* implica ciertas características personales en los actores involucrados en el proceso. Sin éstas, el pensamiento de los individuos se contrapondría con los principios filosóficos que sirven como fundamento para la aplicación de este pensamiento.

Las características más importantes para este fin son [12]:

- Poder aprender del fracaso
- Habilidades de investigación
- Habilidades de entrevista.
- Habilidades empáticas
- Capacidad de síntesis de varios puntos de vista
- Habilidades de prototipado
- Identificación de problemas
- Habilidades de expresión 2D y 3D
- Habilidades de actuación y de cuentacuentos
- Inventiva incremental y radical
- Capacidad de evaluar y proveer retroalimentación
- Capacidad de síntesis de datos
- Empatía
- Perspectivas multi-valor
- Proactividad
- Habilidad de síntesis de insights
- Habilidades antropológicas
- Capacidad para hacer juicios objetivos
- Capacidad de reconocer y aprovechar las habilidades de cada actor involucrado
- Habilidad de implementación

El Valor de la Diversidad

Un equipo de diseño diverso producirá un mayor número de diseños exitosos que un equipo homogéneo ya que permite la colisión de diferentes ideas y enfoques para un mismo fin.

Diversidad significa diferentes géneros, diferentes edades, diferentes culturas, diferentes niveles socioeconómicos y diferentes puntos de vista dentro de un mismo equipo.

El valor de un equipo diverso se encuentra en los beneficios potenciales que implican una toma de decisiones objetiva y fundamentada, un mejorado proceso de solución de problema, mayor creatividad e innovación, mejores procesos de desarrollo de productos y un mayor alcance de mercado para diferentes tipos de clientes [12].

La diversidad otorga a las organizaciones la capacidad de competir en mercados globales.



<https://www.youtube.com/watch?v=ecxyPiBZQA>

Video 5. David Kelley y Creative Confidence

La Importancia de los Espacios de Trabajo para el Pensamiento de Diseño

Las características del espacio de trabajo, en los que los procesos de diseño son llevados, son un factor muy importante para la aplicación de un *Pensamiento de Diseño* eficiente.

Los humanos “leen” el ambiente físico como estar “leyendo” un rostro humano. Conscientemente o no, los sentimientos, que se obtienen de la interacción con el espacio físico circundante, se internalizan y afectan las formas de trabajo de un equipo.

Al caminar por una “oficina clásica”, el espacio comunica que fue diseñado para un grupo de personas que trabajan individualmente. Escritorios, separados el uno del otro, surgen de pasillos solitarios y unas pocas salas de juntas, cuentan con mesas lo suficientemente grandes para asegurar que las personas están separadas. Estos espacios fueron diseñados de acuerdo al modelo de trabajo industrial de un tiempo en el que el trabajo dependía del

uso de máquinas grandes y el nivel de cada trabajador se medía con el tamaño de su espacio laboral.

Para poder contar con una cultura innovadora, los actores involucrados deben de sentirse inspirados para pensar diferente, trabajar en equipo y colaborar entre ellos y qué mejor que un bombardeo sensorial que induzca y permita el pensamiento diferente a lo común.

El diseño del espacio de trabajo y el impacto en el comportamiento de los actores involucrados es un elemento crítico que genera un ambiente cognitivo y colaborativo diferente que inspira y aumenta la *confianza creativa* de los diseñadores.

Uno de los retos más importantes dentro de los procesos del *Pensamiento de Diseño* es el de equalizar los niveles entre gerentes, administradores y diseñadores para poder eliminar la desconfianza entre ellos y permitir el libre pensamiento y la compartición de ideas. Con este fin, los espacios utilizados para estos procesos cuentan con una configuración en la que se elimina la idea de un locutor rodeado de oyentes (auditorio, salón de clases, sala de juntas). Se buscan espacios en los que no se puede definir un frente y un detrás y se utilizan muebles configurables que eliminan el sentimiento de “un sabio en el escenario”.

Las personas son reacias a compartir sus ideas, por lo que la reconfiguración de las relaciones físicas es una señal poderosa para indicar que la participación es bienvenida. El resultado de esto, lleva a la obtención de mejores ideas en un espacio fértil para el crecimiento de los conceptos.

Para estimular el paso de la planeación a la ejecución, se construyen espacios, dedicados al prototipaje (rápido complejo), cercanos a los espacios de discusión y análisis. Esto implica el contar con materiales básicos (cartón, papel, electrónica, madera, perfiles metálicos, etcétera) para poder representar una idea, físicamente, de manera rápida y en el momento requerido.

La realidad es que no existe un diseño único e ideal para los espacios de trabajos colaborativos. Las personas que los utilizan deben de ser capaces de transformarlos y adaptarlos hacia sus necesidades. Por esta razón, los espacios de trabajo se vuelven evolutivos y dinámicos.

Existe un gran número de características que han sido establecidas, estudiadas, prototipadas, evaluadas y verificadas en distintas compañías, organizaciones y escuelas dedicadas al *Pensamiento de Diseño*. Aun así, no existen los elementos arquitectónicos suficientes para definir un estilo único, repetible y siempre aplicable, dada la naturaleza social, y por lo tanto cambiante, de la actividad del diseño.

Al analizar la relación entre el espacio de trabajo y el proceso de diseño, se puede observar una conexión interdependiente entre tres elementos básicos: diseñadores (personas), espacios (entornos) y objetos (representaciones).

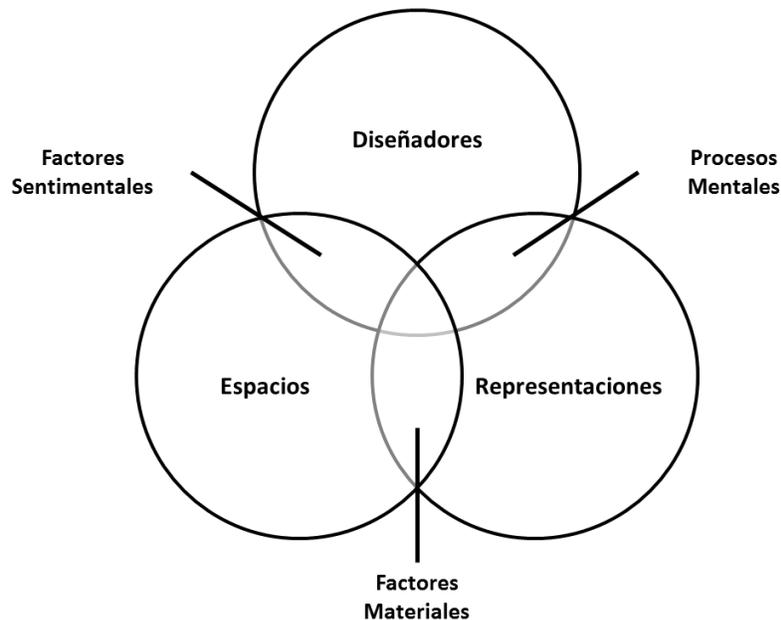


Figura 3. Relación Espacio-Diseñadores-Representaciones

El espacio físico de trabajo afecta a los diseñadores al desarrollar un efecto directo en los sentimientos de las personas, producto de la afinidad entre ambiente e individuo.

Así mismo, el espacio físico de trabajo afecta a las representaciones que el equipo de diseño pudiera hacer de sus ideas al facilitar los recursos materiales necesarios. Por ejemplo, si el equipo de diseño no cuenta con hojas de papel, será difícil que realice esquemas y, por lo tanto, las ventajas de la utilización de estos no serán aprovechadas.

La relación entre diseñadores y representaciones se describe con mayor profundidad en la última sección de esta tesis.

Sin importar si es un salón de clases o las oficinas de una compañía billonaria, el espacio es un objeto que debe de pensarse como una herramienta para la innovación y la colaboración. No es una condición inicial dada ni algo que se deba de aceptar tal como es. El espacio de trabajo es una herramienta valiosa que puede ayudar para crear una cultura colaborativa profunda y con sentido dentro de un grupo de trabajo.

Procesos

Como se mencionó anteriormente, cualquier proceso de innovación consta de tres elementos que se deben balancear, estos se representan por los círculos sobrepuestos en la siguiente imagen:

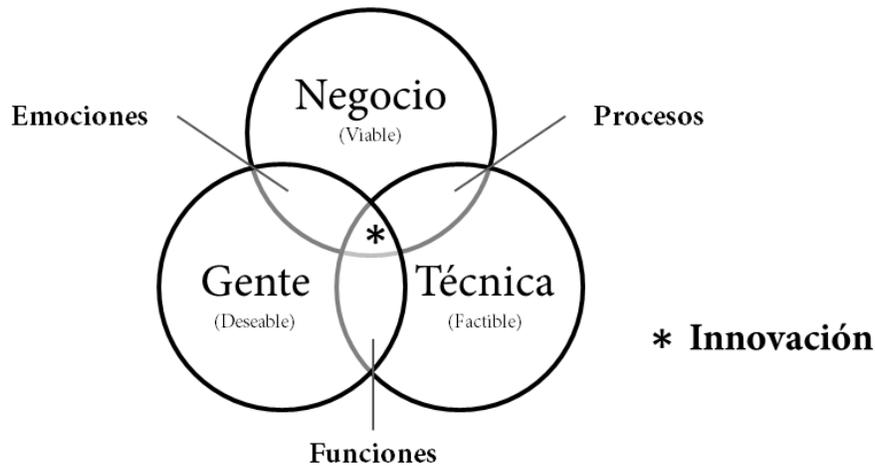


Figura 4. Aspectos que Conforman un Producto Innovador

El primer círculo representa los factores técnicos del proyecto. Una nueva tecnología representa una ventaja importante en cualquier producto, tanto para competir con otros como para crear nuevos mercados. En este punto es donde, paradigmáticamente, se concentra el mayor esfuerzo de la ingeniería, desde la educación superior hasta la actividad profesional. La realidad es que la tecnología, por sí sola, no es suficiente ya que el éxito que alcance tiene una interdependencia con los otros dos aspectos.

El segundo aspecto representa la viabilidad económica y los factores comerciales involucrados con el producto. La tecnología no solo tiene que funcionar, tiene que ser producida, vendida y distribuida. Esto implica el adaptarse a un modelo de negocio que permita generación de valor. Esta característica es crítica para los proyectos de innovación social.

El tercer aspecto representa a la gente y los factores humanos. Este elemento se basa en el entendimiento de las necesidades humanas, no solo al observar sus comportamientos sino al comprender las motivaciones y creencias críticas que afectan sus experiencias y su consumo [13].

Los factores humanos no son necesariamente más importantes que los otros dos, sin embargo, es el único elemento que no se estudia, de manera común, en la educación superior de la ingeniería. Esta situación representa una enorme ventaja para desarrollar productos que cuenten con mejores funciones y emociones para el usuario final y por ende una mayor aceptación en los mercados.

Un producto completamente innovador balancea los elementos de investigación centrada en el usuario, los elementos técnicos y los elementos económicos. Ese punto de deseabilidad, factibilidad y viabilidad, tomando en cuenta las necesidades y deseos de los clientes y usuarios es la meta fundamental del *Pensamiento de Diseño*

El proceso utilizado para desarrollar productos, basándose en los métodos del *Pensamiento de Diseño*, no cuenta con una definición estructural específica, es una teoría abierta que aún se está forjando. Aun así, a pesar de contar con algunas diferencias, existe un amplio acuerdo entre los protagonistas del *Pensamiento de Diseño* sobre las etapas que este proceso representa:

- Entendimiento del problema: Obtener un entendimiento inicial del espacio del problema.
- Observación de Usuarios: Entender a los usuarios, visitarlos en sus entornos reales, observación de espacios físicos.
- Interpretación de resultados: Interpretación de la información empírica previamente obtenida.
- Generación de ideas: Generación de la mayor cantidad de ideas posible (expansión del espacio de solución).
- Prototipaje/ Experimentación: Construir prototipos y compartirlos con otras personas (refinar el espacio de solución).
- Prueba, implementación y mejoramiento: probar, implementar y refinar los conceptos, previamente construidos (refinación del espacio del problema).



<https://www.youtube.com/watch?v=Ee4CKIPkIik>

Video 6. ¿Qué es Design Thinking?

PENSAMIENTO DE DISEÑO: FILOSOFÍA, PROCESOS Y MÉTODOS

A continuación se juxtaponen las distintas etapas del *Pensamiento de Diseño*, tal y como la entienden diferentes especialistas en el tema [14]:

Tabla 3. Diferentes Formas de Entender el Pensamiento de Diseño

Hayes 1989	Amabile 1989	Plattner 2009	Kolko 2007	Ideo/Kelley 2002	Roozenburg 1995
	Presentación de tareas	Entendimiento		Entendimiento	Función
Identificación del problema	Preparación	Observación	Investigación	Observación	Análisis
			Síntesis		Síntesis
Representación del problema		Punto de vista			
Planeación de solución	Generación de ideas	ideación	Ideación		
Ejecución de plan		Prototipaje	refinamiento	Visualización	Simulación
Evaluación de plan	Validación de ideas	Prueba		Evaluación y refinamiento	Evaluación
Evaluación de solución	Valoración de resultado		Reflexión	Implementación	Decisión

Herbert Simon	Ideo Toolkit	Tim Brown - IDEO	d.School (HPI)	Baeck & Germet 2011
Definición	Descubrimiento	Inspiración	Entendimiento	Definición del problema a resolver
Investigación			Observación	Búsqueda de inspiración
	Interpretación		Punto de vista	
Ideación	Ideación	Ideación	Ideación	Ideación
Prototipaje	Experimentación	Implementación	Prototipaje	Generación de prototipos
Objetivos / selección de aprendizaje aplicable	Evolución		Evolución	Solicitud de retroalimentación del usuario

PENSAMIENTO DE DISEÑO: FILOSOFÍA, PROCESOS Y MÉTODOS

El *Pensamiento de Diseño* implica procesos iterativos para refinar los conceptos y puntos de vista con cada cadena de etapas, por lo que muchas veces se representa gráficamente dentro de un ciclo, donde la información de salida de cada iteración es la información de entrada de la siguiente.

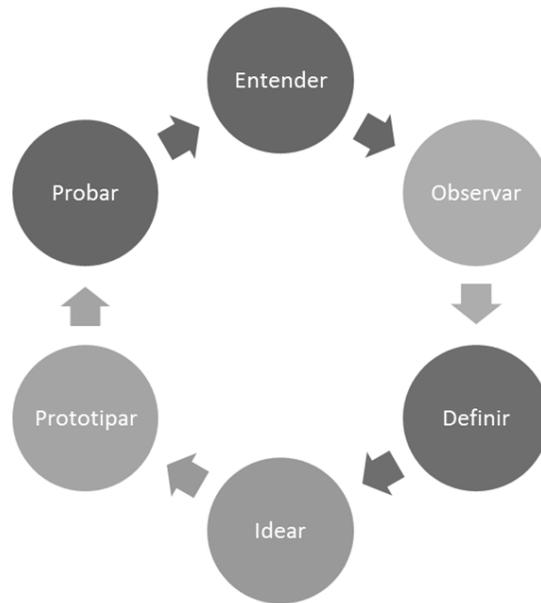


Figura 5. Modelo Teórico Cíclico para Pensamiento de Diseño

Estas etapas, aunque en la representación teórica anterior tienen un orden establecido, muestran un comportamiento que, la mayoría de las veces, es “caótico” en la vida real [15].

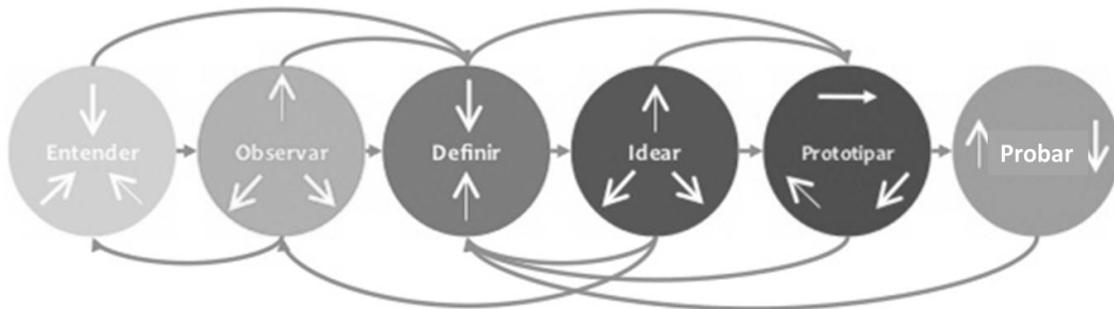


Figura 6. Modelo Teórico Caótico para Pensamiento de Diseño

Existen dos razones por las que se da esta irregularidad en el orden de aparición de las distintas etapas del proceso:

1. La naturaleza humana de los diseñadores y los distintos procesos mentales que esto implica. Cada individuo tiene una red neuronal única, por lo que, las diferencias en la estructura cerebral de cada actor, definen la organización “lógica” de las diferentes etapas del proceso.
2. Al ser este un proceso intuitivo y exploratorio, puede ocurrir que los diseñadores obtengan “insights” en cualquier etapa del proceso. Es así como, dependiendo de la naturaleza de éstos, se toman las decisiones necesarias para seguir adelante con el ciclo original, regresar a alguna etapa anterior o saltarse hasta alguna etapa posterior.

Métodos

Se han desarrollado un gran número de métodos con el fin de alcanzar los objetivos de cada etapa del proceso del *Pensamiento de Diseño*. Cada autor, teniendo como base su punto de vista, ha ido construyendo un abanico de opciones para la construcción de *marcos de trabajo* en los procesos de diseño. A continuación se presentan los métodos más comunes para cada etapa del proceso:

Tabla 4. Métodos Comunes en el Pensamiento de Diseño

Etapa	Métodos
Entendimiento del Problema	<ul style="list-style-type: none"> • Examinación de fronteras • Rueda del futuro • Matriz de metas • “Reframing”
Observación de Usuarios	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de reformulación • AEIOU • Nueve dimensiones • POSTA • LATCH
	<ul style="list-style-type: none"> • Observación presencial de usuarios • Visitas insitum • Cuestionarios
	<ul style="list-style-type: none"> • Asunción de una forma de pensamiento de aprendiz • ¿Qué? ¿Cómo? ¿Por Qué? • Estudios con cámaras • Entrevistas • Usuarios extremos • Empatía análoga • Captura de historias compartidas

	<ul style="list-style-type: none"> • “Bodystorming” 	
Interpretación de resultados	<ul style="list-style-type: none"> • Mapas de empatía • Mapas de viaje • Perfiles de personajes compuestos • Matrices 2x2 • Escalera Qué-Cómo • Puntos de Vista con Analogías • Principios de Diseño • Preguntas: ¿Cómo podemos...? 	<ul style="list-style-type: none"> • Diagramas de afinidad • Modelos de investigación contextual • Personas • Casos, escenarios, historias de usuarios, escenarios “Un día en la vida de...”
Ideación	<ul style="list-style-type: none"> • Lluvia de ideas (+ selección) • “Bodystorming” • Restricciones impuestas • Grupos de enfoque • “Brainwriting” • Método Disney • Ideación Heurística • Si y... 	<ul style="list-style-type: none"> • Escenarios incorrectos • Pensamiento fuera de la caja • Método NHK
Prototipaje - Experimentación	<ul style="list-style-type: none"> • “Bodystorming” • Prototipos de función crítica • Prototipos de experiencia crítica 	<ul style="list-style-type: none"> • Prototipos rápidos • Prototipos “Dark Horse” • Diagramas de flujo • Prototipos “Mago de Oz”
Pruebas/ Implementación y Mejoramiento	<ul style="list-style-type: none"> • Pruebas con usuarios • Decisión por prototipos • Identificación de variables • Matriz de retroalimentación • Pruebas en laboratorio 	<ul style="list-style-type: none"> • Protocolos de pensamiento en voz alta • Pruebas con usuarios remotos • Pruebas de usuario en campo • Pruebas informales con usuarios • Estudios KPI



<https://www.youtube.com/watch?v=bEusrD8g-dM>

Video 7. Creative Thinking - How to Get out of the Box and Generate Ideas: Giovanni Corazza at TEDxRoma



3. Pensamiento de Diseño en la Ingeniería

En esta sección se estudia la aplicación, dentro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, de los métodos del *Pensamiento de Diseño* dentro de la ingeniería de diseño.

Se plantea el método académico ME-310, como herramienta a estudiar, a partir de la participación de la Facultad de Ingeniería en el curso correspondiente al periodo de Octubre 2013 a Junio 2014.

Método ME-310 (Mechanical Engineering - 310)

Los participantes en el curso ME-310 de la Universidad de Stanford, organizados en equipos interdisciplinarios y multiculturales, adquieren retos de diseño de la vida real, planteados por empresas colaborativas. A diferencia de otros proyectos académicos ingenieriles que requieren que los estudiantes optimicen una sola variable, se pretende diseñar un sistema completo que tome en cuenta no solo el objetivo primario sino la funcionalidad, la estética y las implicaciones tanto sociales como empresariales de los retos planteados.

Conforme el proyecto avanza, los estudiantes aprenden, aplican y experimentan un proceso de diseño de innovación centrado en el usuario y algunas de las herramientas que lo componen. Los equipos observan y entrevistan usuarios para entender sus necesidades, estudian tecnologías y productos existentes para identificar las oportunidades de diseño, llevan a cabo intensas lluvias de ideas para descubrir las opiniones obvias, “locas” y nuevas y, de forma iterativa, llevan a cabo prototipos para probarlas rápidamente y adquirir un mayor entendimiento de sus diseños. El resultado final es un concepto de diseño refinado y fundamentado con sus aprendizajes. [16]

Proceso de Diseño ME-310

En este proceso se reconocen dos etapas características del Pensamiento de Diseño:

- Pensamiento Divergente: Proceso por el cual se generan opciones para solucionar un reto.
- Pensamiento Convergente: Proceso por el cual se toman las mejores opciones para definir una probable solución.

Así mismo, se requiere la interacción entre el análisis y la síntesis, lo que lleva a un proceso de destrucción conceptual (análisis) de los problemas para su posterior reconstrucción (síntesis) e innovación. Algunas veces, las mejores ideas de diseño vienen de la tensión creada al confrontar enfoques diferentes para resolver un reto.

El proceso de diseño de ME-310 itera a través de un modelo en cascada utilizado para estructurar las probables opciones de solución. El proceso comienza con la (re)definición del problema, seguida de la búsqueda de necesidades y beneficios así como el uso de ejercicios de ideación divergente-convergente para generar diversas opciones. El corazón del método ME310 es la múltiple construcción de prototipos rápidos en los que las ideas se convierten en productos tangibles. El “fallar” es una acción que es fomentada ya que la mayoría de los mejores diseños comienzan con una gran sorpresa y el aprendizaje obtenido de ésta. [16]

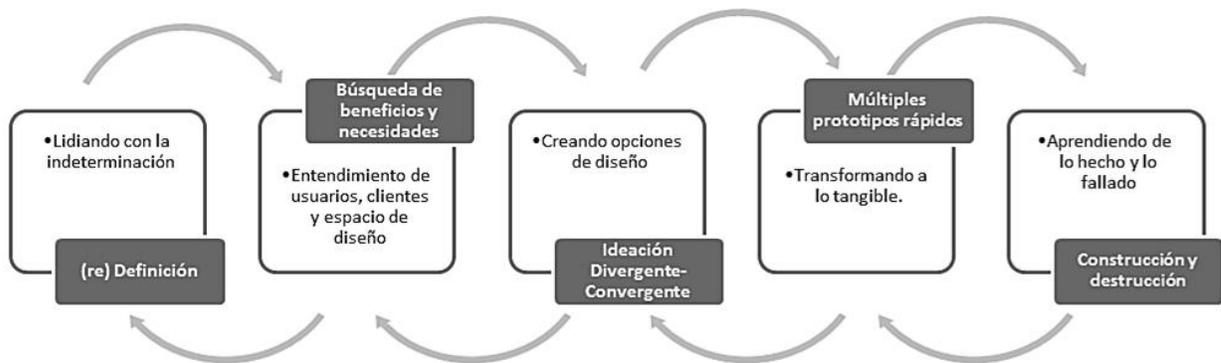


Figura 7. Proceso en Cascada ME-310

Curso

El ME-310 se divide en tres periodos académicos que coinciden cronológicamente con los trimestres en la Universidad de Stanford.

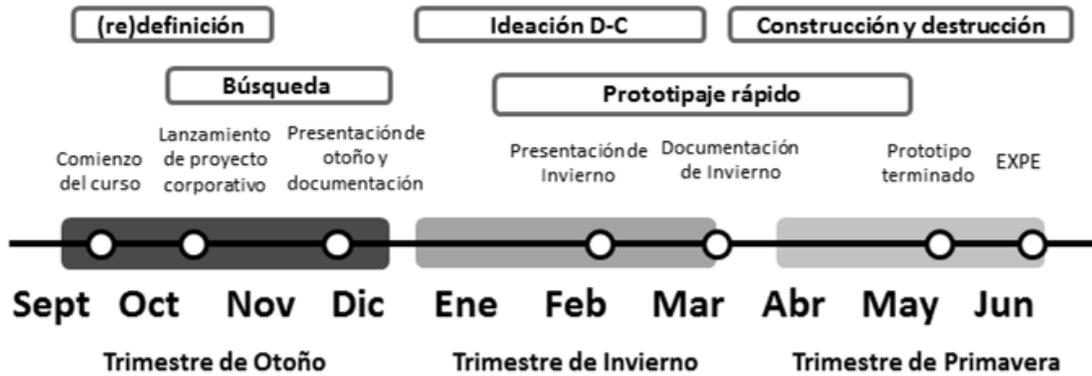


Figura 8. División Cronológica ME-310

Durante estas etapas se llevan a cabo 22 misiones o tareas que forman parte del plan académico del curso. El objetivo principal de estas misiones es llevar a los equipos de diseño a través de un análisis divergente-convergente para llegar a una solución bien fundamentada e integral al problema planteado por la empresa colaborativa correspondiente a través de las herramientas que se plantean. [16]

Misiones ME-310

Cada misión está pensada para dar a los equipos cierta información y herramientas que, en un proceso de la vida real, forman parte del abanico de posibilidades para la aproximación a retos y generación de soluciones innovadoras.

Estas tareas han ido cambiando con el paso del tiempo ya que han ido adaptando los diversos descubrimientos, obtenidos de las investigaciones sobre el *Pensamiento de Diseño*, con nuevas herramientas y metas.

Como entregables de los proyectos se tienen resúmenes y prototipos (si así es requerido) al final de cada misión, los cuales son evaluados tanto por un equipo de profesores como por la misma empresa colaborativa, esto con el fin de entregar retroalimentación al equipo de diseño al final de cada proceso.

La siguiente tabla muestra las misiones vigentes en el curso ME-310 correspondiente al ciclo escolar 2013-2014.

Tabla 5. Misiones ME-310

Misión	Reto	Misión	Reto
1	Registro de Perfil (Historia Personal)	14	Prototipo “FUNK-tional”
2	Construcción de una Pala y un Almacén para Pelotas de Playa* ⁺	15	Prototipo “FUNC-tional”
3	Reto de Diseño “Paper hippo” ⁺	16	Presentación de Invierno
4	Formación del Equipo Corporativo	17	Documentación de Invierno
5	Propuesta Corporativa de Diseño	18	Revisión de salida*
6	Reto de Diseño “Paper Robot”*	18.1	Plan de acción
7	Evaluación Comparativa - Benchmarking	19	Reto “Part X is Finished”
8	Usuarios, Necesidades y “Personas”*	20	Plan de Manufactura
9	Prototipos de Función y Experiencia Crítica	21	Penúltima Integración y presentación para EXPE
10	Presentación de Otoño	22	Folletos y Carteles para EXPE
11	Documentación de Otoño	22.1	EXPE
12	Revisión de Salida *	23	Documentación final
13	Prototipo “Dark Horse”		

*Actividades exclusivas para los estudiantes de Stanford.

⁺ Actividades correspondientes al concurso “Paper Bikes”.

* Persona: En el diseño centrado en el usuario, son personajes ficticios que representan las diferentes características que tiene el “usuario ideal” al que está dirigido el diseño.

Algunas de las misiones como los registros, revisiones, presentaciones y documentaciones solo son pasos para mantener un control del progreso del equipo durante el proceso.

A continuación se describe cada misión y se presentan las razones que fundamentan cada actividad:

Concurso “Paper Bikes” - Misiones 2 y 3

La experiencia ha demostrado que los equipos del ME3-10 se benefician con la participación en un ejercicio de calentamiento previo al comienzo de los proyectos corporativos. Este ejercicio brinda a los estudiantes un lapso de reconocimiento de fortalezas y preferencias así como un proceso de integración de equipos y de introducción a la documentación y formatos que serán utilizados durante todo el curso.

La elección de este ejercicio es motivado por diversas ideas. Primero, debe de ser divertido y práctico para que cada quién pueda participar como diseñador y jugador. Segundo, debe de ser igualmente accesible para todos los estudiantes, asumiendo que ninguno está preparado para desarrollar una “*Paper Bike*” (Bicicleta de Papel). Por último, este ejercicio debe de alentar la exploración de diseño y la “reutilización” de la información de los diseños de cursos anteriores, disponibles desde el principio para cualquier participante.

El objetivo principal de este ejercicio no es el construir el mejor producto del mundo. Un desastre espectacular puede incluir más aprendizajes (y más diversión) que un triunfo definitivo. El objetivo es tomar parte en una actividad que saca a flote muchos de los problemas que se incluyen en la formación, organización y conducción de un esfuerzo para generar un diseño, reflejando la experiencia en el camino y generar aprendizajes para un futuro.



<https://www.youtube.com/watch?v=HZV5I5z2cpE>

Video 8. The Great Paper Bike Polo Rally 2009

Reto de Diseño “Paper Robot” - Misión 6

El trasfondo de este proyecto es el tener una contraparte mecatrónica al concurso “Paper Bikes”. El objetivo es demostrar la facilidad de construir un prototipo con electrónica y microprocesadores en estos días.

Se pretende demostrar la interacción entre humanos y robots por medio de prototipos de cartón que expresen emociones y capten parte de la psicología de los primeros. Ésta profundización en el pensamiento es parte del espíritu esencial del ME-310.

Inicio de Curso e Integración de Equipos

La primera actividad, relacionada directamente con las actividades de los proyectos definidos por los socios coprorativos, es la integración de equipos durante el inicio de curso en la Universidad de Stanford.

Los estudiantes involucrados en los proyectos, tanto locales como extranjeros, conviven durante una semana de introducción al *Pensamiento de Diseño* y a la innovación de productos, esto con el fin de generar una sinergia básica entre integrantes y prepararse para las actividades de diseño a las cuales se enfrentarán durante los siguientes ocho meses.

Exploración de Espacio de Diseño - Misiones 7 y 8

A raíz del estudio y el entendimiento de los usuarios potenciales y sus necesidades, se investigan tecnologías relevantes, productos, enfoques, etc. La idea se conoce como “Competitive Product Benchmarking” y evoca una actividad que se realiza en la industria.

Esta actividad solo representa el inicio de todo un proceso de búsqueda y contextualización del proyecto que se extiende durante todo el periodo de trabajo. Derivado de estas actividades se obtienen insights, tendencias y necesidades “escondidas” o “sin resolver”.

Además de una exploración tecnológica se tiene una investigación centrada en el usuario. Aunque ésta es una etapa temprana del proceso y aún no se tienen completamente definidos los usuarios, se debe de comenzar por algún punto del proceso iterativo. Además, la información adquirida en este proceso dará la información necesaria para generar los prototipos de función y experiencia crítica que viene más adelante.

Durante esta etapa se identifican a los usuarios en potencia a quienes se llaman “Persona” que representa al usuario promedio para el producto a diseñar y describe todas sus características, contexto y necesidades (“Needfinding”) que lo rodean.

Prototipos de Función Crítica - Misión 9

El proceso de Benchmarking y Needfinding generan los fundamentos para el diseño. En esta etapa, se pretende intentar un ciclo de diseño que proyecte lo que a futuro podría ser el producto final.

El propósito de los prototipos es el de analizar ciertas suposiciones que se tienen sobre el diseño y construir algunos aspectos del producto para probarlos con los usuarios, la física y con el mismo diseñador. Un prototipo debe de contestar preguntas que se tienen sobre el diseño y al mismo tiempo generar nuevas para profundizar en el proceso de aprendizaje.

Antes de construir un prototipo es imperativo pensar: ¿Cuál es la pregunta que estoy tratando e contestar con este prototipo?

Los prototipos de función crítica se utilizan para generar un sistema tangible que permita la exploración de algunas partes interesantes del espacio de diseño.

El objetivo principal es descubrir como implementa la función más importante o esencial del producto o servicio que deberá ser generada para producir cierta experiencia, así mismo es un experimento en el que se aprende qué es lo que realmente se tiene que hacer para generar la experiencia deseada. No es solo “magia” o un simulador sino incluye aspectos reales realizando el ¿cómo? y no tanto el ¿qué? del producto final.

Prototipos de Experiencia Crítica - Misión 9

Crear una experiencia que es “suficientemente real” genera aprendizajes y documentación via story-boards, video, diagramas de flujo del proceso y demás herramientas.

El objetivo es descubrir la experiencia del producto que se está diseñando y qué es lo que los clientes, consumidores y usuarios quieren tener. Por medio de la utilización de los prototipos “Mago de OZ” (solo generan la experiencia, aunque no la función) se lleva a las 3 partes involucradas a experimentar las sensaciones en tiempo real y las acciones que definen “La Experiencia” del producto final. Como cualquier prototipo, se debe de pensar que es un experimento más para aprender algo más sobre el espacio de diseño que se tiene. La experiencia debe de ser física, tangible y positiva.

Prototipos “Dark Horse” - Misión 13

Caballo Negro (“Dark Horse”): Un contendiente poco conocido (en una carrera de caballos) que da un buen espectáculo de forma inesperada.

Este prototipo prueba una tecnología o enfoque que fue descubierto previamente pero que fue considerado muy arriesgado, difícil de completar o simplemente el equipo no creyó tener el talento necesario para realizarlo.

La tercera ley del *Pensamiento de Diseño* implica que se debe de preservar la ambigüedad y el llevar una idea “Dark Horse” al punto en el que realmente se puede evaluar, ayuda a alejar el proceso de diseño de una convergencia rápida.

Aún si el equipo no decide “cambiar de caballos”, se obtienen aprendizajes que ayudan a mejorar el producto final (novedades, sofisticación, validez).

Prototipos “FUNK-tional” - Misión 14

Un prototipo del tipo FUNK-tional es aquel en el que sus partes han sido construidas de una forma en la que se aproxima a un sistema real pero sin tener costos altos. Es un prototipo rápido que constituye un concepto y evalúa el sistema requerido para el producto final. El objetivo es construir un sistema físico completo que realice las funciones deseadas sin importar la estética ni la configuración del mismo.

Prototipos “FUNC-tional” - Misión 15

Este prototipo marca la definición del punto de inflexión entre el proceso divergente y el convergente. A partir de esta etapa es posible extrapolar la funcionalidad final y bosquejar un prototipo final.

Esta tarea lleva al equipo a enfrentarse a situaciones técnicas y comerciales que no habían sido consideradas previamente. Para muchos proyectos, esta es la primera vez en la que se reúnen todas las funciones “bajo un mismo techo” (en algunos casos es la primera vez en la que algunas funciones son consideradas). Es importante que esta etapa se lleve en el momento preciso, antes del progreso del proyecto, para poder evaluar las situaciones técnicas y de experiencia que se avecinan en un futuro.

El objetivo de este prototipo es tomar decisiones de cómo el sistema se constituirá y definir el alcance razonable del proyecto. De esta actividad se obtienen diagramas de bloque del sistema y diagramas de entrada-salida que definen toda la interacción del sistema propuesto.

Desde el punto de vista de los equipos, este prototipo representa un proceso de pensamiento coordinado entre el equipo de Stanford y su contraparte global. Es el momento de decidir hacia dónde va el proyecto y estar de acuerdo con la configuración final del producto/solución.

Reto “X Part is finished” - Misión 19

La idea de esta tarea es construir una pieza esencial del prototipo final. No es una parte que se pueda comprar, es algo que se ha diseñado o que se haya hecho por el equipo. Es la primera pieza de algo real y final.

El objetivo de esta etapa es reducir la incertidumbre asociada con el tiempo requerido para ir desde el “Prototipaje Rápido” al “Prototipaje Final”.

Prototipo Final - Misiones 20 a 22

Durante esta tarea se diseña, construye y prueba el prototipo final que representa la conclusión de todas las actividades del curso. Tanto las funciones como las experiencias que se desean mostrar deben de estar incluidas en este modelo por lo que toma en cuenta cuestiones tanto tecnológicas, económicas y estéticas en su elaboración. Así mismo, al final de esta etapa se prepara la documentación final en donde se resume todo el proceso de diseño y se elaboran panfletos y carteles para la exposición final.

Expe

La última actividad del curso es un evento llamado “EXPE” que se lleva a cabo en la Universidad de Stanford y al que asiste una gran audiencia de las comunidades tanto académicas como empresariales de la zona de Silicon Valley, así como buscadores de talento e invitados especiales.

En esta actividad se presenta la propuesta de un concepto final y sus prototipos, así las decisiones más importantes del proceso de diseño que fundamentan las acciones tomadas por los equipos para satisfacer las necesidades de sus proyectos.

Es importante mencionar que al final de cada trimestre existe una presentación, hacia el equipo de revisión, tanto académico como corporativo, de los resultados obtenidos durante el periodo correspondiente, así como del camino que llevó al equipo de diseño a tomar las decisiones imperantes. Así mismo, se hace la entrega formal de un reporte de cada periodo con esta información para dar parte de las actividades del periodo y documentar los avances del proyecto.

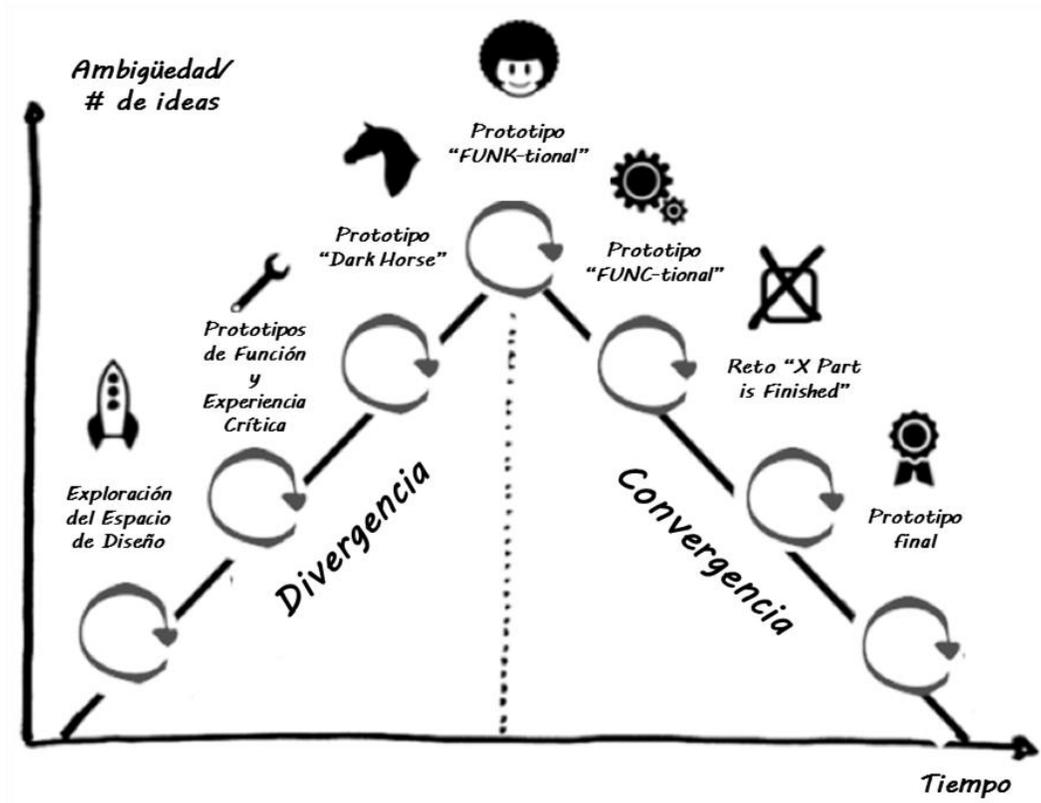


Figura 9. Esquema (ambigüedad vs tiempo) de Misiones ME-310

En el siguiente capítulo se incluye el estudio del proyecto “El Hielo del Futuro” para ejemplificar la aplicación del método ME-310 en el desarrollo de productos. Este proyecto fue realizado entre octubre de 2013 y junio de 2014 por un equipo de diseño conformado por estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de México y estudiantes de la Universidad de Stanford y planteó una opción de solución al reto, propuesto por la empresa de electrodomésticos mexicana MABE, de innovar la experiencia de los usuarios al utilizar las fábricas de hielo en los refrigeradores domésticos actuales.



4. El Hielo del Futuro

Resumen

La tecnología y la experiencia de las fábricas de hielo dentro de los refrigeradores domésticos no han cambiado durante las últimas décadas.

El proceso es simple, una vez que el almacén de hielo se vacía, se debe de esperar de una a dos horas para que una nueva ronda de hielo (de 8 a 12 hielos, según el modelo) esté lista para su consumo. Esto se ha mantenido sin cambios considerables a través del tiempo por lo que nace el reto que Mabe nombró como “El Hielo del Futuro” para innovar la experiencia que ofrece este producto a sus usuarios.

El primer paso fue establecer el espacio de diseño para tener una referencia para la exploración de ideas y toma de decisiones. Para este fin se llegó a la pregunta: ¿Para qué utiliza el hielo la gente? Se encontró que el 80% del tiempo, el hielo es utilizado para enfriar bebidas y que, a pesar de que su uso es muy aceptado por muchas

personas, algunas otras no es tan agradable porque diluye cualquier bebida diferente al agua, o inclusive les es molesto al tomar de un vaso. Esto llevó a las siguientes preguntas fundamentales: ¿Por qué seguir usando hielo? ¿Se podría sustituir su uso de forma viable?

Como una alternativa al hielo, mucha gente elige el enfriar sus bebidas dentro del refrigerador para poderlas consumir después de un tiempo. Esto lleva, comúnmente, a refrigeradores llenos y antihigiénicos. ¿Qué pasaría si, en vez de tener un método de enfriamiento con un tiempo de espera largo, se pudiera solo colocar las bebidas en un dispositivo que las enfríe a demanda y en un tiempo reducido? Para llegar a una solución a esta necesidad, se tiene como variable clave la transferencia de calor.



Figura 10. Fábricas de Hielo Domésticas Actuales

Si se coloca una bebida de 355 ml (12 oz) en un refrigerador convencional, se tiene un tiempo de enfriamiento de 2.5 horas para alcanzar una temperatura de bebida ideal (6°C a 2°C). Sin embargo, si se coloca la misma bebida en un contenedor bañado con agua casi congelada, se puede observar que el tiempo se reduce dramáticamente. Si se agita o rota, el tiempo decrece aún más. Esto a causa del aprovechamiento del coeficiente convectivo de transferencia de calor del agua forzada que es aproximadamente 100 veces mayor que el del aire.

A partir de esta idea, se probaron prototipos tanto de función como de experiencia crítica para recibir retroalimentación por parte de los usuarios participantes. Hipotéticamente, en esta época de innovación tecnológica, la gente difícilmente nota los segundos o minutos menos en una tarea rutinaria, aun así, la reducción de tiempo alcanzada fue de 2.5 horas a menos de 1 minuto por lo que se capturó la atención de los usuarios. Además, para satisfacer los casos en que un usuario necesita específicamente hielo, los principios de refrigeración líquida y la agitación interna del fluido se adaptan directamente a la fabricación del mismo. El fluido refrigerante sólo tiene que estar por debajo de la temperatura de congelamiento del agua como condición.

Después de un proceso exhaustivo de prototipaje rápido y pruebas con usuarios, se desarrolló el concepto "Polar Roller". Éste es un dispositivo que puede enfriar (de temperatura ambiental a 6°C) hasta 9 latas de 355 ml, al mismo tiempo, en 1 minuto. Adicionalmente, puede congelar un litro de agua en 10 minutos (comparado a los 90 minutos en un congelador convencional). Esto es posible al utilizar una solución acuosa de propilenglicol a temperatura sub-cero (-20°C aproximadamente) como refrigerante que baña a un sistema de rodillos horizontales que giran los contenedores de agua durante el proceso de enfriamiento o congelamiento. La rotación libre a velocidad constante permite la aparición de un vórtice dentro del recipiente, que mejora la transferencia de calor mientras que evita la distribución del carbonato en toda la bebida.

El concepto implica una integración de este dispositivo a los refrigeradores del futuro. Con las capacidades de enfriamiento rápido, los usuarios no tendrán que almacenar bebidas en el interior de sus refrigeradores y por lo tanto este espacio estará disponible. Una fábrica de hielo convencional se vuelve redundante, por lo que el espacio que utiliza es innecesario. Este ahorro permitirá que las unidades de refrigeración domésticas reduzcan sus tamaños y por lo tanto incrementen su eficiencia.

Contexto

Planteamiento de Necesidades

Durante el proceso de diseño se llevaron a cabo varias preguntas para poder tener un marco de referencia sobre las necesidades que deberían de ser satisfechas, según los usuarios involucrados:

- ¿Qué tan importante sería poder enfriar bebidas o tener hielo justo cuando el usuario lo necesita?
- ¿Qué tan importante es poder elegir, no solo cuanto hielo quieres, sino también su aspecto?
- ¿Una máquina de enfriamiento rápido sería más eficiente (energéticamente) y práctica que todo un refrigerador doméstico actual?
- ¿Siempre es necesario el uso del hielo o podemos sustituirlo de alguna manera?

A través de varias entrevistas y observaciones con diferentes tipos de usuarios, se aprendió que la gente entiende la producción de hielo doméstica como una pérdida de tiempo ya que, actualmente, toma 90 minutos hacer una ronda de hielo (8 a 12 hielos) con los moldes y las máquinas de hielo domésticas.

Existen diferentes métodos y técnicas para enfriamiento y producción de hielo que se utilizan fuera del contexto culinario y que representan opciones diferentes para satisfacer las siguientes necesidades:

- Una manera de enfriamiento rápido para bebidas
- Una manera de hacer hielos rápidamente.
- Deshacerse del hielo viejo acumulado dentro del refrigerador.
- Producción de hielo con una mejor calidad y una mejor apariencia.
- Reducción de impacto ambiental al enfriar o hacer hielo.

Nuevos dispositivos y tecnologías avanzadas representan una nueva manera de ofrecer experiencias a los usuarios. Esto da la opción de crear un producto completamente nuevo dentro del mercado, abierto a este tipo de nuevas ideas.

Las tendencias de diseño, más frecuentemente encontradas, incluyen la personalización, modularidad y multifunción de los productos y hacer hielo no debería de ser la excepción.

Planteamiento del Problema

Las fábricas de hielo han sido una característica importante dentro de los refrigeradores modernos pero el concepto se ha mantenido igual en los últimos 20 años. Este último, se relaciona con el consumidor directamente a través el “factor de diversión”.

Esta situación presenta diversas áreas para la mejora de las fábricas de hielo, tales como:

- Mal sabor del producto final, a causa del prolongado tiempo en el almacén de hielos.
- Insuficiencia en el suministro de hielos.
- Tiempo bajo de producción de hielos.
- Gran volumen ocupado por las fábricas de hielo actuales (% del refrigerador).

Con esto, el reto de diseño se traduce como: Entregar hielo cada vez que el consumidor lo demande y eliminar el área de almacenaje para el mismo. El hielo debe de tener cierto tamaño mínimo (14 ml) y debe de contar con un aspecto cristalino.

El consumo energético, preferiblemente, debe de ser menor a 84 KWh/año (según regulaciones DOE).

Socio Corporativo

El socio corporativo de este proyecto fue Mabe, empresa mexicana, fundada en 1943, líder en línea blanca en América, que diseña, produce y comercializa electrodomésticos en 70 países alrededor del mundo. Tiene una gran gama de productos entre los que destacan las estufas, hornos, microondas, lavadoras y refrigeradores.

Cuenta con centros de tecnología que generan investigación y valor para la empresa y sus aliados, 18 plantas de producción en diversos puntos de la República Mexicana y Estados Unidos, 16 marcas, 13 millones de unidades vendidas al año y 20 mil empleados.

En los últimos años, Mabe se ha introducido dentro del mercado americano, canadiense, brasileño, chileno y ruso a través de alianzas estratégicas (Fagor y General Electric).

Equipo de Diseño

El equipo de diseño estuvo conformado por 11 estudiantes, tanto de la UNAM como de la Universidad de Stanford, pertenecientes a diferentes disciplinas (diseño industrial, administración, ingeniería mecatrónica e ingeniería mecánica), de entre 23 y 26 años de edad y con una variedad importante de nacionalidades (México, Estados Unidos, Colombia y Hong Kong).

Tabla 6. Equipo de Diseño "El Hielo del Futuro"

Nombre	Edad	Nacionalidad	Disciplina	Escuela
Ariana Méndez	25 años	Mexicana	Diseño Industrial	UNAM
Daniel Rainley	24 años	Estadounidense	Maestría en Ingeniería Mecánica	Stanford
David Kingman	24 años	Hongkonés	Maestría en Ingeniería Mecánica	Stanford
Diana López	24 años	Mexicana	Administración	UNAM
Evelyn Peñaloza	24 años	Mexicana	Administración	UNAM
Jesús Marini	24 años	Mexicana	Ingeniería Mecatrónica	UNAM
Jorge Luis López	24 años	Mexicana	Diseño Industrial	UNAM
María José Flores	23 años	Mexicana	Ingeniería Mecatrónica	UNAM
María Juliana Loza	24 años	Colombiana	Maestría en Ingeniería Mecánica	Stanford
Matthew Ríos	24 años	Estadounidense	Maestría en Ingeniería Mecánica	Stanford
Sebastián Quijano	25 años	Mexicana	Maestría en Ingeniería Mecánica	UNAM

Proceso de Diseño

La estructura del proyecto se basó en la metodología ME-310, por lo que el proceso se divide en tres etapas: *Trimestre de Otoño*, *Trimestre de Invierno* y *Trimestre de Primavera* (correspondientes a cada trimestre en la Universidad de Stanford).

Trimestre de Otoño

En el primer trimestre del curso se tuvieron dos objetivos: la conjunción del equipo y la construcción del espacio de diseño para el proyecto.

Para cumplir con el primer objetivo se llevaron a cabo dos actividades de “calentamiento” en las que se exploran aspectos como la dinámica del equipo y las herramientas que están al alcance del mismo. Al no formar parte de las actividades de decisión y diseño para “El hielo del Futuro”, estos “retos” se analizan a profundidad en la página 6.

El segundo objetivo de este trimestre fue el principio de todo el proceso de diseño. En este punto se llevó a cabo una revisión y análisis inicial del problema planteado. Después se definió por primera vez a los usuarios objetivos (características físicas, emociones y condiciones socio/económicas) y las necesidades que debían ser satisfechas. En paralelo, se llevó a cabo el estudio de mercado o *benchmarking* para documentar tanto el estado del arte de las fábricas de hielo (características tanto técnicas como emocionales que aparecen en los modelos de mayor vanguardia) como para identificar y caracterizar el mercado en el que se ubican estos dispositivos.

Al final de esta etapa se probaron las primeras ideas surgidas de la investigación previa en lo que se conoce como “*Prototipos de Función y Experiencia Crítica*” (PFC/PEC). Esto llevaría a una re-definición del problema para marcar la pauta para las actividades posteriores.

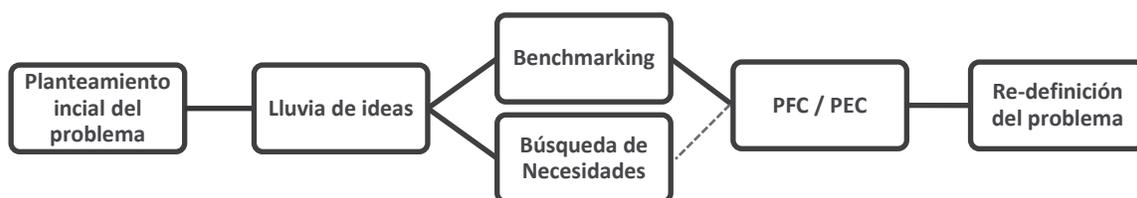


Figura 11. Proceso General de Diseño para "Fall Quarter"

Primer Análisis del Problema - Lluvia de Ideas

La primera actividad fue el análisis del problema inicial. La herramienta utilizada fue una lluvia de ideas⁶ con todo el equipo. El tema fue “El hielo y sus usos” y pretendía encontrar la mayor cantidad de las formas posibles de obtener y utilizar hielo en el mundo. Con esto se definieron usuarios potenciales para ser entrevistados, con el fin de que compartieran sus experiencias e ideas, mayormente diferente a las nuestras.

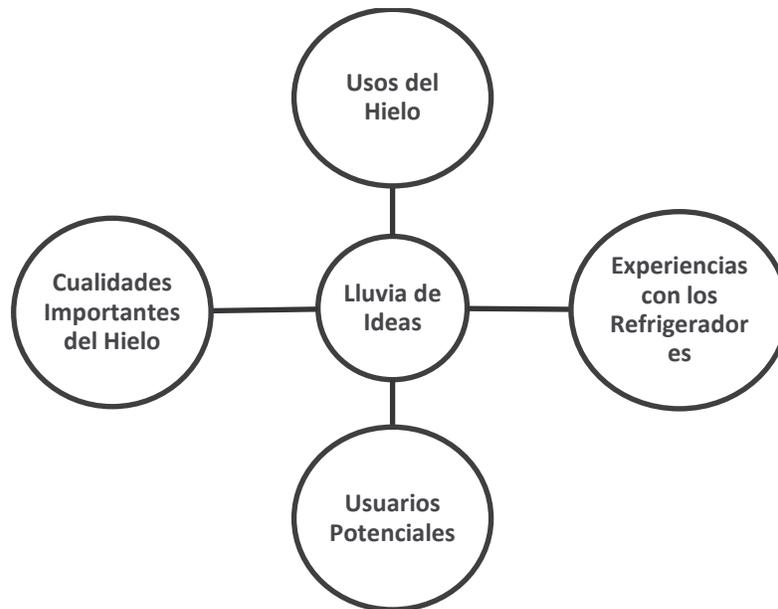


Figura 12. Primer Lluvia de Ideas

Usos del Hielo

El primer conjunto de conceptos incluyó diferentes usos de hielo que abarcaban todo tipo de situaciones, industrias y necesidades.

A continuación se explican los conceptos más importantes que se establecieron y que servirían como fuente de inspiración para el posterior proceso de ideación, aun teniendo aplicaciones diferentes a las que se buscaban.

⁶ Lluvia de ideas se refiere a una herramienta utilizada para compartir ideas relacionadas a un tema en específico. Busca la divergencia del pensamiento y permite obtener una cantidad importante de opciones en tiempos cortos.

Enfriamiento de bebidas:

- El primer uso que se viene a la mente. El hielo provee de una buena fuente de enfriamiento aunque diluye las bebidas.

Tratamiento de heridas:

- La colocación del hielo en las heridas es una acción casi instintiva de las personas. Aun siendo una de las formas de uso más comunes del hielo se reconocieron alternativas para esta situación.

Comida:

- El hielo se encuentra como base en productos como helados, raspados, frapé y paletas heladas.

Otras categorías:

- Usos médicos (preservación de órganos y sangre, uso en el nacimiento), iglús, tratamientos estéticos, usos eróticos, baños de hielo, deportes en hielo, fábricas de hielo, aguanieve, granizo, heladas, armas (dagas de hielo), esculturas de hielo, zoológicos, enfriamiento de sopa, preservación de flores y comida, conservación de alimentos en punto de venta (carnicerías, pescaderías, camiones refrigerados), criogenia, gastronomía molecular, hoteles y bares de hielo y peleas de bolas de nieve.

Cualidades Importantes del Hielo

El tema fue: ¿Cuáles son las categorías con respecto al hielo que podrían arrojar aprendizajes sobre la experiencia de consumo? Al definir esto, se obtuvieron las preguntas necesarias para una posterior toma de decisión:

Forma:

- La forma de los hielos puede influenciar la reacción de los usuarios e incrementar la transferencia de calor al aumentar el área de contacto con la bebida.

Color:

- ¿Cómo respondería la gente a diferentes colores de hielo?

Pureza:

- ¿Cómo afecta la pureza del agua a la formación del hielo y en qué medida?

Opacidad:

- ¿Cuál es la opacidad más deseable?
- ¿La opacidad se relaciona con el desempeño del hielo?

Experiencia:

- ¿Qué consistencia tiene el hielo?
- ¿El hielo causa dolor al consumirlo?

Posible Experiencia en los Refrigeradores del Futuro

Las siguientes ideas se obtuvieron de la indagación sobre las experiencias que un refrigerador y un congelador podrían proveer:

- Hielo triturado/raspado/cúbico, figuras divertidas, impresión 3D, corte láser, CNC, colores, soldadura de hielo, hielo instantáneo, diferentes sabores, máquina de helados, moldeo virtual, spray helado, tazas de hielo.

Definición de Usuarios Potenciales

En este rubro se identificaron los actores involucrados tanto directa como indirectamente con el hielo. Siempre con el pensamiento divergente para poder incluir áreas de oportunidad poco comunes con soluciones diferentes al pensamiento convencional.

- Doctores, rancheros, masajistas, pescadores, carniceros, chefs, barman, meseros, atletas, terapistas físicos, entrenadores atléticos, escaladores, profesores en termodinámica, físicos, farmacéutas, escultores de hielo, pingüinos, padres y niños.

La idea que resultó más importante después de este paso fue el enfriamiento de bebidas ya que estaba involucrada en muchos de los otros conceptos obtenidos. Una consideración importante que apareció en este punto es que quizá se podría no utilizar hielo para alcanzar esta meta. Estos aprendizajes fundamentaron los procesos siguientes de benchmarking y búsqueda de necesidades.

Búsqueda de Necesidades y Estudio de Mercado (“Benchmarking”)

Búsqueda de Necesidades

En pro de entender a los usuarios objetivos del proyecto, se decidió conducir la búsqueda de necesidades en varias formas: entrevistas a consumidores-objetivo, entrevista a diseñadores de cocinas, observación de usuarios en el proceso de selección de método para el enfriamiento de sus bebidas. Tanto en la zona de Palo Alto, California como en Ciudad de México se encontraron usuarios extremos que involucraban de una forma u otra el hielo en sus actividades diarias.

En este punto, la intención fue observar la mayor cantidad de usuarios posibles, fuera de la zona de confort de Mabe.

Entrevistas en Shopping Center - Stanford

El objetivo fue averiguar las opiniones de los usuarios acerca de la tecnología de los refrigeradores y congeladores actuales. Con esta actividad se reconocieron problemas previamente no identificados como el sonido de las fábricas de hielo y el mal sabor del hielo almacenado. Muchas ideas “fuera de la caja” de tecnologías y experiencias para los refrigeradores aparecieron.

Lo más importante de este punto fue que el 64% de las personas entrevistadas preferían sus bebidas frías, en especial durante el verano, pero el 71% prefería no usar los hielos para este fin. Esto puso en duda el diseño de una máquina de hielos a demanda para la minoría de la población.

Entrevistas en Atheron Appliance and Kitchens

Esta tienda se dedica a vender y diseñar cocinas con un alto grado de sofisticación. Los clientes-objetivo de este lugar concordaban con el mercado al que Mabe pretendía llegar con este proyecto así que fue una selección lógica.

Los comentarios y observaciones de la gente fueron mayormente encaminados hacia los refrigeradores, por lo que, de nuevo, surgió la duda de diseñar una nueva máquina de hielo cuando los consumidores, aun teniendo un alto grado de sofisticación, no se fijan en ellas y prefieren invertir en otro tipo de funciones.

Prueba de Degustación de Hielo

En este experimento se pretendió entender la reacción de los usuarios al tener varias opciones de enfriamiento para una bebida tibia. Para este fin, se invitó a un grupo de siete participantes con un refresco tibio y se les presentaron diferentes “sistemas enfriadores” (cubos regulares de hielo, hielos esféricos, hielos del sabor del refresco, cubos de hielo plásticos y hielos de acero inoxidable) (Figura 7).

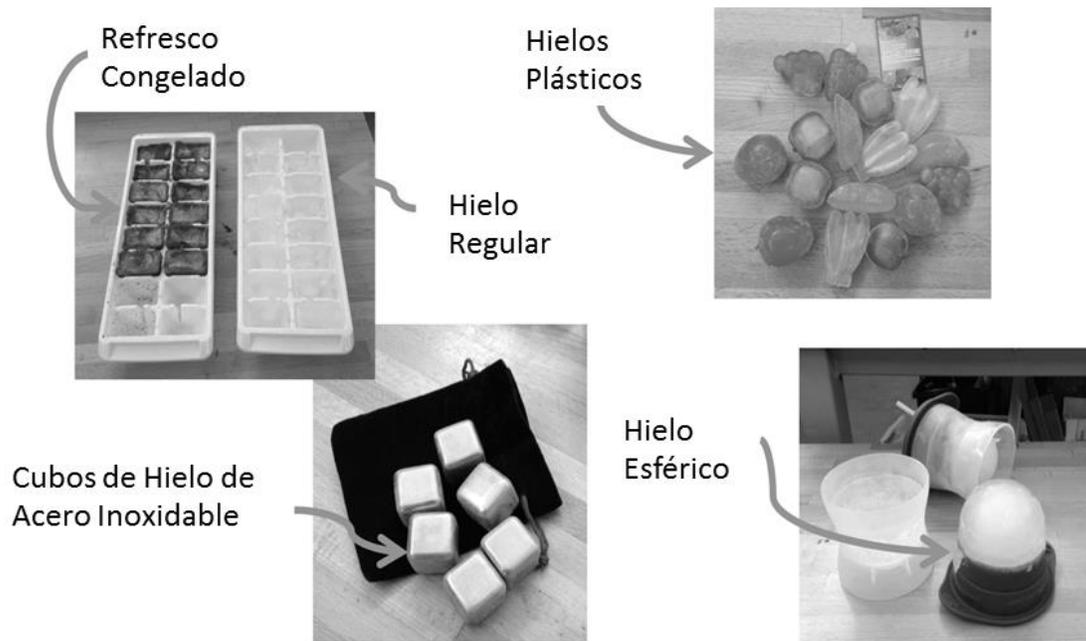


Figura 13. Opciones de Enfriamiento para Bebidas Tibias

A partir de este experimento, se obtuvieron varias observaciones importantes:

Nadie eligió los cubos de hielo de plástico porque se veían sucios. Una persona eligió hielo normal, porque eso es a lo que están acostumbrados y no les importa la dilución. Las esferas de hielo, les parecieron interesantes y enfriaron las bebidas con bastante rapidez, sin embargo, se convirtieron en un obstáculo y evitaban que la bebida fuera completamente bebida. Los hielos de sabor y los cubos de acero inoxidable aparecieron como las primeras opciones ya que la gente no quería diluir sus bebidas. Sin embargo, los cubos de acero en realidad no funcionaban bien, tomó mucho tiempo para enfriar la bebida, posiblemente una lenta transferencia de calor, así como que se hundían hasta el

fondo de la bebida y no enfriaban de manera uniforme. El hielo de sabor enfrió la bebida muy bien. Se entendió que, en general, la gente está interesada en probar cosas nuevas y novedosas. La estética juega un papel importante en ayudar a la gente a elegir su refrigerador, pero la dilución y el rendimiento del hielo se convirtieron en las mayores preocupaciones.

Observación y Entrevista a Puestos de Raspados Ambulantes

Los “raspados” son una bebida muy popular entre los habitantes de la Ciudad de México. Estos consisten en un vaso con hielo triturado bañado con jarabes de distintos sabores.

Se supo que la venta de este producto no se ve afectada por el cambio de estaciones durante el año, lo que indicó que existe “algo” que hace a la gente consumirlo, no como un refrigerio sino como una golosina muy común.

Al entrevistar a un vendedor de raspados conocimos el proceso de preparación de los raspados (proceso de poca dificultad) y, lo más importante, se pudo observar de forma directa a la gente que consume el producto.

Definitivamente los clientes más asiduos son los niños ya que el proceso de preparación de la golosina es algo impactante para ellos.

“Los niños siempre quieren ver cómo se prepara”

Partiendo de esta frase del vendedor y al observar la expresión boquiabierta de los infantes en el momento en el que el jarabe baña al raspado, se entendió que mientras más colorido fuese el proceso, mayor atención y sorpresa generaría al consumidor. Esto representaría una opción fuerte para el diseño de experiencia del producto final. (Figura 8)



Figura 14. Raspados Callejeros

Entrevistas con Usuarios Extremos

Para encontrar más información “fuera de la caja” acerca del hielo y el enfriamiento, se aplicaron algunas entrevistas a usuarios extremos como: alpinistas, cosmetólogos, heladeros, amas de casa, patinadores, estudiantes y niños.

El mayor aprendizaje en esta actividad fue que la gran mayoría de la gente cree que el hielo desaparecerá en el futuro y será sustituido por otras sustancias como el nitrógeno líquido o el hielo seco.

Al finalizar esta búsqueda de necesidades inicial, se dedujo que la producción de hielo instantáneo no sería una meta muy efectiva para las metas de diseño de este proyecto y se decidió desarrollar al usuario típico “Persona” para poder enfocar los esfuerzos en un mercado en especial.

Desarrollo de Usuario Típico (Persona)

Para mantener un enfoque en el usuario durante el proyecto, se crearon dos usuarios típicos (Personas), uno para Estados Unidos y otro para México, basados en la información más significativa recibida de la retroalimentación durante la búsqueda de necesidades. Con base a la búsqueda de un mercado de “sofisticación” por parte de Mabe, se incluyeron características que generaran las condiciones necesarias para alcanzar esta meta.

Chad Fitt

Chad Fitt es un socialité. Al menos una vez al mes, Chad es el anfitrión de grandes fiestas de coctel y siempre anda buscando nuevas tecnologías para impresionar a sus invitados.

Aunque no le gustan las bebidas diluidas, siempre las quiere frías, al igual que todos sus invitados. Para esto, la noche anterior a la fiesta, llena el refrigerador con todas las bebidas y deja afuera las que ya no tuvieron cupo. Cuando la fiesta empieza, Chad es feliz ya que sus invitados disfrutan sus bebidas frías y tienen grandes conversaciones.

A pesar de todo, en poco tiempo, las bebidas frías se terminan y los invitados están aún sedientos. Chad abre una caja de cervezas tibias, pero sabe que no las puede servir con hielo ya que arruinarían su sabor. De igual forma, no tiene el tiempo para esperar a que se enfríen en el refrigerador.

¿Ahora qué? En este punto, Chad desearía un dispositivo con el cual enfriar rápido sus cervezas sin utilizar el hielo.



Figura 15. Chad Fitt

Esther Lascurain y Rivadeneira

Esther Lascurain y Rivadeneira, (Figura 14) mujer de 45 años de edad con dos hijos de 12 y 10 años. Ya que no tiene que trabajar, toma clases de cocina y confección cuando no está

en el gimnasio con sus clases de “Zumba”. Cada semana es la anfitriona de las “reuniones de amigas” en su casa. Ella está casada con un gerente de alto rango de Procter & Gamble y maneja un Nissan Maxima del año.

Esther no repara en gastos en cuanto a ropa, accesorios y muebles. Cuenta con una máquina de hielo que utiliza en todos los eventos sociales de los cuales es anfitriona.

Cuando los eventos no son muy grandes, la máquina de hielo trabaja perfectamente, pero, cuando hay un evento mayor, una de las sirvientas tiene que estar al lado del refrigerador llenando cubetas con hielo para poder satisfacer las necesidades. Tiene que hacer esto al menos 30 minutos antes del evento.



Figura 16. Esther Lascurrain y Rivadeneira

Estudio de Mercado

Whirlpool

Whirlpool es la segunda manufacturera de electrodomésticos a nivel mundial con más de \$20 mil millones de dólares de ingresos anuales. Su mercado principal está en Norte América (55% de sus ingresos totales), seguido por América Latina y Europa, aunque están comenzando a tener influencia sobre el mercado asiático, particularmente en India. Una característica importante del mercado de Whirlpool es que una gran cantidad de sus ventas (15%) proviene del “mercado de nuevas instalaciones” que se relaciona directamente con casas nuevas.

Whirlpool divide su mercado en dos grandes segmentos: Mercados Desarrollados y en Desarrollo. Los primeros tienen una tasa de crecimiento muy alta, lo que lleva a la compañía a tratar de reducir costos al disminuir la cantidad de almacenes, así como el presupuesto de desarrollo de productos. El desarrollo de mercados incluye a países como Brasil, China y la India. Whirlpool intenta hacer coincidir sus productos a las necesidades y

gustos de los consumidores de gama baja. Para lograrlo, la empresa utiliza métodos de plataforma e innovación.

En el método de plataforma de la compañía, se desarrolla el producto y, a continuación, a través de la comercialización encuentra las necesidades y gustos de los segmentos específicos y añade capacidades específicas del mercado a la misma. En la innovación, la empresa crea nuevos productos de la marca diseñado específicamente para un mercado y los vende como productos de bajo costo con el fin de aumentar su reconocimiento de marca en el país.

Produce y vende una amplia variedad de productos que incluyen lavadoras, secadoras, frigoríficos, fábricas de hielo, hornos, microondas, lavavajillas, compactadores, filtros de agua, calentadores de agua, aires acondicionados y sistemas de calefacción central.



Figura 17. Logotipo Whirlpool

LG Electronics Home Appliance Company

LG Electronics Home Appliance Company es un líder global en la industria de los electrodomésticos, dedicado a ofrecer productos más saludables y más “verdes”. Mezcla de tecnología inteligente y diseño que marcan tendencia y ofrecer una solución completa para la mejora de la vida cotidiana. Los productos de LG son interesantes e incluyen refrigeradores, lavadoras, lavavajillas, aparatos de cocina, aspiradoras, integrando a los aparatos y productos de cuidado de la salud, diseñados para resonar con los consumidores de todo el mundo. LG se caracteriza por el desarrollo de tecnologías innovadoras y prácticas funciones, incluyendo el primer refrigerador inteligente del mundo. Tiende a establecer las nuevas tendencias en la industria de los electrodomésticos.



Figura 18. Logotipo LG Electronics Home Appliance Company

Shenzhen Zhongxue Refrigeration Equipment Co. Ltd

Shenzhen Zhongxue Refrigeration Equipment Co. Ltd es una empresa comprometida con la producción y comercialización de las fábricas de hielo. Su filosofía es "calidad primero, reputación primero, servicio de primera". A diferencia de Mabe, esta empresa se ha centrado en las máquinas de producción de hielo a gran escala, destinados a la industria y los negocios y proporciona soporte al cliente a través de una charla en su página web. Algunas de sus máquinas incluyen la instalación, un año de garantía y mantenimiento durante toda la vida útil del producto. Sus segmentos principales en el mercado son la pesca, la industria química, supermercados y hoteles. A continuación se presentan algunos de los productos que comercializa la empresa.



Figura 19. Hielos en Escamas

Máquina de hielo en escamas Producción totalmente automatizada de hielo pasando de 500 kg a 30 toneladas por día, dependiendo del modelo.

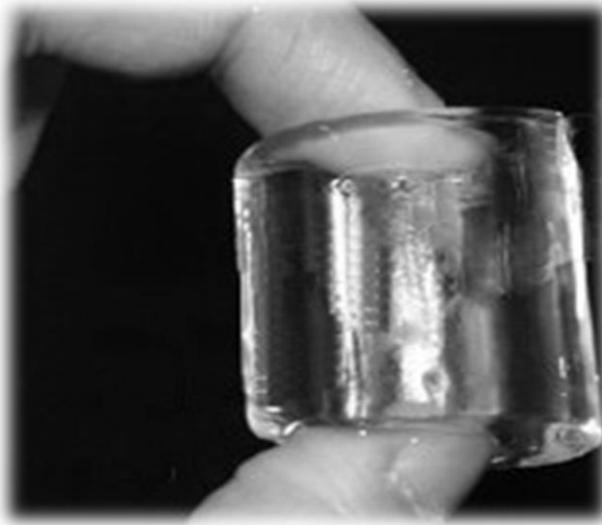


Figura 20. Tubo de Hielo

Máquina de hielo en tubo: Produce 30 a 50 toneladas diarias de hielo claro, en forma de tubo.

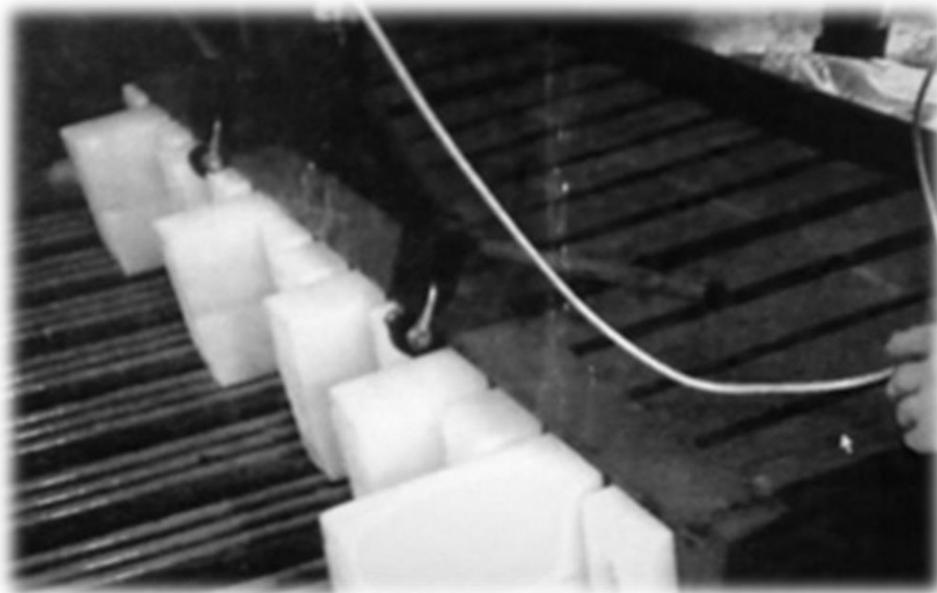


Figura 21. Bloques de Hielo

Máquina de hielo en bloques: Se produce 10 toneladas de hielo por día. El usuario puede seleccionar el peso deseado de los bloques (de 10 a 100 kg).



Figura 22. Logotipo Shenzhen Zhongxue Refrigeration Equipment Co. Ltd.

Comparación Virtual Entre Diferentes Manufactureras de Refrigeradores

“Consumer Affairs” es una página web donde los usuarios pueden evaluar diferentes marcas y reportar quejas. La página incluye una calificación de 5 estrellas en la que compila las evaluaciones e indica el porcentaje de usuarios que eligen cada estrella. Esta información fue compilada (Tabla 6) y se utilizó para evaluar los diferentes fabricantes de refrigeradores con el fin de entender cómo GE (una empresa estrechamente asociado con Mabe) se encuentra en el mercado. De acuerdo con esta información, GE se ubica en los niveles superiores de la tabla, justo debajo de Frigidaire y Viking

Tabla 7. Evaluación de Marcas “Consumer Affairs”.

Compañía	Estrellas					Puntuación
	5	4	3	2	1	
	2	1	0	-1	-2	
Frigidaire	3	0	1	21	75	-165
Viking	4	0	2	13	82	-169
GE/Mabe	1	1	1	18	79	-173
Whirlpool	1	0	1	21	77	-173
LG	1	1	1	16	81	-175
Kitchen Aid	0	1	1	17	80	-176
Maytag	0	0	1	15	84	-183

Estudio Tecnológico de Mercado

Aunque las observaciones (búsqueda de necesidades y desarrollo de Persona) definieron un enfoque hacia el enfriamiento rápido de bebidas sin hielo, se decidió el no sesgar el proceso en un momento tan temprano. Por esto mismo, se investigaron y probaron fenómenos y procesos de enfriamiento y congelamiento.

Efecto Mpemba

Este fenómeno implica que el congelamiento de agua tibia o caliente es más rápido que cuando está a una temperatura baja. Esto va de la mano con la idea del hielo instantáneo ya que reduce el tiempo en el que se solidifica el agua.

Para probar esto, se colocaron cuatro moldes para hielo con agua a diferente temperatura (15°C, 25°C, 37°C y 48°C) dentro del congelador. Se midió el tiempo de congelamiento de cada molde, bajo las mismas circunstancias, y resultó que, efectivamente, el molde con el agua a mayor temperatura (48°C) se congeló en menos tiempo.

Este experimento comprueba el efecto estudiado y marca una dirección contraria al sentido común. El fundamento teórico de este fenómeno ha sido estudiado formalmente desde los años 60's e indica que, para que este efecto sea real, se necesitan ciertas condiciones especiales siendo la más importante la aparición de temperaturas "altas" al principio del experimento.

Para entender el porqué, hay que entender las causas principales:

En el recipiente caliente el líquido circula mejor, con lo cual el agua caliente de la zona central se mueve con más rapidez hacia las paredes del recipiente o hacia la superficie superior produciéndose su enfriamiento.

Cuanto más caliente está un líquido, menos gases disueltos le quedan (los gases dificultan la congelación).

Hielo Esférico vs Hielo Cúbico

Muchas tiendas venden moldes para hielos esféricos bajo la promesa de un producto que, dentro de una bebida, tiene un mejor rendimiento que los hielos cúbicos. El comprobar este fenómeno marcaría un hito importante para prolongar la vida de un hielo dentro de una bebida.

La experimentación, lógicamente, fue tener dos pruebas con la misma masa de agua (120 g) pero con diferentes geometrías. A pesar de que el área superficial de una esfera es menor a la de un cubo, la diferencia de tiempo de derretimiento fue casi inexistente entre las dos muestras por lo que se clasificó como una suposición falsa y por lo tanto sin un uso práctico.



Figura 23. Hielo Esférico

Frost Boss

Al hacer la investigación inicial, se observó que muchos productos existentes utilizan un proceso basado en la rotación para enfriar la bebida, evitando la necesidad de poner el hielo directamente en ella, tales como el de Frost Boss (Figura 18).

El Frost Boss hace girar una bebida en lata sobre un lecho de hielo y agua durante dos minutos, y las pruebas muestran que (sorprendentemente) se enfría la bebida (desde una temperatura ambiente a aproximadamente 6°C). Además, el carbonato del refresco o cerveza permanece inalterado, por lo que la bebida no explota al abrir la lata.

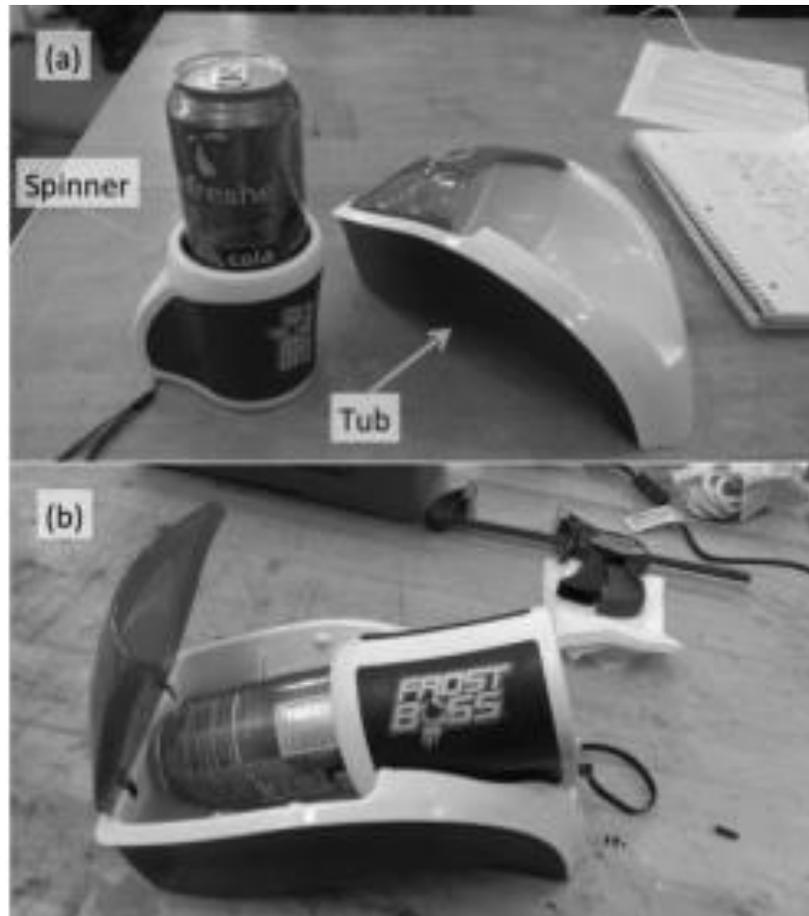


Figura 24. Frost Boss

Después de más investigaciones, se encontró que hay dos características clave que hacen que esta tecnología trabaje tan bien. En primer lugar, la agitación constante del fluido genera una convección térmica (ya que las partículas de fluido frío y caliente se mezclan constantemente). En segundo lugar, cuando la lata gira a una cierta velocidad, todo el fluido en el interior, eventualmente, se mueve a la misma velocidad angular, este efecto es conocido como “Vórtice Rankin” (Figura 19). Esto hace que el líquido se comporta como un sólido, previniendo cualquier agitación sobre el carbonato en la bebida.

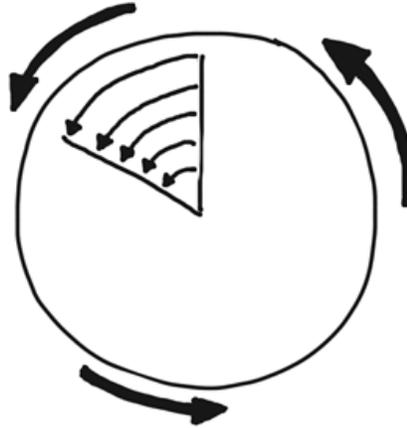


Figura 25. Esquema Vórtice Rankin

Este dispositivo marcó un punto de inflexión importante en las ideas posteriores ya que presentó un método muy sencillo y efectivo para enfriar bebidas sin utilizar hielos.

V-*Tex*

V -tex es la única tecnología de auto- refrigeración electrodoméstica y comercial energéticamente eficiente, diseñada para enfriar múltiples bebidas a la vez en un lapso de tiempo corto. V -Tex (Figura 20) enfría desde latas de 150 ml hasta una botella de vino.

A diferencia de otros productos y soluciones para enfriamiento de bebidas, V -Tex enfría mucho más rápido y no requiere de instalaciones especiales, ya que es un dispositivo de auto- refrigerado. No hay necesidad de añadir hielo por lo que no se tiene que disponer de residuos una vez que el usuario ha terminado de enfriar sus bebidas.

Al igual que el de Frost Boss, una bebida se coloca dentro del recipiente del V -Tex (previamente llenada con agua fría). Este, al accionarse el mecanismo, genera un baño de agua a baja temperatura sobre la bebida y la enfría en 2 minutos. La portabilidad de V -Tex puede ser muy útil y puede llegar a una gran cantidad de mercados.



Figura 26. V-Tex

Articube

Otra manera de enfriar rápidamente es con gases, tales como CO₂. Un producto que ya utiliza este concepto es el Articube (Figura 21), que tiene control de temperatura de congelamiento y de presión de gas. El Articube puede alcanzar temperaturas de -30 ° C en 4 segundos y tiene un sistema de congelamiento basado en la alimentación de CO₂ líquido y sistemas de seguridad para recipientes de alta presión.

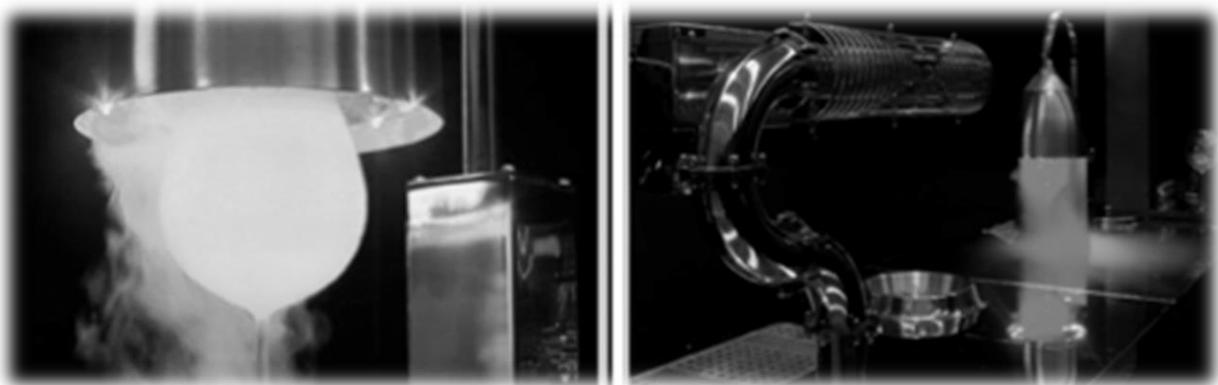


Figura 27. Articube

Prototipos De Función Crítica (PFC)

La búsqueda de necesidades llevó al entendimiento de que muchos usuarios evitan el uso de hielo si aún pueden enfriar sus bebidas de otra forma. Esta razón es simple, el hielo diluye sus bebidas. Esto llevó a la exploración de cómo enfriar bebidas desde el exterior de las mismas, en lugar de enfriarlas desde el interior (como con los hielos). Adicionalmente, se exploraron métodos de congelamiento instantáneo.

Enfriamiento Rápido Sin Hielo

A través de la aplicación de una lluvia de ideas, se propusieron distintos métodos para enfriar las bebidas en un corto tiempo.

Simulación del Vórtice Rankin

Una manera, como se descubrió durante el benchmarking, fue el concepto de “Enfriamiento con Rotación” que utiliza el Frost Boss. El principio que rige este método implica la rotación del fluido interno de las bebidas alrededor de su eje cilíndrico. Este movimiento genera un *Vórtice Rankin* en la parte central de la bebida que evita la agitación del carbonato.

Para poder observar este fenómeno, se construyó un prototipo que simula una bebida rotando sobre su propio eje cilíndrico, tal como lo hace el dispositivo Frost Boss. La diferencia fue que el cilindro donde se encontraba el líquido contenido era transparente y, en su interior, se incluyeron sustancias no solubles con el agua para poder observar el movimiento del fluido durante el movimiento.

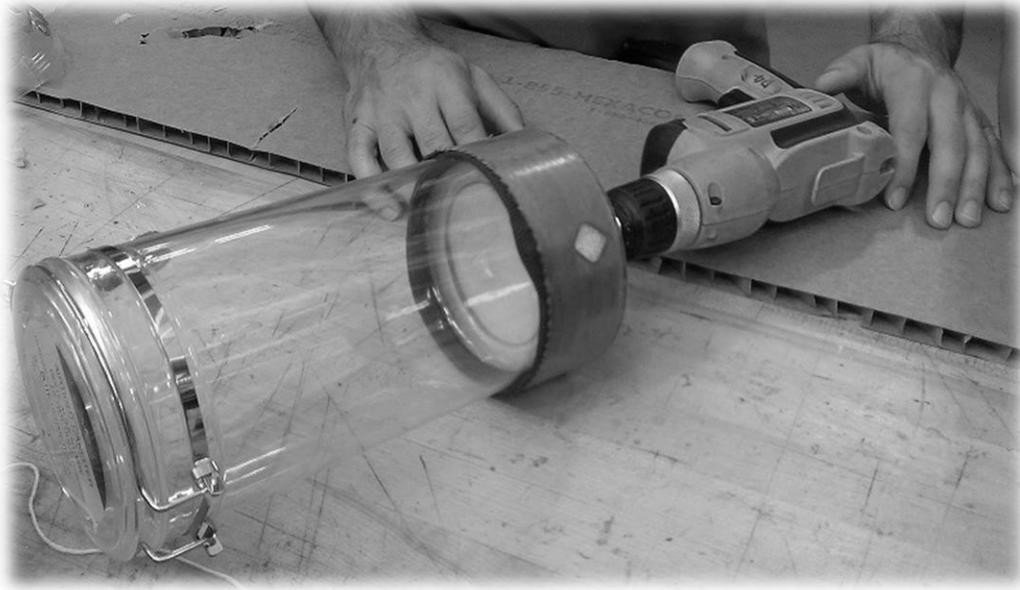


Figura 28. Simulación del Vórtice Rankin

Con esto, se pudo tener una simulación de un *vórtice Rankin* y se pudo medir el tiempo en el que este fenómeno aparece, 50 segundos para un cilindro de 4" de diámetro. Este tiempo se reduce considerablemente para una lata más delgada, como es el caso de las latas y botellas de refresco comunes.

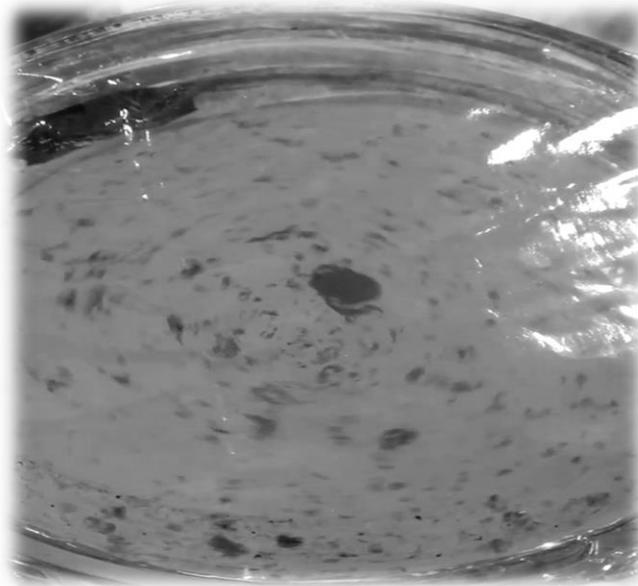


Figura 29. Partículas Influenciadas por el Vórtice Rankin

Además de las observaciones y mediciones de este experimento, se pudo establecer una lista de inconvenientes encontrados en el Frost Boss, según usuarios:

- Limitaciones en cantidad de bebidas para enfriar, tamaños y formas (solo puede enfriar 1 lata de 355 ml a la vez).
- El agua con hielo que utiliza para enfriar la bebida se derrama y ensucia los alrededores.
- No tiene un control de temperatura.
- El tiempo de enfriamiento es de 2 minutos, quizá este tiempo pudiera ser menor.

“Mill Chill”

La segunda simulación se basó en la pregunta “¿Qué pasa si, en vez de rotar la lata dentro de un fluido refrigerante, se fuerza el giro del fluido alrededor de la lata estática?” Esta idea surgió de la analogía con las fresadoras (*Mill Machines* en inglés) y tornos, ya que, en vez de hacer girar la pieza con la herramienta de corte estática (como en los tornos), se hace girar la herramienta de corte con la pieza estática (como en las fresadoras). Este método supondría una mejora a los inconvenientes del Frost Boss ya que se podría adaptar a formas y tamaños de diferentes contenedores y ser capaz enfriar más de una bebida a la vez.

Para probar esta idea se construyó un depósito cilíndrico en donde se colocó una lata en el centro. Posteriormente se generó un remolino en el agua, enfriada previamente con hielos, utilizando dos bombas de pecera colocadas en direcciones contrarias.

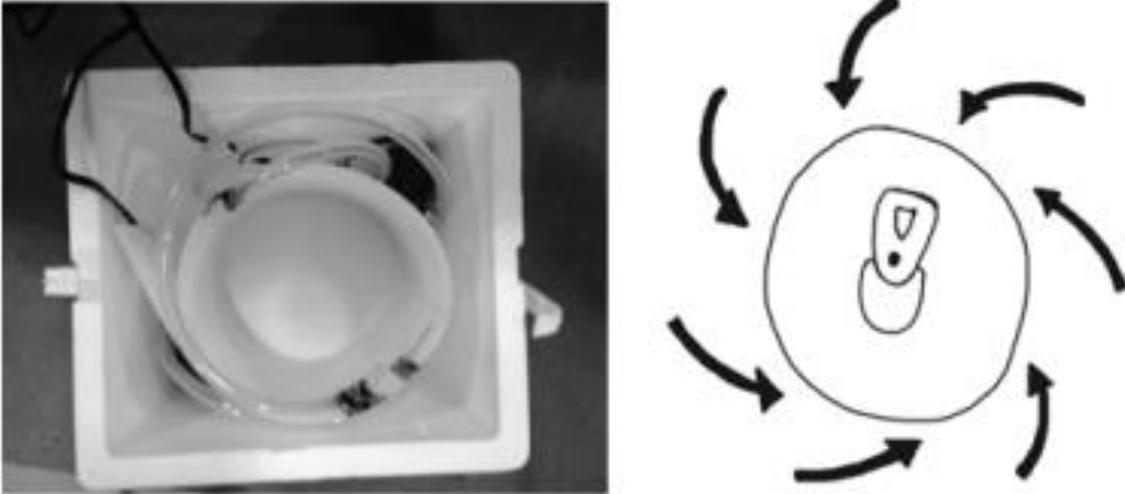


Figura30. Mill Chill - Prueba Real

Este experimento mostró un gran potencial ya que se pudo enfriar una bebida estática en 7 minutos desde la temperatura ambiente hasta la temperatura deseada de 6°C.

Conducción con Serpentes

Como solución al inconveniente de las salpicaduras de agua en el Frost Boss, se propuso la experimentación con un método de enfriamiento rápido a través de la conducción de calor entre un serpentín de cobre en contacto con una lata, tanto estática como en rotación.

Teóricamente, la transferencia de calor entre el serpentín y la bebida sería más lenta que utilizando la convección de un fluido como medio refrigerante. Aun así, para solucionar este punto se hizo pasar líquido anticongelante (con glicol como base) a temperaturas bajo cero dentro del serpentín para aumentar el diferencial de temperatura en el sistema.

Las pruebas demostraron que este método es ineficiente para la experiencia requerida ya que el tiempo de enfriamiento de la bebida es mucho mayor, tanto con la lata estática como con la lata girando. Aun así, los resultados indicaron la posibilidad de aplicar un método similar y representaron una posible adaptación de los sistemas de refrigeración por compresión (como en los refrigeradores domésticos actuales) para alcanzar las metas deseadas, ya que cuentan con un sistema de tuberías con un fluido a muy baja temperatura en su interior (evaporador) que se asemeja a este experimento



Figura 31. Conducción con Serpentes

Enfriamiento con Gas Comprimido

Esta idea surgió de observar el fenómeno que ocurre cuando se utiliza el llamado “aire comprimido” para quitar el polvo de dispositivos electrónicos. Estas latas contienen en su interior difluoretano que cuenta con la característica de pasar, de forma sencilla, de estado gaseoso a líquido al ser comprimido. Cuando este líquido es liberado por la boquilla de la lata que lo contiene se convierte de nuevo al estado gaseoso y hace que la temperatura, tanto de la lata como de los objetos con los que haga contacto, baje en un tiempo muy corto.

Para probar esta idea se accionaron latas de “aire comprimido” apuntando a latas tanto estáticas como girando y se midieron los cambios de temperatura y el tiempo en que ocurrieron.



Figura 32. Bebida Enfriada con Gas Comprimido

Este método redujo la temperatura, pero no lo suficiente después de 2 minutos. De hecho fue imposible alcanzar la temperatura deseada (6°C) ya que antes de esto se terminaron las latas de aire comprimido y el tiempo se alargó demasiado. La conclusión fue que, a pesar de ser un método razonable, se necesitarían muchas adaptaciones y mejoras para alcanzar nuestras metas de manera viable y factible.

Enfriamiento en el Interior de un Serpentín

Utilizando la idea de transferencia de calor a través de la conducción, se colocó un serpentín de cobre dentro de un recipiente con 3 litros de agua congelada rodeándolo (Figura 27) y se hicieron pasar diferentes líquidos en el interior del tubo.

Usando una cámara térmica se midió el cambio de temperatura de los líquidos en tiempo real a la salida del serpentín.

El resultado más importante fue el hecho de que la temperatura del agua común y refrescos puede descender de 25°C a 2°C en 10 segundos con un sistema casero.

Esta idea representó una opción real para enfriar rápido las bebidas, aunque también presentó el inconveniente, según usuarios, de que la gente no tomaría el líquido que sale del sistema a menos de estar 100% seguros de las condiciones higiénicas. Así mismo, la energía necesaria para mantener 3 litros de agua permanentemente congelados es igual a la que consume un congelador actual por lo que no representa ventaja alguna en los ámbitos económico y ambiental.



Figura 33. Enfriamiento de Líquidos Dentro de un Serpentin

Resumen de PFC para Enfriamiento Rápido Sin Hielo

El análisis de la información obtenida con los prototipos de función crítica para enfriamiento rápido arrojó varios principios muy útiles para la toma de decisiones para el diseño final.

Se pudo observar que en los experimentos en los que las bebidas rotaban se tenía una transferencia de calor más eficaz. Esto se debe a la aparición de una convección forzada que disminuye el tiempo de enfriamiento.

El movimiento del líquido refrigerante alrededor de las bebidas aumenta la tasa de enfriamiento. Esto de nuevo se debe a la aparición de una convección forzada en el sistema.

A continuación se presenta una tabla con los resultados cuantitativos de estos experimentos (Tabla 3).

Tabla 8. Resultados de Experimentos de Enfriamiento Rápido

Método	Tiempo de enfriamiento (6°C)
Congelador convencional	45 min
Mill Chill	7 min
Simulación - Frost Boss	2 min
Enfriamiento en el interior de serpentín	10 s (aspectos negativos en la experiencia)

La información que sería utilizada para los siguientes pasos, en lo que a enfriamiento rápido se refiere, se presenta a continuación:

- Utilización del movimiento interno en el fluido: Esto se puede generar con rotación, revolución, agitación, vibración, etc.
- Movimiento del fluido refrigerante alrededor de la bebida: Eso genera una convección forzada que disminuye dramáticamente el tiempo de enfriamiento.
- Vórtice Rankin: Genera un estado de convección forzada dentro de la bebida y a su vez previene la distribución del carbonato que hace que las bebidas exploten.

Congelamiento Rápido

Para explorar algunos métodos de congelamiento rápido en usos reales se llevaron a cabo observaciones y entrevistas en el laboratorio de Inmunología Integral del Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER) en la Ciudad de México.

Para estos experimentos se utilizaron probetas de 25 ml de agua como objeto de estudio a los que se le aplicaron los métodos de congelamiento para la observación y medición de los fenómenos.

Inmersión en Nitrógeno Líquido

Se introdujo la probeta en un contenedor de nitrógeno líquido a -270°C , produciendo así un congelamiento instantáneo de la probeta, inclusive antes de hacer contacto con esta sustancia.

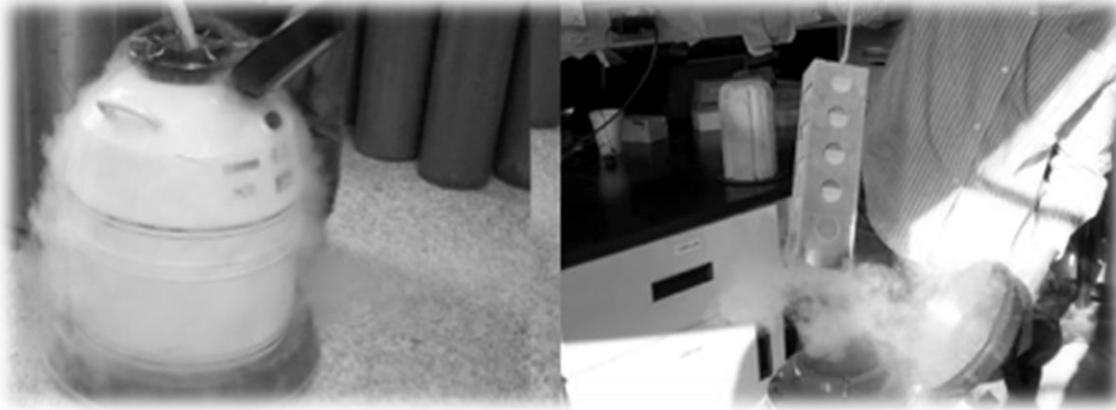


Figura 34. Congelamiento con Nitrógeno Líquido

Esta solución resuelve el problema de congelamiento instantáneo pero se basa en la utilización de una sustancia que es difícil de obtener y contener en ambientes domésticos.

Confinamiento en CO_2

Este método implica la colocación de las probetas dentro de un recipiente con CO_2 sólido (hielo seco) a una temperatura de -70°C . El proceso de congelamiento tuvo un tiempo aproximado de 10 minutos y generó un hielo super-congelado que tardó 3 horas, aproximadamente, para derretirse a temperatura ambiente a 22°C .

El CO_2 sólido se vaporiza rápidamente si su temperatura y presión no son controladas. Esto representa una solución poco viable y poco factible para obtener bajas temperaturas.



Figura 35. Confinamiento en CO2

Liofilización

El proceso de congelamiento por vacío es conocido como liofilización. Este sistema aprovecha el cambio de punto de congelamiento del agua, a temperaturas más altas, cuando la presión baja en el sistema. Esto permite la formación de hielo a 22°C de manera cuasi instantánea.

Aunque el congelamiento instantáneo está resuelto con esta máquina, el uso de vacío no ha sido aplicado en las tecnologías domésticas por causas de costo y facilidad de utilización. Además, al regresar el sistema a un ambiente con presión atmosférica normal el “hielo a 22°C” volvería a su estado líquido.

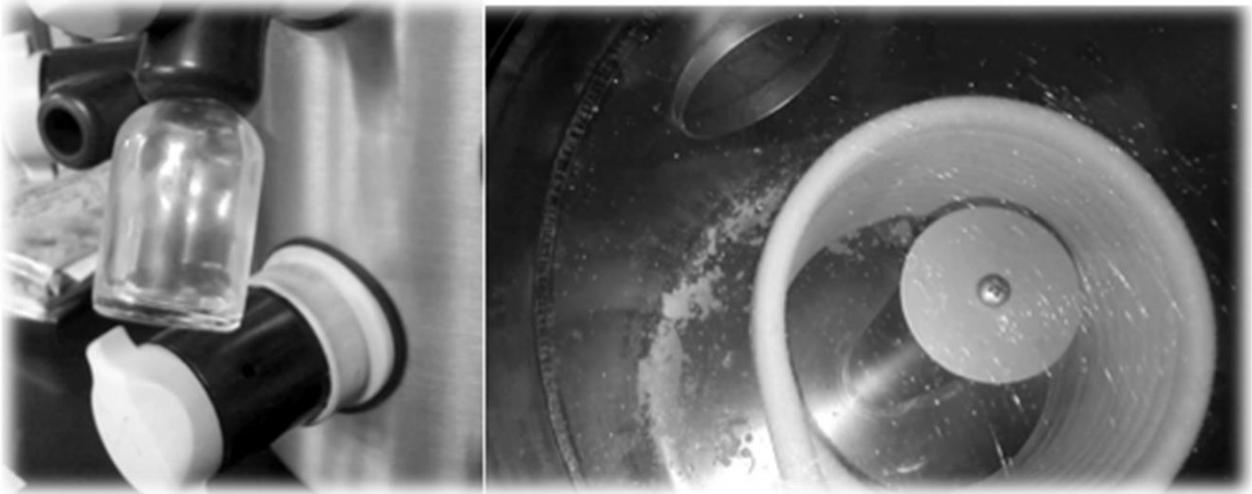


Figura 36. Proceso de Liofilización

Inmersión de Probetas en Alcohol Isopropílico

Este método se utiliza para generar una baja de temperatura a una tasa controlada de 1°C por minuto. Se produce mediante la colocación de una esponja empapada de alcohol isopropílico en un recipiente ubicado a -70°C . El objeto a congelar, en este caso las probetas, es colocado al centro de este contenedor.

La única ventaja que representa este sistema es el control del cambio de temperatura y representa un sistema poco viable ya que el alcohol isopropílico se convierte en un consumible que hay que estar cambiando en cada aplicación.



Figura 37. Inmersión en Alcohol Isopropílico

Resumen de PFC para Congelamiento Rápido

La tecnología necesaria para el congelamiento instantáneo existe en la actualidad per su aplicación no es doméstica. Aun así, los resultados cuantitativos de estos métodos se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Resultados de Experimentos para Congelamiento Rápido

Método	Tiempo de Congelamiento	Inconvenientes
Inmersión en Nitrógeno Líquido	Instantáneo	Consumible caro, difícil de manejar y peligroso para uso doméstico.
CO ₂	10 minutos	Consumible con un mantenimiento complejo. Energéticamente ineficiente.
Liofilización	Instantáneo (hielo a 22°C)	Procesos complejos con un alto gasto energético y manejo complejo. Se tienen “hielos calientes” y se necesita vacío para poder mantenerlos sólidos.
Inmersión en Alcohol Isopropílico	Taza de enfriamiento de 1°C/minuto	El estado de congelamiento se alcanza en un tiempo que depende directamente de la temperatura inicial del sistema.

Claridad en el Aspecto de los Hielos

Una característica desagradable muy importante, mencionada por los usuarios, fue la falta de claridad en la apariencia física de los hielos. Después de un proceso de congelamiento de 2 horas dentro de un congelador convencional o una máquina de hielos, la formación de granos durante la cristalización del hielo aporta un aspecto de opacidad al producto final.

Como propuesta de solución para este aspecto, se llevaron a cabo dos experimentos basados en “mitos urbanos” encontrados principalmente en la red y suposiciones personales.

Vibración

La primera opción fue la utilización de vibración durante el proceso de congelamiento dentro de un congelador. La hipótesis era que con esto se podría disipar el aire contenido dentro de los moldes de agua y, con esto, las burbujas desaparecerían.

A pesar de probar con varias frecuencias, los hielos obtenidos tenían distintas formas irregulares y no presentaron mejoras en su aspecto. Por lo que se desechó esta idea por completo.



Figura 38. Molde Vibratorio para Hielos

Pureza del Agua

El segundo experimento se utilizó para comprobar la idea de que la pureza del agua afectaría directamente el aspecto final del hielo. Esta idea surgió del uso de hielos “gourmet” para aplicaciones gastronómicas de lujo.

Se colocaron dos probetas, una con agua normal y otra con agua “ultrapura” (destilada), dentro de un recipiente con CO₂ (esto para poder observar el proceso completo). Después de 10 minutos los tubos fueron removidos de los contenedores para su comparación (Figura 33).

El hielo de agua “ultrapura” tuvo un aspecto considerablemente más claro que el de agua ordinaria lo que se comprobó esta teoría y se estableció un factor importante para la mejora estética de los hielos.

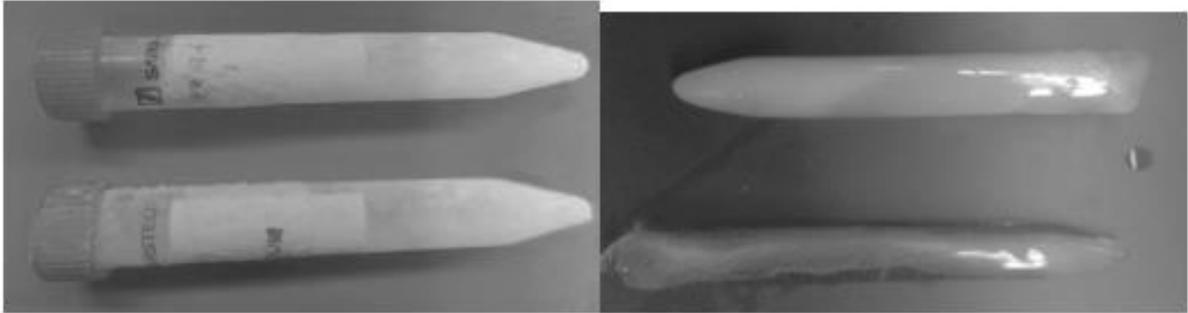


Figura 39. Pruebas de Claridad en Hielo: Agua corriente (Izq.) vs. Agua Destilada (Der.)

Prototipos de Experiencia Crítica (PEC)

Reuniones Sociales

Para poder generar un ambiente real para entender el uso de hielos y enfriamiento de bebidas, se organizaron varias reuniones sociales para poder tener una observación directa y participativa con la cual poder resolver algunas cuestiones que afectarían a la toma de decisiones para el diseño final.

Con estos experimentos se pretendió definir las respuestas a la pregunta “¿El hielo es necesario o no?” y el deseo, por parte de los usuarios, del consumo de hielos con diferentes formas, colores y sabores (Figura 34).



Figura 40. Reuniones Sociales

En todos los eventos, las bebidas habían sido previamente enfriadas ya que el primer punto que se probó fue si los usuarios usan hielo aun con las bebidas frías, y sí lo hicieron, dando el primer dato para la retroalimentación necesaria. Para completar este paso, se quitaron las cubetas con hielo de la vista de los invitados quienes, sorprendentemente, no se dieron cuenta ni preguntaron por ellos. Esto habla del consumo de hielo generado por la conexión sensorial y no por la necesidad real (tomando en cuenta que las bebidas ya estaban frías).

Se colocaron varios tipos de hielo, variando formas, colores y sabores, en las mesas de servicio y a la vista de todos los invitados. De este modo se pudo observar la interacción entre los invitados, sus bebidas y los hielos de prueba. Los descubrimientos y aprendizajes obtenidos de estos experimentos fueron los siguientes:

El consumo de hielos con mayor atractivo visual (claridad) fue mayor al de los hielos comunes. Esto indica que el aspecto del hielo da confianza al usuario.

La forma predilecta de los hielos fue cilíndrica-alargada. La razón mayormente mencionada fue que de esta forma el hielo cubre toda la altura del vaso y enfría “toda la bebida



Figura 41. Hielos Cilíndricos-Alargados

Los hielos con sabor fueron medianamente consumidos. La razón principal es la desconfianza de su origen.

La mayoría de las personas colocaron hielo en la primera bebida, para las siguientes no le dan importancia a este paso. Esto indica que colocar hielo en las bebidas es un paradigma o una costumbre inconsciente.

Los usuarios se preocupan por el número de hielos que colocan. En ningún momento colocaron más de tres hielos en una bebida.

Ice Lucho

Este Prototipo de Experiencia Crítica fue la prueba más importante para entender cómo la gente ve el enfriamiento rápido en un solo electrodoméstico.

Visualmente, Ice Lucho tenía todas las características de un electrodoméstico común. Esto ayudó a que los usuarios de prueba tuvieran una experiencia más apegada a un contexto real.



Figura 42. Ice Lucho

El objetivo principal de este dispositivo fue observar la reacción de los usuarios al colocar una bebida a temperatura ambiente dentro de un electrodoméstico y, en 10 segundos, obtener una bebida a 6°C (aproximadamente). Con esto se pretendía comprobar la deseabilidad de un producto que cumpliera con esta función.

Realmente, este prototipo no enfriaba bebidas sino que, oculta en un compartimento trasero, otra bebida, visiblemente igual, pero pre-enfriada sustituía de manera automática a la bebida que el usuario colocaba por el frente (el mecanismo es similar a las cajas de doble fondo en los actos de magia). De esta forma, y con la ayuda de luces y ruidos para

distraer al usuario en el proceso, se simulaba el enfriamiento de una bebida en un tiempo que, con los dispositivos existentes, pareciera imposible.



Figura 43. Sistema "Ice Lucho" Completo

Después del “acto de magia”, se pedía al usuario que tomara su bebida. Los resultados fueron unánimes. La expresión de sorpresa y asombro fue una constante en todos aquellos que vivieron esta experiencia y la primera pregunta que todos hicieron fue: “¿Cómo funciona?”

Otras expresiones comunes fueron: “¿Podría enfriar un *six pack* al mismo tiempo?”, “¿Solo enfría latas o también sirve para botellas?”, “¿Es portátil?” (Impulsados por el pequeño tamaño del aparato) y, algo muy importante, “¿Se pueden hacer hielos con esto?”

Finalmente, este prototipo se presentó al equipo de enlace de Mabe y a algunos de sus ingenieros y jefes. La expresión “¿Para cuándo lo tenemos y cuánto cuesta?” describe la aceptación del concepto, por parte de la compañía, en este punto del proceso.



Figura 44. Interacción entre Usuarios y "Ice Lucho"

Resumen de PEC

Los aprendizajes más importantes en esta etapa fueron los siguientes:

- Los usuarios aceptan como una característica muy importante la reducción de tiempo en el proceso de enfriamiento de bebidas.
- La forma del hielo es importante para el usuario y afecta directamente su consumo.
- Durante los eventos sociales, los usuarios agregan hielo a sus bebidas aun estando pre-enfriadas.
- La atracción visual es de suma importancia para el consumo del hielo. Si no lo ven, no lo consumen.

Trimestre de Invierno

El segundo trimestre del proyecto se dividió en dos etapas:

En la primera, el pensamiento divergente llega a su máxima expresión con la ideación de los prototipos “Dark Horse” y, con esto, la ambigüedad del resultado final es total. Aun así, la identificación de patrones y aprendizajes hasta este punto es el fundamento para la siguiente etapa del proceso.

En la segunda etapa del trimestre, se toma la decisión del camino por el cual se pretende resolver el reto. La construcción de prototipos del tipo “Funk-tional” y “Functional” es el comienzo del pensamiento convergente, toma de decisiones críticas y de la clarificación de requerimientos y especificaciones del concepto final.

Al final de este trimestre, la decisión final fue tomada y, con esto, se planearon las actividades necesarias para el diseño y construcción del concepto final.



Figura 45. Proceso General "Winter Quarter"

Re-definición de Problema

Con las observaciones y los experimentos se encontró la posibilidad de innovar si el enfoque de este producto cambiara a mercados no explorados por Mabe previamente, en especial: las parejas jóvenes. Esto representaría una gran oportunidad para la utilización de un nuevo producto con una nueva experiencia basada en el enfriamiento rápido de bebidas y la obtención de hielo a demanda y a grandes cantidades.

En este punto, el problema se definió con las siguientes preguntas:

- Partiendo del método de “enfriamiento por rotación”, ¿Cómo se puede hacer un sistema que resuelva todos los inconvenientes encontrados y a la vez optimice el proceso de enfriamiento rápido?
- ¿Existen otros métodos, aparte del “enfriamiento por rotación”, para reducir la temperatura de una bebida en un corto lapso de tiempo?

Prototipos “Dark Horse”

Aquellas ideas en las que nadie confiaba y que representaban el grupo denominado “ideas salvajes” fueron construidas y probadas durante esta actividad.

Se estudiaron tanto las experiencias como las funciones que estos prototipos pudieran generar e, intuitivamente, se fueron reconociendo los patrones para la toma de decisiones de las actividades siguientes.

Pruebas de Congelamiento con Nitrógeno Líquido

Una idea, rechazada previamente, fue la utilización de nitrógeno líquido para congelar, de forma instantánea, prácticamente cualquier objeto. Al ser un consumible con un alto precio y un difícil mantenimiento, las pruebas con usuarios habían sido desechadas.

Para este experimento, se retomó esta idea y se aplicó esta tecnología en varios escenarios.

Comida congelada

La primera prueba fue congelar frutas y bebidas alcohólicas de forma instantánea y hacer que los usuarios de prueba los consumieran.



Figura 46. Fruta Congelada



Figura 47. Bebidas Alcohólicas Congeladas

Todos los comentarios fueron aprobatorios, pero lo más importante fue que la mayoría no se impresionaba por lo que consumían sino por observar el proceso “instantáneo” en el que el congelamiento se llevaba a cabo.

Noche de Póker

Los bares tienen el problema de pérdidas económicas por derrame de bebidas alcohólicas al colocársele los hielos. Para resolver esta situación, se planteó la utilidad de poder semi-congelar las bebidas con nitrógeno líquido a -200°C , esto para sobrepasar por mucho los bajos puntos de solidificación que presentan los alcoholes.

La prueba se llevó a cabo durante una “Noche de Póker” en la que se presentaron bebidas que contenían capas de alcohol congelado o cubos de alcohol (una idea muy similar a los “hielos de sabor”). También se incluyeron procesos en los que los jóvenes podían interactuar con el proceso de congelamiento al congelar la espuma de una cerveza y utilizarla para enfriar la bebida.

De nuevo, los usuarios de prueba aprobaron en su totalidad este experimento y mostraron su asombro cuando observaban que el nitrógeno líquido congelaba instantáneamente sus bebidas y no tanto cuando las consumían.



Figura 48. Pruebas de "Noche de Póker"

"Bazooka Fría"

Esta idea surgió de la observación de las pistolas de aire comprimido, utilizadas en los campos de Gotcha, en las que, al ser disparadas, el cañón por el que se libera el aire comprimido se enfría súbitamente.

Para recrear y medir este fenómeno se construyó una "bazooka" con un tubo de PVC de 2" de diámetro que servía de cámara para la compresión de aire. Este se introducía al sistema por medio de una bomba para bicicletas, mientras que la presión en el interior se observaba en un manómetro colocado en la parte central de un costado del tubo. La liberación del aire, una vez que alcanzaba los 2 Kg-cm^2 , se llevaba a cabo manualmente al abrir una válvula de globo colocada en la salida de la cámara.



Figura 49. "Bazooka Fría"

El resultado de esta prueba mostraba una reducción de temperatura de 18°C, de forma instantánea, a la salida del sistema. El inconveniente es que este efecto ocurría en una muy pequeña zona adyacente al punto de liberación y dura 5 segundos aproximadamente, lo cual hizo que la idea fuera poco útil.

Físicamente el fenómeno se compone de un incremento en la presión de un sistema "cerrado" (con un volumen definido) y la súbita liberación de ésta. Al principio la temperatura aumenta como lo muestra la Ley General de los Gases (Ecuación 8) mientras que el aire se comprime dentro de la cámara, al abrir la válvula de globo, toda la energía acumulada dentro del sistema se libera súbitamente y esto conlleva a un descenso de temperatura. El sistema recupera el estado energético "natural" en 5 segundos y regresa a una temperatura ambiente y presión atmosférica normal.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Ecuación 8. Ley General de los Gases

Lucho Motion

Esta idea se puede considerar como el punto más alejado del proceso, en lo que a pensamiento divergente se refiere, ya que no solo introduce un nuevo método, inexistente en la actualidad, sino que explora la inmersión del proyecto en la nueva tendencia de los “wearables¹”.

El concepto surgió de una lluvia de ideas en la que se propuso utilizar la energía cinética y calorífica que genera una persona al tener actividad física para, de algún modo, enfriar una bebida.

El prototipo de experiencia para probar esta idea consistió en una “mochila de hidratación⁷” que contenía un par de hielos dentro del contenedor para colocar el agua. En el exterior se colocaron celdas fotovoltaicas para hacer pensar a los usuarios de prueba que era un dispositivo que tomaba su energía y la transformaba en algo útil, mientras hacían deporte.

Antes de la actividad física, se vertía una botella de agua tibia dentro del contenedor de la mochila. Durante la acción, el agua se enfriaba al entrar en contacto con los hielos. Al finalizar el movimiento, el usuario podía disfrutar de su bebida a una temperatura mucho menor de la inicial.

La retroalimentación por parte de los usuarios de prueba de este prototipo indicó una total aceptación del concepto ya que satisfacía la necesidad de hidratación después del ejercicio de una manera agradable, portátil y práctica.

El mayor aprendizaje se obtuvo al presentar la idea a Mabe. Al ser un concepto que cumplía con la función crítica establecida pero se encontraba totalmente fuera de su



Figura 50. "Lucho Motion"

⁷ Las Mochilas de Hidratación son unos dispositivos que contienen un almacén para agua dentro de una mochila, conectado a una manguera para poder beber durante la marcha.

mercado, se mostró totalmente en desacuerdo con la implementación de esta idea y restringió el proyecto al rubro de los electrodomésticos.

Resumen de Prototipos “Dark Horse”

A pesar de que ninguna idea probada en esta actividad apareciera como factible y mucho menos viable, se pudieron establecer algunos patrones interesantes entre los usuarios:

- Los usuarios realmente consideran importante el tener un tiempo muy corto para enfriar sus bebidas.
- La experiencia visual es un factor muy importante para el usuario.
- La opción de poder interactuar con el enfriamiento, genera una inmersión total del usuario dentro del proceso.
- Los usuarios no se preocupan por cómo funcionan las cosas, sino en qué es lo que hacen.

Prototipos “Funk-tional”

Esta actividad marca el inicio del pensamiento convergente del proyecto. En este punto, las ideas que sobrevivieron a todo el proceso se sintetizan para poder reducir las opciones de solución y desarrollar conceptos tangibles del producto final.

La regla para esta actividad implicó dejar a un lado la estética del producto para enfocarse al funcionamiento.

Para este punto, se plantearon dos ideas principales, ambas para enfriar bebidas en un lapso de tiempo muy corto: el aumento del flujo volumétrico del aire en un ambiente húmedo a baja temperatura y el enfriamiento por rotación con refrigerante líquido.

Aumento del Flujo Volumétrico del Aire

Esta idea pretendía enfriar una lata de refresco, al aumentar el flujo volumétrico del aire dentro de un congelador convencional al mismo tiempo que se generaba un ambiente húmedo alrededor de la bebida. La suposición fue que al tener una mayor cantidad (masa) de aire frío, dentro del sistema, la transferencia de calor entre la bebida y el medio circundante aumentaría. El ambiente húmedo sería una ventaja al incluir una transferencia

de calor por conducción con un líquido (sustancias con mayor conductividad térmica que el aire).

El sistema ideado y construido contaba con cuatro ventiladores de 5 volts, colocados alrededor de una lata de refresco, dentro un congelador doméstico a -20°C , apuntando hacia un mismo punto. Para generar un ambiente húmedo, hubieron dos configuraciones: En la primera, se colocó una manta mojada envolviendo la lata y en la segunda, se ubicó un nebulizador de agua que arrojaba 16 ml/min, aproximadamente, de agua al ambiente y generaba una cortina de pequeñas gotas de agua que cubrían la bebida dentro del sistema (Figura 45).

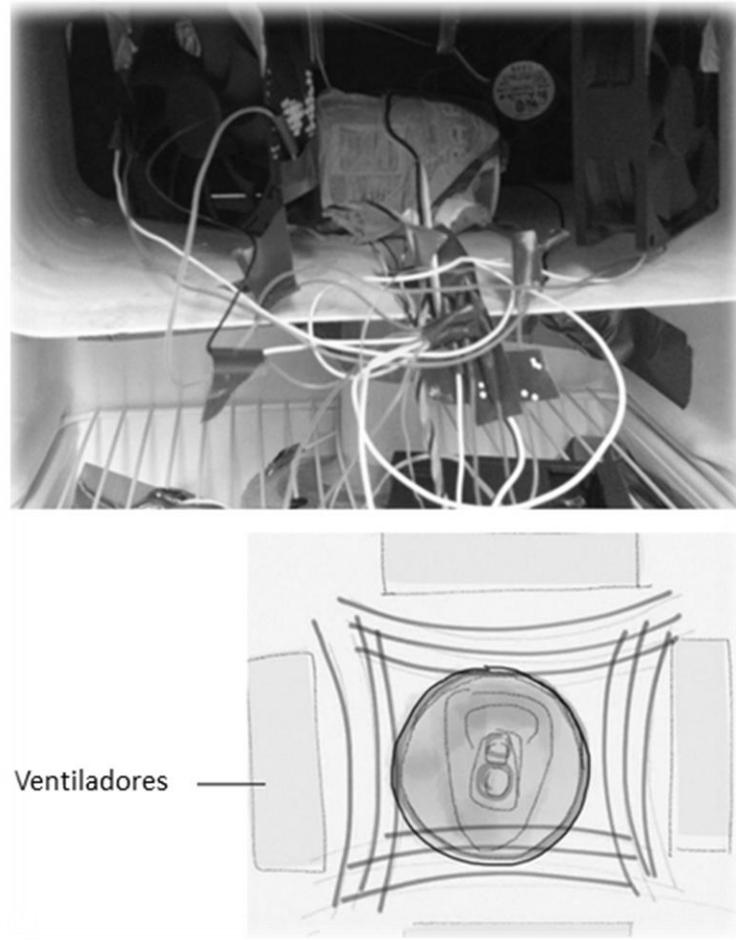


Figura 51. Sistema de Ventiladores para Aumentar el Flujo Volumétrico del Aire en un Refrigerador

La hipótesis de reducir el tiempo de enfriamiento fue comprobada con la primera configuración, ya que se redujo el tiempo de 30 minutos (tiempo estándar de enfriamiento en congelador doméstico) a 10 minutos para obtener los deseados 6°C en la bebida. Aun

así, este tiempo no fue suficiente para representar una opción para sustituir el enfriamiento por rotación.

La segunda configuración no representó un cambio significativo en el tiempo de enfriamiento ya que solo redujo en 2 minutos el tiempo de enfriamiento promedio en un congelador doméstico.

Funky - Polar Roller

La culminación de los aprendizajes y descubrimientos adquiridos durante todo el proceso de diseño llevó a la creación del concepto "Polar Roller". Este combina el proceso de enfriamiento por rotación y refrigerante líquido con las experiencias que los usuarios habían mencionado en la retroalimentación de los prototipos anteriores.

Versión 1.0

El primer prototipo construido para este concepto constó de cuatro pares de rodillos conectados a un motor a 130 rpm por medio de una transmisión de cadena. Las latas de refresco se ubicaban entre los rodillos y, al accionar todo el sistema, un chorro de agua con sal a -20°C bañaba a las bebidas mientras estas giraban sobre su propio eje cilíndrico.

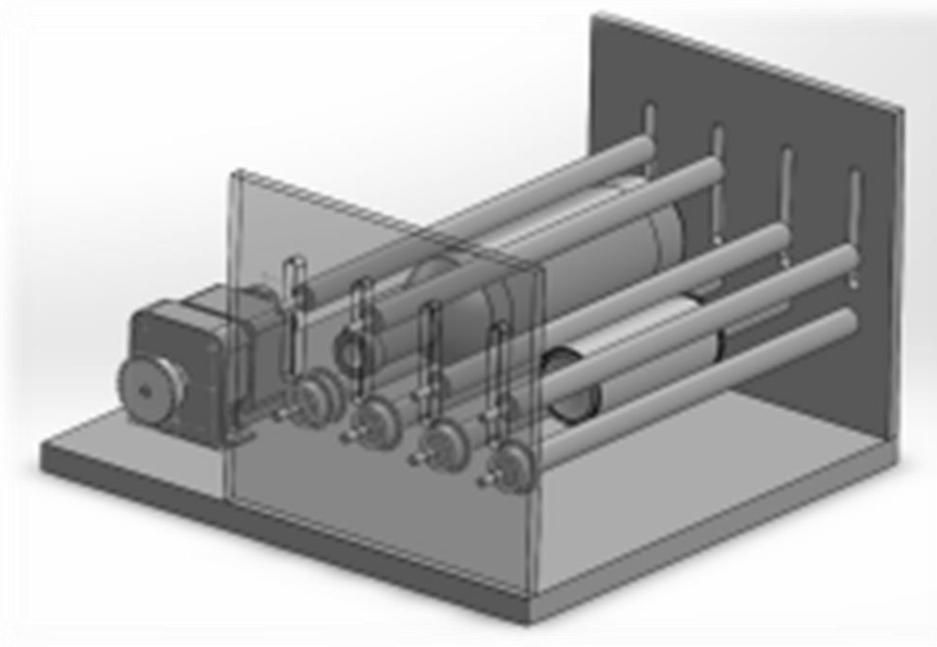


Figura 52. Modelo Computarizado para "Polar Roller 1.0"



Figura 53. Polar Roller 1.0

Este dispositivo no solo emuló al sistema utilizado por el Frost Boss sino que lo mejoró al permitir el enfriamiento de más de una bebida a la vez, aumentar la velocidad de rotación de la bebida y permitir la colocación de botellas de vino.

La respuesta a este dispositivo fue de gran aceptación y generó un estado de expectación por parte de los demás equipos del curso. Este resultado demostró que se había tomado una buena decisión al apostarle a este método como concepto final.

Como todo prototipo inicial, aparecieron muchos inconvenientes que habrían de ser resueltos para asegurar el éxito de esta idea y llevarla a convertirse en un producto:

- Suciedad: El agua salada salpicó los alrededores del dispositivo y desubicó las uniones del sistema.
- Corrosión del agua salada: El agua salada, a pesar de permitir la temperatura deseada, rápidamente oxidó los componentes del dispositivo.

- Incrustación de sal en la bebida: La textura de la lata, después del proceso de enfriamiento, presentaba un granulado pegajoso generado por la incrustación de sal en el metal. Esto era totalmente desagradable para los usuarios de prueba.
- Rotación lenta: Según el modelo de transferencia de calor (Página 94) de este sistema, el aumento en la velocidad de giro de la lata genera una disminución en el tiempo de enfriamiento. Al tener mayor espacio para un motor más grande y un mayor radio en el piñón de la transmisión, esta variable podría ser modificada fácilmente.
- Bombeo ineficiente: El uso de la manguera, para bañar las latas en el proceso, resultó totalmente ineficiente ya que, al ser solo un chorro, no cubría todas las latas de manera uniforme y presentaba muchas pérdidas del refrigerante.
- Consumo de refrigerante: El agua con sal, utilizada para el enfriamiento, se desperdiciaba una vez que cubría a las latas. Esto fue un aspecto negativo que afectaba directamente a la viabilidad de este producto.

Modelo de Transferencia de Calor para Polar Roller

Dada la superioridad del método de enfriamiento por medio de rotación y refrigerantes líquidos, se desarrolló un modelo teórico para poder entender las variables que afectan al proceso y su comportamiento durante el fenómeno de enfriamiento.

Este sistema trabaja bajo un modelo de transferencia por convección forzada de un flujo a través de un cilindro circular (Figura 48).

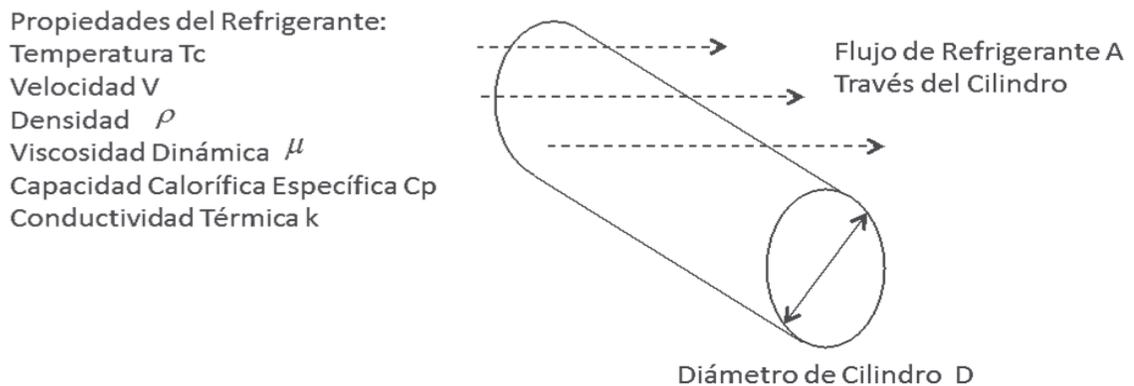


Figura 54. Flujo de Refrigerante a Través de un Cilindro

Para simplificar este modelo, se asumió que la temperatura del refrigerante permanece constante, se desprecia la transferencia de calor a través de las paredes de cilindro, que la temperatura de la bebida (dentro del cilindro) es constante a través de la sección transversal del cilindro y que, tanto la bebida como el refrigerante, tienen las mismas propiedades térmicas que el agua a -15°C (temperatura promedio de operación del sistema). Estas propiedades se enlistan a continuación:

Tabla 10. Propiedades Teóricas Térmicas del Refrigerante y Bebidas

Propiedad	Valor
Densidad, ρ	$1 \frac{g}{cm^3}$
Viscosidad Dinámica, μ	$0,0122 \frac{g}{cm s}$
Capacidad Calorífica Específica, C_p	$4,191 \frac{J}{Kg K}$
Conductividad Térmica, k	$0.58 \frac{W}{m K}$

La analogía considerada en este modelo es que, en vez de tener un cilindro estacionario con un refrigerante fluyendo a través de sí, se tiene un cilindro rotando con el refrigerante moviéndose relativamente a la superficie de cilindro con una velocidad de:

Ecuación 9. Velocidad de Giro de Cilindro

$$V = \pi\omega D$$

Donde ω es la velocidad angular del cilindro en rps.

El primer paso es el cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor, h , entre el refrigerante y el cilindro, para este fin, se definen las propiedades del fluido.

Primero se define λ como una constante dimensional relacionada con el diámetro del cilindro:

Ecuación 10. Constante de Diámetro λ

$$\lambda = \frac{\pi D}{2}$$

Después se calcula el número Reynolds Re_λ y el número Prandtl del fluido:

Ecuación 11. Número de Reynolds

$$Re_\lambda = \frac{\lambda v \rho}{\mu}$$

Ecuación 12. Número de Prandtl

$$Pr = \frac{\mu C_p}{k}$$

Una vez calculados el Re_λ y el Pr , se calcula el número Nusselt laminar, $Nu_{\lambda,lam}$, el número Nusselt turbulento, $Nu_{\lambda,turb}$, y el Nusselt general de todo el sistema, $Nu_{\lambda,o}$:

Ecuación 13. Nusselt Laminar

$$Nu_{\lambda,lam} = 0.664(Re_\lambda)^{1/2}(Pr)^{1/3}$$

Ecuación 14. Nusselt Turbulento

$$Nu_{\lambda,turb} = \frac{0.037 Re_\lambda^{0.8} Pr}{1 + 2.443 Re_\lambda^{-0.1} (Pr^{2/3} - 1)}$$

Ecuación 15. Nusselt General

$$Nu_{\lambda,o} = 0.3 + (Nu_{\lambda,lam}^2 + Nu_{\lambda,turb}^2)^{1/2}$$

Esto es válido cuando $10 < Re_\lambda < 10^7$ y $0.6 < Pr < 10^3$.

Finalmente, con $Nu_{\lambda,o}$, se calcula h :

Ecuación 16. Coeficiente Convectivo de Transferencia de Calor

$$h = \frac{Nu_{\lambda,o} k}{\lambda}$$

El segundo paso es igualar el cálculo de la transferencia de calor, \dot{Q} , del fluido con mayor temperatura, dentro del cilindro, con la del refrigerante.

La transferencia de calor de la bebida es:

Ecuación 17. Transferencia de Calor del Fluido con Mayor Temperatura

$$\dot{Q} = mC_p \frac{dT}{dt}$$

Donde:

m = Masa de la bebida

T = Temperatura de la bebida

$\frac{dT}{dt}$ = Gradiente de temperatura con respecto al tiempo de la bebida

Adicionalmente, se establece la transferencia de calor del refrigerante como:

Ecuación 18. Transferencia de Calor del Refrigerante

$$\dot{Q} = hA(T_c - T)$$

Donde:

A = Área superficial de contacto entre el refrigerante y el cilindro

Al igualar las ecuaciones (10) y (11), se obtiene la siguiente ecuación diferencial:

Ecuación 19. Balance Energético entre Cilindro y Refrigerante

$$\frac{dT}{dt} = \frac{hA}{mC_p}(T_c - T)$$

Resolviendo para T , se obtiene la solución en función del tiempo:

Ecuación 20. Modelo de Transferencia de Calor

$$T = T_c + (T_i - T_c)e^{-\frac{hA}{mC_p}t}$$

Donde:

T_i = temperatura inicial de la bebida

Como ejemplo del significado de la ecuación (13) se asume una temperatura de refrigerante de $T_c = -15c$, una bebida inicialmente a temperatura ($T_i = 20^\circ C$), una velocidad de giro de 150 rpm ($\omega = 2.5$ revoluciones por segundo), una bebida dentro de una lata de 355 ml y una superficie de contacto con el refrigerante del 70% ($D = 2.1 in$, $A = 29.5 in^2$).

De aquí obtenemos un perfil de temperatura como el siguiente:

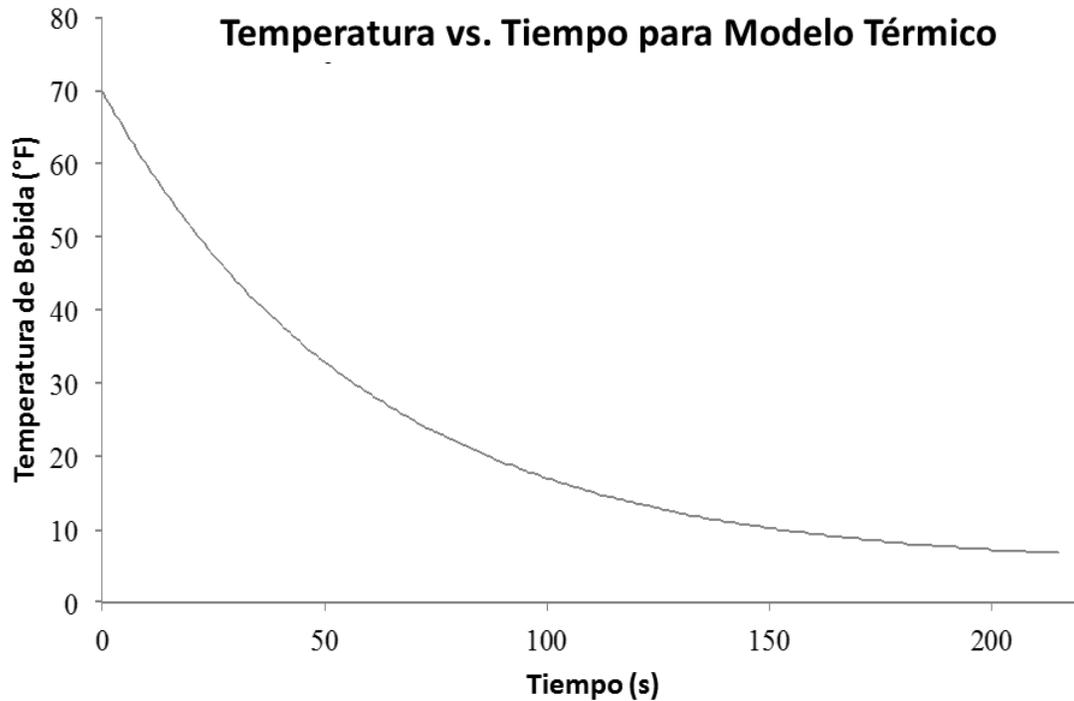


Figura 55. Modelo de Transferencia de Temperatura vs. Tiempo de Enfriamiento

La ecuación (13) puede utilizarse también para encontrar el tiempo de enfriamiento de la bebida, t_{cool} , desde una temperatura inicial, T_i , hasta una temperatura final deseada, T_f :

Ecuación 21. Tiempo de Enfriamiento para Bebidas

$$t_{cool} = -\frac{mC_p}{hA} \ln\left(\frac{T_f - T_c}{T_i - T_c}\right)$$

Desde luego que este modelo solo es aproximado por la gran cantidad de premisas iniciales. Aun así, es importante notar la importancia que tiene la temperatura del refrigerante, T_c , sobre el área superficial y la velocidad de rotación de la bebida.

Prototipos “Func-tional”

En esta etapa, se pretende la construcción de un prototipo que demuestre la funcionalidad del concepto final y marca la última oportunidad para explorar aspectos previamente no tomados en cuenta, sobre todo en la conjunción de mecanismos y control.

Polar Roller Versión 2.0

Para la segunda versión del Polar Roller, se buscó mejorar algunos aspectos de la versión 1.0, mientras que se simplificaban algunas funciones de manera simultánea. En este punto, para satisfacer tanto las necesidades del usuario como las del cliente (Mabe), se exploró la opción de fabricar hielo con este mismo sistema.

Los cambios sobre la versión 1.0 fueron los siguientes (Figuras 50 y 51):

- Aumento de la capacidad del motor y del radio de piñón: Esto permitió una mayor velocidad de rotación de las bebidas, y por lo tanto una mayor transferencia de calor.
- Reubicación de motor: Se colocó el motor en la parte superior para evitar las salpicaduras.
- Reducción de capacidad: Esta característica solo se hizo para simplificar el proceso de construcción del prototipo.
- Instalación de colector: Se colocó un colector para el refrigerante en la parte inferior del sistema, esto para bombearlo desde este punto y poder recolectarlo después de su utilización.

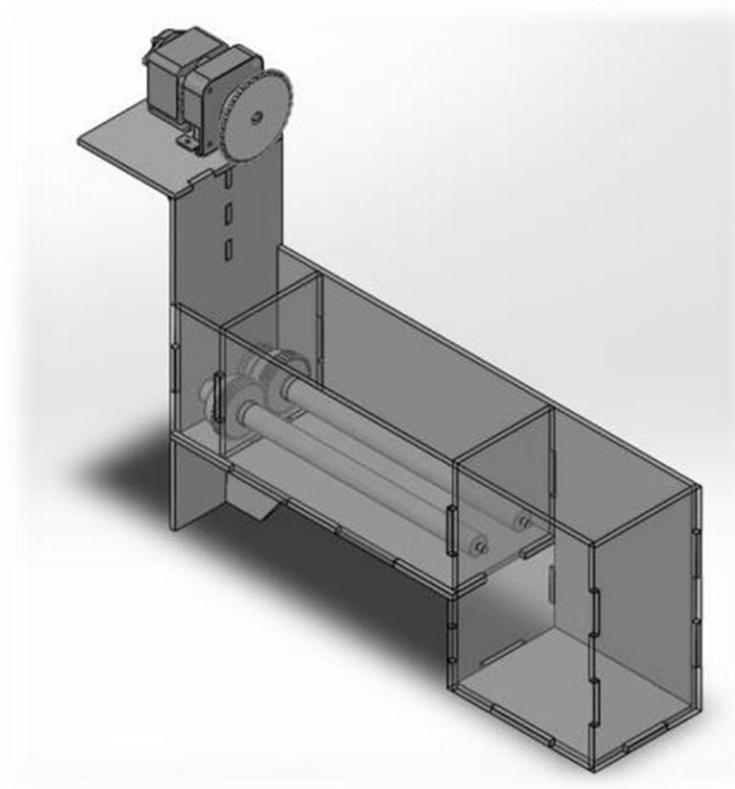


Figura 56. Modelo Computarizado para "Polar Roller 2.0"

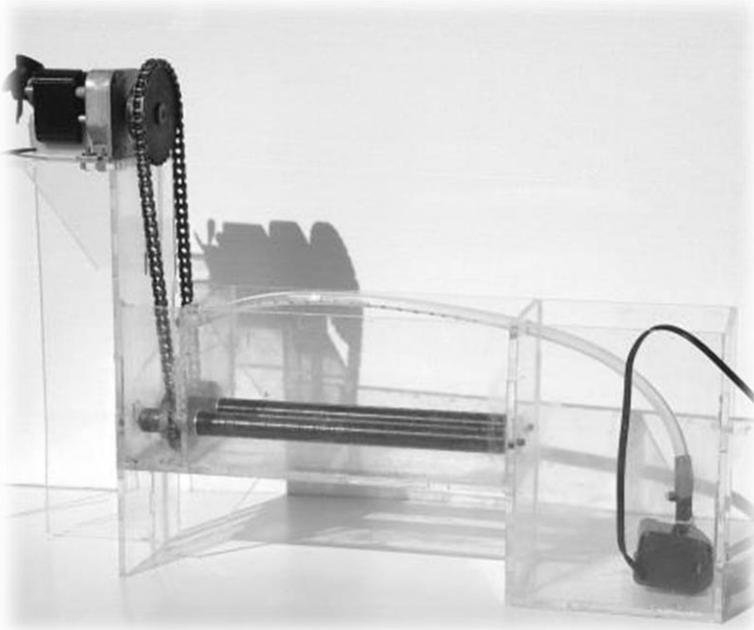


Figura 57. "Polar Roller 2.0"

Fabricación de Hielo

La fabricación de hielo, aunque desechada previamente, representó una función vital para el cliente (Mabe) por lo que se decidió retomarla y adaptarla al sistema del “Polar Roller”.

Para comprobar la aceptación de esta función en el sistema, se llevaron a cabo nuevas entrevistas sobre el uso del hielo de las que se obtuvo las siguientes gráficas como resultado:

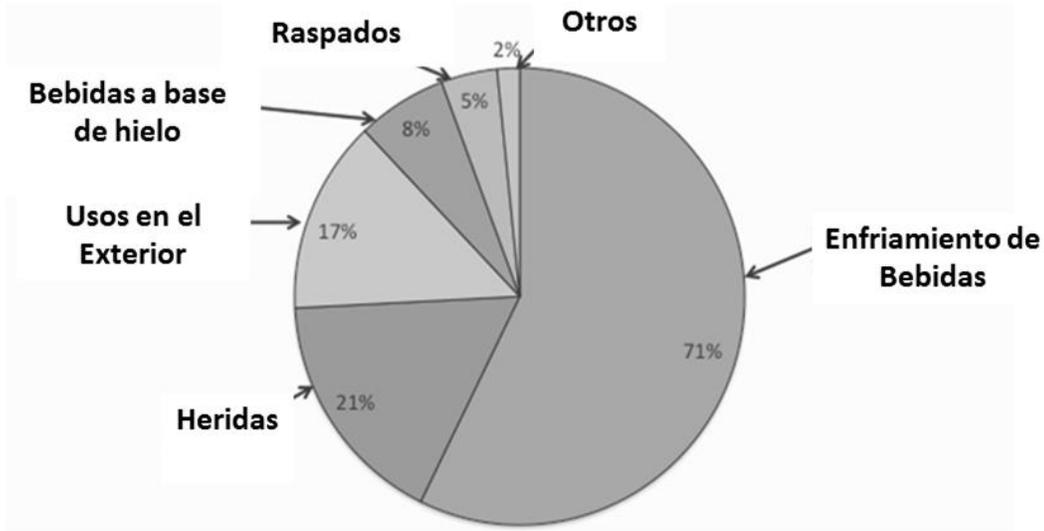


Figura 58. Principales Usos del Hielo (Según Población Entrevistada)

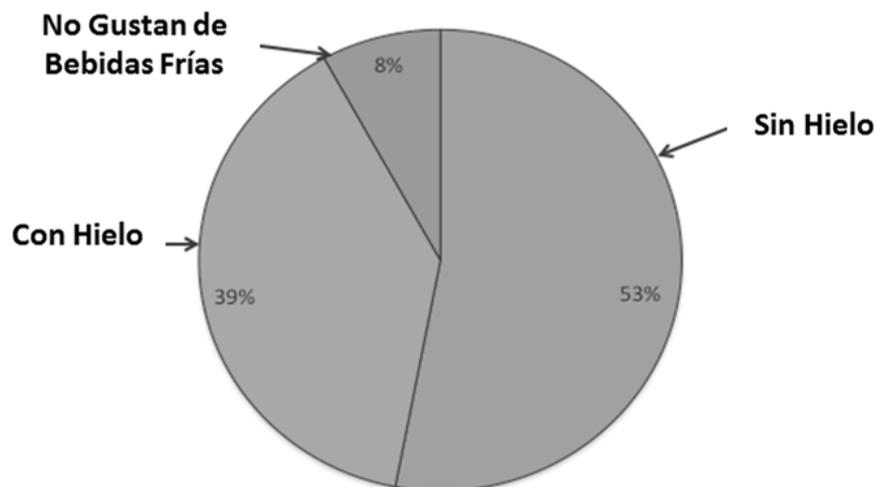


Figura 59. Métodos Comunes de Enfriamiento de Bebidas

Las gráficas muestran que hay un porcentaje alto de gente que utiliza el hielo para enfriar sus bebidas (Figura 52), pero, poco más de la mitad, sustituiría esta opción si existiera la posibilidad de hacerlo de otra forma (Figura 53). Esto fundamenta que, a pesar de que la mayoría de las personas quieren evitar la dilución de sus bebidas al sustituir el hielo, existe aún una demanda significativa de hielo.

Para satisfacer esta necesidad, se ideó un molde de hielo, a partir de un cilindro de aluminio, sellado y con un esqueleto de plástico (impresión en ABS) en su interior. Esta configuración genera pequeñas cámaras en el interior del cilindro que, al ser llenadas con agua, servirían de molde para los hielos (Figura 54).

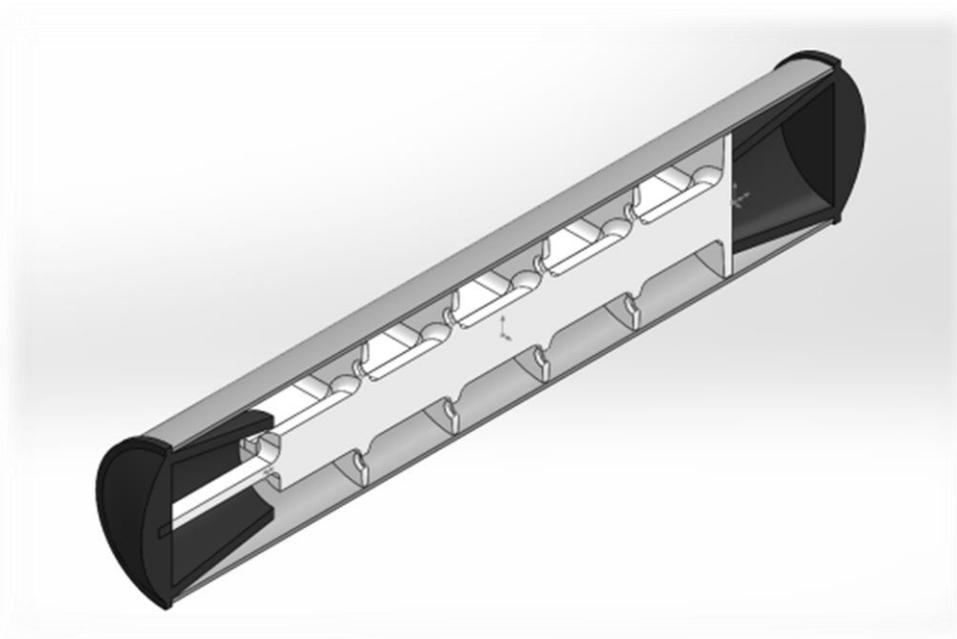


Figura 60. Modelo Computarizado para "Molde Cilíndrico para Hielos"

Las pruebas se hicieron colocando este molde dentro del Polar Roller y tomando el tiempo de formación del hielo. Después de 10 minutos, se obtuvo el producto deseado (Figura 55).

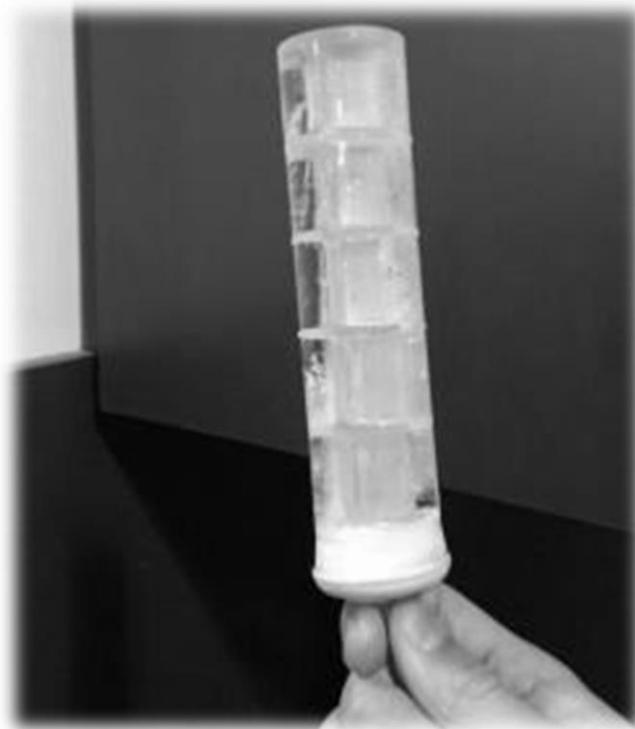


Figura 61. Primera Prueba de Molde Para Hielos

Resultó muy difícil separar los hielos del molde de plástico, pero aun así, representó un paso más hacia la satisfacción de las dos necesidades encontradas.

Resumen de Prototipos “Func-tional”

El rendimiento del Polar Roller en el enfriamiento de bebidas y la fabricación de hielos fue excepcional. A continuación se comparan los tiempos obtenidos del proceso directamente con los tiempos que tienen las máquinas domésticas actuales:

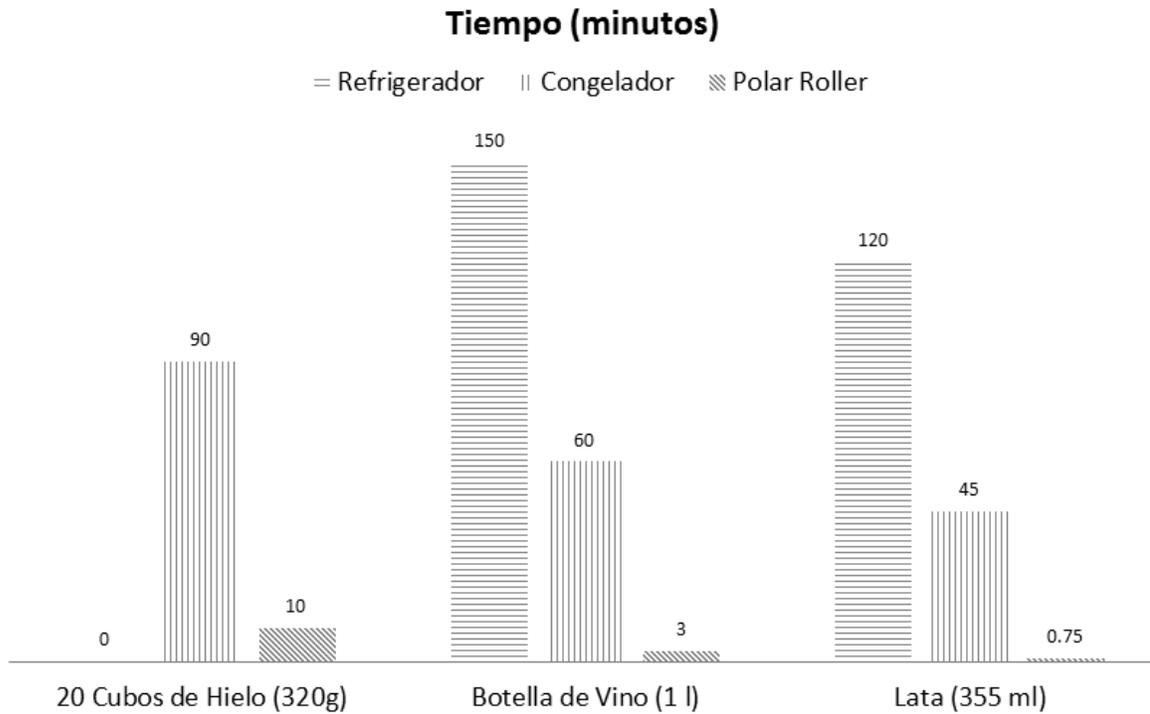


Figura 62. Comparativo de Rendimiento entre Refrigerador, Congelador y Polar Roller

Estos resultados fueron el incentivo perfecto para llevar este concepto, el Polar Roller, hasta la última etapa del proyecto e integrarlo a un refrigerador doméstico.

Trimestre de Primavera

El objetivo de este trimestre fue la definición del concepto final, su construcción y validación. Las actividades involucradas en esta parte final del proceso se centran en traer a la realidad una sola idea e incluyen decisiones sobre diseño de detalle, logística, administración de recursos y programación de tiempos para concluir satisfactoriamente con el proyecto.

Requerimientos Finales

Perfil Final de Consumidores

Mujeres y hombres de 25 a 40 años, pertenecientes a los estatus socioeconómicos A/B,C+,C (clases alta y media-alta), que cuentan con una licenciatura. Pueden ser empleados o propietarios de su propio negocio.

El gasto promedio en artículos y servicios de lujo, como ir al cine, bares, restaurantes, ropa costosa, artículos decorativos para el hogar, viajes y nuevos productos es de \$15,000 mensuales. Siguen tendencias de moda, leen revistas y periódicos impresos, escuchan la radio y ven la televisión.

El punto más importante es que buscan nuevas experiencias, son consumidores entusiastas e impulsivos y se emocionan fácilmente con nuevas posibilidades.

Requerimientos Dados por Mabe

Tabla 11. Requerimientos Dados por Mabe

Requerimientos	Fundamento
Eliminar la existencia de “hielo almacenado” para combatir el mal sabor del mismo.	Si el hielo es generado a una velocidad mayor de lo que es consumido, se acumula en el fondo (algo no sabido por la mayoría de los usuarios) y genera un mal sabor del producto final.
Disminuir el tiempo de creación del hielo.	La producción de una tanda de hielo (8 a 12 hielos, según el modelo) tiene una duración de 90 minutos en promedio, esto no satisface la demanda cuando el sistema está vacío.
Disminuir el volumen de las fábricas de	Minimizar el espacio que utiliza una

hielo. máquina de hielos actual para aumentar el espacio de almacenaje de los refrigeradores y congeladores.

Requerimientos Funcionales

Tabla 12. Requerimientos Funcionales

Sub-categoría	Requerimiento o Funcional	Fundamento	Implementación
Relación con las Bebidas	Enfriamiento rápido	Una lata de refresco/cerveza tarda 30 minutos para alcanzar una temperatura ideal (6°C) dentro del congelador (150 minutos en el refrigerador). La reducción de este tiempo es un aspecto importante a considerar	La temperatura para alcanzar esta meta se alcanza con una concentración de 25% de propilenglicol y 75% de agua como refrigerante seleccionado.
	Composición inalterada de las bebidas	Un inconveniente común en el uso del hielo es la dilución de la bebida en el proceso de enfriamiento.	El aprovechamiento del Vórtice Rankin y el enfriamiento de bebidas, en sus contenedores originales, permiten satisfacer este punto.
	Variedad de formas y tamaños en las bebidas a enfriar	El producto debe de ser capaz de enfriar bebidas que tienen tamaños diferentes.	Se satisface al utilizar rodillos de 15" de longitud, espaciados a 2.5" para permitir contenedores de diferentes tamaños.
	Enfriar varias bebidas a la vez	Los escenarios donde se consumen las bebidas incluyen múltiples personas y el consume de refrescos/cervezas en "six packs" es muy	Cuatro rodillos con 15" de longitud y una separación de 2.5" entre sí, se permite el enfriamiento conjunto de hasta 9 latas de 355ml.

		común.	
Relación con el Hielo	Disminuir la velocidad de fabricación de hielo con respecto a las máquinas actuales.	El tiempo actual de producción de hielos es de 90 minutos para 8-12 hielos. Se requiere reducir al mínimo posible este tiempo. Esto ayudará a eliminar el almacenaje innecesario de hielo procesado.	La temperatura para alcanzar esta meta se alcanza con una concentración de 25% de propilenglicol y 75% de agua como refrigerante seleccionado.
Funciones de Interfaz con el Usuario	La interfaz debe de permitir escoger al usuario qué es lo que va a enfriar.	Debe de contar con simplicidad y la facilidad de programación de ciclos para el usuario.	Tres botones intuitivos para seleccionar el enfriamiento de latas, botellas de vino o producción de hielos.
	La interfaz deberá contar con un lenguaje neutral.	La interfaz deberá de ser lo suficientemente intuitiva para usuarios con diversos lenguajes.	Iconos de una lata, una botella de vino y un cubo de hielo como botones.
Relación con el refrigerante	El refrigerante debe de ser seguro en su uso, ingesta y olor.	Para lograr un alto nivel de confiabilidad con los usuarios, el refrigerante debe ser seguro para su consumo y no tener un olor desagradable.	El propilenglicol (inodoro) es utilizado, tiene grado USP alimenticio y se encuentra en una solución acuosa al 25%.
	El refrigerante no debe de congelarse a las temperaturas de servicio.	Si el refrigerante se congela, no fluye por el sistema de bombeo.	La concentración de 25% propilenglicol y 75% agua, utilizada, tiene un punto de congelamiento de -15°C.
Otras Funciones	El ciclo debe de terminar cuando el usuario así lo requiera.	Si el usuario decide no esperar más para el enfriamiento de su bebida, el Sistema debe de ser capaz de detenerse para que el usuario tome sus bebidas de forma	Esta meta es satisfecha con la colocación de un botón de encendido/apagado en la interfaz del Polar Roller.

segura.

Requerimientos Físicos

Tabla 13. Requerimientos Físicos

Sub-categoría	Requerimiento Físico	Fundamento	Implementación
Transmisión de potencia	Los rodillos deben de estar espaciados a la distancia exacta para soportar las bebidas.	Las bebidas no deben de caer entre los rodillos.	El espacio entre los cuatro dorillos es de 1.125" (la bebida con el menor diámetro es de 2.5").
	Se requiere la capacidad de hacer rotar las bebidas de manera rápida.	A mayor velocidad de rotación, las bebidas se enfriarán más rápido.	Los rodillos giran a 280 rpm, esto causa que las latas de 355 ml giren a 150 rpm.
	El sistema de transmisión de potencia deberá de permanecer seco.	El Sistema de transmisión de potencia deberá de permanecer seco para evitar daños al motor eléctrico y reducción en la fricción de las bandas.	Para satisfacer este punto, sellos de plastilina epóxica y cemento para fugas son colocados entre los rodamientos y las paredes.
Sistema de bombeo y baño	Las salidas de agua deben de cubrir un área superficial significativa de los contenedores a enfriar.	Un área superficial significativa de los contenedores a enfriar debe de estar en contacto con el refrigerante para mejorar la transferencia de calor.	Las salidas están ubicadas en un patrón rectangular de 6 x 3.
	Se requiere un flujo volumétrico alto del	El área superficial de los contenedores debe de permanecer	La bomba utilizada cuenta con una capacidad de flujo máxima de 0.5 l/s.

	refrigerante durante el servicio.	en contacto constante con el refrigerante frío.	
Marco	No debe de ser muy profundo para evitar incomodidades con el usuario.	Para generar una experiencia cómoda al utilizar todo el espacio disponible, se debe de tener dimensiones ergonómicas para la colocación de las bebidas.	La mayor distancia a la que el usuario debe de colocar la bebida es de 23 cm.
	El sistema completo debe de ser menor en tamaño que el espacio actual para fábricas de hielo, almacén de hielo y de bebidas.	Algunos inconvenientes de las fábricas de hielo actuales es el espacio que ocupan. Este producto debe de ocupar un espacio menor, idealmente, y eliminar el espacio para el almacén del hielo y bebidas.	El Polar Roller ocupa un espacio de 116 020 cm ³ , lo cual representa un 40% más del espacio esperado. Aun así, los prototipos futuros podrán ser refinados para optimizar espacio y alcanzar esta meta.
	Las paredes del marco deben de estar aisladas térmicamente.	Para mantener la temperatura baja dentro del sistema, las paredes deben de estar aisladas térmicamente para evitar transferencias de calor no deseadas.	Se coloca espuma aislante entre las paredes dobles del Polar Roller, exceptuando el frente.
Interfaz con el usuario	El sistema debe de permitir, al usuario, ver lo que está sucediendo.	Un descubrimiento importante es que a los usuarios les encanta verse incluidos en el proceso de enfriamiento,	Se colocó una puerta opaca para prevenir salpicaduras de refrigerante durante el proceso, aun así, esta puerta no está asegurada por lo que el usuario la

		aunque sea solo observando.	puede abrir en el momento que quiera observar el interior.
	Debe de localizarse a una altura cómoda para un usuario adulto promedio (1.70 m).	El uso de este producto no debe de ser incómodo para un usuario típico, por lo que se debe de ubicar a la altura promedio del pecho.	La entrada del Polar Roller se ubica a una altura de 1.40 m.
	La ubicación de los controles no debe de alterar la experiencia del usuario.	La ubicación de los controles debe de estar a una altura cómoda para el usuario pero sin afectar los demás puntos de experiencia.	El panel de control se ubica a la misma altura que la entrada del Polar Roller.
Otros	Todos los materiales en contacto con el refrigerante deben de ser compatibles con el mismo.	Ninguno de los materiales utilizados deberá de perder sus características físicas durante el proceso de enfriamiento.	Los materiales utilizados (PE-HD, acero inoxidable, bronce, cobre, acrílico) tienen, al menos, un rango de compatibilidad B con el propilenglicol.

Concepto Final: Polar Roller

Cada uno de los prototipos, pruebas y experimentos durante el proceso de diseño marcaron el camino hasta llegar al concepto "Polar Roller" en su última definición (Figura 57). Con este sistema, no solo se revoluciona la experiencia de fabricar hielo sino de todo el refrigerador doméstico, ya que se integra dentro de las unidades existentes como una característica más.

Con la capacidad de enfriamiento rápido del Polar Roller, los refrigeradores actuales no necesitarán almacenar bebidas en su interior, ni a las fábricas de hielo. Esto representa un ahorro de espacio muy significativo y lleva a una reducción del tamaño de las unidades que genera un ahorro de energía suficiente para reducir el efecto nocivo al medio ambiente.



Figura 63. Concepto Final "Polar Roller"

En la transición del prototipo aislado hacia la construcción de todo un sistema integrado, se buscó entender los aspectos de diseño que definirían al producto final, así como las características agregadas necesarias para alcanzar la meta del proyecto.

Se buscó la manera de diseñar un Sistema compacto para que, tanto el congelador como el refrigerador, pudieran reducirse al mínimo

necesario. Para esto, se pensó en una sección separada para el sistema Polar Roller, donde se incluiría una interfaz, lo suficientemente intuitiva, que permitiera la colocación de bebidas de forma sencilla y la selección de la opción deseada, eliminando las opciones de una selección incorrecta y/o peligrosa para el usuario (por ejemplo: enfriar una lata por 10 minutos haría que explotara).

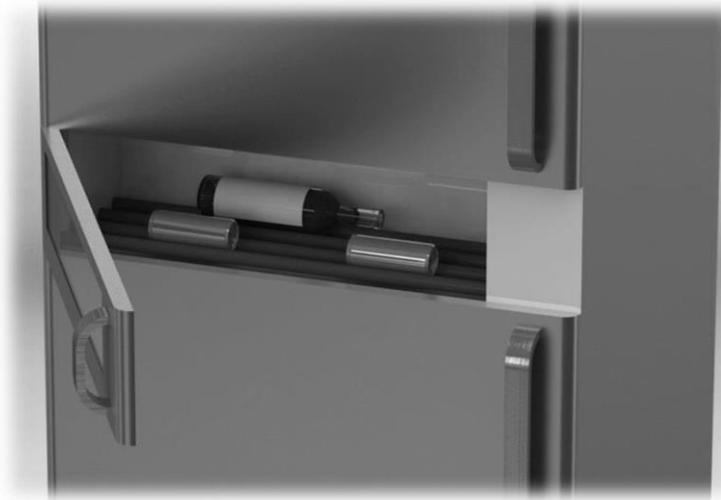


Figura 64. Inclusión del Sistema “Polar Roller” en un Refrigerador Comercial

Video 9. Concepto Polar Roller



<https://www.youtube.com/watch?v=GBj0lwBBg6M>

Especificaciones de Diseño para Prototipo Final

El Polar Roller cuenta con dos funciones principales: enfriamiento rápido de bebidas en contenedores cilíndricos o con geometrías revolucionadas y la fabricación de hielo con un molde, especialmente diseñado para este sistema (Figura 59).

Este sistema utiliza el método de enfriamiento por rotación de bebidas sobre su eje cilíndrico y baño de refrigerante líquido para generar una convección forzada sobre la bebida y lograr una distribución uniforme del líquido interno. Con esto, el tiempo necesario para este proceso es de 1 minuto para latas estándar de 355 ml y 5 minutos para botellas de vino de 750 ml.

El refrigerante utilizado para este prototipo es una solución de 25% propilenglicol y 75% de agua. Esta concentración tiene una temperatura de congelamiento de -15°C a una presión atmosférica normal. El propilenglicol fue seleccionado por su bajo punto de congelamiento, solubilidad en agua y seguridad para la ingesta (por si algún residuo quedara impregnado en las latas después del proceso). El utilizar un refrigerante que permaneciera en estado líquido después de la temperatura de congelamiento del agua, permitiría aumentar la tasa de transferencia de calor para el enfriamiento e inclusive hacer hielos.

La rotación sobre el eje cilíndrico, necesaria para generar el efecto convectivo forzado, de los rodillos ($\varnothing 1.375''$), sobre los cuales se depositan las bebidas para su enfriamiento, tiene una velocidad constante de 150 rpm. Al poder colocar la bebida sobre cualquier par de cilindros adyacentes, el sistema tiene una capacidad de 9 latas de 355 ml o 2 botellas de vino de 750 ml para enfriarse al mismo tiempo.

Como se ha mencionado antes, la velocidad constante en la rotación de la bebida permite mantener el carbonato de las bebidas inalterado, por lo que no explotan al momento de abrirlas.

La programación del Polar Roller se basó en el modelo de transferencia de calor (Página 94) utilizado para medir el tiempo necesario para enfriar las bebidas (opción seleccionada por



Figura 65. Prototipo Final - Polar Roller

el usuario) a una temperatura de 6°C, asumiendo una temperatura ambiente inicial de 24°C y una temperatura promedio del refrigerante de -6.5°C (esta última temperatura es un dato que está constantemente retroalimentándose para recalcular los tiempos).

Chasis

El prototipo final del Polar Roller está integrado a un simulador de un refrigerador doméstico. El dispositivo está diseñado como un sistema sellado, aislado térmicamente y que embona a la perfección al marco del simulador. El chasis separa al Polar Roller en 3 cámaras principales (Figura 60).

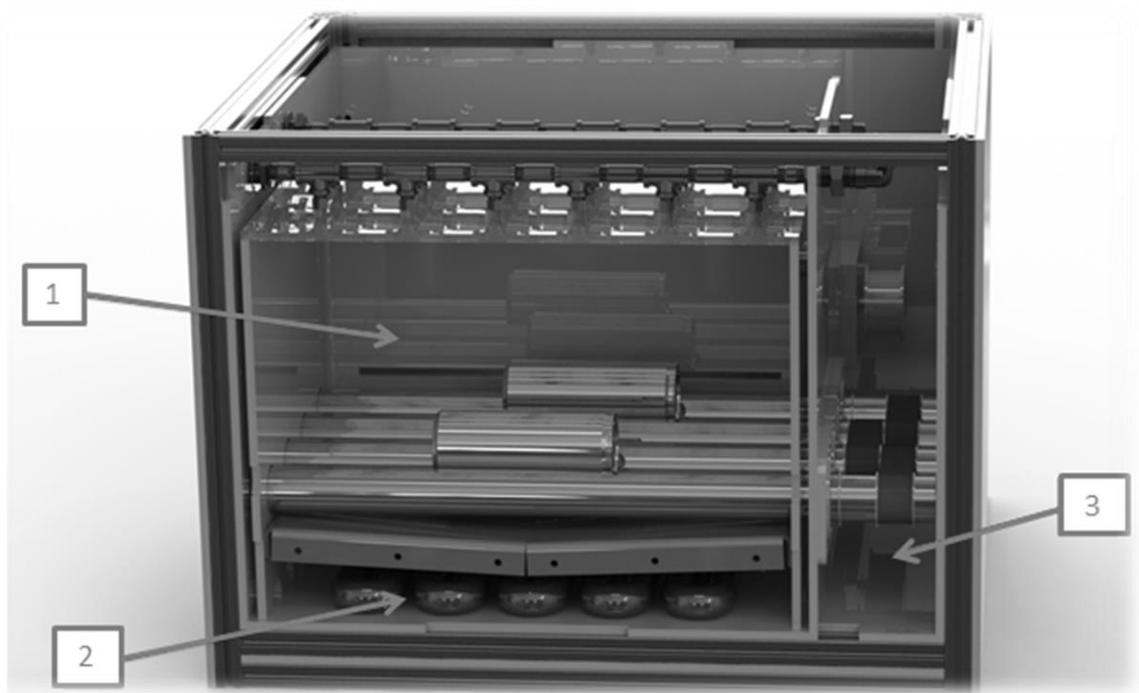


Figura 66. Cámaras Componentes dentro del Polar Roller

La primera cámara contiene los cuatro rodillos y es visible para el usuario. Este espacio es suficiente para la colocación de las bebidas a enfriar (9 latas de 355 ml o 2 botellas de 750 ml).

La segunda cámara, sellada y aislada en sus paredes exteriores, rodea a la primera cámara e incluye el colector para, aproximadamente, 10 litros de refrigerante. Aquí, con el

evaporador del sistema de refrigeración sumergido dentro de la solución, se alcanzan temperaturas de hasta -20°C para tener listo el refrigerante para su utilización. Una bomba sumergible toma el refrigerante desde el fondo y lo lleva al sistema de tuberías ubicado en la parte superior e interna del dispositivo para alimentar los aspersores para el baño frío.

Las dos primeras cámaras están conectadas entre sí por un orificio que permite el paso del refrigerante, previamente utilizado, desde la primera cámara hacia la segunda, para su reutilización.

La tercera cámara se encuentra totalmente sellada y aislada de las otras dos ya que aloja el sistema de transmisión por bandas planas que dan movimiento a los rodillos. Estos son soportados por rodamientos con tapas plásticas, no solo para permitir el giro con una fricción reducida, sino para evitar el paso del refrigerante hacia este espacio que debe de permanecer seco.

El marco del chasis está construido con perfiles “t-slot” de aluminio de 1”x1” y las paredes están fabricadas a partir de paneles de $\frac{1}{4}$ ” de Pe-HD (poliestireno de alta densidad). Se colocó una pared interna para generar un espacio donde el aislamiento térmico pudiera ser ubicado. Este material fue seleccionado a partir de su alto valor estético, excelente resistencia química hacia el propilenglicol y la larga durabilidad superficial.

Para obtener el aislamiento térmico con el exterior, se utilizó un relleno, dentro de la pared doble, de 1” de espesor de espuma extruida de poliestireno, ideal para esta aplicación. (Figuras 61 y 62).



Figura 67. Colocación de Paredes de PE-HD

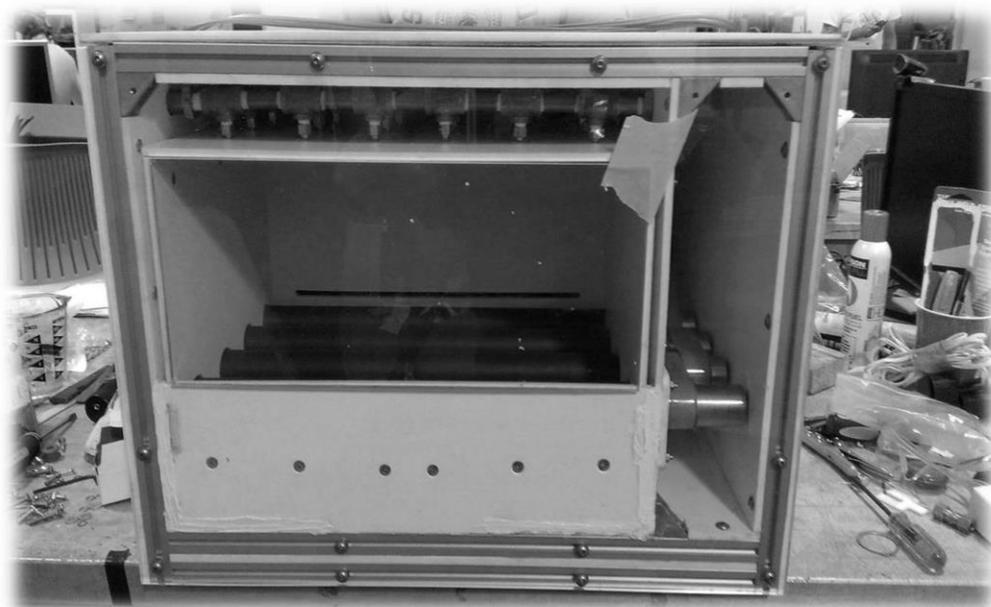


Figura 68. Ensamble Final de Chasis

Sistema de bombeo y baño

Este sistema consiste en una bomba sumergible ubicada dentro del colector con refrigerante. Esta se conecta, a través de una manguera, a 3 tuberías que contienen 6 salidas tipo “Jet”, cada una, en serie y que se ubican en la parte superior-interior de la primera cámara del Polar Roller para lograr el baño frío sobre las bebidas en los rodillos (Figura 63). Se prefirió un baño a baja presión, en vez de uno a alta, porque, con esto, se obtuvo una mejor cobertura del área superficial del contenedor de la bebida.

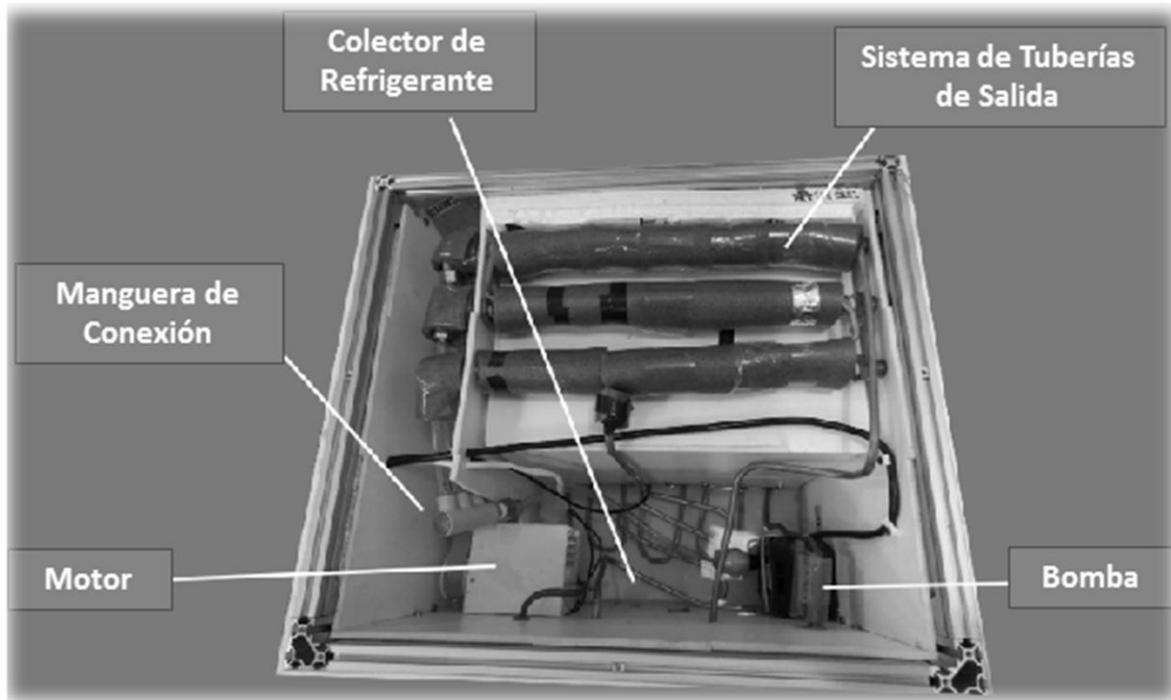


Figura 69. Sistema de Bombeo y Baño

Las características de la bomba utilizada en este sistema son: potencia de 1 HP a 1 A y 120 V, flujo máximo de 0.6 l/s y salida a $\frac{3}{4}$ ". Relacionada directamente a esto, está la concentración de la solución de propilenglicol y agua ya que la viscosidad, interpolada entre datos de una concentración a 30% y otra a 0% (según datos de Fermilab), de esta sustancia representa el valor máximo posible para el funcionamiento de la bomba.

Este sistema podría ser más robusto para permitir el uso de refrigerantes con mayor viscosidad y tener un flujo máximo mayor. Con esto, el sistema podría contar con una concentración de propilenglicol mayor en el refrigerante para poder alcanzar puntos de congelamiento menores y así aumentar la velocidad de enfriado. Aun así, por restricciones

geométricas y presupuestales, se tomó la decisión de mantener las variables en el estado actual.



Figura 70. Bomba Utilizada para el Sistema Polar Roller

Las salidas del tipo “Jet”, para el baño frío a baja presión, se construyeron a partir de boquillas de bronce conectadas a niples de cobre que se ajustaron en conectores “T” de bronce (Figura 65). El diámetro de la tubería que alimenta estas salidas es de $\frac{1}{4}$ ” con reducciones a $\frac{1}{8}$ ” con cada “T”. Las boquillas de cobre llevan a una última reducción a $\frac{1}{16}$ ”.

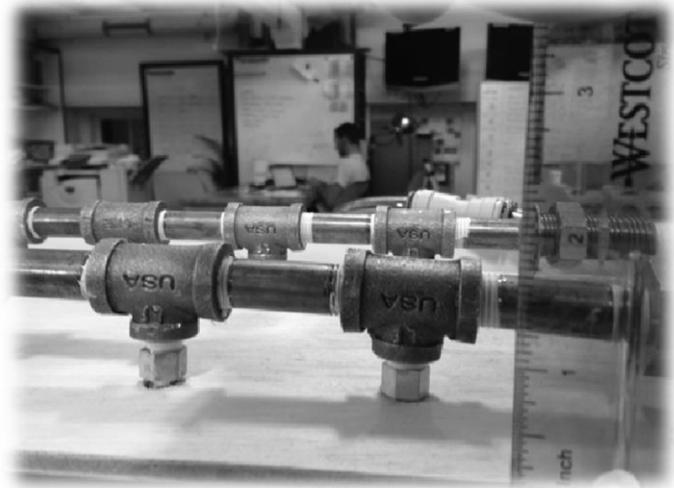


Figura 71. Salidas tipo “Jet”

La naturaleza metálica de las tuberías permitía la transferencia de calor, y un eventual aumento de temperatura, del ambiente hacia el refrigerante, antes de que éste fuera utilizado. Por esta razón, se colocó un aislamiento térmico alrededor de las tuberías.

Sistema de Transmisión de Potencia

El Polar Roller utiliza un motor AC para hacer girar una serie de rodillos de acero inoxidable ($\varnothing 1.375''$) a través de una transmisión por poleas y bandas plana. Este motor, con una velocidad angular de 200 rpm, está montado en la pared trasera de la segunda cámara de todo el dispositivo. La colocación alternada de las bandas permite la no utilización de tensores dentro del sistema y la colocación de anillos de retención a los lados de las mismas hacen que siempre estén alineadas. Los rodillos hacen rotar las bebidas a una velocidad de entre 150-180 rpm, dependiendo del diámetro del contenedor y están cubiertos de tubo termo-contráctil para mejorar el agarre (aumento de fricción) entre el acero y los contenedores, así mismo, este material previene la corrosión.

Los rodillos se anclan al sistema por medio de rodamientos de bolas de garganta profunda con caras selladas por neopreno, estos mismos evitan que el refrigerante de la segunda cámara pase a la tercera y empape al sistema de transmisión de potencia.



Figura 72. Sistema de Transmisión de Potencia por Bandas Planas

La correcta alineación de los rodillos es un factor muy importante ya que un pequeño desvío causa que las bandas se salgan de su lugar y detengan la rotación, imprimiendo demasiado esfuerzo sobre el motor. Para controlar esta variable, se colocaron unos topes de PVC entre las paredes y las bandas para mantenerlas en su lugar.



Figura 73. Motor AC Utilizado para Mover el Sistema de Transmisión

El diseño y construcción del Sistema de transmisión se vio fuertemente afectado por la disponibilidad de partes comerciales que satisficieran las necesidades técnicas requeridas. Las correcciones a lo ya manufacturado podrían incluir: adelgazamiento de los rodillos y el uso de materiales plásticos en su manufactura, cambiar las bandas planas por bandas en “V” que se auto alinean y no patinan. Estos cambios generarían una mayor durabilidad y mejorarían las características anticorrosivas del sistema. El sistema de alineación de los rodillos podría tener un diseño mucho más robusto para mejorar su confiabilidad. Al cambiar el sistema de sellado entre cámaras por rodamientos se puede evitar que, al tener aunque sea una gota de agua en su interior, aumenten la fricción de los rodillos y los esfuerzos hacia el motor, las poleas y los rodillos.

Sistema de Refrigeración

Con el fin de enfriar la solución de propilenglicol-agua hasta la temperatura necesaria para la operación del Polar Roller, se utilizó un sistema de refrigeración por compresión (hecho a la medida) estándar con R-134A como refrigerante. El evaporador de este sistema entra directo a la segunda cámara del Polar Roller y se sumerge en la solución para disminuir su temperatura por medio de un mecanismo de conducción y convección natural, teniendo, al mismo tiempo, un termopar que retroalimenta el sistema de control con la temperatura real del propilenglicol y agua para así poder calcular el tiempo de enfriamiento necesario para cada proceso.

En la figura 72 se pueden observar 2 compresores (uno disponible y otro de repuesto) de ½ HP de potencia a 60Hz que dan servicio al sistema de refrigeración del Polar Roller.

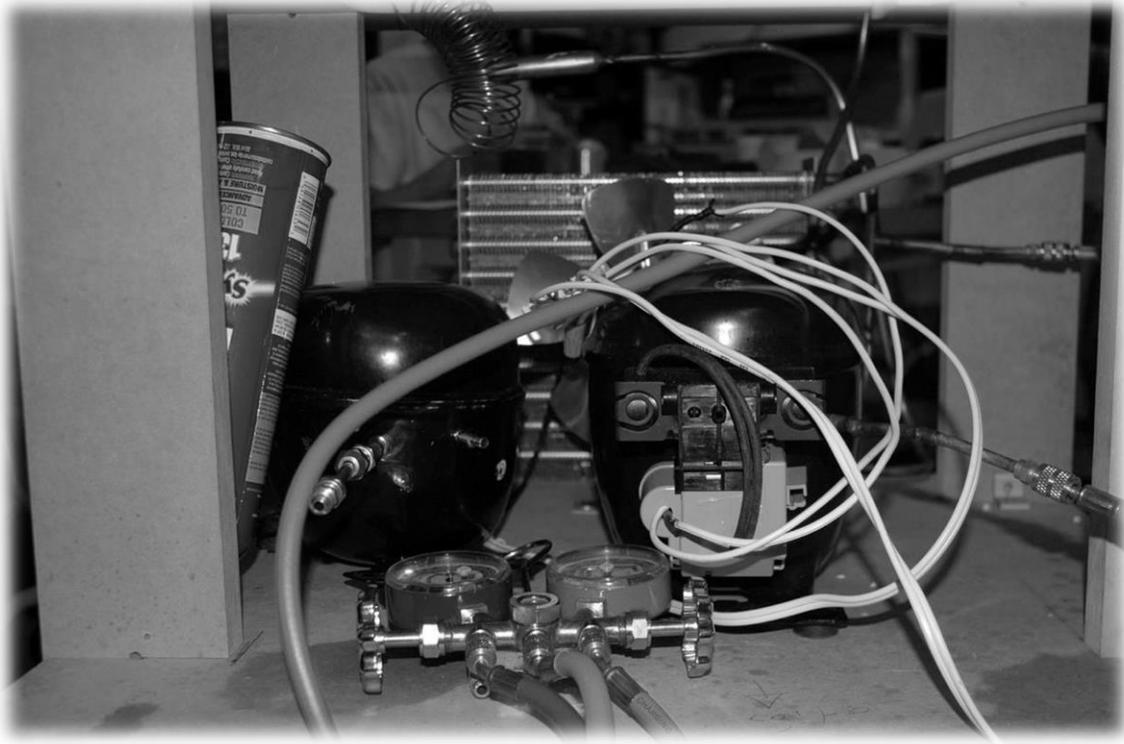


Figura 74. Sistema de Refrigeración

Marco Estructural y Paneles

El chasis y los paneles que soportan al dispositivo de enfriamiento se construyeron con la intención de simular cómo se vería un refrigerador Mabe en un futuro al seguir el concepto de reducción de espacios por inclusión del Polar Roller. Las dimensiones totales de este refrigerador (simulador) están dadas en la Figura 69.

Medidas en cm.

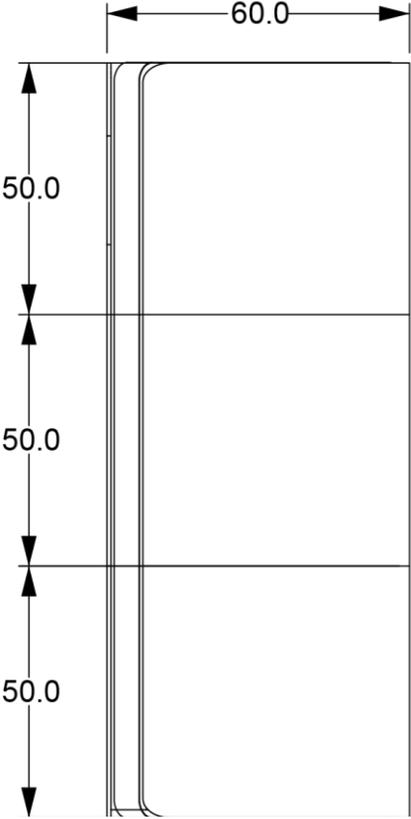
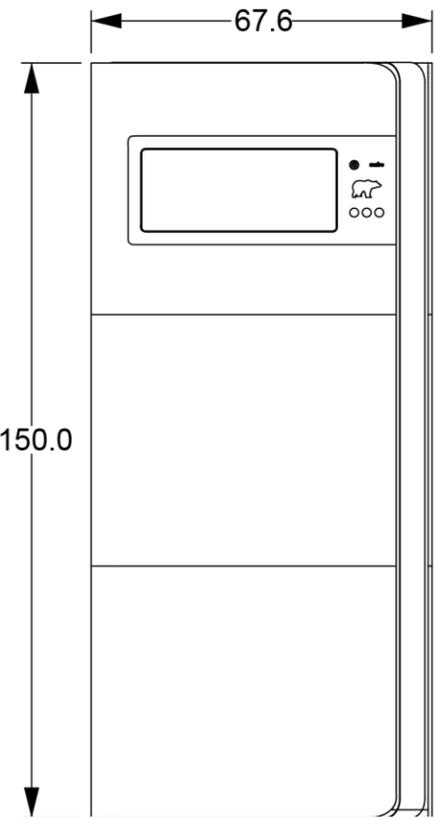
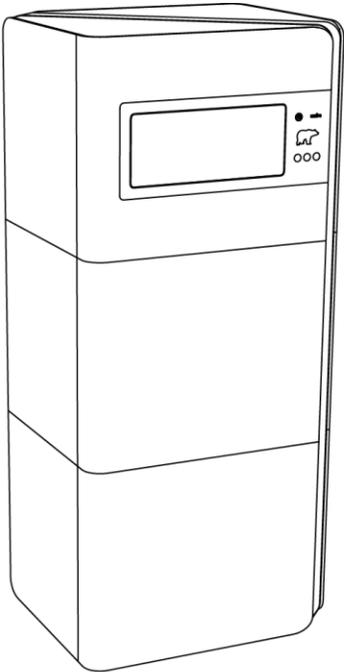
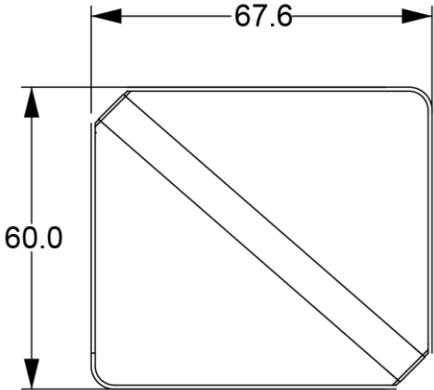


Figura 75. Medidas Generales para Marco Simulador

El diseño del marco de este simulador se vio restringido por factores externos al producto y relacionados con la portabilidad necesaria para su traslado por avión desde la Ciudad de México hasta Stanford University. Las características más importantes son la capacidad de desensamble y ensamble rápido, el control del peso y la intercambiabilidad de sus componentes. En el esquema presentado en la Figura 70 se presenta el marco ensamblado del Polar Roller.

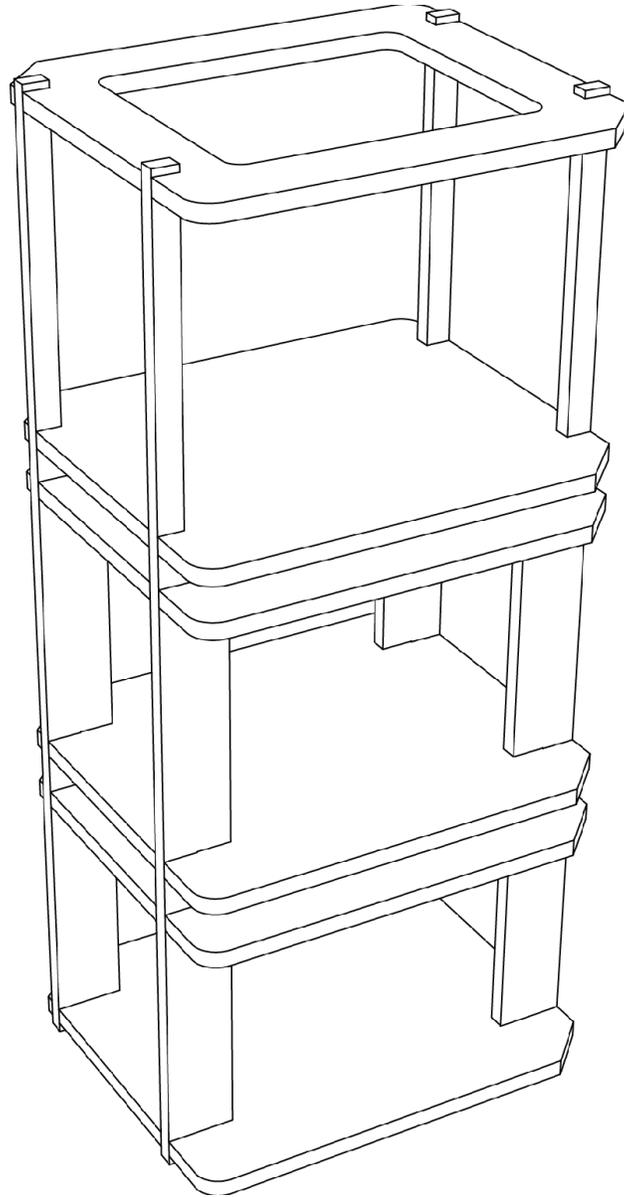


Figura 76. Ensamble de Marco Simulador

El material utilizado para el chasis es MDF (fibra de madera de mediana densidad, por sus siglas en inglés) ya que cuenta con una versatilidad y una facilidad de maquinado (en este caso por CNC) muy alta.

El chasis está compuesto por 4 estructuras verticales y 6 láminas horizontales que se ensamblan entre sí para formar distintos niveles. El nivel superior aloja al Polar Roller, el de en medio al sistema de refrigeración y el inferior a los circuitos electrónicos y componentes mecatrónicos. Ningún ensamble en la estructura necesita de uniones permanentes, lo que permite un ensamble y desensamble rápido y ahorra tiempo durante la construcción del prototipo.

Los paneles que, de forma independiente, cubren el marco se diseñaron con la intención de hacer el prototipo vistoso e imitar a un producto real. El diseño de estos elementos incluyó, de nuevo, un sistema de ensamble sencillo, al utilizar cinta doble cara de alta resistencia para sostener las piezas y clavijas para madera para restringir cualquier movimiento. Con esto se permitió el quitar o poner solo los paneles necesarios, para poder manipular los elementos del interior, de manera rápida y con la menor cantidad de ajustes.

El material seleccionado para los paneles exteriores fue PVC, un material perfecto para ser cortado y lograr los dobleces buscados. El color, blanco, se utilizó con fines de dar una experiencia limpia y proyectar una estética minimalista. Un esquema del ensamble de los paneles en el marco se puede observar en la Figura 71.

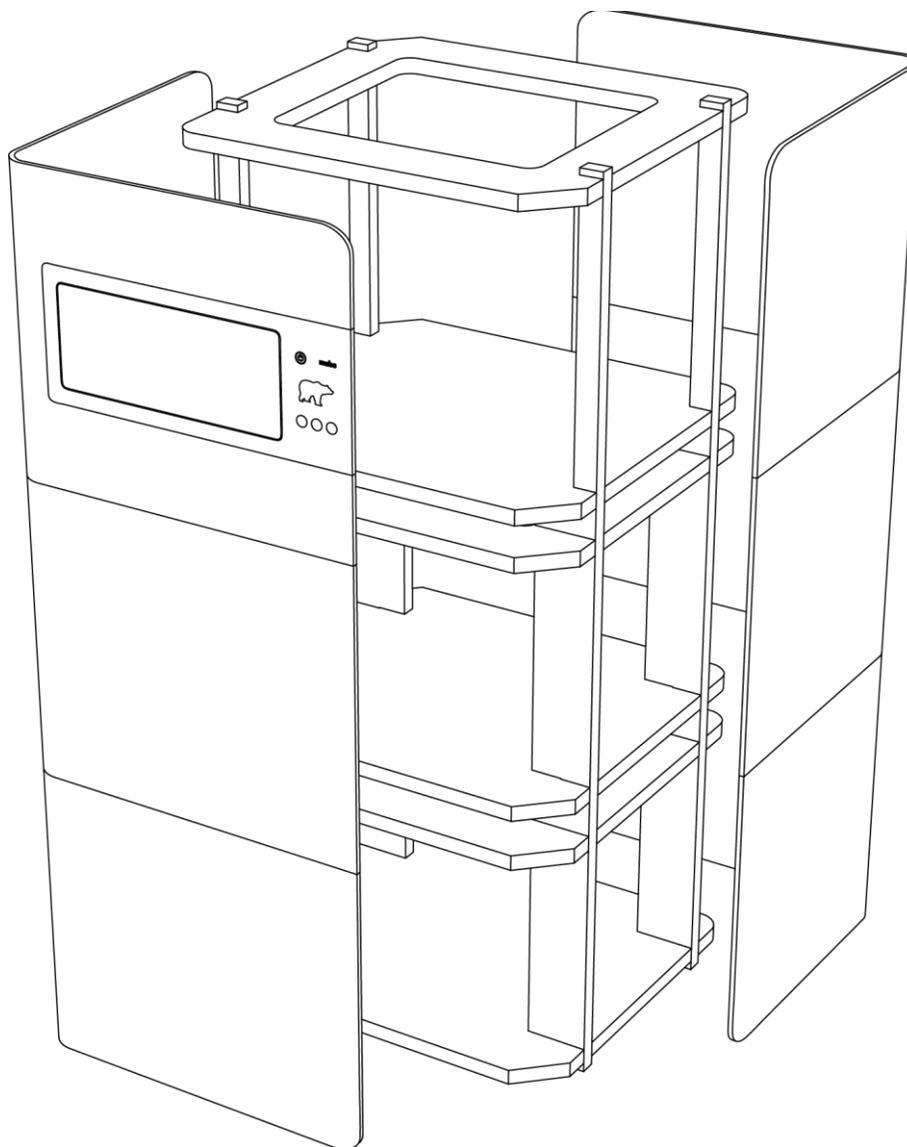


Figura 77. Ensamble de Paneles y Marco Simulador

En la parte inferior-trasera, se ubica una placa enrejada de acrílico (con el logotipo de Mabe calado) a la altura del condensador del sistema de refrigeración para permitir la salida del aire caliente del sistema.



Figura 78. Placa Trasera de Ventilación

A partir de las observaciones previas al diseño se definieron las medidas ergonómicas (entre 150 y 168 cm de altura) que permitirían a los usuarios el colocar las bebidas dentro del Polar Roller de forma cómoda e intuitiva. La decisión final arrojó una altura de 140 cm que se encuentra dentro del 50^{avo} percentil estadounidense y el 97^{avo} percentil mexicano de población adulta.

Se instaló, utilizando bisagras abatibles, una puerta horizontal que cubre la entrada al espacio para enfriar las bebidas y producir hielo (segunda cámara de Polar Roller). Una manija metálica, congruente con la estética del producto, se colocó en la parte superior para la manipulación de este elemento.

El concepto de diseño implica el proveer un producto futurista con dimensiones reducidas, de acuerdo a las tendencias de diseño de cocinas.

Interfaz

Para el diseño visual de la interfaz, se agregó un conjunto de botones muy intuitivos (utilizando el símbolo de una lata, una botella y un cubo de hielo), localizados en una zona visible justo a la derecha de la puerta del Polar Roller. El botón de encendido y apagado, ubicado en la parte superior izquierda de la interfaz, activa la selección de las tres opciones que da el Polar Roller (enfriar latas, enfriar botellas o hacer hielo). Un indicador de luz, con la forma del logotipo del Polar Roller, se enciende en el momento en el que el proceso inicia y se va desvaneciendo hasta cumplir con el tiempo requerido, en este momento suena una alarma para avisar que las bebidas están listas para el consumo.

La tecnología utilizada para los botones se basa en el uso de cristales recubiertos por óxido de indio y estaño para generar sensores capacitivos que se activan con el contacto de la huella humana. Una luz indica la selección y permanece prendida hasta el final del proceso.



Figura 79. Interfaz Táctil

Cilindro de Hielo

Los cilindros de hielo, utilizados por el Polar Roller, es una pieza que mezcla la ingeniería con la estética y tiene dos funciones principales:

- Almacenaje de agua en su interior, eliminando cualquier fuga.
- Capacidad de fácil apertura.

Para generar estas dos funciones, los cilindros de hielo fueron diseñados como 3 piezas:

- Cilindro de acero inoxidable con diámetro nominal de $\frac{1}{2}$ " con una longitud de 15.20 cm y un espesor de 1mm.
- Sello circular (\varnothing 4.1 cm) de uretano grado alimenticio para cubrir la parte inferior del cilindro y prevenir fugas.
- Esqueleto/molde de uretano grado alimenticio, capaz de alojar 9 cubos de hielo (100 ml) con un diámetro de 3.8cm y una agarradera en la parte superior de 4.1 cm de diámetro.

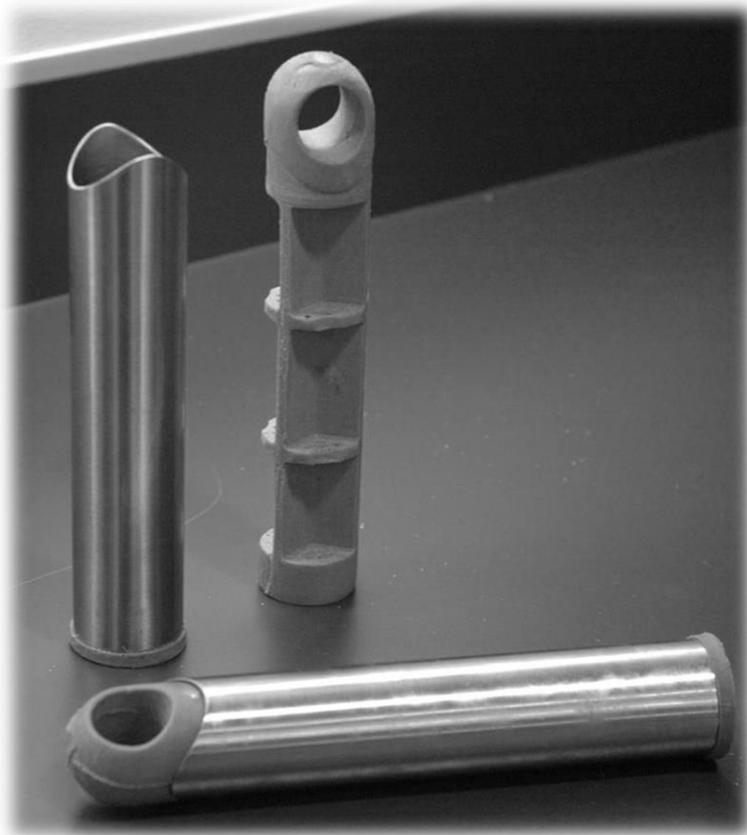


Figura 80. Cilindros de Hielo (Cilindro de Acero Inoxidable, Esqueleto de Uretano y Ensamble)

Los requerimientos funcionales cubiertos por este elemento son:

- Confinamiento de líquidos
 - Sello hermético durante el uso, dado por el contacto del uretano y el acero inoxidable.
 - Capacidad de 100 ml de agua, características geométricas.
 - Molde diseñado para resolver la separación del agua para cada cubo de hielo dentro del cilindro.

- Facilidad de apertura
 - Baja fricción entre el cilindro y el molde de uretano cuando están a bajas temperaturas.
 - Bajos niveles de contracción volumétrica, generada por el frío, del acero inoxidable.
 - Agarradera ergonómica en el molde para una manipulación sencilla por medio de tracción.

Modelo Final de Transferencia de Calor

El modelo de transferencia de calor utilizado para el cálculo del tiempo de enfriamiento de las bebidas es el mismo que se presentó en las páginas 90-94, pero incluye un factor de ajuste, calculado de manera experimental, al final de la metodología.

En la Tabla 9 se presentan las propiedades asumidas, de una bebida enlatada de 355 ml, una botella de vino blanco de 0.75 l y del cilindro para hielos, que se utilizaron en este modelo:

Tabla 14. Propiedades Físicas Asumidas para Modelo Térmico Final

Propiedad	Lata 355 ml	Botella de vino 0.75 l	Cilindro para hielos
Diámetro del contenedor (<i>cm</i>)	6.6	7.5	3.81
Velocidad angular-rotación (<i>rpm</i>)	150	132	260
Masa (<i>kg</i>)	0.3864	0.8831	0.0999
Área superficial total (<i>m²</i>)	0.0234	0.0471	0.0135
Temperatura final deseada (°C)	6	10	0

Este modelo fue construido en un código computacional (MATLAB) que permite al programador elegir entre 4 opciones: calcular la temperatura de congelamiento del refrigerante (dependiendo de su concentración), calcular las propiedades térmicas del refrigerante, calcular el tiempo que toma el enfriar una lata o una botella de vino o congelar un cilindro de hielo y calcular la temperatura de una bebida después de un periodo de tiempo definido.

Pruebas y Calibración

Para calibrar el modelo teórico para su utilización en el proceso del Polar Roller, se necesitó incluir un factor de ajuste en las Ecuaciones 13 y 14.

La metodología utilizada para calcular este factor se describe a continuación:

1. Se colocaron varias muestras, dentro del Polar Roller, para cada tipo de bebidas, al mismo tiempo:
 - 5 para bebidas enlatadas
 - 1 para botellas de vino
 - 2 para cilindros de hielo
2. Medición inicial de temperatura de cada muestra.
3. Activación del proceso de enfriamiento y medición de la temperatura del refrigerante en función del tiempo transcurrido.
4. Remoción de una muestra después de un intervalo de tiempo constante.
 - Cada 20 segundos para las bebidas enlatadas
 - 3 minutos para la botella de vino
 - Cada 45 segundos para un cilindro de hielo

Los resultados experimentales de la calibración se presentan en las Figuras 75, 76 y 77:

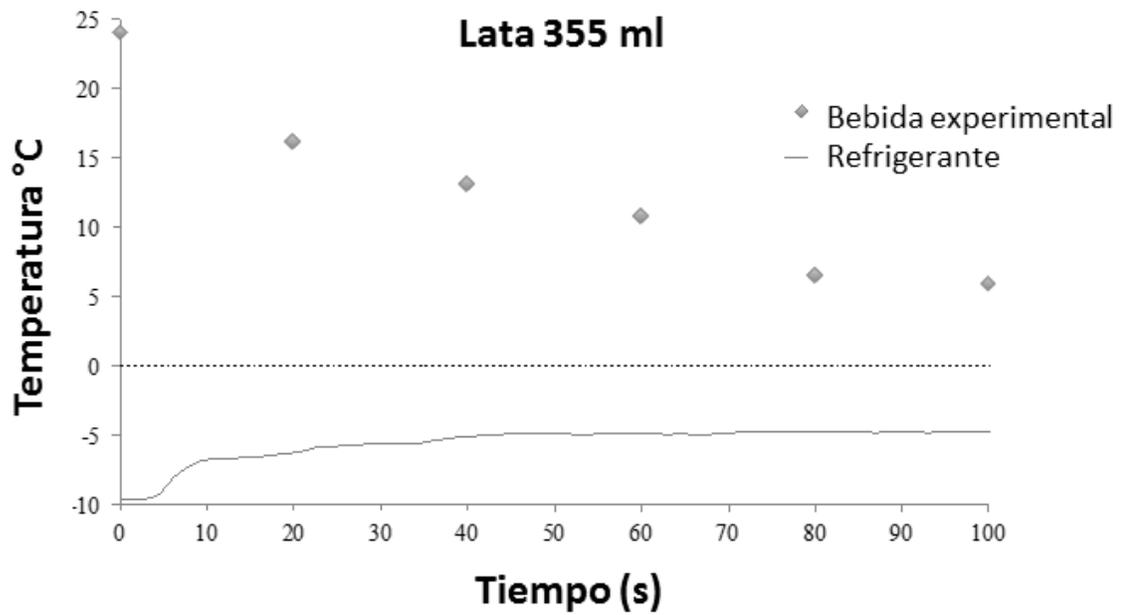


Figura81. Resultados Experimentales para Lata 355 ml.

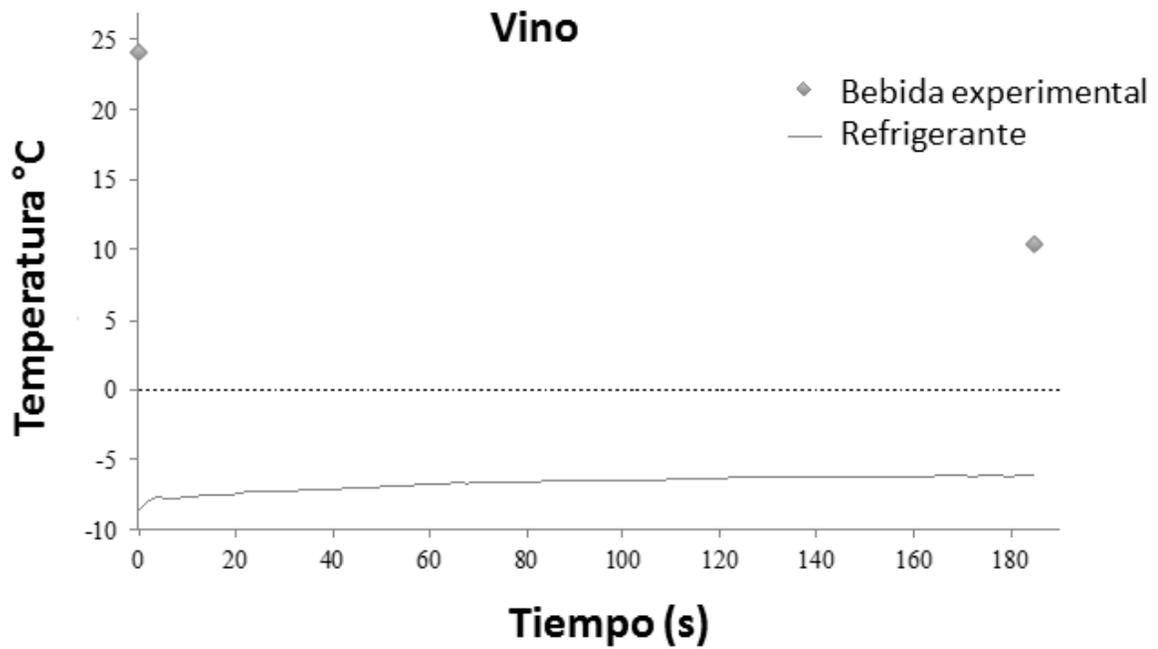


Figura 82. Resultados Experimentales para Vino.

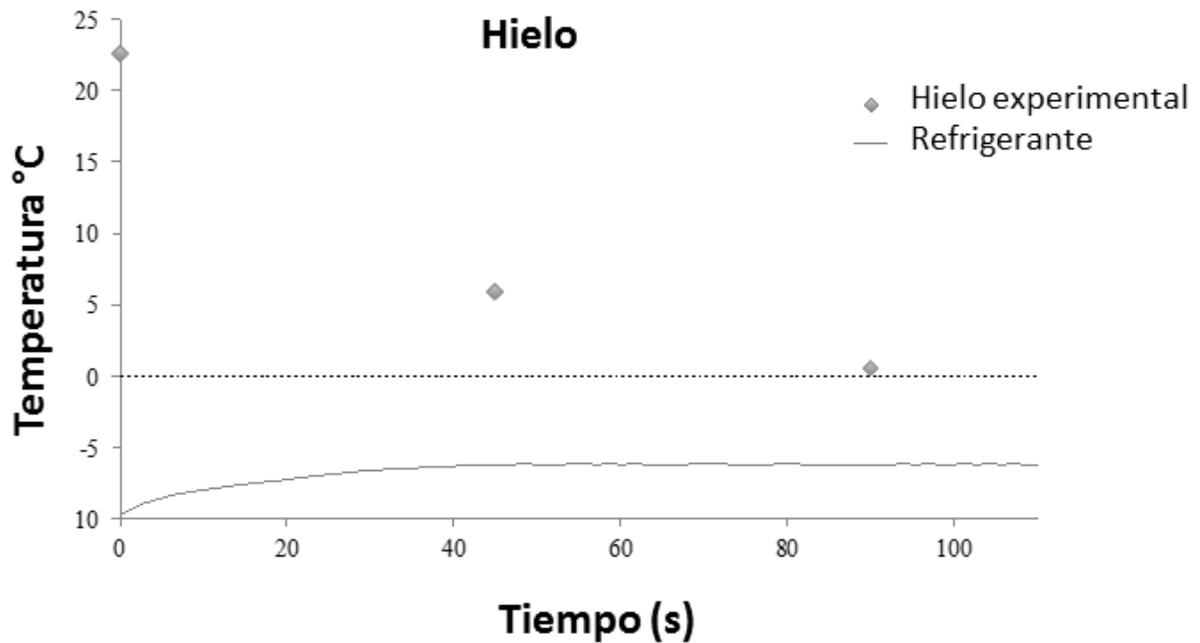


Figura 83. Resultados Experimentales para Cilindro de Hielo.

La primera observación fue que la temperatura del refrigerante se incrementa de forma abrupta al principio del ciclo y se estabiliza unos cuantos grados Celsius más arriba. Esto se debe a las lecturas, del termopar, de temperaturas en ciertos puntos aislados del refrigerante, antes de ser bombeado. Para simplificar el modelo, se calculó el promedio de temperatura del refrigerante durante el ciclo y esta temperatura se utilizó para calcular las propiedades térmicas resultantes del refrigerante. Estos datos se incluyeron en un código de MATLAB para calcular h .

Con todos estos valores, se calcularon las temperaturas para un sistema 100% eficiente, para cada bebida, utilizando las Ecuaciones 13 y 14. Se puede observar en las Figuras 78, 79 y 80 el comportamiento de estas variables (Modelo 100%).

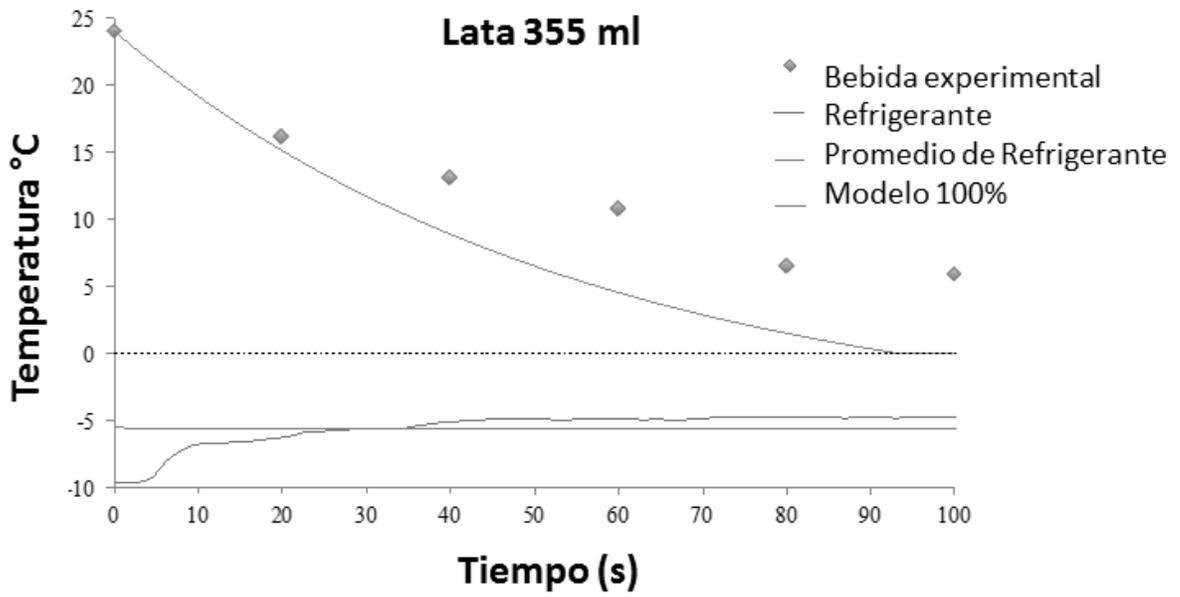


Figura 84. Resultados Experimentales para Lata 355 ml vs Modelo 100%.

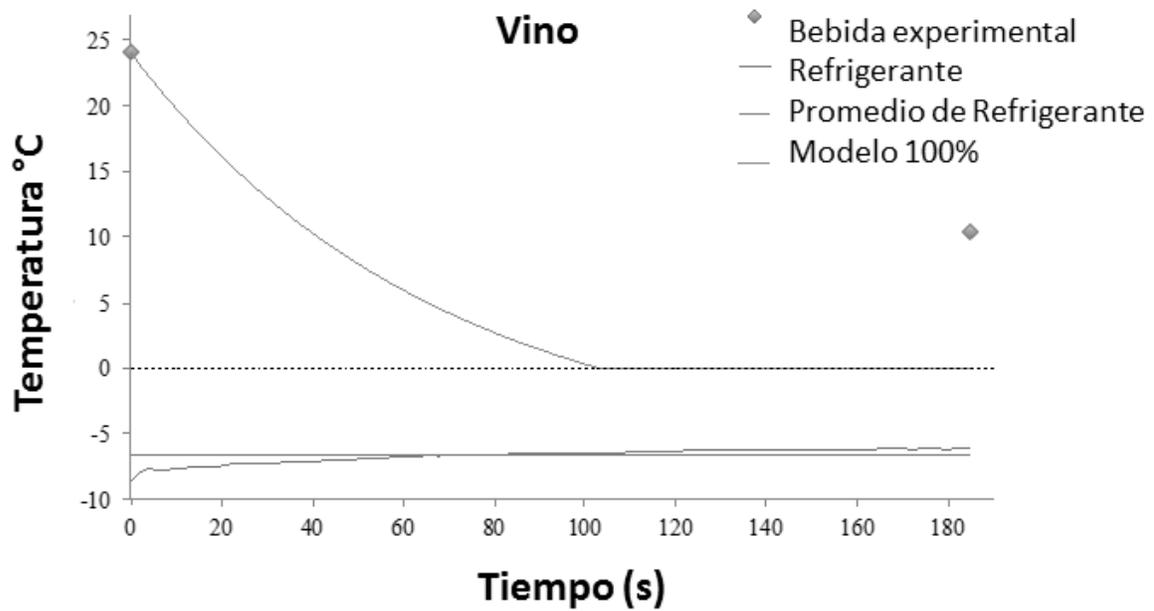


Figura 85. Resultados Experimentales para Vino vs Modelo 100%.

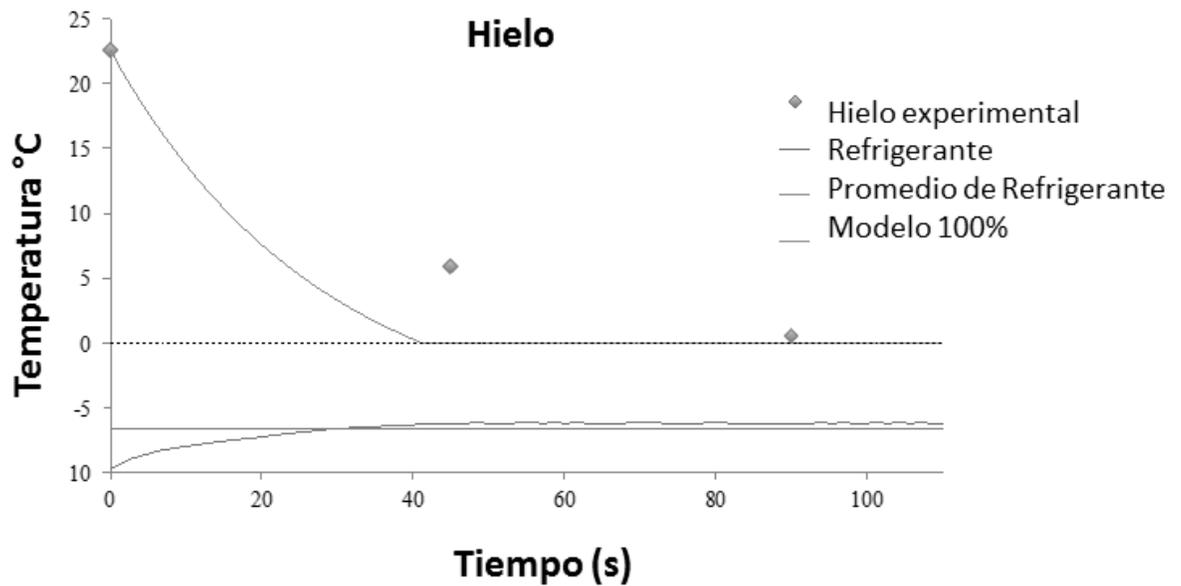


Figura 86. Resultados Experimentales para Cilindro de Hielo vs Modelo 100%.

Como era de esperarse, existe una desviación en el tiempo que toma alcanzar ciertas temperaturas para cada tipo de bebidas (como resultado de las premisas establecidas en el modelo teórico, así como el contacto con un área superficial menor al 100%). Para ajustar esto, se debe de utilizar un factor de ajuste “a” en las Ecuaciones (15) y (16) de tal manera que:

Ecuación 22. Tiempo de Enfriamiento

$$t_{cool} = -\alpha \frac{mC_{p,d}}{hA} \ln \left(\frac{T_f - T_c}{T_i - T_c} \right)$$

Ecuación 23. Tiempo de Congelamiento

$$t_{freeze} = -\alpha \frac{m}{hA} \left[C_{p,d} \ln \left(\frac{T_{freeze} - T_c}{T_i - T_c} \right) + \frac{L_f}{(T_c - T_{freeze})} \right]$$

Se pueden encontrar valores individuales de α , al dividir el tiempo que tomó, para los datos experimentales, alcanzar cierta temperatura entre el tiempo en el “Modelo 100%”, para la misma temperatura. El promedio de estos valores de a para cada bebida se presentan en la Tabla 10 y se incluyen en un código de MATLAB.

Tabla 15. Factores de Ajuste α

Tipo de Bebida	Factor de Ajuste α
Lata 355 ml	1.62921
Botella de vino	4.62291
Cilindros de hielo	2.83311

Los modelos calibrados de las Ecuaciones (15) y (16) se comparan con los datos experimentales para validar los resultados:

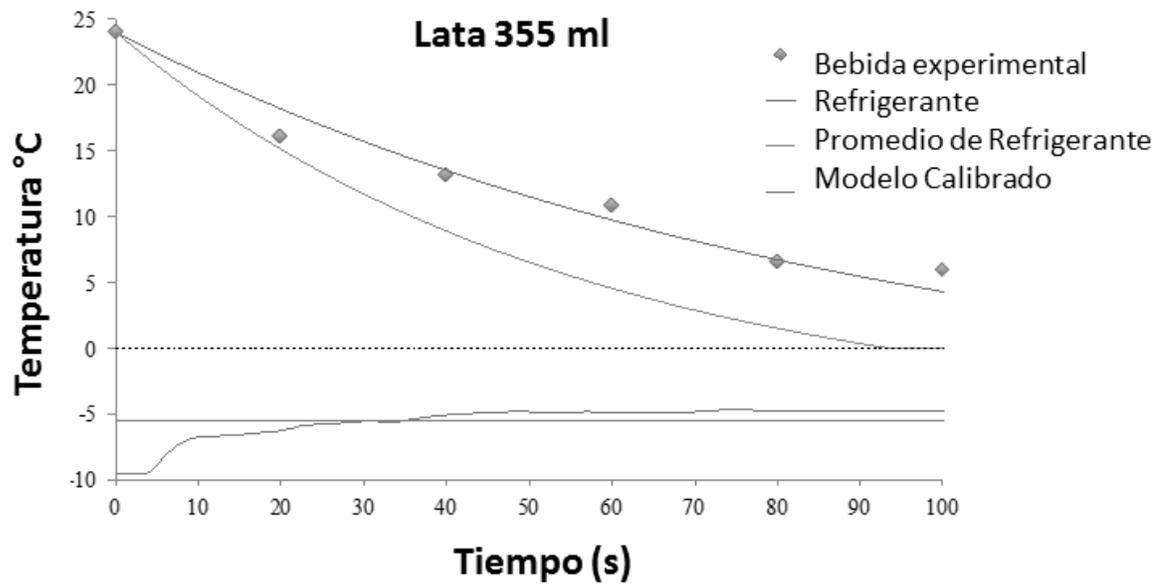


Figura 87. Resultados Experimentales para Lata 355 ml con Modelo 100% y Modelo Ajustado.

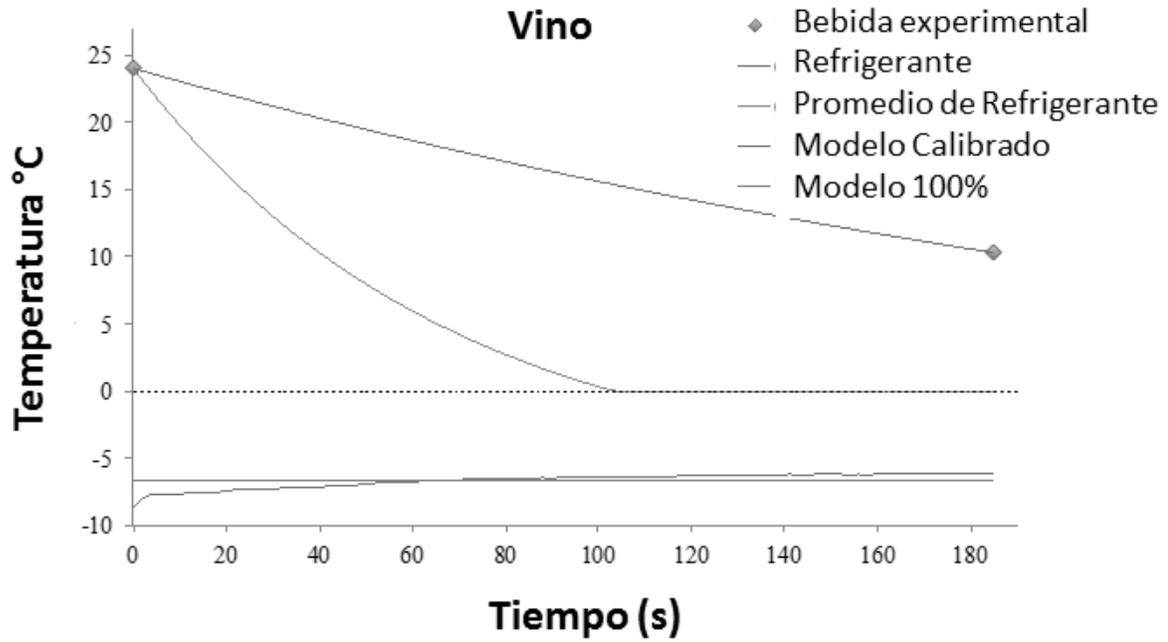


Figura 88. Resultados Experimentales para Vino con Modelo 100% y Modelo Ajustado.

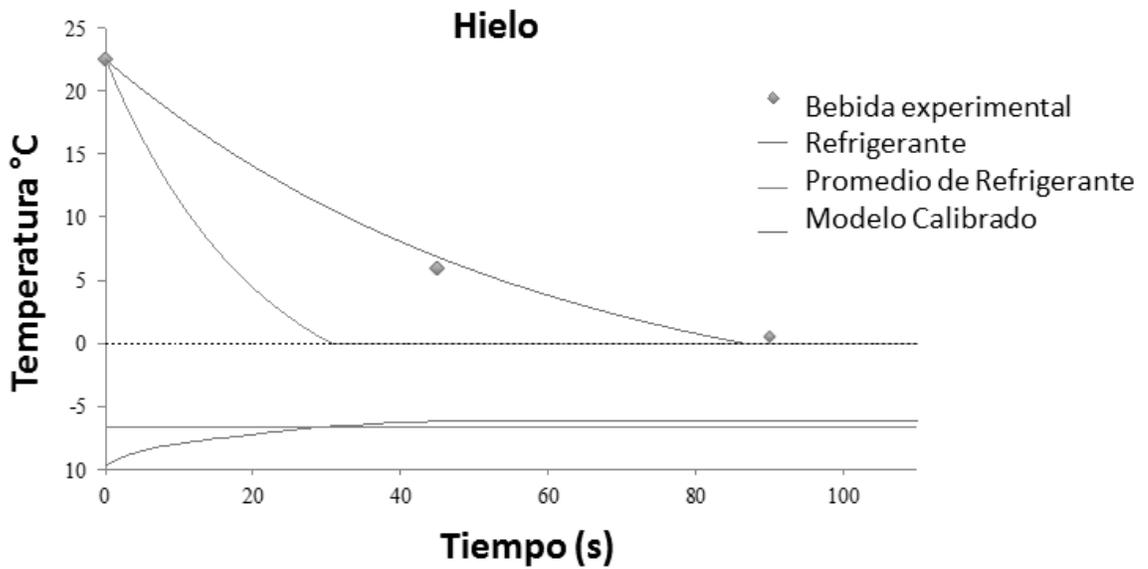


Figura 89. Resultados Experimentales para Vino con Modelo 100% y Modelo Ajustado.

Finalmente, para predecir la temperatura promedio del refrigerante, basándose en la temperatura del refrigerante estático, antes de activar el Polar Roller (para después calcular el tiempo de enfriamiento necesario), las temperaturas promedio e inicial de estos experimentos se convirtieron a Kelvin (para poder tener una referencia absoluta) y se compararon. Se encontró que una buena aproximación es:

Ecuación 24. Temperatura Promedio

$$T_{c,promedio} = \left((T_{c,estático} + 273) \times 1.0115 \right) - 273$$

Donde:

$T_{c,promedio}$ y $T_{c,estático}$ están medidas en Celsius

Utilizando este modelo, el Polar Roller puede recalculer el tiempo necesario de enfriamiento para cualquier tipo de bebida, dependiendo de la temperatura del refrigerante.

*Mejoras a Futuro*Oportunidades Funcionales

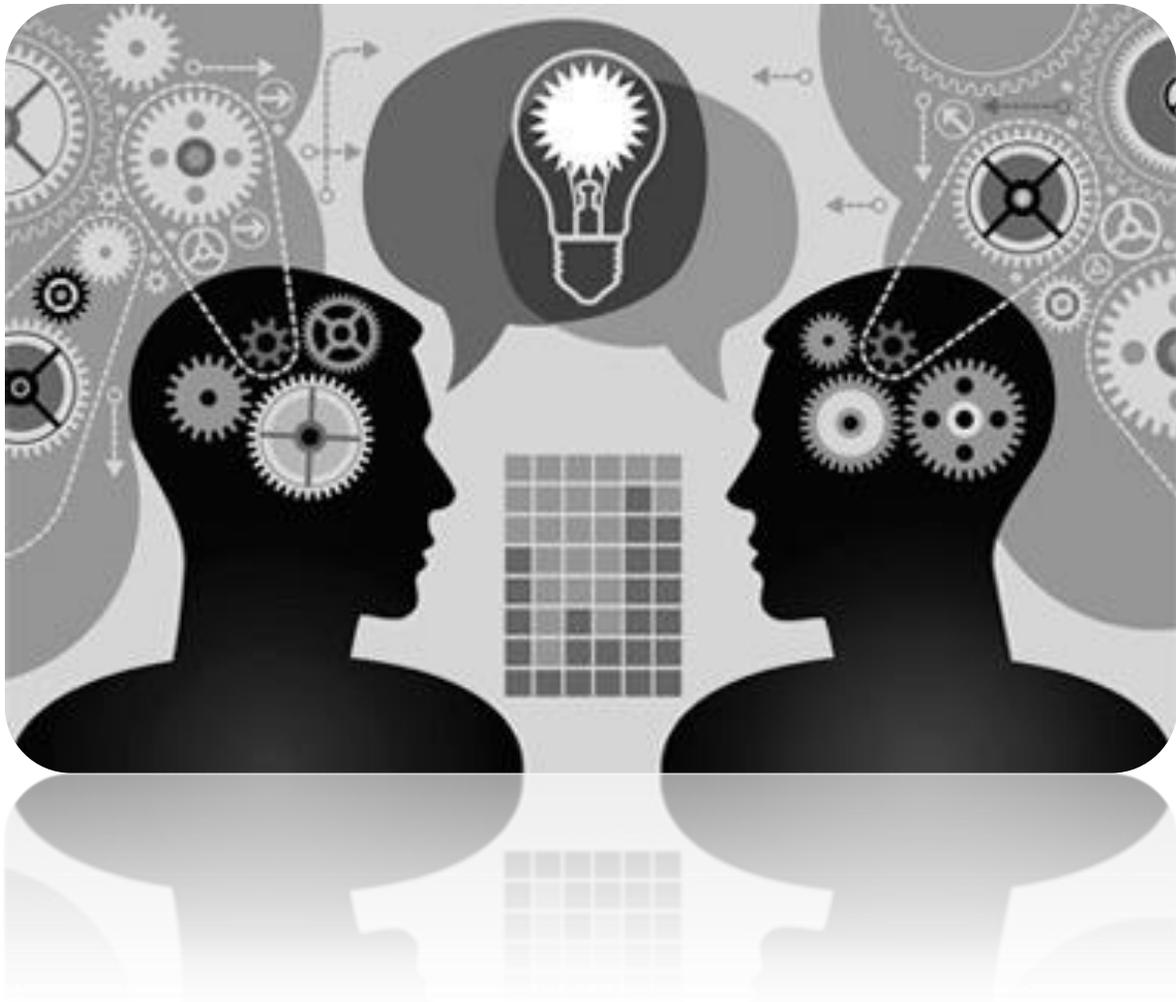
Tabla 16. Oportunidades Funcionales Futuras

Oportunidad	Fundamento
Los usuarios deberían de ser capaces de controlar qué tan frías quieren sus bebidas	No todas las personas gustan tomar sus bebidas a la misma temperatura, por lo que deberían de poder tener el control total del tiempo de enfriamiento del producto (al estilo de un microondas).
La producción de hielo debería de poder ser programada con anticipación.	La producción de hielo no es instantánea aún, por lo que el usuario debería de poder programar esta función como preparación para un evento.
Las bebidas deberían de estar limpias y listas para beber después del ciclo de enfriamiento.	Después del ciclo de enfriamiento, las bebidas deberían de estar igual de limpias y con las mismas condiciones a como entraron al Polar Roller, para convencer a los usuarios sobre la seguridad de ingesta.

Oportunidades Físicas

Tabla 17. Oportunidades Físicas Futuras

Oportunidad	Fundamento
Fácil mantenimiento	Las partes del sistema deberían de ser diseñadas de tal forma que se puedan desensamblar y ensamblar de forma sencilla para su mantenimiento o intercambio.
Procesos silenciosos	Un inconveniente de las fábricas de hielo actuales y del Polar Roller es el ruido que generan en el proceso de producción de hielo. Una máquina silenciosa mejoraría la experiencia general del producto.



5. Investigación del Pensamiento de Diseño

La sistematización de un “pensamiento para innovar” es uno de los objetivos perseguidos en esta tesis, por lo que es imperante entender los factores que, tanto positiva como negativamente, afectan a un proceso de diseño.

El siguiente análisis es un ejercicio aplicado al proceso llevado por el equipo de diseño en el proyecto “El Hielo del Futuro, que utiliza algunas herramientas obtenidas de investigaciones en el Centro de Investigación de Diseño en la Universidad de Stanford y que pretende ejemplificar el uso de métricas y métodos científicos para describir el *Pensamiento de Diseño* que ocurre en dicho proceso.

Para lograr este análisis se establecen dos preguntas a resolver que sirven como referencia para alcanzar los objetivos deseados:

- ¿Cuáles fueron las características del *Pensamiento de Diseño* durante el proyecto “El Hielo del Futuro”?
- ¿Cuáles son las características del concepto final y cómo cubre las necesidades de los usuarios y el cliente?

Análisis de Proceso

Modelo Unificado del Proceso de Innovación para Diseñadores y Equipo de Revisión

Para analizar el proceso que se llevó a cabo durante el proyecto “El Hielo del Futuro” se establece como referencia el “*Modelo Unificado del Proceso de Innovación para Diseñadores y Equipo de Revisión*” (MUPIDER) propuesto por Philipp Leo Stefan Skogstad en junio de 2009, en el que presenta una herramienta de comunicación entre los equipos de diseño y de revisión que representa y explica cómo afectan las acciones de cada participante, dentro del proceso de innovación. Así mismo, representa la esencia de cualquier proceso de diseño y muestra los puntos en los que los colaboradores irrumpen en el flujo de ideas, trabajo, síntesis y análisis.

Este método fue seleccionado ya que incluye a todos los participantes dentro de cualquier proyecto de diseño y lleva, a este último, a su máxima abstracción. Esta característica permite un estudio categórico de las actividades dentro de un proceso de diseño para poder conocer las relaciones y condiciones existentes entre individuos, ideas y resultados.

Existen tres funciones centrales dentro de este modelo: *Planeación*, *Ejecución* y *Síntesis*. Todas las fases de cualquier *proceso de diseño*, así como las actividades que implican, pueden abstraerse a una relación de estas tres. La cadena que aparece en la Figura 90, representa el proceso de diseño desde el principio hasta el final, yendo desde un “Deseo” (necesidades o problemas) hasta una “Solución”.

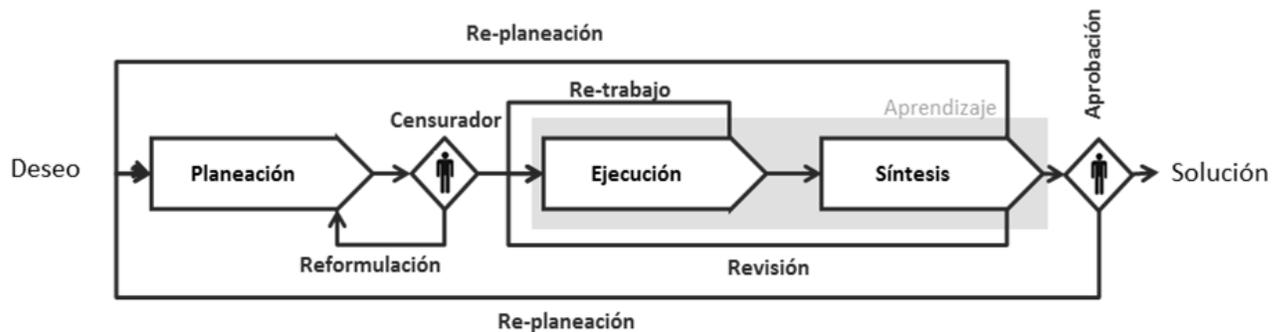


Figura 90. Modelo Unificado de Proceso de Innovación para Diseñadores y Equipo de Revisión

Las cadenas de actividades, que aparecen en los párrafos anteriores, están anidadas dentro de otras, lo que lleva a suponer que, por cada actividad en cierto nivel, existen una o más cadenas de actividades incluidas a niveles inferiores, apareciendo como patrones recursivos

Los nuevos conceptos son generados, por el equipo de diseño, a partir de la adquisición de nuevos conocimientos (insights) y sus combinaciones, por lo que maximizar la adquisición de éstos, se convierte en una actividad medular en el proceso. El análisis del proceso de varios proyectos ha demostrado que estos conocimientos son descubiertos en mayor número cuando una idea es probada (etapa de ejecución y síntesis) y no tanto cuando es debatida (etapa de planeación) [17].

Para entender este modelo, se reconoce al diseño como el resultado del trabajo de dos equipos principales cuyas actividades son interdependientes y que tienen distintas intervenciones dentro del proceso.

El primero es el Equipo de Diseño. Conformado por los sujetos que llevan a cabo las actividades de *planeación*, *ejecución* y *síntesis*. Existen diferentes características que definen sus pensamientos y comportamientos tales como la diversidad disciplinaria y cultural, la diferencia de edades, el trasfondo personal y las herramientas, tanto físicas como teóricas, que tienen disponibles.

El segundo es el Equipo de Revisión. Conformado por administradores, maestros o contrapartes corporativas, el equipo de revisión intercepta el proceso de diseño, esencialmente, en dos puntos: después de la actividad de planeación, al permitir la ejecución del enfoque construido, y al final del proceso de diseño, al aceptar o denegar la propuesta de solución.

La retroalimentación e iteración son los dos aspectos que permiten, a los diseñadores, el aplicar los *insights* para el avance del proceso. De aquí que el modelo tenga una naturaleza “circular”, expresada en los distintos retornos y revisiones de la Figura 90.

En la siguiente tabla se explica la aparición de los retornos en el proceso de diseño y sus implicaciones:

Tabla 18. Retornos en el Proceso de Diseño

Equipo	Elemento	Momento de aparición	Implicaciones
Diseño	Re-Planeación	Los resultados obtenidos de la síntesis son muy diferentes de los esperados.	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de un nuevo enfoque inicial de solución. • Nuevos conocimientos en la etapa de planeación.
	Revisión	El resultado de la síntesis no es suficientemente satisfactorio para utilizarse como solución, pero no está muy alejado.	<ul style="list-style-type: none"> • No cambia el enfoque inicial de solución. • Re-ejecución cambiando solo algunas variables.
	Re-trabajo	El resultado de la etapa de ejecución falla por alguna variable impredecible.	<ul style="list-style-type: none"> • No cambia el enfoque inicial de solución. • Ajuste de variables para poder llevar a cabo la etapa de ejecución de manera deseada.
Revisión	Reformulación (Censura)	Posterior a la etapa de <i>planeación</i> ; censura o permite el enfoque inicial establecido para la solución.	<ul style="list-style-type: none"> • Re-adaptación de las actividades de planeación según aspectos económicos y tecnológicos aceptables*.
	Re-planeación	Posterior a la etapa de <i>síntesis</i> ; aprueba o deniega el resultado obtenido al final del	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de necesidades satisfechas.

proceso.⁺

* A pesar de que el objetivo del “censurador” es mantener el proceso dentro de ciertos parámetros aceptables, muchas veces restringe la habilidad de los diseñadores de probar ideas nuevas para llegar a descubrimientos de diferentes *insights*.

⁺ En este punto aparece un aspecto muy relevante sobre el *Pensamiento de Diseño* el reconocimiento del fracaso como un camino a un mayor aprendizaje y no como un ente negativo que frena el proceso de diseño.

Tanto la *censura* como la *denegación*, en los procesos de diseño, deben de ir acompañados por la retroalimentación suficiente, por parte del equipo de revisión, para que el equipo de diseño retome la etapa de planeación con una mayor experiencia, mejores conocimientos y una moral alta.

Así mismo, el equipo de revisión debe de alentar el paso de la planeación a la ejecución, para lograr que el equipo de diseño obtenga el mayor número de *insights*. Aun así, es común que en la academia y la industria existan calendarizaciones, revisiones programadas, hitos y entregables que están diseñados para mantener los proyectos dentro de lo programado, siendo factibles y dentro del presupuesto. En estos casos, esta programación debe de ser meticulosamente diseñada para maximizar el número de ideas probadas, aunque estas sean arriesgadas a los ojos del equipo de revisión. Si ocurriera lo contrario, el proceso de diseño se desaceleraría a causa de un exceso de censura.

Relación entre MUPIDER y ME-310

El método ME-310 cuenta con 23 misiones a realizar durante todo un año (ver “Método ME-310 Mechanical Engineering 310”) y pretende ser un proceso iterativo que incluye los pasos más comunes en los modelos teóricos de desarrollo de producto basados en “Design Thinking”.

En la Figura 91 se muestra un diagrama en el que aparecen las misiones más representativas del ME-310 (se omiten las actividades de calentamiento por no pertenecer al proyecto en estudio) dentro del esquema de referencia del MUPIDER.

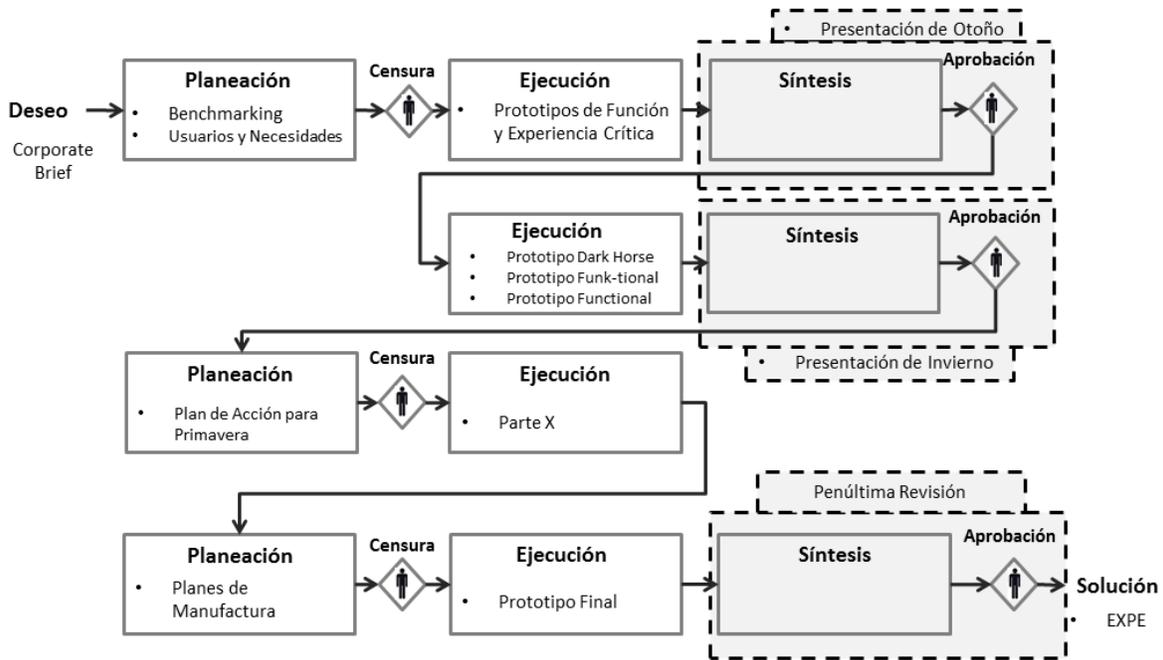


Figura 91. Esquema ME-310 en MUPIDER

Con esta representación, se clasifica, cada actividad del método dentro de los pasos presentados por el MUPIDER, mostrando de manera dinámica los bucles iterativos que ocurren en la forma más general del proceso.

Cada actividad se clasifica partiendo de la naturaleza del objetivo principal de la misma. Aun así, se reconoce que para cada actividad existen una o más cadenas de planeación-ejecución-síntesis anidadas, internamente.

Se puede observar que el método ME-310 está diseñado para maximizar la relación de ejecución-síntesis, durante la etapa divergente del proyecto (PFC/PEC – Dark Horse). Esto se relaciona totalmente a la adquisición de insights, a la exploración y a la tangibilización de ideas, contando con la respectiva aprobación al final de cada trimestre. Los retornos de *Revisión* y *Re-trabajo* son muy concurrentes por lo que el enfoque inicial de las ideas se vuelve evolutivo más no cambiante.

Durante la etapa convergente (Funk-tional – Producto Final) aparece una mayor cantidad de actividades de planeación ya que se requiere sintetizar todos los datos obtenidos previamente y así tomar las decisiones necesarias para desarrollar la solución de salida. En la aparición de estas etapas de *Planeación* aparecen varias nuevas opciones para la censura o permisión por parte del equipo de revisión, por lo que las decisiones que éste tome se vuelven críticas para el resultado final.

Cadenas Internas

A pesar de la existencia de una gran cantidad de métodos disponibles para cada etapa del proceso de desarrollo de un producto, el proyecto “El Hielo del Futuro” contó con un bajo nivel de diversidad en cuanto a herramientas exploratorias, ejecutivas, analíticas y sintéticas.

Este es un factor que afectó de manera negativa y muy importante al resultado del proceso ya que no se aprovecharon las ventajas que el uso de una alta diversidad metodológica permite.

Para cada “tarea” se utilizó el mismo proceso para la toma de decisiones (Figura 92), sin importar la naturaleza del reto que se presentara.

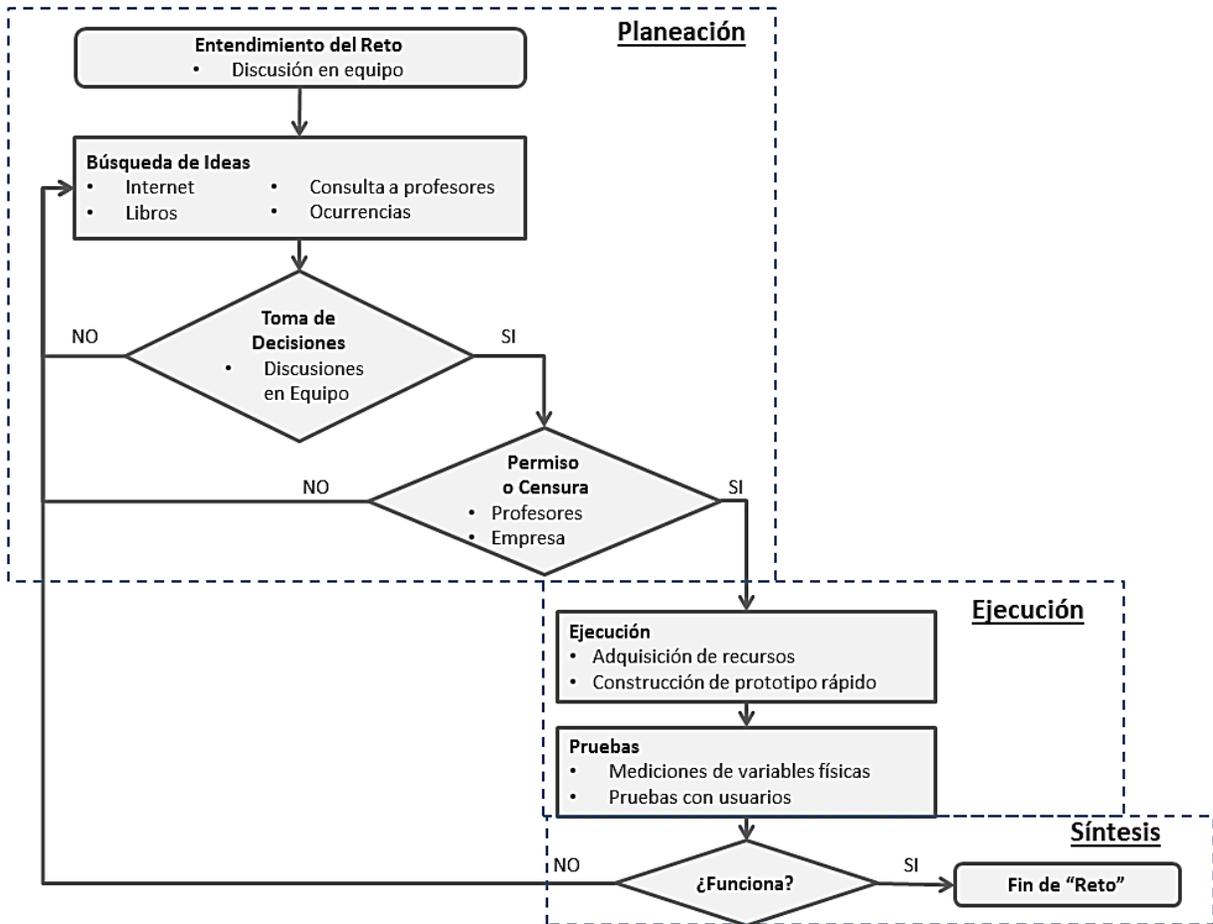


Figura 92. Proceso de Toma de Decisiones en "El Hielo del Futuro"

Planeación

Es esta etapa se incluye el análisis de la situación planteada y la ideación de uno o varios planes para poder llevar a cabo la etapa de ejecución.

El análisis de este proceso muestra que esta etapa no solo dependió de la capacidad de cada individuo para poder generar ideas, partiendo de cierta inspiración, sino que también se vio afectada por la diversidad y disponibilidad de ideas en los medios de comunicación (internet principalmente), de la eficiencia de la comunicación tanto, entre elementos del equipo de diseño, como entre equipos de diseño y revisión y de las ideas personales de cada individuo del proceso (diseño y revisión).

Las herramientas cognitivas utilizadas, por el equipo de diseño, en esta etapa fueron:

- Búsqueda mediática: Búsqueda de información en medios de comunicación, especialmente internet. Se incluye la revisión de artículos, páginas web, videos y programas de televisión.
- Búsqueda literaria: Búsqueda de información en libros y revistas (no siempre especializadas).
- Observación: Análisis presencial de una situación de la vida real, va más allá de solo utilizar el sentido de la vista e implica la comprensión de las acciones y los contextos que suceden en un espacio y tiempo definidos.
- Entrevista: Plática con personas involucradas directa o indirectamente con el proyecto con el fin de crear empatía.
- Encuesta: Cuestionarios previamente diseñados para poder obtener cierta información para su posterior análisis.
- Lluvia de ideas: Actividad en grupo donde se busca la libre expresión y registro de ideas con respecto a un tema.
- Ocurrencias Personales: El uso de la imaginación y el pensamiento para idear.
- Consulta a expertos: Pláticas con académicos o expertos en ciertos temas con el fin de obtener ideas.
- AEIOU: Método etnográfico para poder definir las Actividades, los ambientes, los objetos y los usuarios relacionados a un producto.
- Infografías: Herramienta pictográfica utilizada para representar la relación entre diversos conceptos y los datos que los fundamentan.

Al comparar la diversidad de herramientas utilizadas dentro de este proyecto con la cantidad de métodos disponibles, presentados por diversos autores dentro del portafolio teórico del *Pensamiento de Diseño*, para esta etapa, se puede calificar como *baja*. Este es

un factor muy importante ya que demuestra una baja apertura por parte del equipo de diseño a nuevos métodos y, por tanto, una exploración limitada del universo de opciones de solución. Esto conlleva a un entendimiento limitado del *espacio del problema*.

En la siguiente lista se nombran algunas de las herramientas disponibles y totalmente definidas, dentro del portafolio teórico del *Pensamiento de Diseño*, para la etapa de planeación/ideación:

- Shoshin
- Polinización Cruzada
- Superficie de Suposiciones
- Examinación de Fronteras
- BHAG
- Listas de Chequeo
- Rueda del Futuro
- Matriz de Metas
- WWWWWH (Who, What, Where, When, Why, How)
- Nueve dimensiones
- Análisis SWOT
- Análisis POSTA
- LATCH
- Diagramas de Afinidad
- Bomba Antropológica
- Auto-etnografía
- Método Disney
- Ideación Heurística
- Método KJ
- Escenarios Extremos
- Método NHK
- NYAKA
- Rolestorming
- Métodos Sensoriales
- Intuición Semántica
- SCAMPER
- Método STP
- Esquemas 10 x 10
- Mapas Mentales
- Estrategia del Océano Azul

Como se menciona en el MUPIDER, los individuos en el equipo de diseño no son los únicos actores que intervienen en un proyecto de diseño, por lo que es importante destacar el papel decisivo del equipo de revisión (empresa) en esta etapa, ya que, a través del permiso o la censura, marcó la ruta por la que el proyecto se fue desarrollando. Este fue un factor clave para la toma de decisiones que se llevó a cabo para definir el *Concepto Final* ya que, como se muestra en la página 109, los responsables del proyecto en MABE no estaban del todo de acuerdo con el enfoque que se estaba tomando, por lo que llamaron a una *re-planeación* en un momento cercano a la fecha de entrega del proyecto. A causa de esto, el *Concepto Final*, se forzó aún más para incluir el enfoque que la empresa buscaba (obtención de hielos en un tiempo reducido).

En la siguiente sección se demuestra una situación clave en esta etapa, la falta de exploración de diferentes marcos de trabajo y configuraciones que desaceleró la creación de ideas completamente nuevas (innovaciones radicales).

Ejecución

Los resultados de esta etapa se vieron afectados por varios factores. La capacidad (teórica y práctica) de los elementos del equipo de diseño para poder tangibilizar las ideas y formar puntos de vista; la disponibilidad de recursos, tanto monetarios como materiales, en el momento necesario; y el nivel de eficiencia, alto o bajo, en la comunicación entre administradores, diseñadores y, si así se requería, contratistas externos.

Los procesos cognitivos de un equipo surgen de la utilización de las distintas representaciones de los conceptos que se van desarrollando a través de todo el proceso de diseño. Estos “insights”, como previamente se mencionó, ocurren en la traslación de una clase de representación a otra, por lo que, buena parte del éxito de un proceso de diseño, depende del número de estrategias cognitivas con las que cuenta un equipo y de su capacidad para aplicarlas.

Para el análisis de esta etapa se utiliza como referencia la herramienta desarrollada por Edelman y Currano (2011) en las que se categorizan los modelos de representación de ideas de acuerdo a los niveles de *resolución* y *abstracción* que presentan.

Esta herramienta fue seleccionada para este análisis ya que toma como referencia el mismo tipo de información que aparece en el reporte del proyecto “El Hielo del Futuro” y arroja un modelo estadístico que permite observar y describir claramente qué ocurre con la visión (pensamiento) del equipo de diseño durante el proceso.

Se entiende por *Resolución* al nivel de refinamiento o granularidad que puede ser observado en la representación de una idea compartida. [18]

Se entiende por *Abstracción* a la amplificación a través de la simplificación, o el quitar ciertas características del contexto de una representación para comprenderla mejor o para generar nuevas características exploratorias. Esto incluye la idea de transformar algo que es familiar a algo que no lo es. Existen cuatro clases de abstracción: [18]

- Material: intercambios del material de elaboración
- Morfológica: intercambio de formas
- Funcional: “Esto trabaja como...”
- Matemática: dimensiones y optimización

De acuerdo a lo establecido en este artículo, las representaciones burdas y los prototipos rápidos llevan a *cambios paradigmáticos* (representaciones ambiguas) y las representaciones con una mayor resolución llevan a *cambios paramétricos* (representaciones matematizadas). Se distingue una tercera clasificación formada por aquellas representaciones que llevan a *cambios en la forma en la que se relacionan los conceptos* dentro del espacio de diseño (representaciones híbridas) y se conforman por diagramas conceptuales, mapas mentales e infografías, principalmente. Estas características pueden utilizarse para describir la visión del equipo de diseño durante cada etapa del proceso de desarrollo [18].

El primer paso de este análisis es construir la *cascada de representaciones* utilizadas en el transcurso del proyecto (Figura 93):

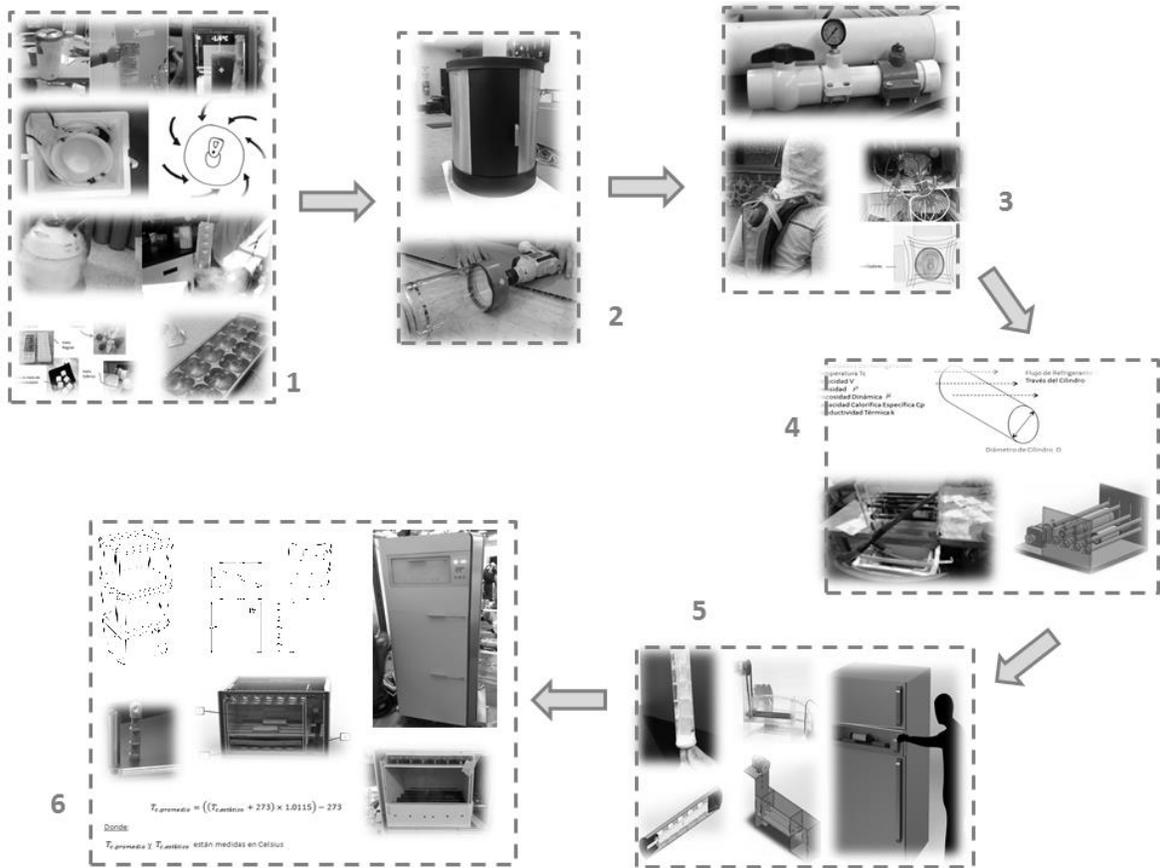


Figura 93. Cascada de Representaciones en "El Hielo del Futuro"

De esta *Cascada*, se identifican y analizan las formas de expresión del equipo de diseño durante las 6 etapas principales que ocurrieron durante el proceso de diseño, definidas por cada tarea propuesta en la metodología ME-310:

1. Exploración del Espacio de Diseño:

Tabla 19. Representaciones en la Exploración del Espacio de Diseño

Representación	Características	Clasificación
Lluvia de ideas	Representaciones, altamente abstractas y con muy baja resolución, de ideas en la mente humana.	Híbrida
Infografías	Representaciones, abstractas y con baja resolución, de conceptos del espacio de diseño.	Híbrida
Fotografías y videos	Representaciones, abstractas y con mediana resolución, de objetos y lugares reales	Matematizada
Persona (Representación pictográfica)	Representación, altamente abstracta y con muy baja resolución, del usuario	Híbrida
Productos comerciales reales	Productos reales (baja abstracción) con una alta resolución	Híbrida
Gráficas (Datos)	Representación, abstracta y con baja resolución, de un fenómeno	Matematizada
Esquemas en pizarrón y papel	Representaciones, medianamente abstractas y con baja resolución, de una idea	Ambigua



Figura 94. Niveles de Abstracción y Resolución para la Exploración del Espacio de Diseño

2. Prototipos de Función Crítica

Tabla 20. Representaciones para Prototipos de Función Crítica

Representación	Características	Clasificación
Simulación de Vórtice Rankine	Representación, real y con baja resolución, de un fenómeno en específico.	Ambigua
Mill Chill	Representación, real y con baja resolución, de un fenómeno en específico.	Ambigua
Bebidas enfriadas con gas	Representaciones, abstractas y con mediana resolución, de objetos y lugares reales	Matematizada
Uso de serpentines	Representación, real y con alta resolución, de un fenómeno en específico.	Matematizada
Experimentos físicos en laboratorio	Representación, real y con alta resolución, de un fenómeno en específico.	Matematizada
Molde vibratorio	Representación, real y con baja resolución, de un fenómeno en específico.	Ambigua
Hielos cilíndricos	Representación, real y con buena resolución, de un fenómeno en específico.	Matematizada
Ice Lucho	Representación, casi real y con resolución media, de un producto.	Ambigua
Esquemas en pizarrón y papel	Representaciones, medianamente abstractas y con baja resolución, de una idea	Ambigua

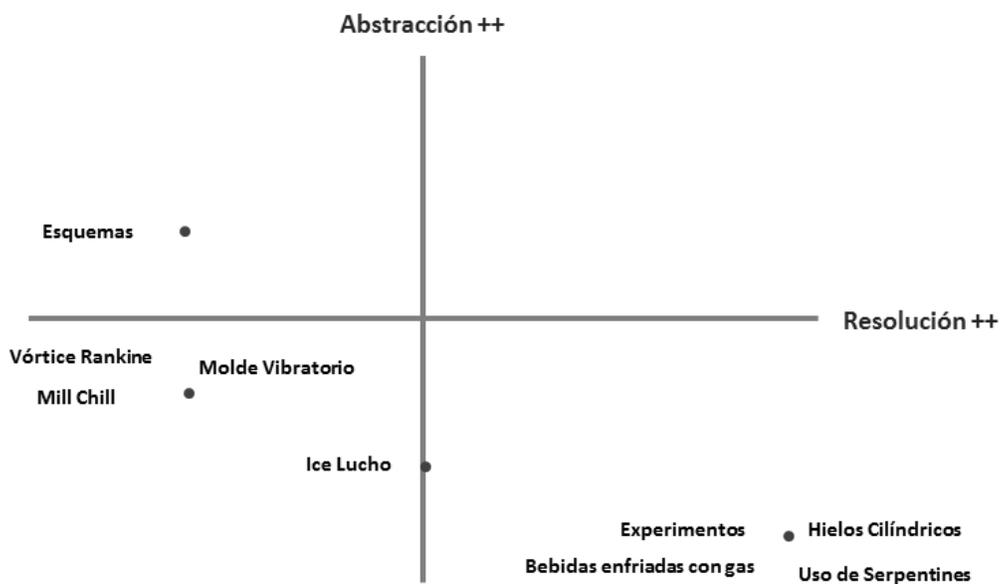


Figura 95. Niveles de Abstracción y Resolución para Prototipos de Función Crítica

3. Prototipos “Dark Horse”

Tabla 21. Representaciones para Prototipos “Dark Horse”

Representación	Características	Clasificación
Pruebas de Congelamiento N ₂ /CO ₂	Representación, real y con alta resolución, de un fenómeno en específico.	Matematizada
Bazooka Fría	Representación, real y con baja resolución, de un fenómeno en específico.	Ambigua
Lucho Motion	Representación, casi real y con resolución media, de un producto.	Ambigua
Esquemas en pizarrón y papel	Representaciones, medianamente abstractas y con baja resolución, de una idea	Ambigua

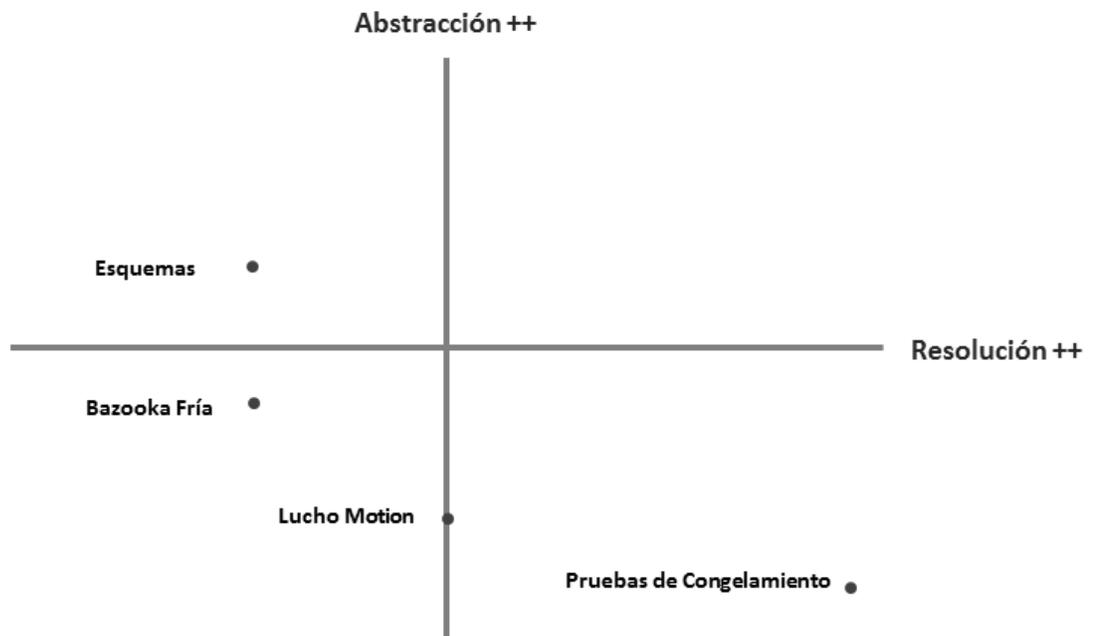


Figura 96. Niveles de Abstracción y Resolución para Prototipos “Dark Horse”

4. Prototipos “Funk-tional”

Tabla 22. Representaciones para Prototipos “Funk-tional”

Representación	Características	Clasificación
Aumento del flujo volumétrico del aire	Representación, medianamente abstracta y con baja resolución, de un fenómeno en específico	Ambigua
Funky Polar Roller	Representación, casi real y con resolución media, de un producto	Ambigua
Modelo de transferencia de calor	Representación, altamente abstracta y con alta resolución, de un fenómeno	Matematizado
Esquemas en pizarrón y papel	Representaciones, medianamente abstractas y con baja resolución, de una idea	Ambigua

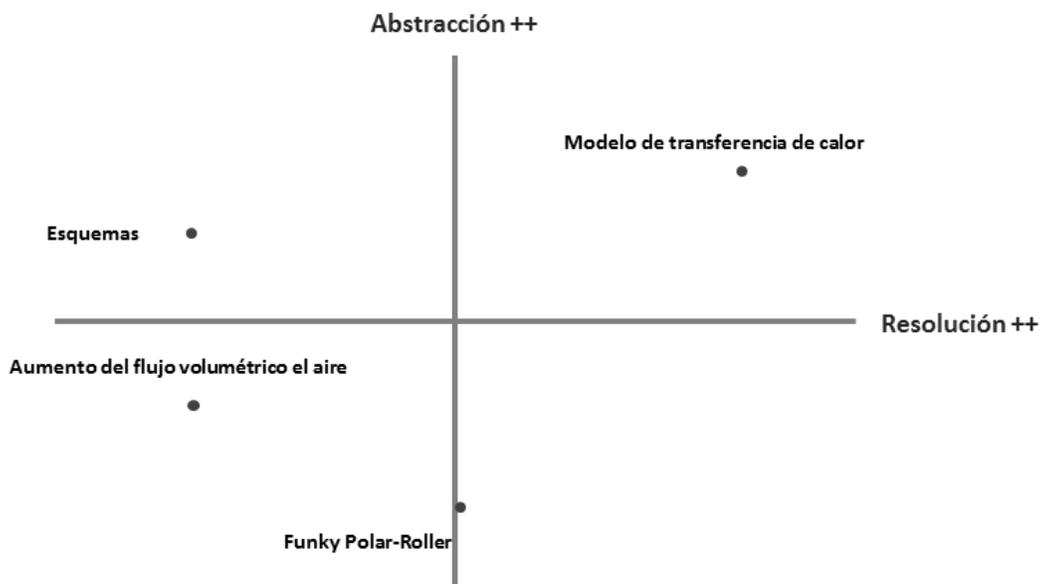


Figura 97. Niveles de Abstracción y Resolución para Prototipos “Funk-tional”

5. Prototipos “Functional”

Tabla 23. Representaciones para Prototipos “Functional”

Representación	Características	Clasificación
Polar Roller 2.0	Representación, casi real y con resolución media, de un producto	Ambigua
Modelos Digitales (CAD)	Representación, abstracta y con alta resolución, de un producto	Matematizada
Impresiones 3D de moldes de hielo	Representación, casi real y con resolución media, de un producto	Ambigua
Gráficas de rendimiento	Representación, altamente abstracta y con baja resolución, de un producto	Matematizada
Listas de Requerimientos	Representación, abstracta y con resolución media, de un producto.	Matematizada
Esquemas en pizarrón y papel	Representaciones, medianamente abstractas y con baja resolución, de una idea	Ambigua

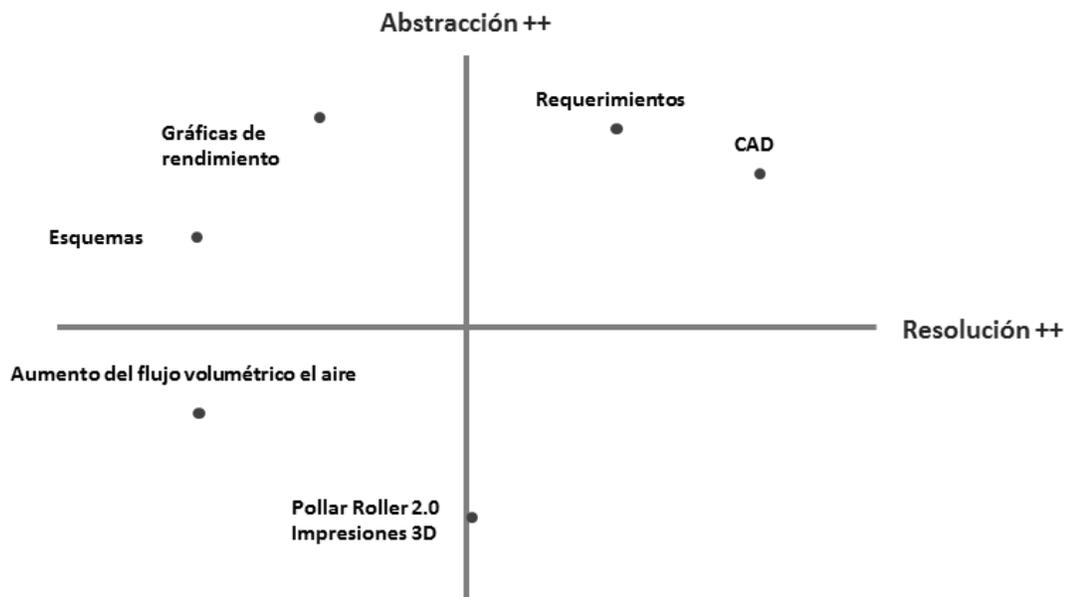


Figura 98. Niveles de Abstracción y Resolución para Prototipos “Func-tional”

6. Prototipo Final

Tabla 24. Representaciones para Prototipo Final

Representación	Características	Clasificación
Prototipo funcional final (Polar Roller)	Representación, casi real y con resolución media, de un producto final	Ambigua
Modelos Digitales (CAD)	Representación, abstracta y con alta resolución, de un producto final	Matematizada
Modelo de transferencia	Representación, abstracta y con alta resolución, de un fenómeno.	Matematizada
Infografías	Representación, abstracta y con baja resolución, de un producto final.	Híbrida
Planos	Representación, altamente abstracta y con alta resolución, de un producto final.	Matematizada
Carteles descriptivos	Representación, medianamente abstracta y con resolución media, de un producto final	Matematizada
Videos	Representación, medianamente abstracta y con resolución media, de un producto final	Matematizada
Esquemas en pizarrón y papel	Representaciones, medianamente abstractas y con baja resolución, de una idea	Ambigua

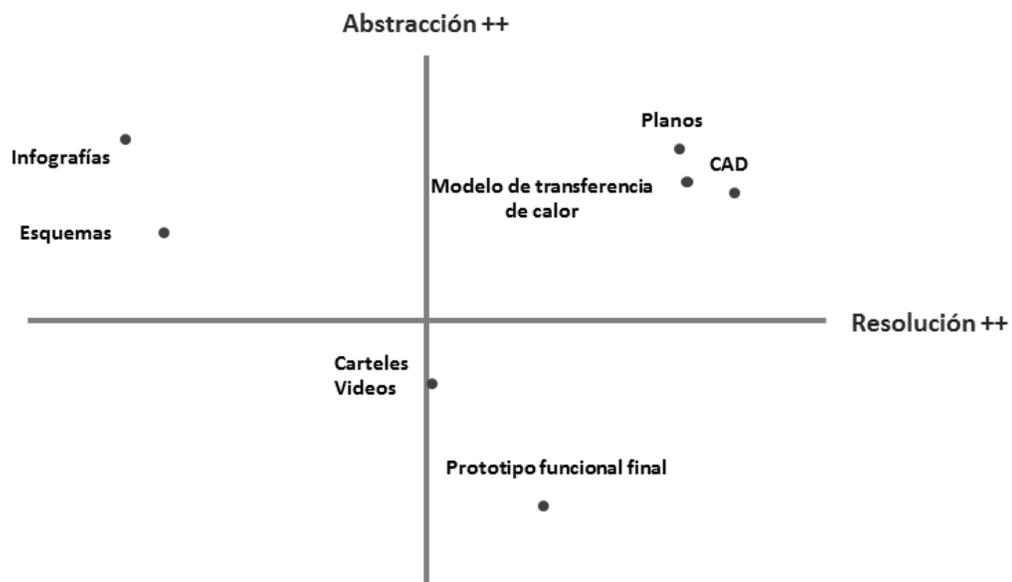


Figura 99. Niveles de Abstracción y Resolución para Prototipo Final

Sintetizando la información obtenida de este análisis, se obtiene el porcentaje de representaciones, clasificadas según el tipo de cambios que conllevan dentro del proceso de diseño, y se grafican para poder observar el comportamiento de los tres tipos de pensamiento (ambiguo, híbrido y matematizado) a través de las diferentes etapas (tareas) de desarrollo.

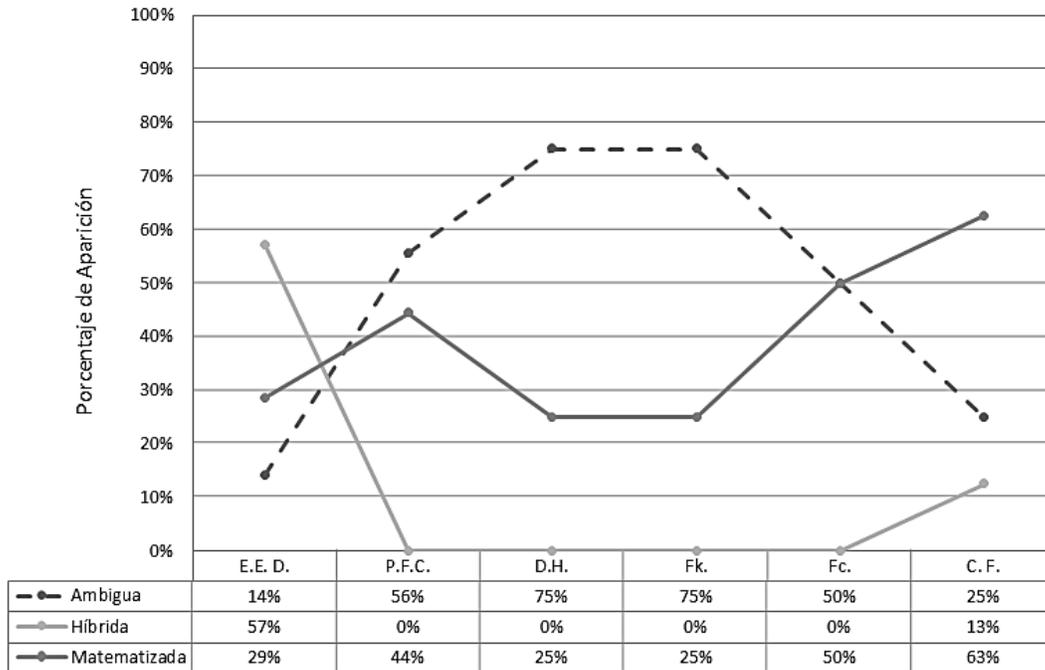


Figura 100. Porcentaje de Aparición de Representaciones Clasificadas Según Tipo de Cambio en Proceso de Diseño

Se puede observar que las representaciones analizadas, tanto ambiguas como matematizadas, y los cambios que conllevan tienen un comportamiento que va totalmente de la mano con el modelo de divergencia/convergencia que presenta el ME-310.

En la primera mitad del proyecto, el pensamiento divergente (ambiguo) aumenta de forma pronunciada, llegando a su máximo con los prototipos “Dark Horse” y “Funk-tional”. Al mismo tiempo, el pensamiento convergente (matematizado), aunque tiene un ligero aumento en los Prototipos de Función Crítica, se mantiene prácticamente en un rango bajo.

Para la segunda mitad del proyecto, los papeles se invierten y el pensamiento divergente cae mientras el convergente aumenta, alcanzando un punto de balance con los prototipos “Func-tional”. Esto sucede porque en este punto se define por completo el concepto-

solución, eliminando así la ambigüedad y dando entrada a la definición paramétrica del prototipo final.

Hasta este punto, el proceso no indica situaciones inesperadas, pero al observar el comportamiento de las representaciones híbridas (cambios en las relaciones entre conceptos) se descubren 2 situaciones clave que afectaron todo el proceso y su eventual resultado.

La primera observación muestra cierta *fijación* dentro de la exploración del *espacio del problema*, ocurrida desde el principio del proceso. El hecho de que, en la primera etapa, más de la mitad de las representaciones hayan sido del tipo *híbridas* y que, posteriormente, hayan caído a cero durante la mayor parte del proceso, presentando de todas formas actividades divergentes, indica la aparición de un “insight” dominante, al inicio, que serviría de idea central para todas las investigaciones, prototipos y experimentos.

Esta situación es un fenómeno muy recurrente en los proyectos de diseño universitarios y ocurre por la necesidad de los equipos de eliminar la incertidumbre de un proceso sin un objetivo claro. En este caso, ese objetivo fue lograr un enfriamiento rápido de bebidas para poder eliminar el uso de hielos.

La segunda observación se encuentra en la relación entre las representaciones híbridas y las herramientas utilizadas en la etapa de *planeación*, ya que estos son los medios utilizados para poder explorar distintas configuraciones, marcos de trabajo y contextos en los que los conceptos investigados se desarrollan. En este caso, esta exploración de opciones fue nula durante la mayor parte del proceso. Esto implica que, a pesar de que existía un pensamiento divergente en la primera mitad, solo se aplicaba a la exploración y estudio de los conceptos en sus contextos originales, evitando la experimentación y la combinación de configuraciones y eliminando así la posibilidad de descubrir una idea totalmente nueva o radical, surgida de la prueba de diferentes *marcos de trabajo* (“frames”).

El ligero aumento del uso de representaciones híbridas en la última etapa (Concepto Final), se refiere al análisis y definición, contextual y configurativa, del concepto-solución que formaba parte de los entregables del proyecto.

Este mismo análisis muestra las formas de pensamiento descritas en el capítulo 3 de esta tesis. En estas se propone la aparición de un proceso de pensamiento basado en el modelo de abducción-2 para la solución de problemas abiertos en el diseño, tal y como el que el socio corporativo (MABE) propuso en este proyecto. Esto llevaría a la exploración de diversos principios de trabajo para alcanzar cierto valor, en este caso, la mejora de experiencia en las fábricas de hielo.

Al observar la Figura 100 aparece un comportamiento del pensamiento del equipo de diseño en el que no ocurre un proceso de abducción-2, sino un proceso de abducción-1, indicando claramente la existencia de un pensamiento ingenieril clásico:

- 1.- Inicialmente se plantea un marco de trabajo (enfriamiento rápido de bebidas) que satisface al valor buscado por el socio corporativo (nueva experiencia en las fábricas de hielo domésticas). Este marco de trabajo fue la única propuesta durante todo el proyecto.
- 2.- Proposición y evaluación de objetos (diferentes prototipos) que utilizan el mismo principio de trabajo para llegar a un valor (mostrado por el comportamiento de las representaciones ambiguas en la Figura 100).
- 3.- Comprobación y construcción de idea final (mostrado por el comportamiento de las representaciones matematizadas en la Figura 100).

La diferencia con un proceso de abducción-2 aparece en el primer paso, al no existir más de una propuesta de marco de trabajo en todo el proyecto (mostrado por el comportamiento de las representaciones híbridas en la Figura 100).

Este descubrimiento es muy importante ya que, nuevamente, demuestra la necesidad de los equipos universitarios de “clarificar” el objetivo de un reto ambiguo para poder proceder a solucionarlo, así como la existencia de cierta *fijación de diseño* durante este proyecto.

Síntesis

La etapa de *Síntesis*, reducida simplemente a la pregunta: ¿Funcionó?, se basó principalmente en decidir si el resultado de la etapa de ejecución resultó como lo esperado o no.

Una vez más se puede percibir el efecto negativo que, la falta de representaciones híbridas y herramientas exploratorias durante las etapas de *planeación* y *ejecución*, tuvo sobre los procesos de toma de decisiones y en la síntesis de nuevos marcos de trabajo que pudieran haber llevado a ideas completamente radicales y no solo incrementales.

Un aspecto totalmente recurrente fue la continua adaptación de una idea principal a los resultados obtenidos, forzándolos a fundamentar, de alguna forma, la creencia que se tenía desde un principio. Esta fijación de diseño, disminuyó de manera importante la objetividad de los resultados obtenidos durante el proceso.

Este fenómeno ha sido observado por Dow, Heddlestone y Klemmer en el artículo “The Efficacy of Prototyping Under Time Constrains” en donde se demuestra que la restricción generada por un tiempo corto para el desarrollo de ideas, no siempre permite la exploración divergente de opciones y muchas veces lleva a los equipos a pensar que la primera idea es la única posible, sobre todo cuando se le ha invertido energía y recursos para su ejecución. De esta forma, diversos aspectos como la ansiedad, la competencia y la ambigüedad, creciente en el proceso, llevan a desalentar la iteración a favor de la realización [19].

Eficiencia en Niveles de Comunicación

Una característica típica del *Pensamiento de Diseño* es la aparición de equipos multidisciplinarios y el uso extensivo de herramientas de comunicación tangibles como las notas adhesivas (Post-it®), pizarrones y todo tipo de materiales para prototipaje. Cuando los miembros del equipo tratan de colaborar desde locaciones separadas, la forma tradicional de trabajo se vuelve casi imposible, aun a pesar de los avances tecnológicos.

Es innegable que la comunicación juega un rol central en las actividades colaborativas. El éxito o el fracaso de proyectos complejos son considerablemente determinados por cómo se comunican e interactúan los equipos de diseño para reunir información, negociar, generar ideas, tomar decisiones o resolver conflictos [20]. Esto conduce a la necesidad de inspeccionar y observar los procesos de comunicación que aparecieron en el proceso de diseño de “El Hielo del Futuro” para poder determinar si fue un factor importante que influyó en el rendimiento y resultado del proyecto.

Se reconoce la participación de 3 partes generales durante el proceso de diseño de este proyecto (Figura 101): UNAM/Departamento de Ingeniería de Diseño, Universidad de Stanford/ Center for Design Research y MABE/Investigación y Desarrollo (socio corporativo). La interacción entre éstas, dependió en gran medida en la capacidad de comunicación y la eficiencia de la misma.

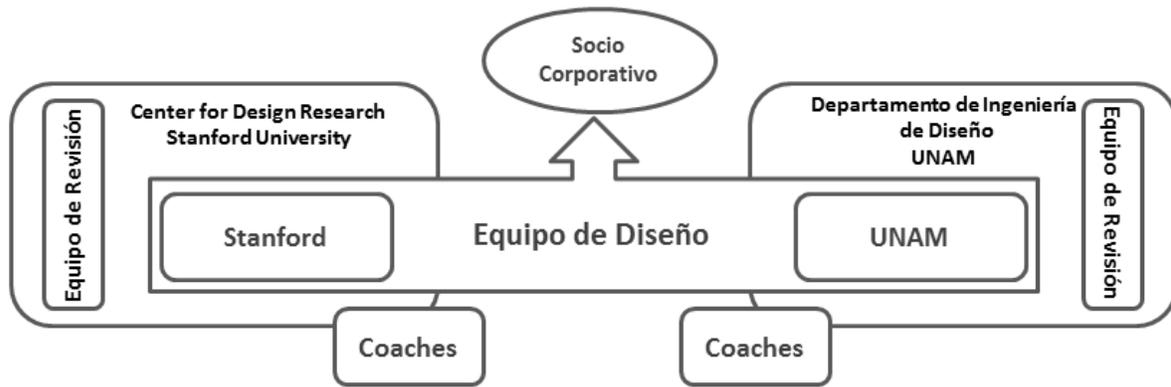


Figura 101. Esquema Representativo de los Actores en "El Hielo del Futuro"

Las herramientas de comunicación utilizadas durante este proyecto se clasifican y definen en la siguiente tabla:

Tabla 25. Herramientas de Comunicación para "El Hielo del Futuro"

Comunicación Presencial	
Comunicación Verbal	
Se refiere a la comunicación presencial y directa entre partes, utilizando un lenguaje verbal (inglés o español).	
Comunicación Representativa	
Representaciones físicas	Se refiere al uso de prototipos físicos, diagramas y esquemas para exponer ideas, principios y conceptos.
Presentaciones Ejecutivas	Se refiere a la exposición de los resultados del trabajo realizado por una parte hacia las otras dos, comúnmente al final de cada etapa del proceso.
Comunicación No Presencial	
Herramientas Electrónicas	
Facebook	Red social utilizada para compartir archivos y mensajes. Permite la creación de grupos privados para poder compartir mensajes y archivos.
Whatsapp	Servicio móvil de mensajería por internet. Permite el envío de archivos pequeños y la creación de grupos privados.
Google Drive®	Espacio virtual utilizado para compartir archivos digitales (texto, imágenes, videos, planos) que permite modificaciones multipartita

	en tiempo real.
Google Hangouts®	Herramienta digital que permite video llamadas en tiempo real entre partes ubicadas en localidades totalmente distintas. Incluye la posibilidad de bocetar en tiempo real y la transmisión de pantalla.
Correo Electrónico	Herramienta básica de comunicación por internet que permite el intercambio de texto y archivos digitales (capacidad limitada).
Polycom®	Herramienta electrónica que permite una audio-conferencia entre más de dos actores al mismo tiempo.
Servicios	
Servicio de Paquetería	Servicio utilizado para enviar, físicamente, paquetes o documentos de un lugar a otro.

La selección de una herramienta u otra dependió de dos factores: la ubicación física de las partes involucradas y el objetivo de comunicarse. Teniendo en cuenta esto, se construye el siguiente diagrama, en donde se presentan las herramientas aprovechadas por cada parte:

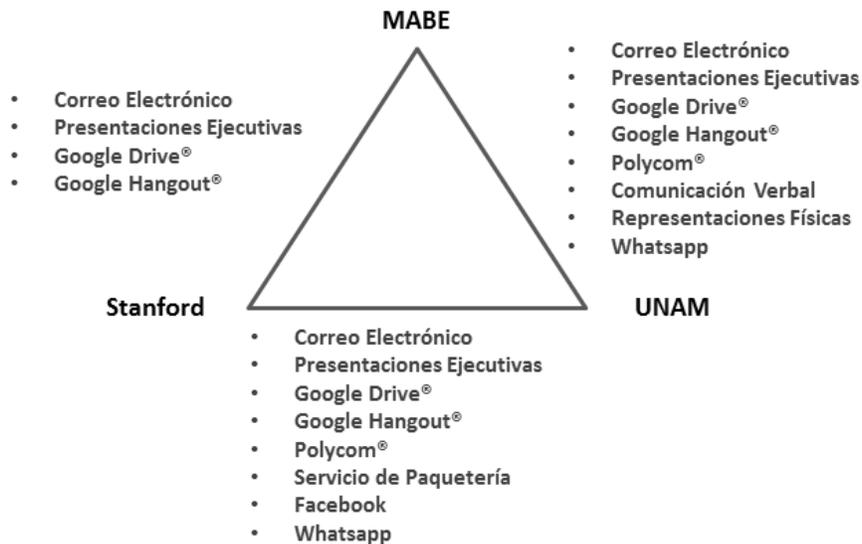


Figura 102. Uso de Herramientas de Comunicación entre Partes del Proyecto "El Hielo del Futuro"

Estas herramientas se clasifican según dos parámetros:

- Presencial
- Interactiva

Una herramienta presencial permite discusiones *insitum*, lo que permite una comunicación eficiente e inmediata y una herramienta interactiva permite la manipulación de la información en cuestión, permitiendo la transformación inmediata de la misma.

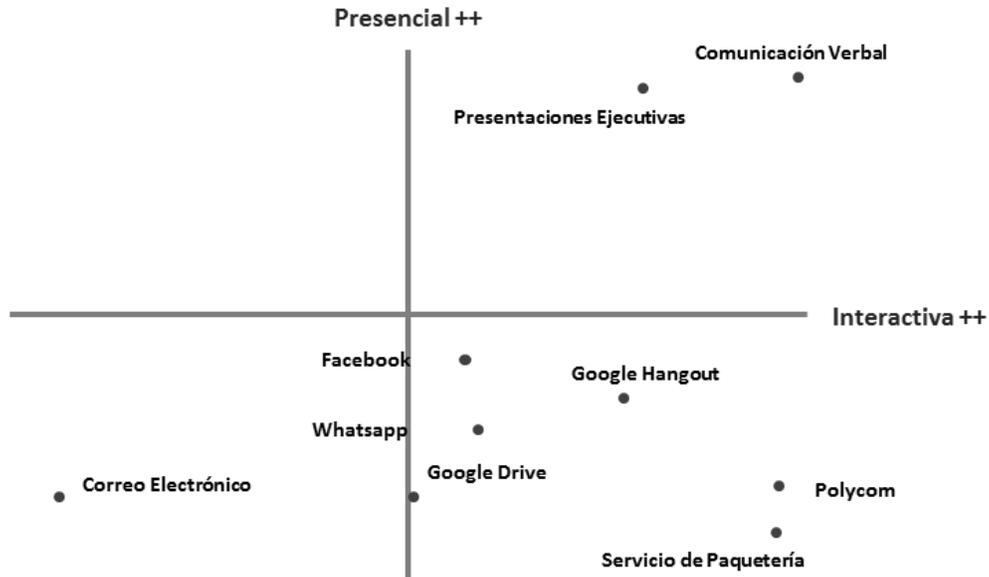


Figura 103. Clasificación de las Herramientas de Comunicación para "El Hielo del Futuro"

Con esta información, se comparan las funciones que cada herramienta permitió con las necesidades de comunicación entre cada par de actores en el proyecto:

Tabla 26. Herramientas de Comunicación MABE-UNAM

MABE-UNAM	
Necesidad	Herramienta
Presentación de ideas y retroalimentación	Comunicación verbal
	Google Hangout
	Polycom
Presentación de prototipos físicos y retroalimentación	Representaciones físicas
	Comunicación verbal
Revisión de proyecto (Censura y Aprobación)	Comunicación verbal
	Google Hangout

	Presentaciones Ejecutivas
Actualización del estado del proyecto	Correo Electrónico
	Google Hangout
	Comunicación verbal
	Presentaciones Ejecutivas
	Polycom
	Whatsapp
Presentación de resultados	Presentaciones Ejecutivas
	Google Hangout
	Comunicación verbal
Intercambio de archivos e información	Correo Electrónico
	Google Drive

La capacidad de comunicación presencial entre MABE y la UNAM permitió una comunicación eficiente, a pesar de encontrarse en localidades diferentes, aunque cercanas.

La presentación física de ideas, prototipos y resultados permitió discusiones y retroalimentación, fundamentadas con referencias tangibles, y, la utilización de herramientas electrónicas de respuesta rápida (“Whatsapp”), permitió tomar decisiones decisivas, justo en el tiempo preciso, para poder actualizar el estado del proyecto eficientemente.

Todas las necesidades fueron satisfechas, teniendo más de una opción para cada caso. Esto habla de la versatilidad y la diversidad que representa el tener a dos o más partes con el mismo idioma y en localidades cercanas, geográficamente hablando.

Tabla 27. Herramientas de Comunicación MABE-Stanford

MABE-Stanford	
Necesidad	Herramienta
Presentación de ideas y retroalimentación	Google Hangout
	Polycom
Presentación de prototipos físicos y retroalimentación	NA
Revisión de proyecto (Censura y Aprobación)	Google Hangout

Actualización del estado del proyecto	Presentaciones Ejecutivas
	Correo Electrónico
	Google Hangout
Presentación de resultados	Presentaciones Ejecutivas
	Google Hangout
Intercambio de archivos e información	Correo Electrónico
	Google Drive

Se puede observar que existió una falta de tangibilización en la comunicación entre estas dos partes, separadas por una larga distancia geográfica. Esto solo permitió compartir la información a través de relatos, imágenes y videos, más evitó tener referencias reales que redujeran el entendimiento relativo de las ideas y una retroalimentación más objetiva.

Una vez más se observa la importancia de las herramientas electrónicas, al permitir el intercambio manipulable de archivos e información, a pesar de la separación física de las dos partes.

Tabla 28. Herramientas de Comunicación UNAM-Stanford

UNAM-Stanford	
Necesidad	Herramienta
Presentación de ideas y retroalimentación	Google Hangout
Presentación de prototipos físicos y retroalimentación	NA
Actualización del estado del proyecto	Google Hangout
	Correo Electrónico
	Whatsapp
	Facebook
Presentación de resultados	Google Hangout
Intercambio de archivos e información	Google Drive
	Correo Electrónico
Co-diseño (planeación y síntesis)	NA
Co-elaboración de prototipos físicos (ejecución)	Servicio de Paquetería

Dos partes separadas por una larga distancia geográfica. Al conformar un mismo equipo de diseño, el intercambio eficiente de ideas e información es crítico ya que implica la participación de todos los individuos del equipo en el mismo proceso.

Este punto está totalmente relacionado con las distintas etapas del proceso de diseño que aparecen en el MUPIDER: planeación, ejecución y síntesis, ya que éstas conllevan actividades que los individuos, tanto de una parte como de la otra, deben de realizar en conjunto.

Se puede observar que las actividades de la etapa de planeación y síntesis se llevaron a cabo de forma separada al no tener herramientas que satisficieran las necesidades de comunicación. Esto llevó a la separación del equipo de diseño en dos y, por ende, a la aparición de dos procesos de diseño que, aunque relacionados, no se conjuntaron sino hasta el final, durante los viajes de colaboración en una misma localidad, creando conflictos, entre las dos partes, al tomar las decisiones definitivas para la formulación de un concepto final.

Las distintas etapas de ejecución del proceso de diseño se llevaron a cabo de forma separada y solo se compartió la información y resultados por medio de herramientas no presenciales como fotos, videos y videoconferencias. Esta restricción evitó la manipulación de prototipos, por medio de las dos partes, y, por lo tanto, redujo la diversidad de opciones de modificación de ideas y conceptos.

En cuanto a la existencia de herramientas y la eficiencia de comunicación con el Socio Corporativo, existieron dos tipos de relaciones: Dependiente (Mabe-UNAM) e Independiente (MABE-Stanford). Esta situación implica diferentes posiciones de los equipos de diseño hacia el cliente y demuestra diferentes filosofías de trabajo, derivadas de diferencias culturales, entre las dos universidades.

En la primera, la UNAM juega el papel clásico de una firma de diseño, permitiendo que las decisiones de sus diseñadores (estudiantes) y el proceso propio sean condicionados a las opiniones del cliente. Si éste último censura alguna idea, el diseño se ajusta para satisfacerlo, en esta situación “el cliente es primero”. De aquí que existan muchas herramientas de información entre ellos y que cada idea sea presentada y revisada.

En la segunda, la Universidad de Stanford empodera a sus diseñadores (estudiantes) para obtener soluciones derivadas solamente de sus descubrimientos. Intentan reducir la comunicación con el cliente al mínimo necesario con el fin de obtener soluciones radicales con respecto a la influencia de ideas que la empresa pudiera aportar. En este caso, “el usuario es primero”.

Análisis Funcional del Concepto Final

El concepto “Polar Roller” solo representa un resultado parcial, producto de una etapa de *diseño conceptual* y por ende no cuenta con parámetros tecnológicos (consumo de energía, eficiencia, costo) comparables con los productos actuales del mercado.

¿Cómo se puede verificar, entonces, si un concepto es funcionalmente correcto y cumple con las necesidades de los usuarios?

Para este fin, existen métodos de *verificación de diseño* que permiten revisar que una propuesta de diseño satisfaga especificaciones funcionales.

Existen dos familias de métodos para la *verificación de diseño*. La primera calcula o estima los atributos de interés por medio de algoritmos de dominio específico o formulas. Éstos tienen aplicaciones limitadas ya que requieren *espacios de problema* bien definidos.

La segunda, lleva a cabo la verificación por medio de simulaciones. El comportamiento de un sistema o dispositivo es simulado al desarrollar un modelo estructural que permita cambios de estado de condiciones iniciales específicas [21].

Dentro de estos métodos, se encuentra el *Análisis Funcional* que permite simular el comportamiento de un sistema o dispositivo a través de la abstracción del mismo a la relación entre cinco funciones elementales (cualquier otra función es el resultado de la combinación de éstas) para definir las dependencias y configuraciones que permiten la realización de una tarea específica (Figura 104).

Estas funciones se clasifican de la siguiente forma:

- **Funciones de Contenido:** Son aquellas funciones críticas para que el sistema realice la tarea deseada. Si estas funciones no aparecen, no se puede hablar de un diseño que tenga un funcionamiento correcto.
- **Funciones de Contexto:** Son aquellas funciones auxiliares que construyen el contexto necesario para que las *Funciones de Contenido* se lleven a cabo. Estas funciones pueden ser diferentes para cada sistema, lo que genera una diversidad tecnológica que muchas veces deriva en innovaciones.

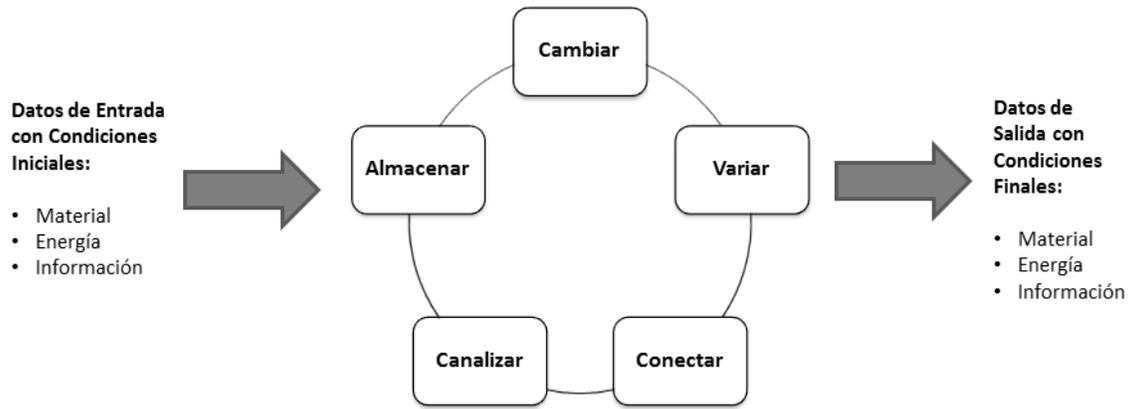


Figura 104. Funciones Elementales para Análisis Funcional

Aplicando esta herramienta al proyecto “El Hielo del Futuro”, se pueden simular los sistemas de los productos que actualmente conforman el mercado de las fábricas de hielo domésticas, entender sus configuraciones y las funciones, tanto de contenido como de contexto, que llevan a cabo. Así, se define una referencia comparable con el análisis funcional del concepto final de este proyecto (Polar Roller) para verificar si éste último satisface las necesidades requeridas.

Para generar los *Diagramas Funcionales*, necesarios para la simulación estructural de cualquier dispositivo, se utiliza la siguiente simbología para representar a las 5 funciones esenciales:

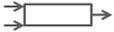
Simbología		
 	Cambiar	 Almacenar
		 Cambiar
 	Canal	 
		Conectar

Figura 105. Simbología para Análisis Funcional

Se construye el siguiente diagrama para simular las fábricas de hielo domésticas actuales:

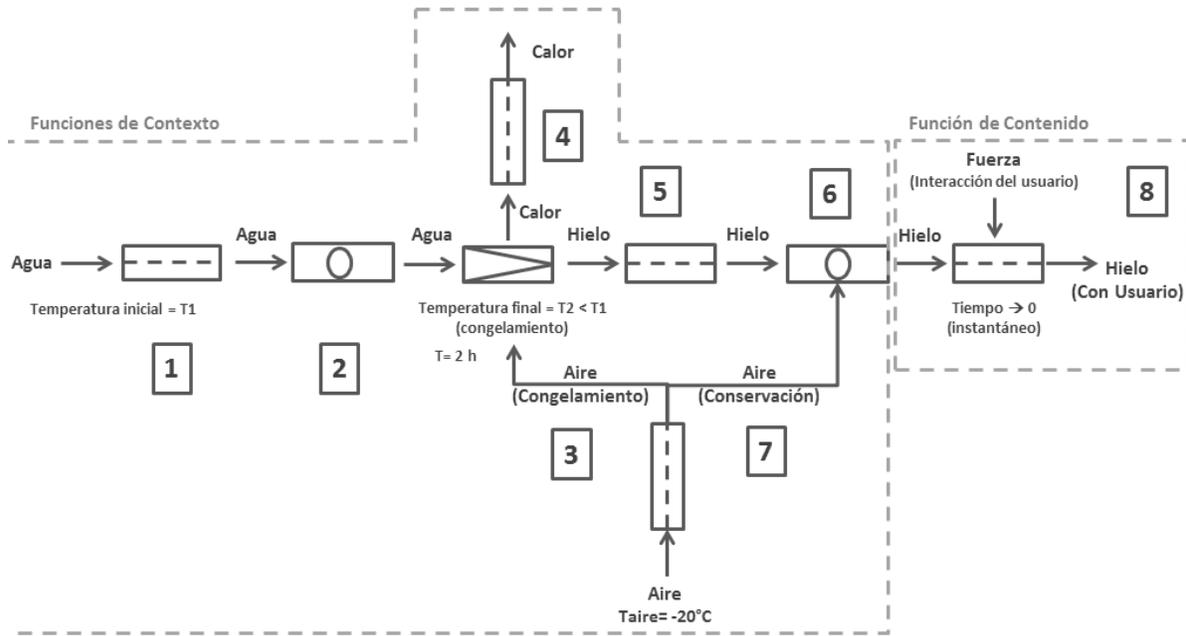


Figura 106. Diagrama Funcional para Fábricas de Hielo Domésticas Actuales

Las funciones que aparecen son las siguientes:

1. Canalización (introducción) de “Agua”, con una temperatura inicial T_1 , al sistema.
2. Almacenamiento de “Agua”.
3. Canalización (introducción) “Aire”, con una temperatura de -20°C , al sistema.
4. Reducción de temperatura (congelamiento) de “Agua”, T_1 a T_2 , por medio de la canalización (extracción) de calor hacia un medio con menor temperatura, se obtiene “Hielo”. Esta función se lleva a cabo en un tiempo de 2 horas.
5. Canalización de “Hielo” al siguiente punto en el sistema.
6. Almacenamiento de “Hielo”.
7. Canalización de “Aire”, con una temperatura de -20°C , para conservar el “Hielo”.
8. Al sentir una “Fuerza”, el “Hielo” es canalizado hacia el “Usuario”, justo cuando él lo demanda (sentido de instantaneidad).

De igual modo, se construye el *diagrama funcional* para el sistema “Polar Roller”:

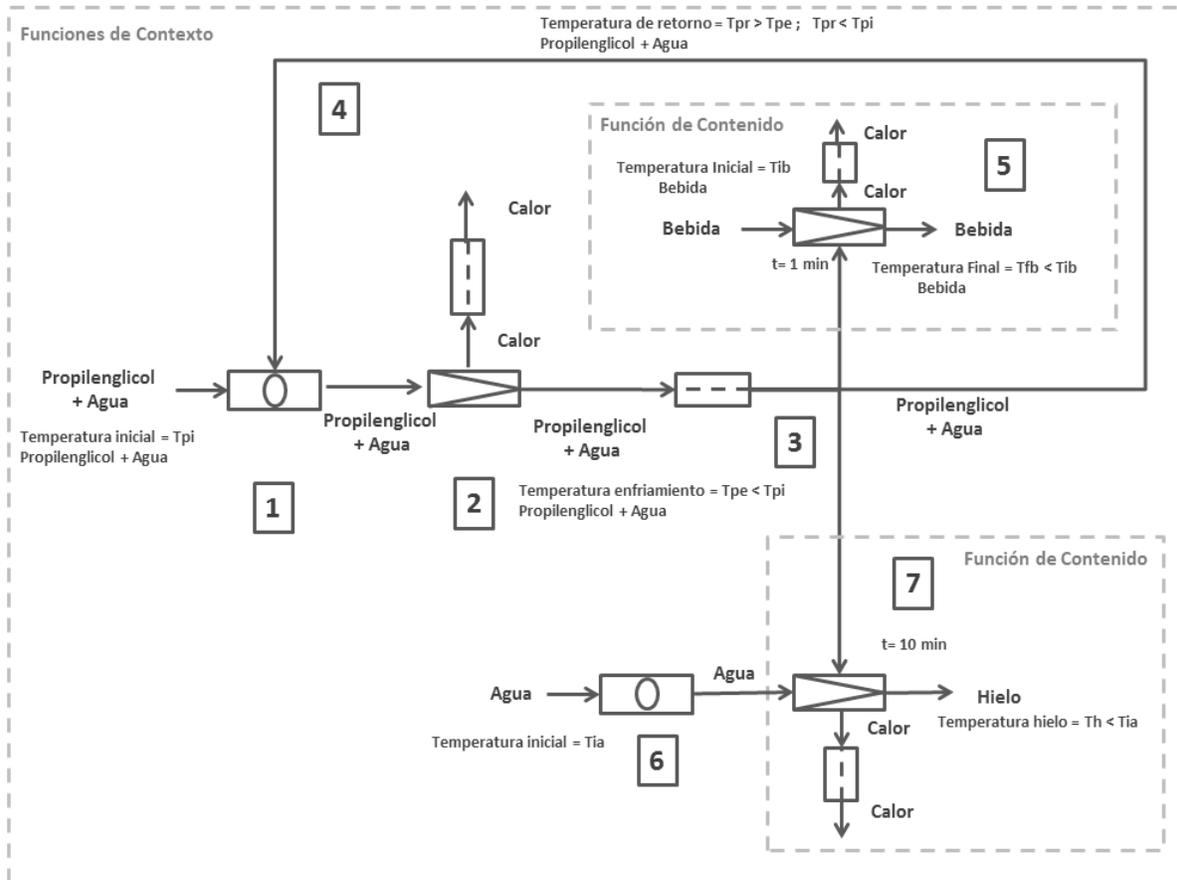


Figura 107. Diagrama Funcional para Polar Roller

Las funciones que aparecen son:

1. Almacenamiento de "Propilenglicol + Agua", con temperatura inicial T_{pi} .
2. Reducción de temperatura T_{pi} a T_{pe} , por medio de la canalización (extracción) de calor hacia un medio de temperatura más baja.
3. Canalización de "Propilenglicol + Agua" hacia el siguiente punto en el sistema.
4. Re-almacenamiento (recuperación) de "Propilenglicol + Agua" para generar un sistema cerrado.
5. Reducción de la temperatura inicial de una "Bebida", T_{ib} a una temperatura final, T_{fb} , por medio de la canalización (extracción) de calor hacia un medio de temperatura más baja. El tiempo de este proceso es de 1 minuto.
6. Almacenamiento de "Agua" en el sistema.
7. Reducción de la temperatura inicial de "Agua", T_{ia} a una temperatura final, T_h , por medio de la canalización (extracción) de calor hacia un medio de temperatura más baja. El tiempo de este proceso es de 10 minutos. Se obtiene Hielo.

Análisis

Al comparar las funciones de contenido entre los diagramas funcionales presentados, se puede observar que, en principio, son diferentes.

En el primer diagrama, se plantea la reducción de tiempo, casi instantáneo, para la obtención de hielo, por parte del usuario, como función de contenido. En el segundo diagrama se plantean dos funciones de contenido: enfriamiento de bebidas en un tiempo de 1 minuto y fabricación de hielo en un tiempo de 10 minutos.

Con esto, se podría definir que el concepto Polar Roller no cumple con la funcionalidad que implican las fábricas de hielo domésticas actuales y que, por lo tanto, es una propuesta incorrecta. Sin embargo, la actividad de diseño es dependiente del contexto en el que se encuentra, siendo esta situación la razón por la cual estas funciones cumplen una misma *necesidad*, desde principios funcionales diferentes.

El proceso de desarrollo del Polar Roller implicó una búsqueda de necesidades del usuario de las fábricas de hielo. De estos estudios se encontró que el hielo, elemento principal y común entre las fábricas de hielo domésticas y el Polar Roller, cuenta, en el mayor de los casos, con una función específica, el enfriamiento de bebidas.

Funcionalmente se puede representar de la siguiente forma:

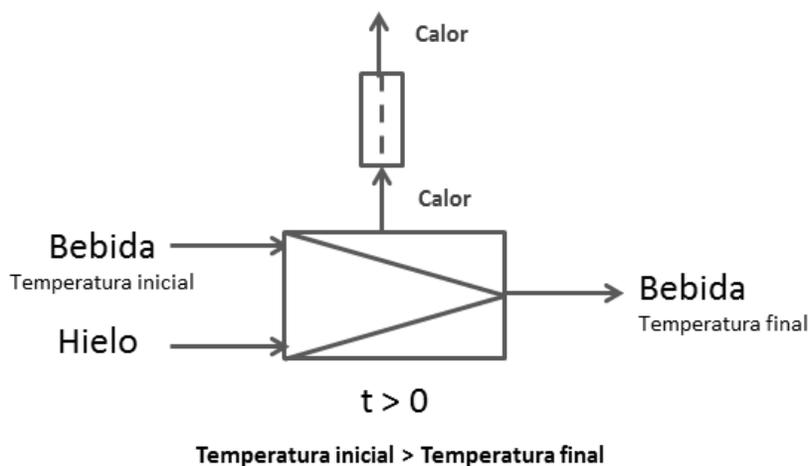


Figura 108. Enfriamiento como Función de Contenido

Con esta definición, se relacionan las funciones de contenido de los dos sistemas:

Si las fábricas de hielo entregan hielo de forma instantánea y el hielo se utiliza para enfriar bebidas, entonces una máquina que pueda enfriar bebidas de manera instantánea podrá satisfacer la misma necesidad que las primeras.

De esta forma se puede calificar al “Polar Roller” como una propuesta correcta para satisfacer las mismas necesidades que las fábricas de hielo y por lo tanto, funcionalmente correcta.

A pesar de este resultado optimista, se observa un detalle muy importante de esta solución: al usar un hielo convencional, la duración de una bebida dentro del rango de temperaturas ideales para el consumo depende del tiempo en el que el hielo se derrita. Con el Polar Roller, el enfriamiento de la bebida solo se da al principio, sin contar con elemento alguno para mantener un rango de temperatura ideal por un tiempo prolongado.

Este aspecto representa una oportunidad para la evolución del concepto Polar Roller y demuestra el principio filosófico del *Pensamiento de Diseño* de obtener aprendizajes a partir de las fallas.



Conclusiones

Los objetivos, tanto generales como secundarios, de esta tesis se cumplieron de forma satisfactoria.

A partir de las observaciones y análisis empíricos, llevados en las primeras dos etapas, se pudieron descubrir situaciones recurrentes y patrones de comportamiento dentro de los procesos de diseño llevados por los alumnos involucrados en proyectos con acercamientos centrados en el usuario dentro de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, mismas que están reflejadas en la parte final del capítulo 2.

Como resultado del fundamento teórico revisado en la tercera y cuarta etapa, se encontraron y aplicaron herramientas de evaluación y verificación de proyectos de diseño. A partir de los resultados obtenidos en estas secciones, se descubrieron patrones en la visión o pensamiento de un equipo de diseño en específico, generando así una opción de aplicación de las mismas herramientas para proyectos futuros dentro de la UNAM.

Para finalizar esta tesis, se presenta una síntesis de todas las ideas, observaciones y resultados obtenidos durante toda la investigación, formulando así una postura hacia la aplicación del análisis del *Pensamiento de Diseño* dentro de proyectos futuros.

¿Cuál es la ventaja del Pensamiento de Diseño?

El *Pensamiento de Diseño* representa un acercamiento diferente a los problemas que surgen en la ingeniería. Presenta un gran abanico de herramientas para la investigación, adquisición de información, análisis de conocimiento y posicionamiento de soluciones en los campos del diseño y la planeación. Como un *estilo de pensamiento* es, generalmente, la habilidad de combinar la empatía, la creatividad y la racionalidad para analizar y ubicar soluciones en su contexto. El mayor objetivo al que conllevan todas estas actividades es la generación de INNOVACIONES.

La innovación es un concepto universal que es tan antiguo como la humanidad y cada generación la adapta a sus necesidades y requerimientos, respectivamente. Para tener una idea factible se podría comparar con una “invención” solo que esta última se convierte en una innovación al ser aceptada por los usuarios.

Con el fin de llevar a cabo una innovación, es crucial que las herramientas correctas sean elegidas. Esto tiene una gran importancia en cómo los actores dentro del *Pensamiento de Diseño* perciben al mundo alrededor de ellos, como piensan, sienten y se comunican.

La importancia de una innovación no se encuentra en el contenido de la misma sino en el cambio en las dinámicas interpersonales que esta trae consigo. Es crucial no solo encontrar lo obvio sino ir más allá para encontrar cambios no obvios que la innovación pueda producir. En otras palabras, una innovación es cualquier idea de donde emerja un cambio como resultado de su aplicación.

Existen diferentes factores principales que son cruciales en el proceso de desarrollo del *Pensamiento de Diseño* y que académicamente representan un reto, tanto para los nuevos diseñadores como para aquellos que estén intentando transmitir estas ideas.

El primero es, definitivamente, el rol de un trabajo en equipo eficiente y el impacto que tiene para el resultado final. Un compromiso unificado, un clima colaborativo y el apoyo y aliento por parte de los miembros del equipo son un prerrequisito para todo tipo de éxito. El trabajo en equipo requiere dedicación y habilidades individuales. Debe de ser una acción en conjunto de un grupo de personas en donde cada individuo subordina sus propios intereses y opiniones a la unidad y eficiencia del grupo. Ciertamente, esto no significa que lo individual no tiene importancia sino que los equipos de trabajos efectivos y eficientes tienen metas que van más allá de las individuales. El equipo de trabajo más efectivo se produce cuando todos los individuos involucrados armonizan sus contribuciones y trabajo hacia un objetivo en común.

Otro factor considerable dentro del *Pensamiento de Diseño* es un elemento educativo. Implicando con el término “educación” la noción de aprender y prepararse para un liderazgo exitoso tanto para alcanzar metas personales así como para abrir la mente a nuevas ideas y métodos.

El *Pensamiento de Diseño* está lleno de diferentes conceptos e ideas. Uno de los retos principales para los *diseñadores (design thinkers)*, es el navegar en este espacio de fragmentos para ir probando configuraciones alternativas en búsqueda de un concepto que represente sus valores e ideales. Esto genera una personalidad que se refleja desde el proceso de diseño hasta la solución final y distingue las soluciones de un grupo a otro.

Utilizar el *Pensamiento de Diseño* como paradigma de trabajo no solo implica el desarrollar productos sino poder comprender qué sucede con los individuos en el proceso. Es romper con las ideas académicas antiguas de clasificar el conocimiento por disciplinas ya que aprovecha la combinación entre las ciencias sociales y las ciencias exactas para generar valor en aspectos tanto humanos, artísticos como tecnológicos.

Económicamente, un proceso de diseño, utilizando este paradigma, representa una ventaja a largo plazo al generar soluciones previamente probadas con los usuarios finales. Esto reduce el alto costo de un fracaso total al diferirlo en pequeños costos que aparecen en las pruebas parciales. Al mismo tiempo, los resultados obtenidos cuentan, característicamente, con ventajas en la experiencia del usuario que permitirán ventajas comerciales, traducidas finalmente en una mayor recuperación monetaria en los procesos de venta.

En cada operación del *Pensamiento de Diseño* se encaran retos. Un descubrimiento importante en todos los proyectos de investigación de este paradigma es que representa un reto de síntesis más que de ideación. El camino es constantemente moldeado y configurado por eventos y descubrimientos. Se utilizan varios pasos durante todo el camino para asegurar la novedad de ideas y estos se convierten en una aventura que cautiva al *diseñador (design thinker)* y a los investigadores que observan de cerca este fenómeno. Después de un tiempo, se puede observar un momento en el que el camino se aclara y es en este punto del ciclo donde la síntesis y el pensamiento divergente, el análisis y el pensamiento convergente y la naturaleza del problema se juntan y se genera una solución. En los procesos del *Pensamiento de Diseño* no existen acciones aisladas o un procedimiento único que defina los procesos de diseño. Existen tantos procesos de diseño como diseñadores existan y tantas variables dentro del pensamiento individual como el número de contextos a los que el diseñador se enfrente. Por esta misma razón, es imposible una definición conceptual general del *pensamiento de diseño*, lo que lleva a la comprensión de que el diseño es el producto de las relaciones que ocurren dentro de un microcosmos individual, siendo afectado más por nuestras experiencias que por nuestro conocimiento técnico.

Usualmente, la tendencia de los estudiantes y profesionales de la ingeniería para la solución de problemas se basa en el desarrollo de nuevas tecnologías, que pueden ser tanto simples como complejas. Esto lleva a la adaptación de los usuarios a las nuevas tecnologías o productos, lo cual implica un proceso largo para introducir un producto en la mente de las personas. En cambio, con el *Pensamiento de Diseño*, se plantea un acercamiento social, no necesariamente mejor que el tecnológico sino complementario, que permite la adaptación de una tecnología o un producto a los usuarios, traduciéndose a un incremento en la aceptación del resultado final.

¿Qué representa el Pensamiento de Diseño para sus actores?

Este paradigma, incluyendo sus métodos y valores, representa un empoderamiento hacia sus actores que rompe con la visión clásica de ¿qué y cómo es un diseñador?

El primer poder que entrega es el de la creatividad. Esta característica surge de la adopción de los valores filosóficos mencionados en el capítulo 4.

Existe una creencia muy común, aunque errónea, de una clasificación entre mentes creativas y mentes lógicas dentro de los seres humanos. Esta clasificación ocurre desde la infancia y lleva a los individuos a negar la existencia, ya sea de procesos lógicos o creativos, según sea el caso, en sus cerebros sin entender que estos son complementarios.

Fisiológicamente está comprobado que el cerebro humano funciona en dos hemisferios (izquierdo= lógica y derecho = creatividad). Por lo que la existencia de la creatividad en cada individuo es una característica intrínseca e inalienable que caracteriza a la raza humana.

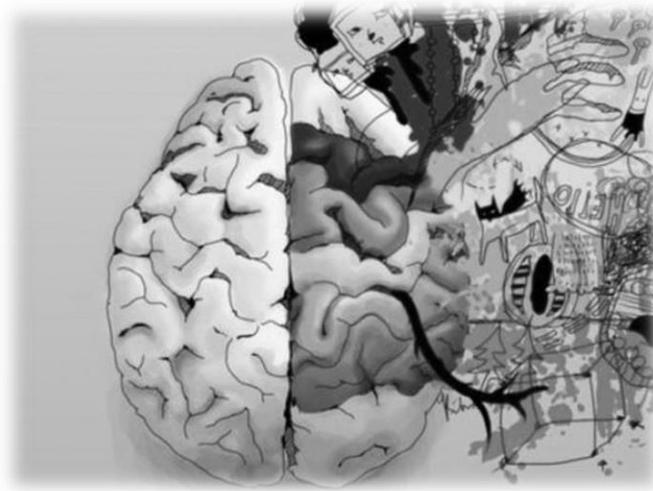


Figura 109. Hemisferios en el Cerebro Humano. Izquierdo = lógica, derecho = creatividad.

El *Pensamiento de Diseño* invita a sus actores a comprender que todos son creativos. No en el entendimiento tradicional de una creatividad artística sino en la capacidad de crear algo nuevo. De esta forma, rompe con los estigmas tradicionales dentro de las distintas disciplinas involucradas y genera “ingenieros creativos” o “artistas lógicos”. Este reconocimiento de una capacidad creativa es un requisito clave para poder idear conceptos diferentes y, por ende, llegar a una innovación.

El segundo poder que el *Pensamiento de Diseño* entrega a sus actores es la capacidad de crear, no solo objetos o servicios, sino procesos y eventuales campos de estudio. Esto

evoluciona el objetivo del diseño, pasando de la creación de algo tangible a la construcción de campos de conocimiento.

El diseño es una disciplina con naturaleza extrínseca, cambiante y evolutiva que se transforma dependiendo del contexto en el que se desarrolle. Las diversas características tanto culturales, tecnológicas y personales representan factores que afectarán al resultado final. Con el poder de construcción de campos de conocimiento, se pueden analizar ciertos comportamientos repetitivos y características organizacionales dentro de grupos definidos de diseñadores, esto con el fin de generar herramientas para la mejora del rendimiento y el eventual aumento de probabilidad de éxito.

El tercer poder que adquieren los *pensadores de diseño (design thinkers)* es la capacidad de coordinación de distintas disciplinas. Una vez más, la figura del diseñador tradicional (pensamiento individual, orientado a la creación tangible y centrado en su disciplina) evoluciona a una persona capaz de entender diferentes puntos de vista, incluidos aquellos que son totalmente distintos a su visión, para sintetizarlos y coordinar proyectos integrales y multidisciplinarios.

Esta característica transforma, no solo el pensamiento de una persona, sino la naturaleza de los proyectos que desarrollan. Ya no solo es optimizar variables en una máquina, embellecer un producto o producir más dinero dentro de una empresa. Los objetivos de estos “nuevos proyectos” tienden a implicar retos que involucran el uso de tecnología para resolver problemas sociales o la optimización de variables comerciales para generar soluciones ambientales o tecnológicas. Son proyectos ambiciosos que tratan de resolver los problemas más difíciles de la humanidad, aquellos que por su naturaleza abierta, han aquejado a nuestra raza durante toda su historia.

Pensamiento de Diseño en la UNAM

El análisis y la síntesis del proceso de diseño del proyecto “El Hielo de Futuro, así como las observaciones de los distintos proyectos centrados en el usuario, permitieron descubrir factores organizacionales que afectaron el resultado final obtenido. Tales factores indican que existe un déficit de opciones dentro del portafolio de herramientas de trabajo con las que cuentan los estudiantes involucrados en los proyectos de diseño dentro de la UNAM, demostrado con los resultados del análisis de las cadenas internas del proyecto.

La construcción de una base teórica sólida, relacionada no solo a los procesos sino a aspectos filosóficos del *Pensamiento de Diseño*, sirvió para comprender y comprobar la aplicabilidad, dentro de la ingeniería de diseño, de los métodos incluidos en este paradigma y generar herramientas para la evaluación y verificación de proyectos de diseño en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Aplicando las herramientas mostradas en esta tesis a los procesos de diseño dentro de la UNAM, se puede sistematizar la utilización de métodos de evaluación para que los equipos de revisión representen una guía objetiva para los diseñadores y su retroalimentación se base en opiniones constructivas y datos duros para alentar a los equipos a pasar de la planeación a la ejecución, mejorando así la obtención de los *insights* necesarios para generar soluciones de alto impacto social, tecnológico y económico.

Un aspecto importante que se debe de cuidar en el desarrollo de proyectos de diseño relacionados al *Pensamiento de Diseño* dentro de la UNAM, es la capacitación, previa a los proyectos, de los estudiantes para que estos cuenten con un abanico más amplio de opciones de herramientas. Esto implica una introducción del pensamiento de los participantes a los procesos mentales que ocurren en esta forma diferente de entendimiento de la realidad, llevando así a una opción para futuras investigaciones.

Algunos de los principios filosóficos, que forman el contexto para una correcta aplicación de los procesos del *Pensamiento de Diseño*, se contraponen a elementos muy arraigados dentro de la cultura universitaria. Tal es el caso de la aceptación del fracaso como un camino al aprendizaje, la aceptación de ideas “salvajes” como probables soluciones y la aceptación de procesos con un nivel alto de ambigüedad. Estas diferencias empobrecen el éxito potencial con el que cuentan las ideas de los estudiantes y truncan la aparición de nuevos métodos de trabajo que pudieran surgir del atrevimiento y la toma de riesgos. Para mejorar este punto, se deben de mostrar los logros surgidos de estos procesos y poco a poco ir demostrando a la comunidad la aplicabilidad de “nuevas ideas” y formas “diferentes” de pensamiento.

Pensamiento de Diseño en México

Inicialmente, se planteó la aplicación del *Pensamiento de Diseño* como una posible herramienta para incrementar los niveles de innovación en México y, como consecuencia, mejorar la economía nacional.

De forma paralela a los cursos académicos en la UNAM, se llevaron investigaciones culturales para definir un perfil de innovación en México, tanto mediáticas como

presenciales, siendo la más importante la participación de proyectos con el Laboratorio para la Ciudad, organismo gubernamental que pretende mejorar la calidad de vida en la Ciudad de México a través de la innovación.

Del análisis de estas actividades y su comparación con las investigaciones culturales realizadas en Silicon Valley, zona geográfica donde se encuentra la Universidad de Stanford y cuna del *Pensamiento de Diseño* moderno, se obtuvo la siguiente tabla comparativa entre los valores que definen los procesos de diseño en cada lugar:

Tabla 29. Diferencias Culturales México -Silicon Valley

Silicon Valley	México
Aprendizaje a través del fracaso	Fracaso como elemento negativo
Prototipaje y refinamiento	Demonstraciones teóricas
Creatividad colectiva	Genialidad Individual
Proyectos centrados en el humano	Procesos basados en la tecnología
Procesos ambiguos	Procesos altamente restringidos
Ideación optimista (ideas salvajes)	Ideación pesimista (solo la mejor idea es la correcta)
Iteración	Fijación de Diseño

Pareciera que este tipo de pensamiento se contraponen con ideas culturales muy arraigadas en la idiosincrasia del país. Esto representa un reto para todos aquellos que creen que esta “nueva forma de pensar” genera un valor extra en las ideas, ya sea al aplicarlo en la industria, en la academia e inclusive en la vida diaria.

No se trata solo de copiar los procesos que ocurren en el extranjero, sino de adaptar los valores y métodos a la cultura mexicana para generar una compatibilidad de principios.

¿Un *Pensamiento de Diseño* mexicano? Esto es un reto que quizá represente el inicio del entendimiento y la eventual evolución de una identidad innovadora nacional que busque desarrollar no solo valores económicos sino que alcance la vanguardia en el desarrollo tecnológico y en las soluciones sociales.

FIGURA 1. DIAGRAMA DE FLUJO - METODOLOGÍA	6
FIGURA 2. ESPACIOS DE PROBLEMA Y DISEÑO EN EL PENSAMIENTO DE DISEÑO	15
FIGURA 3. RELACIÓN ESPACIO-DISEÑADORES-REPRESENTACIONES	28
FIGURA 4. ASPECTOS QUE CONFORMAN UN PRODUCTO INNOVADOR	29
FIGURA 5. MODELO TEÓRICO CÍCLICO PARA PENSAMIENTO DE DISEÑO	32
FIGURA 6. MODELO TEÓRICO CAÓTICO PARA PENSAMIENTO DE DISEÑO.....	32
FIGURA 7. PROCESO EN CASCADA ME-310	38
FIGURA 8. DIVISIÓN CRONOLÓGICA ME-310	39
FIGURA 9. ESQUEMA (AMBIGÜEDAD VS TIEMPO) DE MISIONES ME-310	46
FIGURA 10. FÁBRICAS DE HIELO DOMÉSTICAS ACTUALES	48
FIGURA 11. PROCESO GENERAL DE DISEÑO PARA "FALL QUARTER"	53
FIGURA 12. PRIMER LLUVIA DE IDEAS.....	54
FIGURA 13. OPCIONES DE ENFRIAMIENTO PARA BEBIDAS TIBIAS	58
FIGURA 14. RASPADOS CALLEJEROS	60
FIGURA 15. CHAD FITT	61
FIGURA 16. ESTHER LASCURRAIN Y RIVADENEIRA	62
FIGURA 17. LOGOTIPO WHIRLPOOL.....	63
FIGURA 18. LOGOTIPO LG ELECTRONICS HOME APPLIANCE COMPANY.....	64
FIGURA 19. HIELOS EN ESCAMAS	64
FIGURA 20. TUBO DE HIELO	65
FIGURA 21. BLOQUES DE HIELO	65
FIGURA 22. LOGOTIPO SHENZHEN ZHONGXUE REFRIGERATION EQUIPMENT CO. LTD.	66
FIGURA 23. HIELO ESFÉRICO	68
FIGURA 24. FROST BOSS.....	69
FIGURA 25. ESQUEMA VÓRTICE RANKIN.....	70
FIGURA 26. V-TEX	71
FIGURA 27. ARTICUBE.....	71
FIGURA 28. SIMULACIÓN DEL VÓRTICE RANKIN.....	73
FIGURA 29. PARTÍCULAS INFLUENCIADAS POR EL VÓRTICE RANKIN.....	73
FIGURA30. MILL CHILL - PRUEBA REAL	75
FIGURA 31. CONDUCCIÓN CON SERPENTINES	76
FIGURA 32. BEBIDA ENFRIADA CON GAS COMPRIMIDO	77
FIGURA 33. ENFRIAMIENTO DE LÍQUIDOS DENTRO DE UN SERPENTÍN	78
FIGURA 34. CONGELAMIENTO CON NITRÓGENO LÍQUIDO	80
FIGURA 35. CONFINAMIENTO EN CO2	81
FIGURA 36. PROCESO DE LIOFILIZACIÓN	82
FIGURA 37. INMERSIÓN EN ALCOHOL ISOPROPÍLICO.....	82
FIGURA 38. MOLDE VIBRATORIO PARA HIELOS	84
FIGURA 39. PRUEBAS DE CLARIDAD EN HIELO: AGUA CORRIENTE (IZQ.) VS. AGUA DESTILADA (DER.).....	85
FIGURA 40. REUNIONES SOCIALES.....	86
FIGURA 41. HIELOS CILÍNDRICOS-ALARGADOS	87
FIGURA 42. ICE LUCHO.....	88
FIGURA 43. SISTEMA "ICE LUCHO" COMPLETO	89
FIGURA 44. INTERACCIÓN ENTRE USUARIOS Y "ICE LUCHO"	90

FIGURA 45. PROCESO GENERAL "WINTER QUARTER"	91
FIGURA 46. FRUTA CONGELADA.....	92
FIGURA 47. BEBIDAS ALCOHÓLICAS CONGELADAS	93
FIGURA 48. PRUEBAS DE "NOCHE DE PÓKER"	94
FIGURA 49. "BAZOOKA FRÍA"	95
FIGURA 50. "LUCHO MOTION"	96
FIGURA 51. SISTEMA DE VENTILADORES PARA AUMENTAR EL FLUJO VOLUMÉTRICO DEL AIRE EN UN REFRIGERADOR.....	98
FIGURA 52. MODELO COMPUTARIZADO PARA "POLAR ROLLER 1.0"	99
FIGURA 53. POLAR ROLLER 1.0	100
FIGURA 54. FLUJO DE REFRIGERANTE A TRAVÉS DE UN CILINDRO.....	101
FIGURA 55. MODELO DE TRANSFERENCIA DE TEMPERATURA VS. TIEMPO DE ENFRIAMIENTO	106
FIGURA 56. MODELO COMPUTARIZADO PARA "POLAR ROLLER 2.0"	108
FIGURA 57. "POLAR ROLLER 2.0"	108
FIGURA 58. PRINCIPALES USOS DEL HIELO (SEGÚN POBLACIÓN ENTREVISTADA).....	109
FIGURA 59. MÉTODOS COMUNES DE ENFRIAMIENTO DE BEBIDAS	109
FIGURA 60. MODELO COMPUTARIZADO PARA "MOLDE CILÍNDRICO PARA HIELOS"	110
FIGURA 61. PRIMERA PRUEBA DE MOLDE PARA HIELOS	111
FIGURA 62. COMPARATIVO DE RENDIMIENTO ENTRE REFRIGERADOR, CONGELADOR Y POLAR ROLLER	112
FIGURA 63. CONCEPTO FINAL "POLAR ROLLER"	119
FIGURA 64. INCLUSIÓN DEL SISTEMA "POLAR ROLLER" EN UN REFRIGERADOR COMERCIAL.....	120
FIGURA 65. PROTOTIPO FINAL - POLAR ROLLER	121
FIGURA 66. CÁMARAS COMPONENTES DENTRO DEL POLAR ROLLER	122
FIGURA 67. COLOCACIÓN DE PAREDES DE PE-HD	124
FIGURA 68. ENSAMBLE FINAL DE CHASIS	124
FIGURA 69. SISTEMA DE BOMBEO Y BAÑO	125
FIGURA 70. BOMBA UTILIZADA PARA EL SISTEMA POLAR ROLLER	126
FIGURA 71. SALIDAS TIPO "JET"	126
FIGURA 72. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA POR BANDAS PLANAS	127
FIGURA 73. MOTOR AC UTILIZADO PARA MOVER EL SISTEMA DE TRANSMISIÓN	128
FIGURA 74. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	129
FIGURA 75. MEDIDAS GENERALES PARA MARCO SIMULADOR.....	130
FIGURA 76. ENSAMBLE DE MARCO SIMULADOR.....	131
FIGURA 77. ENSAMBLE DE PANELES Y MARCO SIMULADOR	133
FIGURA 78. PLACA TRASERA DE VENTILACIÓN.....	134
FIGURA 79. INTERFAZ TÁCTIL.....	135
FIGURA 80. CILINDROS DE HIELO (CILINDRO DE ACERO INOXIDABLE, ESQUELETO DE URETANO Y ENSAMBLE)	136
FIGURA 81. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LATA 355 ML.	139
FIGURA 82. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA VINO.	139
FIGURA 83. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CILINDRO DE HIELO.	140
FIGURA 84. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LATA 355 ML VS MODELO 100%.	141
FIGURA 85. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA VINO VS MODELO 100%.	141
FIGURA 86. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA CILINDRO DE HIELO VS MODELO 100%.	142
FIGURA 87. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA LATA 355 ML CON MODELO 100% Y MODELO AJUSTADO.	143
FIGURA 88. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA VINO CON MODELO 100% Y MODELO AJUSTADO.	144
FIGURA 89. RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA VINO CON MODELO 100% Y MODELO AJUSTADO.	144
FIGURA 90. MODELO UNIFICADO DE PROCESO DE INNOVACIÓN PARA DISEÑADORES Y EQUIPO DE REVISIÓN	149

FIGURA 91. ESQUEMA ME-310 EN MUPIDER.....	152
FIGURA 92. PROCESO DE TOMA DE DECISIONES EN "EL HIELO DEL FUTURO"	153
FIGURA 93. CASCADA DE REPRESENTACIONES EN "EL HIELO DEL FUTURO"	158
FIGURA 94. NIVELES DE ABSTRACCIÓN Y RESOLUCIÓN PARA LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO DE DISEÑO.....	159
FIGURA 95. NIVELES DE ABSTRACCIÓN Y RESOLUCIÓN PARA PROTOTIPOS DE FUNCIÓN CRÍTICA.....	160
FIGURA 96. NIVELES DE ABSTRACCIÓN Y RESOLUCIÓN PARA PROTOTIPOS "DARK HORSE"	161
FIGURA 97. NIVELES DE ABSTRACCIÓN Y RESOLUCIÓN PARA PROTOTIPOS "FUNK-TIONAL"	162
FIGURA 98. NIVELES DE ABSTRACCIÓN Y RESOLUCIÓN PARA PROTOTIPOS "FUNC-TIONAL"	163
FIGURA 99. NIVELES DE ABSTRACCIÓN Y RESOLUCIÓN PARA PROTOTIPO FINAL	164
FIGURA 100. PORCENTAJE DE APARICIÓN DE REPRESENTACIONES CLASIFICADAS SEGÚN TIPO DE CAMBIO EN PROCESO DE DISEÑO	165
FIGURA 101. ESQUEMA REPRESENTATIVO DE LOS ACTORES EN "EL HIELO DEL FUTURO"	169
FIGURA 102. USO DE HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN ENTRE PARTES DEL PROYECTO "EL HIELO DEL FUTURO"	170
FIGURA 103. CLASIFICACIÓN DE LAS HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN PARA "EL HIELO DEL FUTURO"	171
FIGURA 104. FUNCIONES ELEMENTALES PARA ANÁLISIS FUNCIONAL.....	176
FIGURA 105. SIMBOLOGÍA PARA ANÁLISIS FUNCIONAL.....	176
FIGURA 106. DIAGRAMA FUNCIONAL PARA FÁBRICAS DE HIELO DOMÉSTICAS ACTUALES	177
FIGURA 107. DIAGRAMA FUNCIONAL PARA POLAR ROLLER	178
FIGURA 108. ENFRIAMIENTO COMO FUNCIÓN DE CONTENIDO.....	179
FIGURA 109. HEMISFERIOS EN EL CEREBRO HUMANO. IZQUIERDO = LÓGICA, DERECHO = CREATIVIDAD.	185
ECUACIÓN 1. ELEMENTOS DE UN PROBLEMA	10
ECUACIÓN 2. PENSAMIENTO DEDUCTIVO.....	11
ECUACIÓN 3. . PENSAMIENTO INDUCTIVO	11
ECUACIÓN 4. ELEMENTOS DE UN PROBLEMA EN DISEÑO.....	11
ECUACIÓN 5. PENSAMIENTO EN ABDUCCIÓN-1.....	12
ECUACIÓN 6. PENSAMIENTO EN ABDUCCIÓN-2.....	12
ECUACIÓN 7. CREACIÓN DE MARCOS EN ABDUCCIÓN-2.....	13
ECUACIÓN 8. LEY GENERAL DE LOS GASES.....	95
ECUACIÓN 9. VELOCIDAD DE GIRO DE CILINDRO	102
ECUACIÓN 10. CONSTANTE DE DIÁMETRO \wedge	103
ECUACIÓN 11. NÚMERO DE REYNOLDS	103
ECUACIÓN 12. NÚMERO DE PRANDTL	103
ECUACIÓN 13. NUSSELT LAMINAR.....	103
ECUACIÓN 14. NUSSELT TURBULENTO	103
ECUACIÓN 15. NUSSELT GENERAL.....	103
ECUACIÓN 16. COEFICIENTE CONVECTIVO DE TRANSFERENCIA DE CALOR.....	104
ECUACIÓN 17. TRANSFERENCIA DE CALOR DEL FLUIDO CON MAYOR TEMPERATURA	104
ECUACIÓN 18. TRANSFERENCIA DE CALOR DEL REFRIGERANTE	104
ECUACIÓN 19. BALANCE ENERGÉTICO ENTRE CILINDRO Y REFRIGERANTE	105
ECUACIÓN 20. MODELO DE TRANSFERENCIA DE CALOR	105
ECUACIÓN 21. TIEMPO DE ENFRIAMIENTO PARA BEBIDAS	106
ECUACIÓN 22. TIEMPO DE ENFRIAMIENTO.....	142
ECUACIÓN 23. TIEMPO DE CONGELAMIENTO.....	142
ECUACIÓN 24. TEMPERATURA PROMEDIO	145

TABLA 1. PENSAMIENTO CIENTÍFICO VS PENSAMIENTO DE DISEÑO.....	9
TABLA 2. MOVIMIENTOS DE DISEÑO RELACIONADOS AL “DESIGN THINKING”	22
TABLA 3. DIFERENTES FORMAS DE ENTENDER EL PENSAMIENTO DE DISEÑO	31
TABLA 4. MÉTODOS COMUNES EN EL PENSAMIENTO DE DISEÑO	33
TABLA 5. MISIONES ME-310.....	40
TABLA 6. EQUIPO DE DISEÑO "EL HIELO DEL FUTURO"	52
TABLA 7. EVALUACIÓN DE MARCAS “CONSUMER AFFAIRS”	66
TABLA 8. RESULTADOS DE EXPERIMENTOS DE ENFRIAMIENTO RÁPIDO.....	79
TABLA 9. RESULTADOS DE EXPERIMENTOS PARA CONGELAMIENTO RÁPIDO	83
TABLA 10. PROPIEDADES TEÓRICAS TÉRMICAS DEL REFRIGERANTE Y BEBIDAS	102
TABLA 11. REQUERIMIENTOS DADOS POR MABE.....	113
TABLA 12. REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	114
TABLA 13. REQUERIMIENTOS FÍSICOS.....	116
TABLA 14. PROPIEDADES FÍSICAS ASUMIDAS PARA MODELO TÉRMICO FINAL	137
TABLA 15. FACTORES DE AJUSTE A	143
TABLA 16. OPORTUNIDADES FUNCIONALES FUTURAS.....	146
TABLA 17. OPORTUNIDADES FÍSICAS FUTURAS.....	146
TABLA 18. RETORNOS EN EL PROCESO DE DISEÑO	150
TABLA 19. REPRESENTACIONES EN LA EXPLORACIÓN DEL ESPACIO DE DISEÑO	159
TABLA 20. REPRESENTACIONES PARA PROTOTIPOS DE FUNCIÓN CRÍTICA.....	160
TABLA 21. REPRESENTACIONES PARA PROTOTIPOS “DARK HORSE”	161
TABLA 22. REPRESENTACIONES PARA PROTOTIPOS “FUNK-TIONAL”	162
TABLA 23. REPRESENTACIONES PARA PROTOTIPOS “FUNCTIONAL”	163
TABLA 24. REPRESENTACIONES PARA PROTOTIPO FINAL	164
TABLA 25. HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN PARA "EL HIELO DEL FUTURO"	169
TABLA 26. HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN MABE-UNAM	171
TABLA 27. HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN MABE-STANFORD	172
TABLA 28. HERRAMIENTAS DE COMUNICACIÓN UNAM-STANFORD	173
TABLA 29. DIFERENCIAS CULTURALES MÉXICO -SILICON VALLEY.....	188
VIDEO 1. CÓDIGOS QR EN LA EDUCACIÓN.....	VII
VIDEO 2. CARACTERÍSTICAS DEL PENSAMIENTO EN “DESIGN THINKING”	19
VIDEO 3. LARRY LEIFER Y LA METÁFORA DEL “CAZADOR”	21
VIDEO 4. TIM BROWN, “DEL DISEÑO AL DESIGN THINKING”	24
VIDEO 5. DAVID KELLEY Y CREATIVE CONFIDENCE.....	26
VIDEO 6. ¿QUÉ ES DESIGN THINKING?.....	30
VIDEO 7. CREATIVE THINKING - HOW TO GET OUT OF THE BOX AND GENERATE IDEAS: GIOVANNI CORAZZA AT TEDXROMA	35
VIDEO 8. THE GREAT PAPER BIKE POLO RALLY 2009.....	41
VIDEO 9. CONCEPTO POLAR ROLLER	120