



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN CALENTADOR CON
CELDA DE COMBUSTIBLE

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:
ISRAEL CARRASCO MELÉNDEZ

I



DIRECTOR DE TESIS:
DR. JAIME GONZALO CERVANTES DE GORTARI

CIUDAD UNIVERSITARIA

2009

Dedicatorias

A mis padres

Ángela Meléndez Guevara

Ausencio Carrasco Hernández

A mi única hermana y para mis hermanos

Jacqueline Estela Carrasco Meléndez

Sergio Carrasco Meléndez

Emilio Carrasco Meléndez

A mis familiares

Aquellos que siempre me apoyaron

A todos y cada uno de mis amigos

Gracias por su amistad y apoyo en todos esos momentos difíciles

A mis profesores
Por todo lo que aprendí

Por último pero no menos importante
A la UNAM por todo el apoyo que nos da

Índice.

Introducción	1
Capítulo 1 Objetivos y antecedentes	3
1.1 Objetivo general de la tesis	3
1.2 Objetivos específicos	3
1.3 Metas	3
1.4 Alcances	3
1.5 Metodología	3
1.6 Limitaciones del estudio	4
1.7 Antecedentes	5
1.8 Calentadores convencionales	5
Capítulo 2 Herramientas de diseño y propuesta del calentador	12
2.1 Definición del problema	12
2.2 Propuestas de una posible solución	13
2.3 Desarrollo de un producto según la metodología de Dieter	15
2.3.1 Complementación a la metodología de Dieter, diseño de detalle propuesto por Asimov	17
2.4 Ingeniería concurrente	18
2.5 TRIZ (Teoría para Resolver Problemas de Inventiva)	19
Capítulo 3 Desarrollo del calentador	20
3.1 Reconocimiento de una necesidad	20
3.2 Definición del problema	20
3.2.1 Requerimientos	20
3.2.2 Especificaciones	21

3.3	Recolección de información	21
3.3.1	Selección de celda de combustible	22
3.3.2	Propuesta del primer diseño	23
3.3.3	Selección de resistencia	25
3.3.4	Selección de material	28
3.3.5	Selección y desarrollo de la base	34
3.4	Desarrollo del diseño del calentador	35
3.5	Segundo diseño	37
3.6	Requerimientos de TRIZ	37
3.7	Aplicación de TRIZ	38
3.8	Sustitución de aluminio por plásticos	41
3.9	Desarrollo del proceso de Dieter, segundo diseño	43
3.9.1	Selección de resistencia, elementos Peltier	43
3.9.2	Selección de materiales, segundo diseño	44
3.9.3	Selección de la celda	46
3.10	Desarrollo del segundo diseño	48
	Capítulo 4 Análisis de resultados	52
4.1	Vistas del plano de conjunto y análisis de peso	52
4.1.1	Análisis de costos directos e indirectos	53
4.1.2	Ventajas y desventajas del primer diseño	54
4.2	Vistas del plano de conjunto y análisis de peso, diseño final	56
4.2.1	Análisis de costos directos e indirectos	57
4.2.2	Ventajas y desventajas del segundo diseño	58
4.3	Comparativa de la aplicación de la metodología de Dieter	60
4.4	Resultados de la aplicación de TRIZ	60

4.5	Análisis global	. . . . .	.62
Capítulo 5 Conclusiones			.64
Apéndice 1. Antecedentes celdas de combustible			.66
A1.1	Hidrógeno	. . . . .	.66
A1.1.1	Descripción de las aplicaciones del hidrógeno	. . . . .	.68
A1.2	Metanol	. . . . .	.70
A1.2.1	Métodos de obtención del metanol	. . . . .	.70
A1.3	Celdas de combustible	. . . . .	.71
A1.3.1	Tipos de celdas de combustible	. . . . .	.73
A1.3.2	Ventajas y desventajas de las celdas de combustible	. . . . .	.75
Apéndice 2 Opciones de celdas de combustible			.79
Apéndice 3 Selección de material para la carcasa en el diseño final			.83
Apéndice 4 Diagramas de Ashby			.85
Apéndice 5 Memoria de cálculos			.90
Bibliografía			.98
Páginas de Internet consultadas			.98

Introducción

El uso de combustibles para el funcionamiento de diferentes máquinas es esencial en la industria, el transporte, el comercio, y en general para todas las actividades humanas cotidianas. La mayoría de los combustibles son productos derivados del petróleo. Si bien resulta ser una de las mayores fuentes de energía, también representa un gran problema: contaminación por emanación de residuos al ambiente.

Este problema se ha agudizado con el paso de los años; por tanto empresas, gobiernos y la sociedad en su conjunto han decidido encontrar soluciones que sean menos dañina al ambiente. Dentro de estas soluciones, se encuentra el empleo de combustibles más limpios así como el uso de tecnologías novedosas que tienen un menor impacto.

Un ejemplo de lo anterior son las celdas de combustible, que utilizan hidrógeno para su funcionamiento, y el residuo obtenido por las reacciones dentro de esta celda es agua pura. Estas celdas hasta hace poco tiempo se encontraban desarrolladas tecnológicamente y su uso se veía limitado debido a la poca madurez comercial. De lo mencionado, el principal obstáculo han sido los altos costos que implica. Aunque ya se cuenta con un mayor número de proveedores, en comparación a años anteriores, los costos restringen todavía su uso. Se espera que conforme su uso se vaya difundiendo esta limitante desaparezca, de la misma manera que ha sucedido con algunas tecnologías que usamos en la actualidad: celulares, computadoras, etc.

Esta tecnología se encuentra en proceso de maduración, hablando tecnológicamente, debido a las barreras tecnológicas que tienen que superar, pero esto no ha sido impedimento para que sean utilizadas actualmente. Por ejemplo, Japón se ha dedicado al desarrollo de proyectos de celdas de combustible con lo cual se espera que en los próximos años se aumente su uso en actividades cotidianas. Por otra parte, países como Canadá, líderes en el desarrollo de las celdas, han dedicado su tiempo, dinero y esfuerzo a la innovación de esta tecnología. Con ambos esfuerzos se pretende que para el año 2010 sean utilizadas para aplicaciones estacionarias, para el 2015 alcance la comercialización y para el 2020 se encuentre en el mercado en diversas aplicaciones. Pretendiendo para este último año tanto abatir costos, mejora de diseños, uso de materiales más resistentes a la corrosión para su fabricación y generación de combustibles para su operación¹.

No obstante lo anterior, este proyecto pretende adaptar la tecnología de las celdas de combustible en un calentador, enfocado a una acción habitual: calentar tortillas y mantenerlas calientes por tiempos prolongados.

Además del uso de una tecnología novedosa y totalmente amable con el medio ambiente, se aplican herramientas modernas que permitan desarrollar el diseño sistemático del calentador. Estas herramientas consisten en utilizar una serie de pasos propuestos para la mejora de un producto, esto se aplica en la etapa de diseño como se explica detalladamente en el texto de esta tesis.

¹ Información obtenida de <http://www.universia.com.ar/materia/materia.jsp?materia=25799>

A continuación se enlistan los capítulos de este trabajo, explicando de manera general lo realizado en cada uno de ellos.

Capítulo 1. Objetivos y antecedentes. Se dan los objetivos, metas, hipótesis, metodologías e hipótesis. Con esto se permitirá desarrollar el diseño del calentador bajo ciertas condiciones. Además se incluirá la información referente a los calentadores de tortillas más utilizados, así mismo información fundamental sobre las celdas de combustible.

Capítulo 2. Herramientas de diseño y propuesta del calentador. Descripción de las herramientas de diseño a utilizar en el desarrollo del calentador. Por otra parte, se hará la propuesta de lo que podría ser el primer modelo del calentador de tortillas.

Capítulo 3. Desarrollo del calentador. Esta parte se enfoca principalmente al desarrollo del calentador, utilizando la metodología y herramientas propuestas en el anterior capítulo.

Capítulo 4. Análisis de resultados. Después de haber desarrollado el calentador, tanto en el diseño preeliminar como el en final, en esta parte se analizarán los diseños desarrollados, mostrando los planos de conjunto, el estimado del costo del producto, el peso de cada muestra y haciendo un análisis entre los resultados obtenidos.

Capítulo 5. Conclusiones. Como parte final, se resumen los resultados más relevantes sobre el diseño del calentador con el aditamento de las celdas de combustible.

Capítulo 1. Objetivos y antecedentes

En este capítulo se tienen los objetivos, tanto general como específico, así mismo las metas, alcances metodología y limitaciones de esta tesis. Por otra parte se incluyen antecedentes e información en general sobre los calentadores más utilizados en México.

1.1 Objetivo general de la tesis

Diseño de un calentador de uso doméstico con celdas de combustible.

1.2 Objetivos específicos

Selección de una celda de combustible como fuente de energía principal del calentador de tortillas.

Uso de herramientas innovadoras de diseño para el mejoramiento del producto final.

1.3 Metas

Para lograr los objetivos, en este proyecto, se pretende utilizar los conocimientos obtenidos a lo largo de la licenciatura de ingeniería, junto con aquellos recursos que se encuentren disponibles, como pueden ser: software, bocetos, diseños previos, etc.

También se utilizará alguna metodología de desarrollo de productos y de herramientas de diseño como son: TRIZ² e ingeniería concurrente.

1.4 Alcances

Los alcances de esta tesis pretenden llegar hasta el diseño conceptual, lo cual implica obtener un estimado del costo del calentador, planos de conjunto y una presentación del producto realizado en algún software de diseño disponible. Para realizar lo anterior, se analizarán los calentadores convencionales con lo cual se determinarán algunas características sobre las especificaciones y requerimientos, que permitirán obtener un diseño innovador y funcional. Junto con lo anterior, la adaptación de una celda de combustible como fuente de energía, lo que permitirá su movilidad y su uso en cualquier lugar en el que sea necesario.

1.5 Metodología

Los procedimientos que se utilizarán para el desarrollo de este proyecto serán: analizar celdas disponibles, materiales, funcionamiento de algunos calentadores convencionales de tortilla y también la aplicación de metodologías nuevas como TRIZ y el uso de un método enfocado al diseño de productos. Con toda la información, se irán proponiendo algunos modelos de los cuales se irá determinando un diseño que será innovador y de calidad. También debe ser funcional para justificar el gasto de compra en algún momento debido a la tecnología utilizada.

² TRIZ es un acrónimo ruso para Teoría para Resolver Problemas de Inventiva, desarrollada por Genrich Altshuller y sus colegas desde 1946. TRIZ ayuda a crear productos y procesos innovadores de forma rápida y sencilla. Obtenido de www.triz.net

Para la selección de materiales, se utilizará el método de propiedades ponderadas así como del uso de diagramas de Ashby³. Considerando propiedades del material como son: corrosión, transferencia de calor, costo, etc.

Con todo lo anterior, en la parte final se realizará una estimación del costo del calentador, planos de conjunto, etc, los cuales permitirán tener un diseño conceptual de este producto a desarrollar para que la información sirva en proyectos posteriores como antecedentes.

1.6 Limitaciones del estudio

Posiblemente las limitaciones más notorias que se tienen en este proyecto son las celdas de combustible comerciales. Además de que la tecnología disponible tiene un elevado costo, lo cual puede ser un gran obstáculo si se tuviera que adaptar en un proceso común.

³ Método de selección de materiales desarrollado por Michael F. Ashby , el cual se apoya en graficas, en las que se relacionan por pares ciertas propiedades de los materiales. Obtenido de www.utp.edu.co

1.7 Antecedentes

Una parte importante en el desarrollo de este proyecto, es conocer los diferentes calentadores que existen en el mercado, ya que la información obtenida será una parte importante en la base de este proyecto. Por otra parte la información de las celdas de combustible es de gran importancia. Tanto la información sobre calentadores y celdas de combustible, permitirán encontrar el diseño más óptimo del calentador de tortillas con celdas de combustible desarrollado en este proyecto.

Para el análisis de celdas de combustible, se dispone de una gran cantidad de información en este proyecto. De esta información podemos mencionar: tecnología utilizada actualmente, su forma de funcionamiento, ventajas y desventajas, aplicaciones etc. El hecho de conocer bien esta información permitirá tener una mejor implementación sobre el calentador a desarrollar. Por tanto la información sobre celdas de combustible y sus combustibles más comunes se encontrarán en el apéndice 1.

Por tanto se iniciará la parte de calentadores existentes en el mercado, enfocados al calentamiento de tortillas. Es necesario conocer cada uno, ya que de esta parte se obtendrán datos de gran importancia como son: tiempos de residencia de la tortilla, temperatura utilizada, etc. Estos datos permitirán plantear algunas especificaciones del calentador de este proyecto.

1.8 Calentadores convencionales para tortillas

Como se ha venido comentando, la información sobre calentadores convencionales es de gran importancia para el desarrollo de este proyecto. Conocer cuáles son los más comunes en los hogares mexicanos, es tarea que en esta parte se realizará. Dentro de los ejemplos más comunes que se tienen sobre los calentadores convencionales se encuentran los comales y el horno de microondas además de estos dos existe otro que resulta importante de mencionar que son los de tipo solar. Para iniciar, esta primera parte se enfocará en los comales, posteriormente se incluirá información referente a los microondas y los calentadores solares.

En México, dentro de los principales alimentos en la dieta del mexicano encontramos a la tortilla, alimento a base de maíz que ha sido por generaciones parte importante en nuestra cultura. Aunque tiene una importancia muy grande, la tecnología aplicada para su calentamiento aún sigue siendo algo muy tradicional. Por ejemplo, desde que se tienen registros, la tortilla ha sido calentada en comales. El comal es un utensilio de cocina tradicional utilizado en México y Centroamérica para la cocción de alimentos y cuyo nombre proviene del náhuatl comalli.

Los primeros comales utilizados en México estaban hechos básicamente de barro cocido y tenían una forma de círculo o elipse de una medida mediana, aproximadamente 30 cm, los cuales eran colocado sobre tres o cuatro piedras conocidas como Tenamascles, entre las cuales se prende fuego ya sea usando carbón o leña. Cuando los comales eran nuevos se les hace un tratamiento llamada curado, el cual consiste en frotarlo por ambos lados y varias veces con una mezcla de agua y cal, después de lo cual se pone a secar al sol para hacerlo antiadherente. El comal era y es utilizado para preparar varios tipos de platillos tradicionales, en particular, las tortillas de maíz, las tlayudas (tortilla originaria del estado de Oaxaca) y los totopos.

En la actualidad además de contar con los comales de barro cocido se ha optado por elaborarse de otros materiales como son los aceros o aluminios. Este tipo de comal son más ligeros que su predecesor, no es frágil, se calienta más rápidamente y la temperatura se puede graduar más fácilmente ya que son utilizados comúnmente en las estufas. Tiene una mayor disposición en tamaños además de que son utilizadas para diferentes propósitos. Tenemos como ejemplos de esto que hay comales de metal que posean en la parte central una depresión circular donde se almacena aceite o manteca líquidos para freír varios productos alimenticios. El comal metálico es utilizado por vendedores de comida callejeros y en restaurantes de México, además de que esta presente en la mayoría de los hogares mexicanos.

Dentro de sus principales ventajas se tienen las siguientes:

- Su peso varía dependiendo del material con que estén hechos.
- Tienen un buen acabado superficial.
- Son fáciles de limpiar, excepto cuando se carbonizan las tortillas.
- Baratos.
- Variación de formas y tamaños.
- Pueden usar cualquier combustible que les brinde una fuente de calor.
- Está disponible en varios tamaños.
- Tiempo de uso: de 3 a 5 minutos por tortilla, considerando un comal de metal delgado a una temperatura media(entre 140 y 160° C)

Y las principales desventajas son:

- Los comales de cerámica son muy frágiles.
- Su uso es peligroso cuando están calientes.
- Tardan en calentarse.
- Mucha de la energía utilizada en los comales se pierde al ser emitida al ambiente.
- Son sustituibles por sartenes grandes o planchas para cocinar.

De la misma manera que en las celdas aquí mostraremos gráficamente cómo es un comal de acero y barro, en la figura 1.1.



Figura 1.1 Imágenes de tortillas en un comal de cerámica (derecha) y metálico (izquierda), obtenido de tortillacocina.com.

A pesar de sus inconveniencias, este método se sigue utilizando en muchas partes del país, la importancia del desarrollo de calentadores de tortillas ha sido baja en comparación a otros productos de cocina. Pero en realidad es aquí donde es posible notar que hay un área de oportunidad, en el cual se pueden aplicar conocimientos de ingeniería para mejorar algo que ya existe.

Hasta nuestros días, los comales siguen la misma temática y lo único que se podría decir que ha cambiado son los materiales con que están fabricados y algunos cambios mínimos en sus diseños. Ahora en vez de utilizar cerámica son utilizados metales como los aceros inoxidable, debido a sus propiedades de resistencia a la corrosión y la alta transferencia de calor. Además de que gracias a las propiedades superficiales, de esta aleación metálica, su limpieza superficial es bastante sencilla lo cual permite eliminar manchas superficiales así mismo olores que quedan impregnados debido a alimentos que se calientan sobre él.

Por otra parte, están las formas de energía que proveen el calor suficiente para calentar la superficie del comal que a su vez calentará a la tortilla. Dentro de estas fuentes de energía, encontramos que de forma rudimentaria se utilizan leños para generar un fuego en el cual es puesto el comal para calentar a las tortillas. Este método, es el menos apropiado debido a ciertos puntos que son:

- Conseguir la leña es un trabajo con muchas complicaciones, en comunidades rurales la madera se corta por sus pobladores, este hecho lleva mucho tiempo en la mayoría de las ocasiones. En caso de comprarlo el principal problema es el del encontrar un proveedor, para el caso de las ciudades.
- Al momento de quemar la leña, los productos de la combustión que se generan son gases tóxicos, por lo cual es necesario estar en un área ventilada para poder realizar este acto.
- Para cierta cantidad de fuego, es necesario una gran cantidad de madera, a largo plazo no es una buena opción.
- Su uso llega a ser peligroso, debido al carbón que se genera al quemar la leña.
- Se generan demasiados contaminantes que son dañinos tanto para las personas que se encuentran cercas como para el medio ambiente.

Pero además de este método, tenemos otro que es el mas común, utilizar una estufa a base de gas que ha sido hasta el momento una opción muy utilizadas por las amas de casa. Este método tiene muchas ventajas que son las siguientes:

- Los gases de combustión son mínimos, por lo que es posible utilizarlo en áreas más cerradas.
- El gas utilizado por las estufas, es más fácil de conseguir, debido a que hay varios proveedores, además de que se puede almacenar para ser utilizado posteriormente.
- El fuego utilizado puede ser regulado de forma fácil, mediante una perilla.

Y dentro de las principales desventajas que se tienen son:

- La estufa es un dispositivo fijo.

- En caso de querer recalentar las tortillas, es necesario encender la parrilla si se encuentra apagada.
- La mayor parte de la energía utilizada para calentar el comal se va a al ambiente, por lo que su eficiencia es muy baja.
- La probabilidad de sufrir un accidente es muy alta.
- Al momento de calentar, se debe tener cuidado de evitar que se quemé la tortilla.

De esta manera se observa, que la estufa a pesar de ser muy utilizada aún cuenta con ciertas desventajas que posiblemente pueden mejorarse, pero ese no es el objetivo de este proyecto. Además de los dos anteriores métodos de calentamiento, tenemos uno más y recientemente utilizado, el horno de microondas.

Para el horno de microondas se describirá brevemente un poco de su historia, su funcionamiento, ventajas y desventajas, de la misma forma que se hizo para el comal.

Alrededor de 1946 el doctor Percy Spencer, ingeniero de Raytheon Corporation, notó algo peculiar mientras experimentaba con un tubo al vacío llamado magnetrón, después de estar haciendo sus pruebas tomo una barra de chocolate que estaba en su bolsillo descubriendo que se había derretido. El Doctor Spencer comenzó a experimentar con semillas de maíz, huevo, etc, observando que en todos los casos sucedía lo mismo, había un aumento en la temperatura con lo cual dedujo que podía atribuirse a la exposición a la energía de baja densidad de las microondas. Inicio pruebas en una caja metálica con una abertura en el cual introdujo energía de microondas donde observo que al no poder escapar las ondas se generaba un aumento en la densidad de campo electromagnético, lo cual representaba un aumento en la temperatura rápida de los alimentos.

Con todo lo anterior los ingenieros de Raytheon Corporation comenzaron a mejorar el diseño inicial con el fin de hacerlo mas practico y comercial. Al principio de su comercializaron no fue muy bien aceptados debido a los altos costos y su enorme tamaño, pero conforme pasaban los años se fue mejorando hasta volverlo accesible y de uso en la mayoría de los hogares.

El horno de microondas permite el calentamiento de los alimentos por medio del uso de ondas electromagnéticas, las cuales hacen que el agua que contiene la comida comience a moverse generando fricción entre sí, lo cual aumentan su temperatura ocasionando el calentamiento del alimento.

Analizando esto podemos ver las ventajas que tiene:

- Rapidez de calentamiento. Para una tortilla, el tiempo de calentamiento es de apenas 4.5 segundos, utilizando un horno de 1000 Watts a máxima potencia.
- Calentado uniforme.
- Fácil de usar.
- Fácil de conseguir sus repuestos.
- Hay modelos que combine en diseño y color con la cocina del ama de casa.
- Recalentado de las tortillas en cualquier momento, y con un tiempo de trabajo muy bajo.

Aunque parece que es muy útil tiene varias desventajas, que deben tomarse en cuenta para su consulta en algún momento posterior y son las siguientes:

- Uso excesivo de energía eléctrica para su funcionamiento.
- Al calentar el agua en los alimentos, en las tortillas provoca que cambie su textura debido a la falta de humedad para el caso de algunos alimentos.
- Su funcionamiento no tiene un tiempo fijo para calentar la tortilla depende del usuario, así que la temperatura final de calentado puede variar.

Pero a pesar de tener estas desventajas, algunas amas de casa han encontrado soluciones al problema de calentar tortillas mediante el uso del horno de microondas, pero a pesar de esto aún se tiene la grave desventaja del enorme consumo de energía eléctrica. Para el caso de los hornos, la fuente de energía eléctrica se encuentra regulada por un medidor por el cual se obtiene una medición aproximada del gasto de energía por mes, el cual se cobra por la compañía encargada de dar este servicio, no suele ser barato.

Estas dos formas de calentar tortillas son las más usuales en México, tanto el comal como el horno de microondas, pero a pesar del paso de los años estos métodos no han variado de manera significativa. Existe otro método de calentamiento de comida que se ha venido utilizando en mayor medida desde hace algunos años, la cocina solar. Esta forma tiene muchas ventajas en comparación a la cocina tradicional y claro ciertas desventajas que serán vistas a continuación.

Se tienen datos que en el año de 1767 el franco suizo Horace de Saussure realizó los primeros experimentos con hornos solares de tipo caja para la preparación de alimentos, figura 1.2. Donde la máxima temperatura que obtuvo en dichas pruebas fue de 88° C y que variando el interior de la caja por una superficie negra alcanzaba una temperatura de 160° C. Saussure pensó que esta forma de cocción de alimentos sería de gran utilidad debido a que era pequeño, barato y fácil de fabricar,

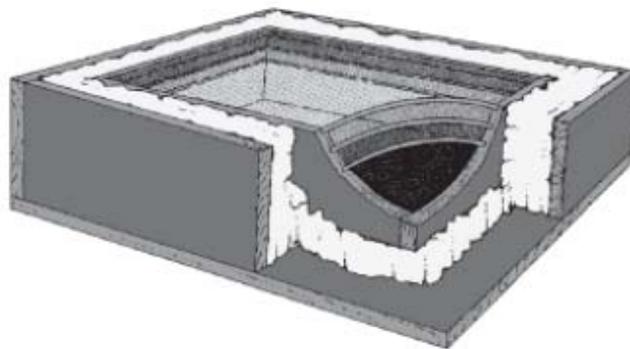


Figura 1.2. Esquema del primer horno solar diseñado por Horace de Saussure en 1767, imagen obtenida de <http://www.ceuta.org.uy/publicaciones.php>

En 1810 Auguste Mouchot diseñó cocinas portátiles para el ejército de Napoleón, empleó cocinas de concentración de tipo parabólico, figura 1.3.

Para el siglo XX el uso de fuentes de energía convencionales tales como el petróleo, el gas y la electricidad comenzaban a tener una mayor presencia en una sociedad que buscaba que las tareas del hogar fueran más sencillas y rápidas. Con la aparición del microondas en 1967 y el uso de la olla de presión, se logró el objetivo pretendido de

cocinar rápido. El uso excesivo de estas fuentes de energía provocó una crisis energética que por consecuencia hizo que se incrementara el desarrollo de la cocina solar

Gracias a pioneros como la Doctora Maria Telkes quien diseñó innovadores modelos para hornos solares entre los años 1950 y 1970, que inspiraron a una gran cantidad de investigadores en el mundo, logrando con esto que en años posteriores se crearan empresas dedicadas a esta tecnología además de que se realizarán conferencias y convenciones que se dedican a difundir la cocina solar. Después de observar a grandes rasgos como fue el desenvolvimiento de la cocina sola a través de los años ahora queda definir como es su funcionamiento.

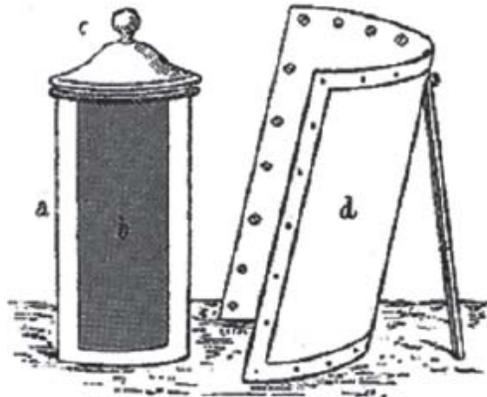


Figura 1.3. Esquema del horno construido por Auguste Mouchot en 1810, imagen obtenida de <http://www.ceuta.org.uy/publicaciones.php>

En principio las cocinas y hornos solares son sencillas aplicaciones que aprovechan la energía solar para cocinar los alimentos. Básicamente se basan en un recipiente que acumula la radiación solar. Además de cocinar alimentos, los hornos solares son ideales para pasteurizar el agua, esterilizar material quirúrgico, etc. Tan sólo es necesario utilizar la radiación solar. Su aplicación representa la eliminación de fuentes de energía convencionales que se vuelven más escasas.

Existen tres tipos de familias de hornos solares:

- De concentración o parabólicas: Este tipo de cocina se basa en una superficie reflectante tipo parabólico que concentra los rayos del sol sobre una olla. Generan altas temperaturas y permiten freír o hervir alimentos. Su principal ventaja es que pueden calentar la comida tan rápido como la cocina tradicional, su principal desventaja es que son complicadas de hacer y pueden causar daños en los ojos de los usuarios sino son ocupadas adecuadamente.
- De acumulación u horno de caja. Son esencialmente trampas de calor que realizan una conversión de la radiación solar en energía calórica. La parte superior de la caja es transparente dejando así pasar la luz solar, además de poseer paneles reflectantes de aluminio o espejos, que permiten capturar una cantidad más grande calor. En su diseño tanto la base como la olla a utilizar deben ser negros para que absorban la mayor cantidad de radiación. La cocción de los alimentos es lenta comparable a cocinar a fuego lento pero los guisos suelen ser muy agradables por el sabor que obtienen.
- Las cocinas de panel son una mezcla de horno solar y cocina tipo parabólica. Consisten en varios reflectores que concentran la energía solar en un sistema

compuesto por una olla negra que se encuentra dentro de un recipiente transparente.

De las ventajas más notorias que tienen el uso de esta tecnología son:

- No consumen electricidad ni algún otro combustible.
- No generan gases nocivos al ambiente como lo hacen las estufas.
- Al utilizar esta tecnología se puede evitar el uso de leña considerando que sea aplicada en una comunidad rural, con lo cual se protege a los bosques.

Las desventajas son:

- No funciona cuando hay nubosidad o días lluviosos.
- El tiempo de cocción suele ser muy largo en la mayoría de los casos, para platillos mas complejos se requieren de una gran dedicación.
- El horario de comidas no es fijo y siempre estaría dependiendo del clima que haya.

A continuación algunos ejemplos de estos tipos de hornos solares, figura 1.4.



Figura 1.4. Izquierda se muestra un horno de paneles, a la derecha un horno de acumulación. Obtenidas de http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Presentaciones/Cocinando_SOL.pdf

Con la información obtenida en esta sección se pretende tener las bases para el desarrollo del proyecto del calentador de tortillas. Esto se observará en el siguiente capítulo.

Capítulo 2. Herramientas de diseño y propuesta del calentador

En este capítulo se plantea el problema principal de esta tesis y su posible solución. Con esto se pretende definir una metodología de diseño a utilizar, así mismo las herramientas que permitirán mejorar el producto final. Se tomarán algunos aspectos de la información obtenida en el primer capítulo y se iniciará con la definición del problema, se continuará con la metodología y herramientas de diseño que se presentarán en la segunda parte de este capítulo.

2.1 Definición del problema

En el capítulo 1 de esta tesis se mencionó de forma muy general la información sobre calentadores convencionales para tortilla utilizados en la mayoría de los hogares mexicanos, además en el apéndice 1 se tiene la información más importante sobre celdas de combustible, ambas para su consulta en el momento que se necesiten. Se observaron, las ventajas y desventajas que tienen los calentadores convencionales. Por otra parte también se pudo observar que estos calentadores abarcan la mayor parte del mercado, no obstante que tienen serias deficiencias de uso. A pesar de que en México la tortilla es un alimento muy común, no se utiliza nuevas tecnologías para mejorar su calentamiento, puesto que se piensa que es algo muy sencillo el hecho de calentar tortillas. Parece ser algo sin mucha gracia, pero para un diseñador es una excelente oportunidad para mejorar lo existente en la cocina.

Hasta hoy, el comal ha sido el más utilizado, con la aparición del horno de microondas algunas personas han decidido probar este aparato eléctrico, sólo que ha tenido resultados que a muchas personas no les agrada. Dentro de estos resultados al calentar una tortilla en el microondas, como se mencionó en la introducción es que la tortilla queda con una textura muy diferente a la inicial, la cual para algunas personas es desagradable al momento de ingerirla, además de esto, es fácil notar que la cantidad de energía eléctrica que consume un horno de microondas es muy grande por lo cual su uso es limitado.

Otro punto importante que se toma cuenta en este proyecto es la celda de combustible, ya que ella será la fuente de energía del calentador. Como se mencionó, su principal desventaja que ha tenido esta tecnología ha sido sin lugar a duda en costos, pero a pesar de este inconveniente, en la actualidad las aplicaciones se observan en aparatos de uso común. Dentro de estos ejemplos lo encontramos como fuente de energía primario en: teléfonos celulares, en laptops y otros aparatos de consumo medio de energía. Lo que permite imaginar que se pueden utilizar para otras aplicaciones dentro del hogar.

Con todo esto se pretende mejorar lo existente utilizando alguna metodología y herramientas de diseño, junto con la tecnología de celdas de combustible. Esto conforma la base de este proyecto; y las razones simples para el desarrollo de este proyecto son:

- Manejo eficiente de la energía utilizada.
- Calentamiento más uniforme sobre la superficie de la tortilla.

- Mantenimiento de una temperatura media sobre la tortilla, entre un rango de 45 a 55° C por más tiempo.
- Poco tiempo para calentar la tortilla.
- Movilidad.

La solución que se propondrá para esta área de oportunidad debe tomar en cuenta varios aspectos. Entre ellos las características de las celdas de combustible, las resistencias que se puedan utilizar para calentar las tortillas si se llegaran a utilizar, etc. Por ejemplo, el tener que adaptar una celda a una parrilla eléctrica comercial lleva ciertas desventajas, como es la forma predeterminada de las celdas de combustible comerciales. Otra desventaja que se puede observar son las resistencias de las parrillas eléctricas, en la mayoría son tubulares lo que dificulta su uso para manipularlas las tortillas al momento de calentarlas. Esto se puede resolver colocando una plancha sobre las resistencias, pero esto provocaría un mayor costo sobre el producto. Por este motivo se tratará de encontrar la solución más óptima tomando en cuenta toda la información que sea posible tener o con que se cuente.

2.2 Propuestas de una posible solución.

El propósito de este proyecto es llegar hasta el diseño conceptual de un calentador con celdas de combustible, mediante el uso de la tecnología que se encuentre comercialmente, así como del uso de software de diseño que permita desarrollar una solución óptima e innovadora.

Lo antes mencionado no es algo fácil de lograr, ya que muchos de los puntos relevantes se obtienen durante el desarrollo del producto y se publican hasta el final. Cosas como los aciertos y errores se observan en estas partes, y se pueden evitar si se realiza un segundo diseño.

Por todo esto se pretende realizar dos pasos, ambos llevarán la misma metodología. Pero si ambos siguen los mismos pasos, ¿cuál es la relevancia de hacer lo mismo dos veces?, lo pretendido es realizar un primer diseño en el cual se encuentre una primera solución con ciertas características, tanto errores como aciertos. Esto permitirá tener datos del primer diseño, que posteriormente serán utilizados en el segundo diseño, con el fin de optimizar el resultado final.

Además de lo anterior, también se mencionó que se busca un resultado innovador. Para llegar a esto en algunos proyectos, se realiza lo siguiente:

- Se toma un diseño base de algún calentador, en caso de que no lo haya se puede proponer uno.
- Se utiliza una metodología para desarrollo de productos existentes, con el fin de evitar contratiempos.
- Utilizar herramientas dirigidas a la innovación de productos.
- Si se desarrolla un diseño, al finalizar, se pueden analizar los detalles que posiblemente se puedan mejorar.
- Además de las funciones principales, buscar nuevas funciones que se puedan agregar.

- Utilizar materiales nuevos, sólo si cumplen con lo pretendido en esta tesis.

No son todos los puntos necesarios, la importancia radica en tener una base propuesta para poder continuar en el proceso de desarrollo de este proyecto. No necesariamente se tiene que seguir algo ya descrito, en ello radica que sea innovador un producto. Salir de lo habitual y cotidiano, y ver lo que la mayoría de las personas no ven. Pero ya contando con lo anterior, lo siguiente es detallar el proceso de diseño y algunas metodologías adicionales, esto se realizará tanto para el diseño preliminar como final.

Para continuar con este capítulo se propondrán la metodología a utilizar y algunas herramientas de diseño. Primero se iniciara con la metodología, para este proyecto, se eligió el propuesto por Dieter⁴ para desarrollos de productos. El hecho de tomar lo propuesto por Dieter sobre otras metodologías de diseño de productos fue por varias razones: esta propuesta abarca de una manera más completa la parte de diseño conceptual, en comparación a otros métodos como los propuestos por Hans Gugelot⁵, Bruce Archer⁶ o Morris Asimow⁷.

En el método propuesto por Asimow en la parte primaria del proyecto existe un apartado en el cuál solicita un estudio muy detallado sobre lo que se piensa realizar, un análisis tanto a corto y largo plazo del producto además de un estudio de mercado tanto previo como posteriormente al desarrollo de este. Este método sería elegido en caso de que el desarrollo del producto fuera más allá del diseño conceptual.

Para la metodología propuesta por Bruce Archer muestra una serie de pasos muy detallados en el desarrollo de productos, ya sea seleccionando los materiales adecuados los cuales servirán para satisfacer una necesidad de función y estéticas dentro de las limitaciones de los medios de producción disponibles. Es cierto que este método es de los mas completos pero por lo mismo es demasiado extenso para utilizarse en esta tesis, lo que se procura es utilizar una metodología que cumpla con lo básico pero que a su vez no sea tan extenso. Esto sería mas útil si fuera aplicado a una empresa donde lo que se busca es que el producto obtenga ganancias.

En la última metodología propuesta por Hans Gugelot toma en cuenta dos opciones como son: la caja negra y la caja transparente. En la caja negra lo que se utiliza más es la experiencia del diseñador, ciertas decisiones se realizan por instinto y generalmente arroja resultados satisfactorios a pesar de que no se tenga idea de cómo se llego hasta ese punto, pretendiendo en este caso eliminar las barreras del proceso creativo. En cambio en la caja transparente se siguen una serie de pasos que Hans propone, en esta parte el proyecto se abre a varias posibilidades debidas a la investigación mas detallada que se utiliza, aquí las

⁴ Proceso de diseño de un producto creado por Dieter, obtenido de: Dieter, G., E., "Engineering Design", second Edition, Mc Graw-Hill, 1991.

⁵ Proceso de diseño de un producto creado por Hans gugelot, obtenido de Teoría del diseño <http://teoria-diseno.blogspot.com/>

⁶ Proceso de diseño de un producto creado por Bruce Archer, obtenido de Teoría del diseño <http://teoria-diseno.blogspot.com/>

⁷ Proceso de diseño de un producto creado por Asimov, obtenido de: Asimov, M., "Introduction to Design", Prentice -Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1962.

ideas repentinas del diseñador no son tan importantes como en la caja negra aunque si se llegarán a utilizar es considerada como un caso particular en este método de diseño. Este método doble, por así mencionarlo, abarca de una manera detallada el diseño de productos pero para poder utilizarlo se utiliza mucho la retroalimentación de información, lo que se traduce en tiempo.

Todas estas metodologías tienen sus ventajas y desventajas pero como se dijo la ventaja más grande que se encuentra con Dieter es la de abarcar de manera más detallada la parte de diseño conceptual de una forma sencilla. En algunas de los métodos de diseño mencionados se puede observar que se dirigen principalmente a un producto que estará en el mercado. Por ahora sólo se pretende desarrollar esta propuesta del calentador de tortillas con celdas de combustible en poco tiempo y lo mejor posible.

2.3 Desarrollo de un producto según la metodología de Dieter

Para poder comenzar con la parte de desarrollo del calentador es necesario conocer lo propuesto por Dieter. Se pretende seguir esta metodología tal cual está, pero si es necesario variar algún paso se realizará, argumentando la razón. Se comprende que la mayoría de las compañías de diseño cuentan con una metodología muy diferente y es en el momento de diseñar cuando se proponen mejoras en las mismas. Pero lo que se pretende es innovar, mejorar y obtener un producto de calidad. En esta ocasión tomaremos la metodología propuesta por Dieter, el cual es mostrado en la figura 2.1.

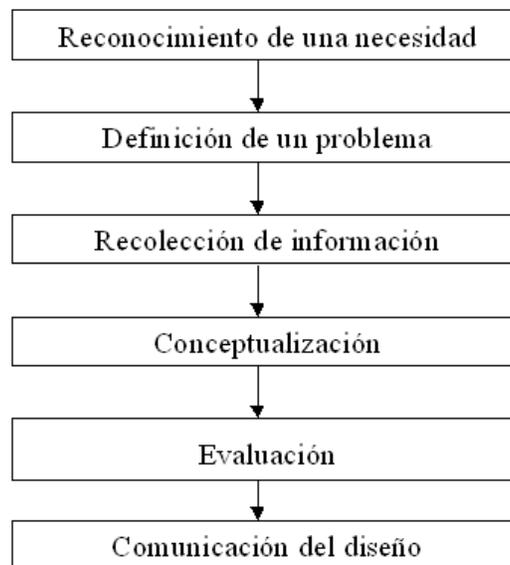


Figura 2.1 Proceso de diseño según Dieter. Obtenida del libro de Dieter, G., E., “Engineering Design”, second Edition, Mc Graw-Hill, 1991.

Ya en esta etapa no se pretende hablar a grandes rasgos sobre este método. En general la mayoría de los procesos existentes son muy parecidos, y cada uno ha sido desarrollado por diversas circunstancias, generalmente a las que el diseñador se ha visto envuelto. Lo que se

pretende es tomar una opción, seguir el proceso y si es necesario variar algún detalle, explicando la razón, como se mencionó con anterioridad.

Dentro de la figura se explican las diferentes etapas del diseño de un producto, pero para utilizarla es necesario conocer cada uno. Esta información fue tomada tanto del libro *Engineering Design* de Dieter, junto con la información presentada en el artículo *Técnicas numéricas y experimentales aplicadas al desarrollo de nuevos productos*. De tal forma que la siguiente información ha sido adaptada y redactada hacia el tema de esta tesis.

- ❖ Reconocimiento de una necesidad. Dentro de una sociedad existen diferentes necesidades que deben ser satisfechas. Para lograr esto, existen tanto investigadores para analizar esto. Ellos se encargan del análisis y posteriormente de encontrar la solución más eficiente. Para este trabajo este punto se ha definido desde la parte inicial, la necesidad de un calentador de tortillas que funcione con celdas de combustible.
- ❖ Definición del problema. Este paso resulta ser uno de los más importantes en el proceso de diseño, no es fácil definir todos los parámetros, es necesario hacer un análisis profundo. En esta parte se deben definir de la manera mas específica posible, los requerimientos de la necesidad a resolver también se deben incluir en esta parte metas y objetivos, definición de términos especiales, restricciones del diseño y criterios que deberán ser usados para evaluar el diseño. Para este proyecto será necesario tomar en cuenta, tanto características de las celdas de combustible, de las tortillas y de los calentadores comerciales que sirvan de referencia. Junto con lo anterior se debe especificar hasta donde se pretende llegar, considerando las restricciones que se den.
- ❖ Recolección de información. Este paso permite utilizar la información de trabajos anteriores, en caso de que los haya, aunque también existe la posibilidad de que no haya información sobre el tema a tratar. La información para este proyecto está disponible en mayor medida para calentadores de otro tipo como: de agua, de comida, etc. Por lo mismo, la mejor opción es tomar la información disponible, y elegir aquella que pueda servir de ayuda. En conjunto con la información de las celdas de combustible que fueron explicados en el apéndice 1, de este trabajo.
- ❖ Conceptualización. Se determina lo necesario para satisfacer la necesidad reconocida, tanto partes que pueden conformar al producto, materiales, diseños, etc. Para lograr esto es necesario contar con la información de manera resumida de cada parte, para que posteriormente encajen entre ellas y así obtener lo que será el producto final. Esta unión de información debe tener un orden para evitar contratiempos. Además de lo anterior, la inventiva y creatividad del diseñador juegan un papel importante, ya que mediante esto se puede tener una idea clara del producto o de alguna de sus partes, apoyándose en el uso de algún boceto, imagen de referencia de algún producto comercial, etc.
- ❖ Evaluación. Este paso se basa en la información obtenida en la parte de conceptualización, su desarrollo se logra al uso de herramientas más especializadas,

ya sean como cálculos, software de diseño, pruebas de simulación, prototipos reales o a escala. Este proyecto no pretende llegar hasta la parte de prototipos, pero si hasta mostrar el producto desarrollado en alguna paquetería de diseño. Para esto se utilizará Unigraphics, este software permitirá mostrar la idea en un ambiente tridimensional. Para lograrlo, se partirá de un boceto propuesto, para ambas partes del desarrollo del calentador. Junto con el boceto y la información sobre los componentes, se podrá desarrollar cada diseño, los cuales serán mostrados mediante imágenes.

- ❖ Comunicación del diseño. El diseñador debe considerar que todo el trabajo realizado tiene como fin cumplir con ciertas expectativas, en este caso sería satisfacer la necesidad propuesta. Los resultados obtenidos deben mostrarse con el fin de conocer el punto de vista de un cliente o un comité, puesto que de ahí se puede obtener información importante en caso de que se requiera una mejora sobre producto, ya sea en un momento futuro. Además de que la información que será adquirida durante el desarrollo de este proyecto sirva para futuros proyectos, como se mencionó en la parte recolección de información. Es por este motivo que se necesita documentar la información de un proyecto, para conocer aciertos y errores. Con base a los resultados y conclusiones, conocer el alcance logrado dentro del objetivo de este trabajo.

La metodología de Dieter, tan solo abarca la parte primaria de diseño, no es lo único que se tomaría en cuenta si se quisiera producir el producto, sería necesario tomar decisiones tanto financieras como técnicas. Es por eso que la metodología de Dieter no es suficiente y por esta razón Asimov⁸ es la complementación hablando de la parte de diseño de detalle. Después del último proceso en la metodología seleccionada, varios puntos a ser tomados en cuenta: la vida del producto, herramientas, maquinaria, personal, etc. Como ha sido especificado en este proyecto, no se pretende continuar más allá del diseño conceptual, por lo que la metodología elegida cumple con lo pretendido, pero en caso de que se pretenda llevar este diseño a algo más tangible sería bueno conocer por lo menos a grandes rasgos los puntos que Dieter tomo de la metodología de Asimov, se enfoco en la parte de diseño de detalle para complementar a la parte de diseño conceptual que él propuso.

2.3.1 Complementación a la metodología de Dieter, diseño de detalle propuesto por Asimov

Lo propuesto por Asimov servirá en caso de que se pretenda desarrollar este proyecto más allá de la parte conceptual. También se informa de su contenido para proyectos posteriores, en el cual se pueda considerar el hecho de realizar un producto similar a este.

Dentro de los puntos adicionales a lo propuesto por Dieter tenemos los siguientes:

- + Planeación de la manufactura.
- + Planeación para la distribución.

⁸ Complementación al proceso de diseño propuesto por Dieter, información obtenida de: Asimov, M., "Introduction to Design", Prentice – Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1962.

- + Planeación para el uso.
- + Planeación para el retiro del producto.

Cada parte propuesta por Asimov toma en cuenta puntos importantes sobre el producto una vez que se encuentra en el mercado. Por ejemplo, desde la selección de herramientas a utilizar para cada pieza, la distribución del producto, como debe ser utilizado, que tan fácil debe utilizarse, cuando ya es obsoleto el producto, etc. Todo esto permitirá tener un producto de calidad y con esto se evitara gastos innecesarios.

En el siguiente capítulo, se abarca la metodología propuesta por Dieter. La única variación que se tendrá en el proceso, será en el que en una parte antes del informe de resultados se tomarán los datos obtenidos durante el primer proceso de diseño. Estos datos servirán para una segunda iteración en la cual como se ha venido mencionando se pretende la mejora del diseño a partir primer desarrollo.

Ahora es necesario conocer un poco sobre las diferentes herramientas de diseño que se pueden utilizar, de manera adicional a la metodología propuesta. Dentro de estas herramientas tenemos primero a la **ingeniería concurrente**⁹ y a **TRIZ**¹⁰, explicadas a continuación.

2.4 Ingeniería concurrente

Otro punto importante, antes de comenzar con la explicación y desarrollo del método de diseño es la implementación de la ingeniería concurrente. Es difícil saber cómo aplicar este tipo de metodología en un proyecto en el que tiene como fin solo llegar hasta el diseño conceptual. La ingeniería concurrente tiene como objetivos principales en su desarrollo los siguientes puntos:

1. Acortar los tiempos de desarrollo de los productos.
2. Elevar la productividad.
3. Aumentar la flexibilidad.
4. Mejor utilización de los recursos.
5. Productos de alta calidad.
6. Reducción en los costos de desarrollo de los productos.

A partir de estos puntos, se tomarán aquellos que puedan estar dentro de lo que se piensa realizar. De estos, se tomarán los siguientes:

-Productos de alta calidad

En estos tiempos, la calidad es un factor importante que se requiere en el diseño de productos que son comercializados. Para cumplir existen normas, ISO generalmente, que dentro de sus propósitos es el de entregar productos que cumplan ciertas características para

⁹ Información obtenida de <http://ingenierias.uanl.mx/22/ingenieriaconcu.PDF>

¹⁰ Información obtenida de <http://es.wikipedia.org/wiki/TRIZ> y *40 principles, Triz keys to technical innovation* de Genrich Altshuller.

complacer al usuario final. En esta tesis, no es posible seguir estas normas debido a que el producto a desarrollar no tiene predecesores como cualquier otro producto, en la mayoría de los productos comerciales se implanta una norma ISO para su fabricación. Pero se pretende aplicar la calidad en materiales, diseño, acabados, etc.

Otro punto de importancia es:

-Mejor utilización de recursos.

Hemos planteado hasta el momento la aplicación de la celda de combustible como parte fundamental en el desarrollo de este proyecto. Para este dispositivo se pueden definir varias salidas, ya sea entregando un diferencial de voltaje, como producto primario, así como un producto final, vapor de agua, producto secundario debido a la reacción electroquímica. En la mayoría de las ocasiones los productos finales secundarios, como el mencionado, se pierde en algún proceso. Son pocos los aparatos en que los productos secundarios como resultado final son utilizados, a menos que se realice un estudio con el fin de obtener un provecho. En esta parte no se pretende utilizar este punto de la ingeniería concurrente como se define sobre un proceso de manufactura, se busca adaptarlo al proceso de diseño con el fin de obtener un producto final de calidad. Ambos puntos seleccionados de esta metodología, juegan un papel importante sobre el diseño del calentador.

2.5 TRIZ (Teoría para Resolver Problemas de Inventiva)

Este método tiene por nombre TRIZ, esta metodología desarrollada por Genrich Altshuller, ingeniero ruso que trabajaba como examinador de patentes para la unión soviética, en 1946. Este trabajo le permitió observar cerca de 200000 patentes, y clasificarlas ya sea por principio inventivo, por la forma de resolver el problema, etc. Todo lo anterior, le permitió establecer una serie de pasos aplicables en la formulación de problemas, análisis de sistema y patrones de evolución de sistemas. Quedando simplificado en 40 principios, alguno de ellos son:

- Segmentación: Dividir un objeto en partes independientes.
- Extraer (o remover): una porción que interfiere o perturba o propiedades.
- Calidad local: Cambiar una estructura del objeto desde una uniforme a una no uniforme, cambiar un ambiente externo (o la influencia externa) desde uno uniforme a uno no uniforme.
- Asimetría: Si un objeto es asimétrico, aumente su grado de asimetría.
- Unir (o consolidar): objetos idénticos o similares, para realizar funcionamientos paralelos o solapados.

Además de los principios mencionados existen otros, que se adecuan dentro de lo que se realiza en el desarrollo de algún producto. Solo que para este caso en común, se aplicará TRIZ hasta el segundo proceso. Se considera que la primera parte es de prueba, en donde se propondrá un diseño con ciertas características, que posteriormente servirá de base para aplicar esta metodología, con el fin de mejorar el diseño en diversos aspectos que mejoren el resultado. Ahora es necesario empezar con la parte principal de esta tesis.

Capítulo 3. Desarrollo del calentador

En este capítulo se utilizará la metodología de Dieter que fue seleccionada para el desarrollo del calentador de tortillas. Dentro de este proceso se hará la selección de la celda de combustible a usar, las resistencias, los materiales para la carcasa del calentador y otros elementos que sean necesarios. Además de la metodología utilizada se utilizarán las herramientas de diseño propuestas en capítulos anteriores. Es necesario decir que esto se realizará tanto para el diseño preliminar y final del calentador de tortillas.

3.1 Reconocimiento de una necesidad

Este proyecto surgió debido a una necesidad, la cual ha sido bien definida en los objetivos (capítulo 1):

-Diseño de un calentador de tortillas doméstico que utilice celdas de combustible.

Algunas compañías se han dedicado en los últimos tiempos a desarrollar celdas de combustible en aplicaciones como: celulares, laptops, etc. Aunque el desarrollo va en aumento aún se tiene el problema de costo de la tecnología disponible, pero éste es un problema que se resuelve con el desarrollo de tecnologías más eficientes que se van generando en futuros momentos.

3.2 Definición del problema

La tecnología de las celdas de combustible tiene varias ventajas sobre las fuentes de energía convencionales, que se mencionan en el apéndice 1 de este trabajo.

Continuando se deben especificar ciertos aspectos que debe tener el diseño a desarrollar. Estas características serán definidas mediante requerimientos y especificaciones, que serán propuestos a continuación.

Para definir lo que son los requerimientos es necesario expresarlo como algo que se pretende que se realice pero no es algo que se pueda medir es más bien como un deseo, en cambio en las especificaciones con respecto a lo anterior se vuelve más real, por ejemplo, en los autos se quiere que gasten poco combustible (requerimiento) y para lograr esto el gasto no sería mayor a un litro por kilómetro (especificación). Tanto con los requerimientos y especificaciones, es conveniente realizar una lista, con la cual sea más fácil tener una idea de lo que se pretende realizar.

3.2.1 Requerimientos

De la lista que se proponga se tratará de seguir con lo planteado pero si fuera necesario cambiar algún requerimiento se realizará, argumentando el porqué. Hay que tomar en cuenta que los requerimientos serán sobre funcionalidad, ergonomía, desempeño, disponibilidad, restricciones de diseño y de entorno. Lo anterior se realiza con el fin de que

el producto sea realizado como si se fuera a proponer para comercializarse en un momento posterior, ciertamente existen otros puntos que deberían ser tomados en cuenta en el desarrollo de productos pero considerar todos resulta difícil hasta para un equipo de trabajo en el cuál existe experiencia sobre proyectos pasados. Por tal motivo no se pretende abarcar de forma muy detallada en la realización del calentador de tortillas, ya que el tiempo que se necesitaría sería muy largo.

- Calentar tortillas con el menor uso de energía.
- Mantener la temperatura de la tortilla calentada por más tiempo.
- Calentado en poco tiempo.
- Calentado uniforme de la tortilla.
- Carcasa resistente a temperaturas media.
- Fácil uso.
- Evitar corrosión.
- Tiempo de vida largo.
- Facilidad de traslado, uso en cualquier lugar.
- Fácil aplicación de combustible de la celda.
- Bajo peso
- Material que permita su fácil limpieza.
- Tenga un compartimiento para guardar las tortillas.
- Parrilla en la parte superior.
- Que no haya cables en su exterior.
- Uso de resistencias para calentar.
- Acabado superficial llamativo para el cliente.

A partir de esta lista se determinarán algunas especificaciones, que permitirán obtener un producto que sea llamativo para el usuario al que va destinado, además de poder definir algunas otras características como son: los materiales a usar, diseños propuestos, software, etc.

3.2.3 Especificaciones

Dentro de las especificaciones más importantes que se pueden tener, están las siguientes:

- Peso menor a 5 kg.
- Mantener temperatura de la tortilla entre 40° C y 50° C
- Resistencia a temperatura de la carcasa mayor de 200° C
- Calentado de tortillas en menos de 5 minutos
- Tamaño del calentador menor a 30x30x30 cm

Con estos requerimientos y especificaciones, ya se tiene una idea más clara de cómo será el producto final, ahora después de haber tomado esta información lo siguiente en la metodología utilizada recolectar la información mas útil.

3.3 Recolección de información

Hay que tener en cuenta que debemos tomar la información de las celdas de combustible y también de los calentadores de comida que se encuentran comercialmente. Si se precisa de alguna información sobre algún otro elemento, se mencionará a lo largo de este capítulo o en alguno de los apéndices.

Como primer elemento se tiene a las celdas de combustible cuya información se encuentra en el apéndice 1. De esta parte se tomará la información necesaria para seleccionar la celda de combustible. Además de lo antes mencionado, también se utilizará la información obtenida en el segundo capítulo sobre los calentadores disponibles en México.

Después de tomar en cuenta lo anterior, sobre los elementos que constituirán al calentador, lo siguiente en la metodología de diseño es la “conceptualización y evaluación”, ambos en el mismo subcapítulo. Para este primer proceso, se debe determinar un diseño mediante un boceto. Por otra parte, una celda de combustible comercial la cual será elegida mediante una selección de varias opciones, materiales para la carcasa del calentador así como las resistencias que se van a utilizar para calentar las tortillas.

Un aspecto importante que se debe tomar en cuenta, sin lugar a duda, es el tamaño que debe tener el producto final. Para este calentador de tortillas se propone un diseño compacto, esto puede variar un poco debido a la celda de combustible a utilizar. Pero a pesar de esta limitación, la idea es tener un diseño compacto el cual permita tener una baja masa en el producto y sea llamativo para el usuario a quien va dirigido.

Otro punto importante que se debe tomar en cuenta, son los distribuidores que existen en México; si existen, están limitados para el comercio hacia la industria del sector privado. Además del combustible que utilizan, ya sea hidrógeno como tal o metanol, se deben investigar los proveedores que haya en la ciudad de México.

A continuación se realizará la selección de la celda de combustible, para esto se tomarán características importantes que se mencionan a continuación.

3.3.1 Selección de celda de combustible

Para poder seleccionar la celda de combustible ideal, lo que se hará es ver las diferentes características de cada uno y hacer una comparación, mediante una tabla la cual nos permitirá tener una visión más general de lo que se busca. Para poder evaluar cada celda en la matriz de selección, tabla 3.1, asignaremos un valor que va de 5 para un valor alto hasta 1 que resultaría ser el mínimo. Este método se hará para cada renglón. Por ejemplo, para tiempo de uso, se observa que el tiempo de uso de cada celda mostrado en la información del apéndice 2 de este trabajo, a partir de esto se busca aquella opción que tenga más horas de trabajo continuo, aquél que tenga dicho valor se le asignará un 5 como valor calificativo; en cambio aquél que tenga el menor valor o del cual no se tenga dato alguno obtendrá un 1 de valor. Esto se realizará con cada propiedad para todas las celdas, al final se sumaran los valores para obtener dos opciones, de las celdas elegidas se observaran las características que cada uno tiene y lo que se busca en este proyecto para determinar una opción única. Con estas consideraciones la tabla 3.1 queda de la siguiente forma:

Tabla 3.1 Comparativa de características de las celdas.

	1ra opción Hitachi Maxell	2da opción Toshiba	3ra opción LG	4ta opción Fuel cell store	5ta opción. Heliocentris
Tiempo de uso	2	4	3	1	5
Costo	5	4	3	2	1
Peso	3	5	4	2	1
Potencia	2	1	5	3	4
Voltaje	1	3	4	2	5
Corriente	2	1	3	5	4
Volumen	2	5	3	4	1
Combustible	3	5	4	2	1
Facilidad de uso	4	3	5	1	2
total	24	31	34	22	24

Después de haber hecho el análisis con la anterior tabla, encontramos que tenemos dos opciones finales, segunda y tercera opción de la tabla 3.1. De las cuales prosigue analizar sus características y propiedades con el fin de tomar la mejor decisión.

Al analizar las características de la segunda opción, se encuentran que dentro de sus puntos más notorios, en ambos casos, es su potencia que alcanza. Si lo vemos desde el punto de vista electrónico una pila de éstas al aplicarse a un reproductor mp3 suele ser más que suficiente. En cambio para una aplicación donde requiera una mayor potencia se vería muy escaso. Hay que considerar que las resistencias pueden requerir una potencia grande y si usáramos esta pila podría agotarse de manera muy rápida, esto para aplicaciones de tiempo extendidos puede no ser conveniente. Otra opción que se debe considerar es el precio, ya que esto influirá en el precio del producto.

Para la tercera opción, se encuentra que la mayor desventaja es el precio, el cual influye directamente en el precio del producto final. Por otra parte, gracias a su diseño que cuenta con un sistema de enfriamiento integrado, evita el problema del calor generado por la celda. Por lo que se debe tomar en cuenta lo antes mencionado para la selección final de la celda, junto con otras suposiciones que se realizaran a continuación.

Para poder decidir cuál es la mejor opción, supondremos una resistencia térmica de 24 V, debido a que este valor es muy aproximado a valores de aparatos móviles. Ahora viendo tanto las ventajas y desventajas entre las dos posibles opciones, de las celdas de combustible, y el valor propuesto de la resistencia, se encuentra que la mejor opción es la tercera de la tabla 3.1.

3.3.2 Propuesta del primer diseño

Con base en esta decisión lo siguiente es desarrollar el diseño mediante algún software que lo permita. Es necesario proponer un modelo, mediante algún boceto, el cual permitirá realizar el producto mediante la paquetería de diseño. También se tiene que tener en mente la celda elegida, la cual se adaptará al calentador. El dibujo del calentador será propuesto y

este se muestra con la siguiente imagen, figura 3.2, donde se detallan aspectos como son dimensiones y partes con las que cuenta.

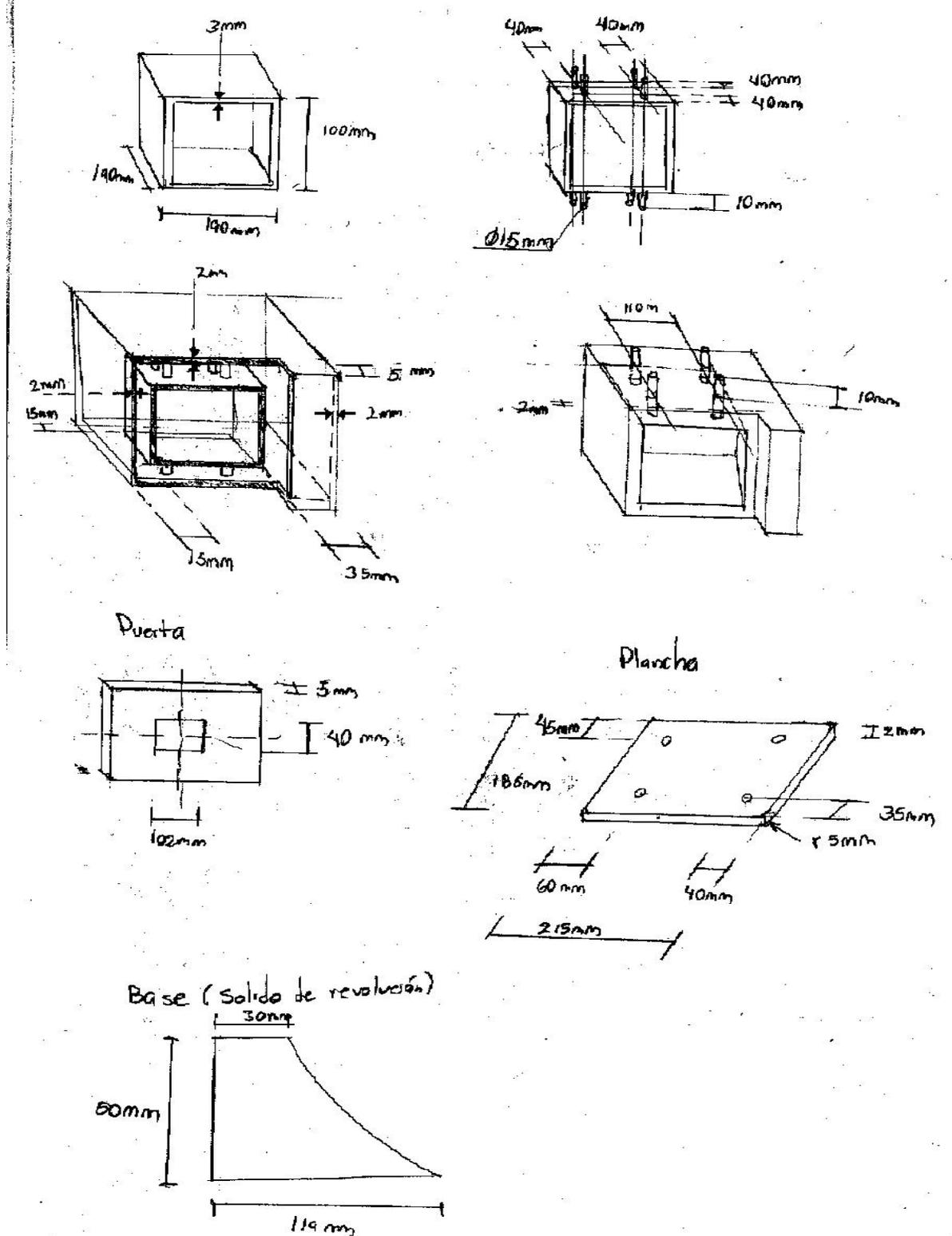


Figura 3.2 Boceto del diseño preliminar del calentador con celdas de combustible, detallando piezas que serán utilizadas para su fabricación, parte 1.

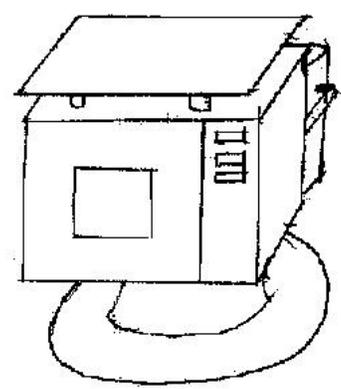
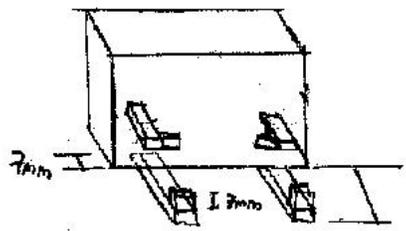
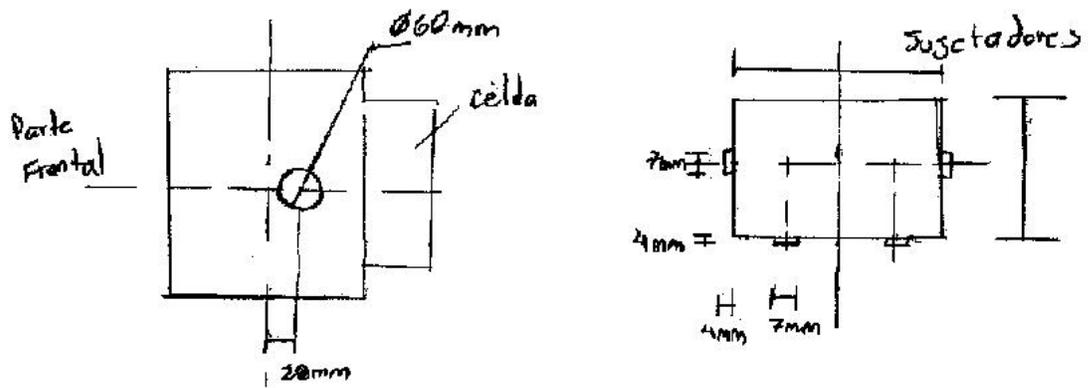


Figura 3.3 Boceto del diseño preliminar del calentador con celdas de combustible, detallando piezas que serán utilizadas para su fabricación, parte 2.

3.3.3 Selección de resistencia

Como se ha visto, además de la celda y el diseño del calentador es necesario contar con dos resistencias, las cuales estarán en dos partes importantes del calentador. La primera resistencia, será colocada en la plancha de metal, la cual permitirá calentar las tortillas de

una manera rápida y sencilla, además de que será en cuestión de segundos y se evitarán las emisiones de gases de combustión, como se daba en el caso de las estufas o fogatas.

La segunda resistencia, será para el compartimiento donde se mantendrá caliente la tortilla, sin necesidad de utilizar un gran voltaje, en esta parte se propone una resistencia para calentar el aire la cual mantendrá a una temperatura casi constante la parte interior del calentador, el cual será accionado por el usuario en el momento en el que lo desee.

Debido a las características de las celdas de combustible con respecto al voltaje de salida, la resistencia debe adecuarse a este parámetro para su funcionamiento. La mayoría de las resistencias utilizadas en las parrillas son de un valor nominal, 127 volts, pero no son las únicas. Existen resistencias comerciales que funcionan a un voltaje de 24 volts y su precio es accesible. Por tal motivo se elegirá una que cumpla con la característica antes mencionada.

Otra cuestión importante, es la forma que tiene la resistencia ya que dependiendo de esta característica se podrá aprovechar de un manera más eficiente la transferencia de calor. Para lograr esto se debe seleccionar la resistencia mas adecuada es necesario contar con algunos ejemplos que son mostrados en la figura 3.4. De esta lista se seleccionarán dos, tomando en cuenta las características y que vayan dirigidas a las necesidades que requiere este proyecto.



Figura 3.4 Diferentes tipos de resistencias. Obtenido de resistencias.com

La primera, como se había mencionado, pertenecerá a la parte principal donde se encuentra la plancha, en esta parte se calentara las tortillas cuando estén frías. De esta parte se sabe que se debe elegir una resistencia que caliente metales, para esto también hay que considerar la forma de la placa de acero. Su forma cuadrangular, obliga a seleccionar una resistencia que pueda abarcar la mayor parte de la superficie. Se tiene que considerar que si no se cubre totalmente el área de calentado se puede perder mucho tiempo de cocción.

De las opciones que se tienen de las resistencias la más conveniente es la segunda, de izquierda a derecha, debido a su forma. Para esta opción se proponen ciertas medidas, mostradas en la figura 3.5, que permitirán su cotización con algún proveedor. La parte donde se colocará esta resistencia será por debajo de la placa, por tal motivo se debe seleccionar un material para la plancha que permita una transferencia de calor y otras propiedades como son: resistencia a la corrosión, fácil limpieza, evitar los malos olores y que tenga un buen acabado superficial. Esta selección se realiza en una parte posterior de este capítulo, ahora se debe seleccionar una resistencia para la parte interior del calentador.

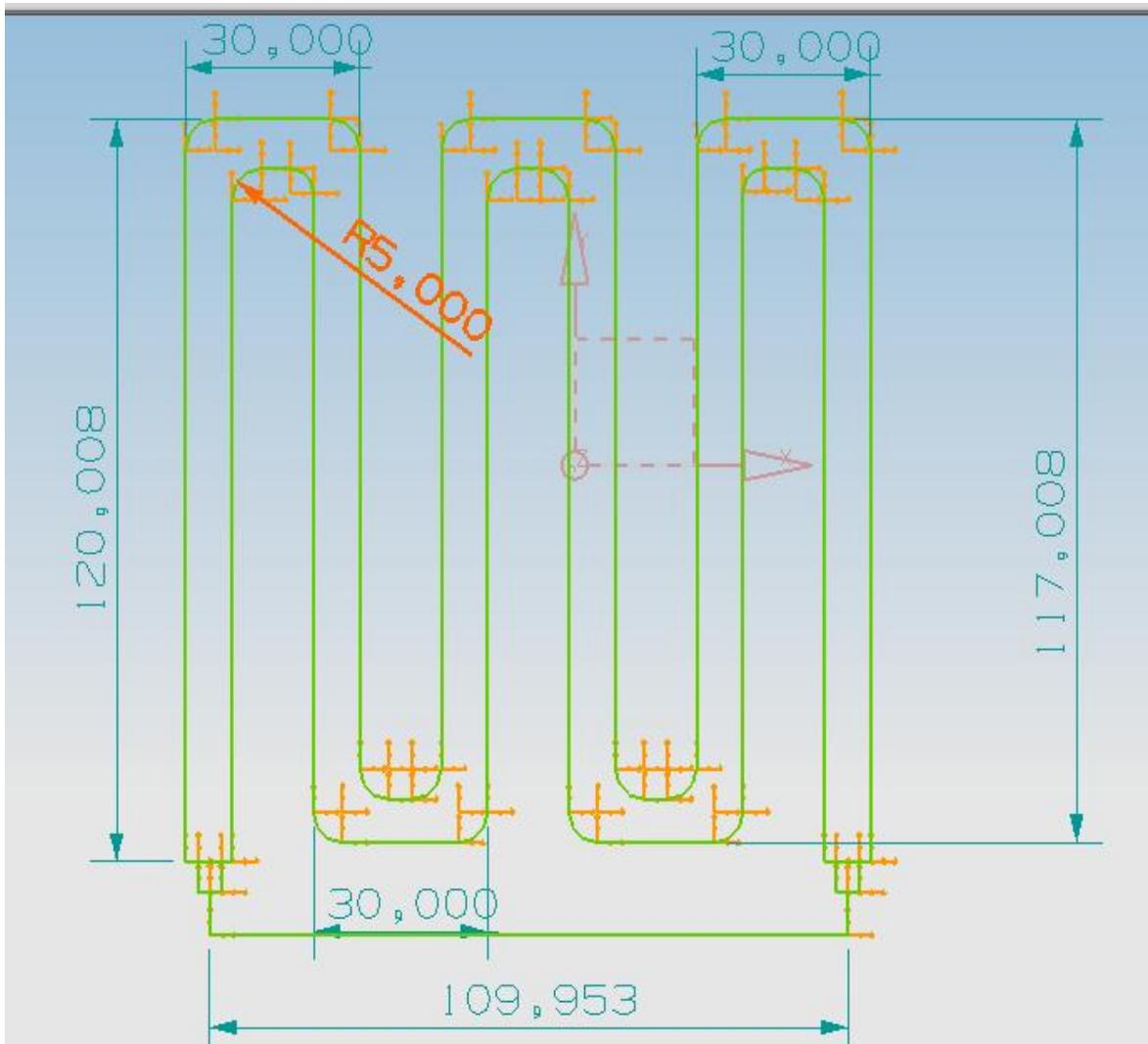


Figura 3.5 Propuesta de resistencia exterior para su cotización.

Esta resistencia debe cumplir con ciertas características, como calentar el interior del calentador sin necesidad de llegar a temperatura alta, en comparación a la resistencia exterior. Para este caso no debe calentar una placa, por lo tanto la transferencia será por radiación. Ya que lo que se busca es calentar el ambiente interior a una temperatura tal que permita que la tortilla se mantenga en un nivel de calor determinado.

Por estas razones no es necesario tampoco contar con una resistencia tan grande como en el caso anterior, por lo que se puede elegir una más sencilla. Dentro del catálogo con que cuentan los proveedores de resistencias, se encuentran aquéllas que sirven para calentar el aire. Estas resistencias tienen la propiedad de calentar el aire por radiación, y mantenerlo a una temperatura por lapsos de tiempo más largos. Una de las características más importantes es la forma de esta para este caso se seleccionó la cuarta, ya que para las aplicaciones de este tipo son las más comunes. De la misma forma se muestra una propuesta que permitirá cotizar esta parte del calentador, figura 3.6.

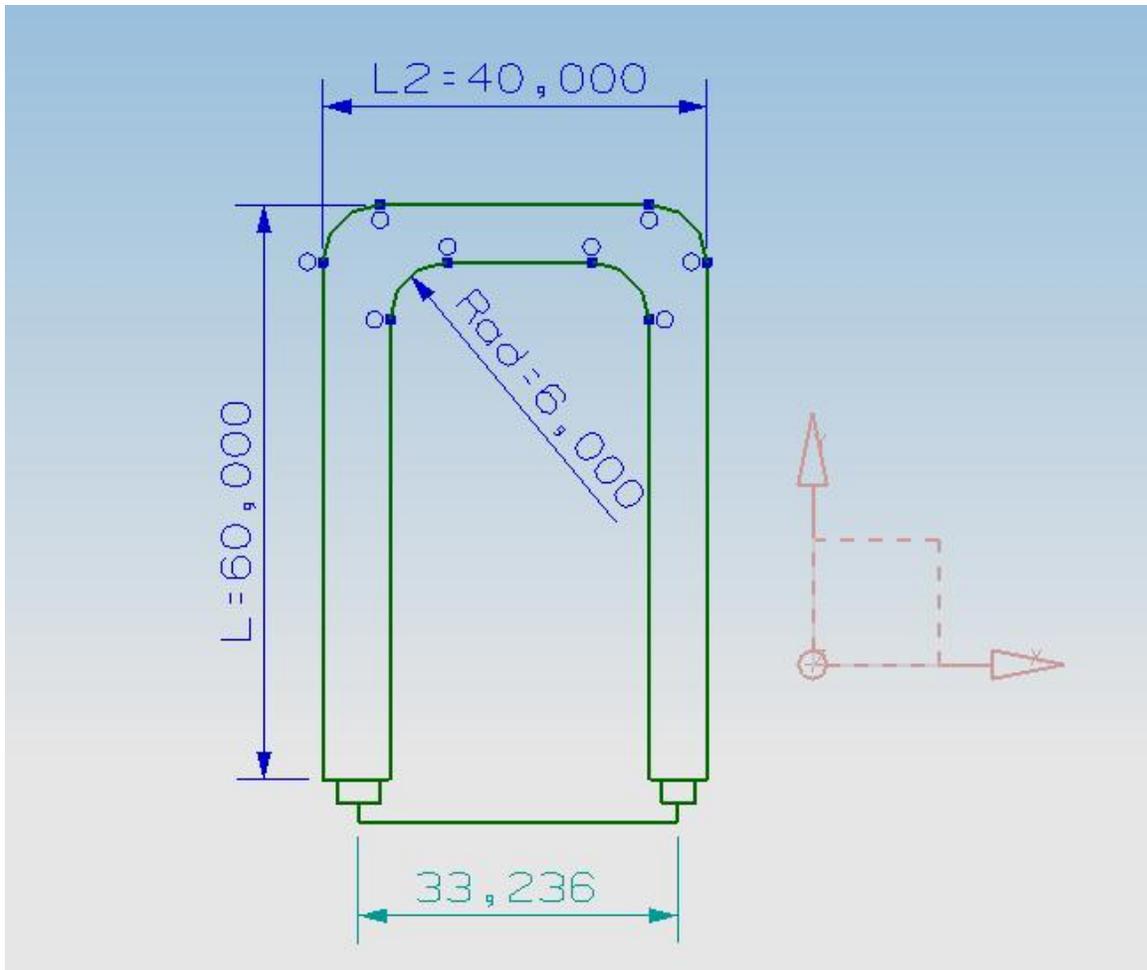


Figura 3.6 propuesta de resistencia interior para su cotización.

A partir de este punto ya se cuenta tanto con las resistencias, el boceto y la celda de combustible. Con toda esta información se desarrollará el diseño del calentador tomando en cuenta los elementos antes mencionados. Esto servirá para poder tener el primer diseño previo, que será de retroalimentación para el segundo paso.

3.3.4 Selección de material

Aún no se completa el primer paso, por esta razón se debe seleccionar un material para la carcasa del calentador, pues dependiendo de esta selección se comprenderá si es necesario realizar un análisis de transferencia de calor a la parte interna. Este análisis pretende verificar que no haya una transferencia muy grande de calor a la superficie por medio de la carcasa. Hay que tomar en cuenta que su uso debe cumplir con ciertas normas de seguridad, evitar que la temperatura de la superficie del producto sea un riesgo para el cliente. Para realizar esto se utilizara el software Unigraphics, el cual permite realizar simulaciones de transferencia de calor.

Para poder realizar estas simulaciones se necesitan datos sobre algunas propiedades del material del calentador por lo que es necesario seleccionar uno. La selección se puede

realizar mediante el uso de diagramas de Ashby y matriz de selección de materiales. Este método utiliza tabla de propiedades ponderadas así como el uso de tabla de propiedades para seleccionar un material, además del criterio del diseñador para encontrar algo apropiado a sus necesidades. Para esto se deben tener en cuenta algunas características que debe de tener esta carcasa, éstas son:

- ✓ Resistencia a la corrosión.
- ✓ Resistencia a altas temperaturas.
- ✓ Bajo peso.
- ✓ Precio módico.
- ✓ Fácil limpieza.
- ✓ Resistencia moderada a posibles golpes.
- ✓ Fácil maquinado del material.
- ✓ Fácil de conseguir.
- ✓ Buen acabado superficial.
- ✓ Resistencia a la dilatación.

De esta lista, se seleccionarán algunas características para poder utilizar la tabla de propiedades ponderadas (tabla 3.2). Lo que se realizará será comparar dos propiedades, de aquí se dará un valor de 1 a aquella que sea más importante y un cero a la sobrante. Al final se realizará una suma de los valores que se obtuvieron en cada una de las propiedades para obtener el valor DP, donde DP se denomina como decisión positiva de cada reglón. Posteriormente se obtendrá el valor de α_i , donde α_i se define como el porcentaje de importancia de cada propiedad, definida en la siguiente ecuación (1).

$$\alpha_i = DP / (\Sigma DP) \quad (1)$$

Donde el valor de ΣDP corresponde a la suma de los valores de la columna DP. De α_i , donde i va desde 1 hasta 5 que son el numero de propiedades que hay en la tabla.

Tabla 3.2 Propiedades ponderadas.

Propiedades	1/2	1/3	1/4	1/5	2/3	2/4	2/5	3/4	3/5	4/5	DP	α_i
1.-Ligereza	0	0	1	0							1	0.1
2.-Resistencia a la corrosión	1				1	1	1				4	0.4
3.-Resistencia termica		1			0			1	0		2	0.2
4.-Dilatación térmica			0			0		0		0	0	0
5.-Costo				1			0		1	1	3	0.3
											$\Sigma=10$	

Los valores de α serán utilizados posteriormente. Este valor indica que propiedades son más importantes que otras. De acuerdo a las propiedades consideradas como primordiales (enlistadas en la tabla 3.2), se determinaron los diagramas a utilizar. Estos diagramas cuentan con gráficas en las que se encuentran algunos materiales, que ya han sido probados en aplicaciones reales.

Para poder seleccionar que materiales se puedan utilizar, se debe elegir la gráfica que sea más adecuada a la característica que se desea. De estas tablas se debe trazar una o más líneas ya sea de forma perpendicular, horizontal o con un grado de inclinación de acuerdo a los valores que el diseñador desea. Esta línea se puede determinar por medio de alguno o varios valores que se tengan previamente, o alguno que se pueda proponer y se encuentre en alguno de los ejes de las gráficas. A partir de esta línea o líneas, se decide qué parte del gráfico servirá para elegir el o los materiales que cumplan con lo solicitado. Esto se realizará en las gráficas que se eligieron con respecto a la tabla anterior, y a continuación se enlistarán qué materiales corresponden a cada tabla, de la tabla 3.3 a la 3.7, que salieron a partir de la línea seleccionada (ver apéndice 4).

1) Expansión térmica (T-expansión)/conductividad térmica (T-conductividad)

Cerámicos técnicos y compuestos

Tabla 3.3 Materiales de T-expansión/T-conductividad

WC	silicon	AlN	Aleaciones W	SiC
Si3N4	Al2O3	Vidrio	Aleaciones Cu	Aleaciones Al
Aleaciones Mg	Aleaciones Zn	Aleaciones Ni	Aceros	Aleaciones Pb
Aleaciones Pb	Aleaciones de materiales inoxidables	Aleaciones Ti	Concreto	Invar
Vidrio de sílice	CFRP	Aleaciones de plomo		

2) Conductividad térmica

Lista de materiales presentes:

Cerámicos, vidrios, polímeros y elastómeros

Tabla 3.4 Materiales conductividad térmica.

SiC	AL2O3	Si3N4	Concreto	Vidrio
AlN	Ladrillo	ABS	Elastómeros de silicón	PA
B4C	PVC	Epoxis	PP	PMMA

3) Costo por unidad de masa.

Lista de materiales presentes:

Cerámicos, vidrios, polímeros y elastómeros.

Tabla 3.5 Materiales costo por unidad de masa

Concreto	Piedra	Ladrillo	Vidrio de sosa	Aleaciones Zinc
Aleaciones Al	Aleaciones de plomo	Aleaciones de bajo acero	Aceros al carbón	Hierro fundido
Neofreno	PMMA	PS	PVC	PP
Caucho de butilo	PE	PET	EVA	ABS

4) Expansión térmica-Módulo de Young

Lista de materiales presentes:

Aleaciones.

Tabla 3.6 Materiales expansión térmica/módulo de Young

Aleaciones Mg	Aleaciones Zinc	Aleaciones Al	Aleaciones Cu	Hierro fundido
Aceros	Aleaciones Ti	Al ₂ O ₃	AlN	WC
SiC	Aleaciones W	B ₄ C	Si ₃ N ₄	

5) Dureza al desgaste.

Lista de materiales presentes:

Aleaciones.

Tabla 3.7 Materiales dureza al desgaste

Aleaciones Cu	Aleaciones Al	Aceros de bajo carbono	Aceros inoxidables	Aceros de alto carbono
WC				

A partir de estas tablas, se verificará cuál es el metal o compuesto que se repite con mayor frecuencia. Con esto se sabrá qué material es el que se adecúa a las características solicitadas.

El material que aparece con mayor frecuencia en las tablas es: aleaciones de aluminio (Al alloys). Ahora que ya tenemos el posible material de la carcasa, lo que prosigue es seleccionar varias aleaciones de aluminio y de éstas seleccionar una. Para realizar la selección primero se seleccionarán algunos ejemplos de estas aleaciones de la página de matweb¹¹. Para la elección de posibles materiales se toman en cuenta las aleaciones de serie 4000, debido a su uso ingenieril, y 5000, debido a su resistencia ante la corrosión. Debido

¹¹ Pagina en internet especializada en datos físicos y químicos, de materiales metálicos y no metálicos utilizados en la industria. www.matweb.com

al costo de este material también se propondrán aceros inoxidable, con el fin de poder comparar antes de tomar una decisión.

Los materiales seleccionados son mostrados en la tabla 3.8, junto con los valores de la densidad, esfuerzo de fluencia, módulo de elasticidad, relación de Poisson y esfuerzo máximo. Estos valores se adecúan a las características de la tabla, por ejemplo, reducir la masa de producto depende de la densidad del material. Se debe tener en cuenta que en la mayoría de las ocasiones no es posible obtener valores que se relacionen como en el ejemplo citado.

Tabla 3.8 Tabla de propiedades de materiales seleccionados

Material\Propiedades	Densidad (g/cc)	Límite elástico de tracción (MPa)	Conductividad térmica (W/m-K)	Capacidad térmica específica (J/g-°C)	Dureza Brinell
Aluminio (Aluminum) 4043-H14	2.69	165	150	0.85	46
Aluminio 5052-H36	2.68	241	138	0.88	73
AISI Type 410S aceros inoxidable	7.80	1005	24.9	0.46	415
Aceros inoxidable 304	8.00	215	16.2	0.50	123

A partir de esto valores para las aleaciones obtenidas y mostradas en esta tabla, el siguiente paso en el proceso de selección de material es obtener una tabla con valores β , donde este valor se expresa como el porcentaje de importancia de cada material asociado a sus propiedades y se define ya sea por la ecuación (2) o (3), la selección de la ecuación depende de varios aspectos que debe tomarse en cuenta y que se explica a continuación.

Para obtener esta tabla es necesario elegir el valor más alto o bajo, dependiendo cuál se elija dependerá la ecuación a utilizar, de cada columna. Las ecuaciones a utilizar puede ser para un valor máximo la ecuación (2):

$$\beta = \frac{\text{valor numérico de la propiedad}}{\text{valor máximo de la propiedad}} \times 100\% \quad (2)$$

Al tomar el valor máximo y sustituirla en la ecuación, será el 100% de esa columna. El valor máximo de esta columna de la propiedad que se elija será constante. A partir de este valor lo que sigue es ver qué porcentaje le corresponde a los demás valores de los otros materiales tomando en consideración lo anterior. También se puede utilizar la ecuación (3):

$$\beta = \frac{\text{valor mínimo de la propiedad}}{\text{valor numérico de la propiedad}} \times 100\% \quad (3)$$

La ec. (3) en comparación con la ec. (2), toma el valor mínimo de la propiedad de todos los materiales y a partir de éste se obtienen los valores para la tabla de β . El criterio para utilizar estas ecuaciones, depende de que característica sea importante, por ejemplo, cuando se busca un material ligero, se elige una densidad baja así como la ecuación (3). En comparación a una dureza donde se elige el valor más alto, lo que implica utilizar la ecuación. Conociendo lo anterior se crea la tabla 3.9 y las operaciones se muestran en la parte de memoria de cálculos que se encuentra en la parte final de esta tesis.

Tabla 3.9 Tabla de valores β

Material/Propiedad	Densidad (g/cc)	Límite elástico de tracción (MPa)	Conductividad térmica (W/m-K)	Capacidad térmica específica (J/g-°C)	Dureza Brinell
Aluminio 4043-H14	99.62	100.00	10.80	96.59	100.00
Aluminio 5005-H12	100.00	68.46	11.73	100.00	63.01
AISI Type 410S aceros inoxidable	34.23	16.41	65.06	52.27	11.08
Aceros inoxidable 304	33.5	76.74	100.00	56.81	37.39

Ahora con los valores de β_j y α_i , para obtener el valor γ que representa el índice de desempeño natural y esta expresado por la ecuación (4).

$$\gamma = \sum(\alpha_i * \beta_j) \quad (4)$$

Donde $i=1$ hasta $i=5$ para α_i , datos encontrados en la tabla 3.2, y β_j representa el valor de cada propiedad para un sólo material, j va de 1 hasta 5 y se muestran los datos en la tabla 3.9.

Realizando las mismas operaciones para todos los materiales, se obtienen los siguientes valores en la tabla 3.10.

Tabla 3.10 Tabla de valores γ

Material	γ
Aluminio 4043-H14	82.122
Aluminio 5005-H12	58.633
AISI Type 410S aceros inoxidable	26.323
Aceros inoxidable 304	65.263

Mediante la tabla, se observa que el valor que predomina es del aluminio 4043-H14. Esto indica, que debido a las características que se solicitan este cumple con la mayoría. Por tal motivo, lo siguiente es analizar qué podría mejorarse en este material, hablando de acabado superficial. Existe una clase de recubrimiento que mejora considerablemente sus propiedades físicas. A este proceso se le llama anodizado, y dentro de las ventajas que se tienen son:

- * Elevada dureza y resistencia al desgaste (superior a muchos tipos de acero).
- * Elevada resistencia a la corrosión.
- * Aislamiento térmico y eléctrico (similar al de la porcelana).
- * Resistencia de la capa anódica a elevadas temperaturas (hasta 2000 °C a llama directa).
- * Acabado superficial muy bueno.
- * Tiempo de vida útil mayor al de la aleación normal de aluminio.

Este material ha sido muy utilizado en aparatos como son los ipod, hornos de microondas y otros aparatos, donde se busca una alta resistencia y un buen acabado superficial. Debido a las propiedades de este material, se evitará un análisis térmico sobre la estructura. Este material será considerado en toda la estructura, además de que tendrá un buen aislamiento térmico sobre la superficie externa. Para que el aluminio tenga el anodizado deseado, se tienen dos opciones:

- * Comprar las placas de aluminio sobre medida.
- * Comprar un equipo para anodizar el aluminio.

Para no aumentar el costo del producto, se opta por comprar un equipo de la compañía Caswell Inc., con el nombre de Anodize & Chrome Stripper, código de producto ANSTP1G y un precio de \$ 943.5 MXN IVA incluido (cotizado el 14/04/09). A pesar de que no se cuenta con más información detallada sobre la cantidad de aluminio anodizado que se puede obtener con cierta cantidad de producto para realizar dicho acabado, se utilizará el valor disponible para la parte de análisis de costo. A pesar de que se concluyó con la parte de materiales de casi todas las piezas aún falta proponer un material para la base.

3.3.5 Selección y desarrollo de la base

La base del calentador debe de considerarse debido a que esta pieza tiene un gran volumen, lo cual influye en la masa del producto final. Hacerla de aluminio aumentaría considerablemente el peso y el precio, por tal motivo se tiene que seleccionar un material que cumpla con ciertas características que se pueden proponer, como son:

- * Resistencia a la intemperie.
- * Resistencia a las ralladuras
- * Baja densidad, lo cual implica poco peso.
- * Moderada resistencia térmica.
- * Bajo costo.
- * Poca absorción de agua.
- * Resistencia a la corrosión

Como esta pieza no tiene una gran importancia, en comparación a la carcasa. No requiere hacer una selección de material, como se hizo en este capítulo. Es necesario analizar los diversos materiales que existen en el mercado y que son utilizados en aplicaciones

habituales. Dentro de los productos más comunes tanto en el hogar como en la oficina se encuentran los televisores, computadoras, etc, que son productos hechos del mismo material ABS. El ABS es un termoplástico hecho de acrilonitrilo, butadieno y estireno, dentro de sus dos propiedades muy importantes se encuentran la resistencia a la tensión y la resistencia al impacto en un mismo material, además de ser un material liviano. Este material ha sido muy utilizado para la fabricación de carcasas de computadoras, televisores, entre otros, debido a su resistencia al calor continuo producido por los circuitos eléctricos. Será muy útil para la elaboración de base debido a lo antes mencionado y al bajo precio del material, ya que esta pieza no está en contacto directo con la parte interior del calentador, parte donde se encuentra la resistencia interior.

Este material se seleccionara en base a su disponibilidad en el mercado para poder realizar la cotización. Dentro de los materiales disponibles se encuentra (ABS) 30% fibra de vidrio (Glass Fiber Filled) que será el material selecto para la base. Este termoplástico tiene las características, que servirán para la obtención de datos en el capítulo 4 de esta tesis, siguientes:

(ABS) 30% fibra de vidrio (Glass Fiber Filled). Obtenido de la pagina TICONA¹².

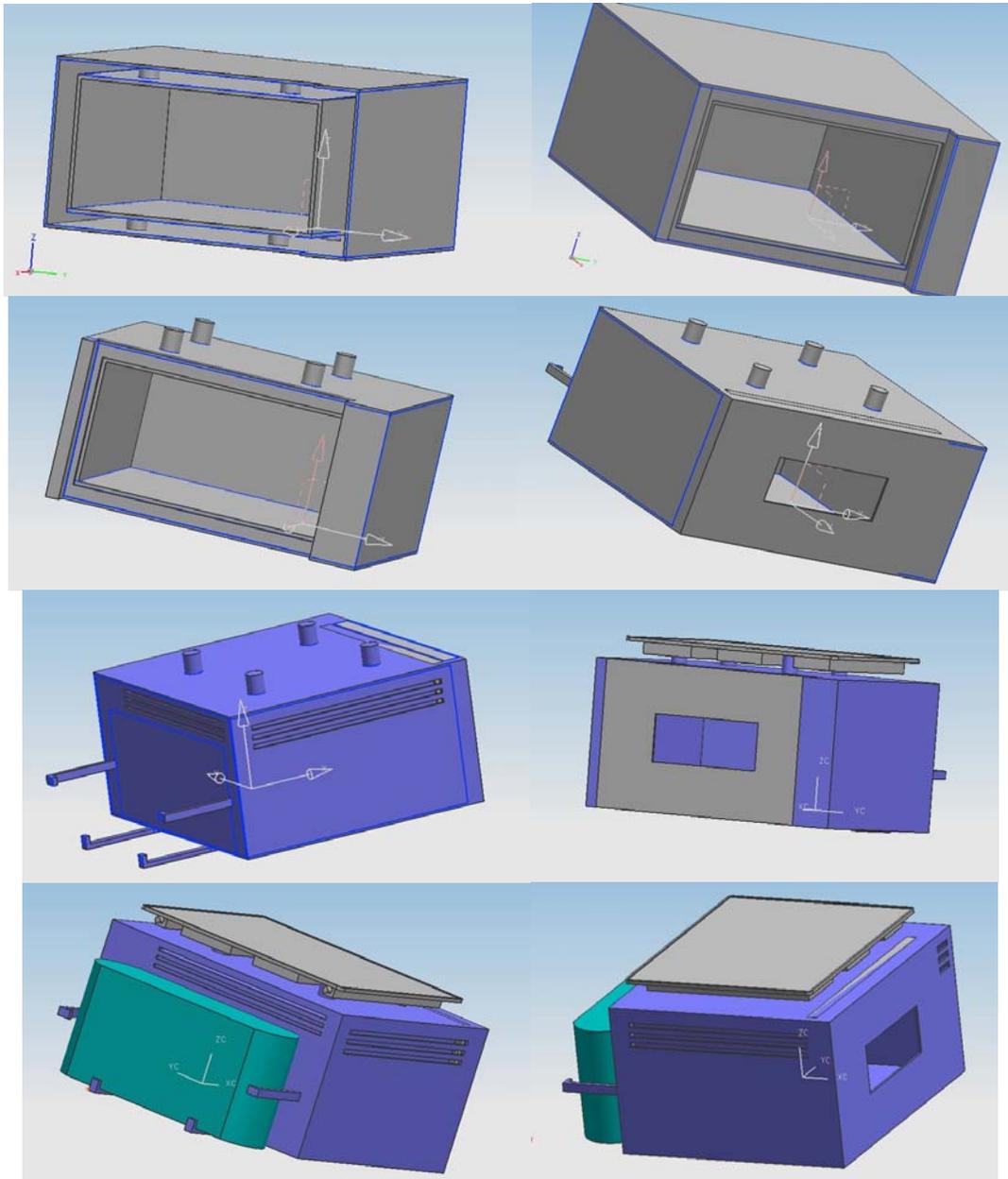
- * Densidad: este dato varia de 1620 kg/m³
- * Absorción de agua (23°C-sat): 0.30%
- * Índice de fluidez: 8 g/10 min.
- * Precio: 1.41 dólares/lb (consulta realizada en www.ptonline.com el 14/04/09)

Para la base cumple con lo solicitado, solo falta definir una cosa más y es como estará unido a la carcasa. Para que esta unión se realice y que cumpla con lo pretendido que sea una base giratoria, por lo que para lograr esto se necesita de un balero que ira en la carcasa y una parte fija que se colocará en la base con lo cual se permitirá el movimiento de 360° del calentador, esto se utilizará para ambos diseños realizados en esta tesis. Se pretende que con esta información junto con todo lo anterior tener el diseño de esta primera parte. Los datos de cada pieza del calentador serán mostrados en el siguiente capítulo.

3.4 Desarrollo del diseño del calentador

Una consideración más para el diseño se refiere a los botones que harán funcionar a las resistencias. Se proponen dos botones los cuales se activarán dependiendo de la situación. Uno de ellos será para la resistencia interior, el cual se activará cuando se necesite mantener calientes las tortillas. El otro servirá para la resistencia exterior, y se activará cuando se necesite calentar alguna tortilla. Estas activaciones serán hechas por algún usuario en el momento en el que él lo desee. A partir de esta parte, se considera que es posible comenzar con la segunda etapa. Solo que antes de terminar, se presentan el diseño terminado en el software propuesto, figura 3.7 y 3.8, se muestran diversas etapas en el desarrollo del calentador.

¹² Compañía global de materiales científicos, diseños de ingeniería, soporte técnico por expertos sobre el uso de resinas ingenieriles. Pagina www.ticona.com



Figuras 3.7 Imágenes donde muestra el desarrollo del calentador, realizado en Unigraphics

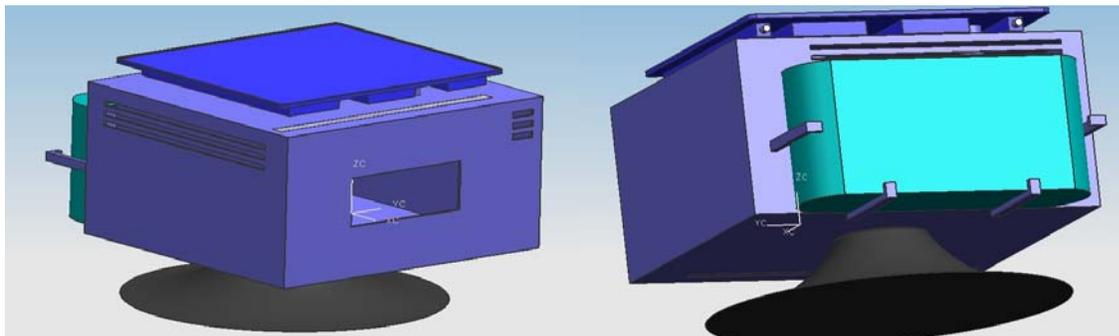


Figura 3.8 Diseño final del primer calentador.

Con toda esta información se ha llegado a la parte final del desarrollo de la primera prueba. Lo siguiente es tomar la información de la parte del análisis de resultado, capítulo 4, y utilizarla como retroalimentación en el proceso de diseño de Dieter.

3.5 Segundo diseño

Para poder entender esto de una mejor manera se utilizará el siguiente diagrama, figura 3.9, donde se analiza con facilidad lo que se menciona en el párrafo anterior.

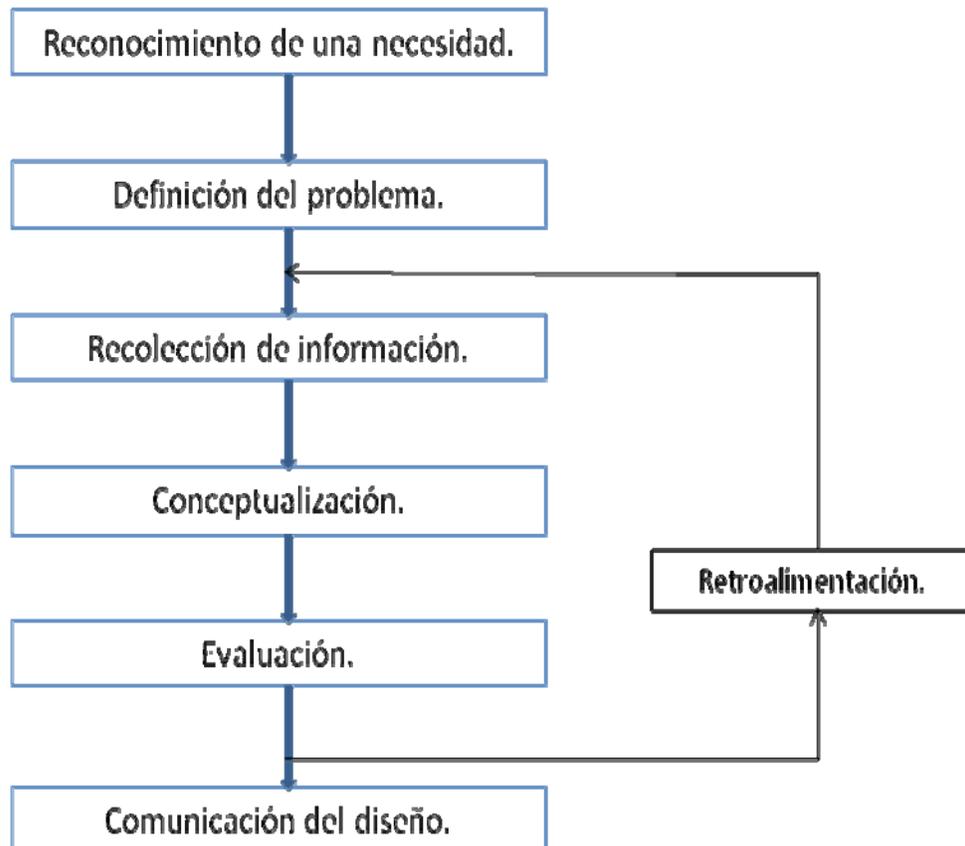


Figura 3.9 Diagrama de Dieter con retroalimentación.

Se ha visto que la información que se ha obtenido, debe ser utilizada como base en el segundo proceso de diseño. Es posible notar que ahora ya no es necesario tomar en cuenta los dos primeros pasos de esta metodología. Puesto que ya se ha reconocido una necesidad, así como la definición del problema. A partir de la parte de recolección de información, lo que prosigue es analizar si se necesita hacer un cambio significativo. Pero para esta parte, anteriormente se había propuesto utilizar herramientas de diseño, se utilizará TRIZ con el fin de mejorar el primer diseño. Para el desarrollo de esta se omitirán algunos procesos

3.6 Requerimientos de TRIZ

Pero para poder comprender en que partes esta metodología tiene una mayor aportación, es necesario tener un estimado de aquellas características que se consideran importantes. Esta

selección permitirá saber si es necesario realizar un cambio o en caso contrario que quede de la misma forma.

Dentro de las características más importantes que se tienen, tomando en cuenta la funcionalidad, diseño y otros puntos importantes, son:

1. Funcionalidad.
2. Estética
3. Seguridad
4. Materiales.
5. Costo celda de combustible.

Funcionalidad: Esta parte, es difícil de determinar con respecto a su uso. Debido a que no se llega a un producto tangible, no se puede estimar si realiza el trabajo que se pretende. Por tal motivo se asumirá que este producto cumple con su función principal, calentar tortillas.

Estética: para esta primera parte, se observa que el primer diseño tiene ciertas desventajas. La forma que tiene es muy similar a la de un horno de microondas y por lo mismo es muy grande, para la función que realiza. Además de que si se modifica el diseño, se afecta directamente a la cantidad de material a utilizar para la fabricación de la carcasa.

Seguridad: para esta parte se puede notar con facilidad que la seguridad de este primer producto es mínima. En ciertas partes el riesgo aumenta debido a las resistencias que se encuentran expuestas. Esto se observa en la resistencia interior, debido a que si se mete la mano sin cuidado puede causar quemaduras.

Materiales: el aluminio tiene muchas ventajas en comparación a otros materiales como los aceros, y debido al anodizado mejora considerablemente tanto su acabado superficial así como sus propiedades físicas. Pero debido a que es un metal, su peso es determinado por su volumen.

Costo celda de combustible: esta parte es de las más importantes para el desarrollo de este proyecto. La celda utilizada tenía muchas ventajas, debido a que aún no comercializa en países como México, aumenta mucho más su precio. Dentro de sus características físicas se observo que la desventaja más notoria es su volumen.

3.7 Aplicación de TRIZ

Para utilizar alguna metodología como TRIZ, se debe seguir una serie de pasos. Pero para este caso en específico se omitirán algunos, como es la matriz de contradicciones, etc. En cambio se propone solo mencionar, cuales principios sirven con lo que se pretende reducir la información. Pero antes de realizar lo antes mencionado lo que se propone es utilizar el concepto de radar de evolución utilizado en esta metodología, en donde el primero permitirá observar como es el estatus del primer diseño. El segundo radar permitirá observar como ha sido la evolución del producto, si en verdad se mejoro o no.

El radar lo utilizaremos de la siguiente forma, se traza un polígono, donde sus lados se determinan con respecto al número de características que se pretenden analizar. El polígono de preferencia debe ser de un tamaño lo suficientemente grande para poderse observar. A partir de esto se toma el centro del polígono como un cero, a partir de este punto se traza una línea recta que vaya hacia algún vértice, en este punto se considera un máximo de funcionalidad. El largo de la línea es el mismo que la distancia entre el centro y el vértice, por tal motivo se harán cinco divisiones en esta para tener una puntuación, que ira de cero en el centro donde se considera un pésimo desempeño y de 5 en el vértice que será para un óptimo desempeño.

Con la información mostrada y las consideraciones anteriores el radar, figura 3.10, queda de la siguiente forma:

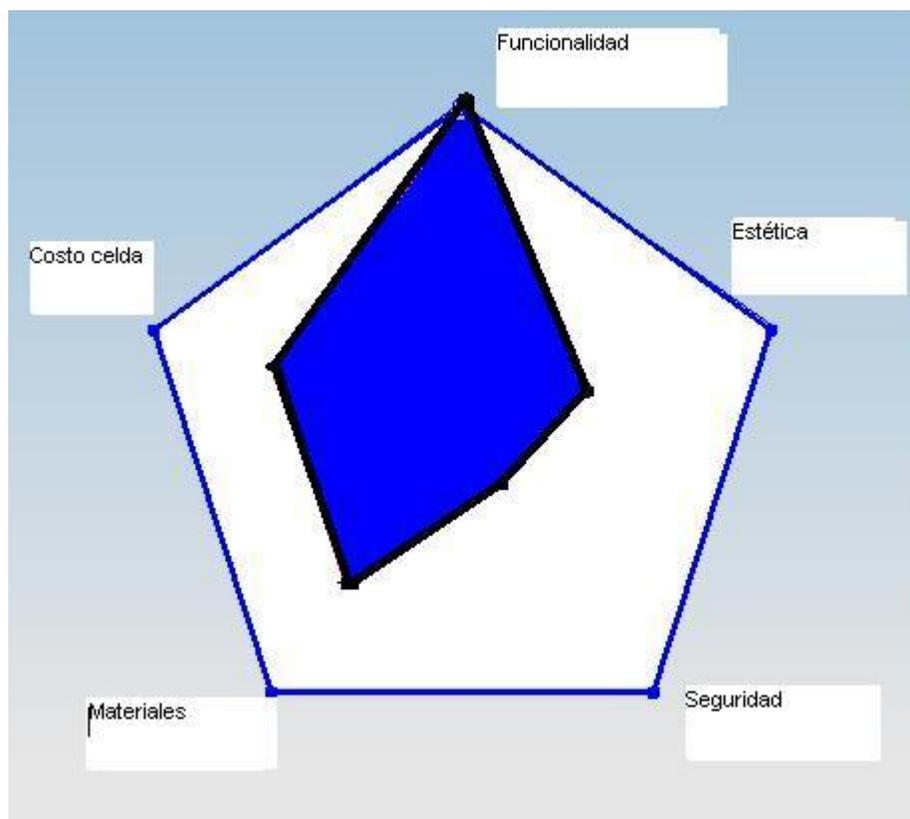


Figura 3.10 Radar de la evolución

Para la realización del radar se consideraron de cada característica, en puntuación, lo siguiente:

- * Funcionamiento: 5 debido a que se supone que el producto cumple con lo propuesto.
- * Estética: 2 debido a que el diseño es muy robusto y poco ingenioso.
- * Seguridad: 1 porque el uso es riesgoso, debido a las resistencias que se encuentran están expuestas.

- * Materiales: 3, los materiales cumplen en mayor parte con lo solicitado, pero se debe reducir el peso del calentador, mejorando el diseño y/o utilizando materiales mas ligeros.
- * Costo celda: 3, la celda cumple con lo requerido, el único punto en contra el tamaño y costo.

Para iniciar el segundo paso, se debe desarrollar por completo TRIZ para después iniciar con la parte de “recolección de información”, puesto que se asumen las dos primeras partes junto con los requerimientos y especificaciones que se hicieron al principio de este capítulo. Una vez terminada esta metodología, se sabrá si es necesario hacer una nueva investigación y recolección de información sobre algo en específico. Ahora se iniciará con cada característica en conjunto con TRIZ.

Al analizar la parte de funcionamiento, se observa que no es necesario realizar ningún cambio. Debido a lo explicado con anterioridad, cumple con lo pretendido. Por lo mismo ahora se continuara con la parte de diseño.

En el diseño anterior se observaron algunos puntos en contra, como el hecho de que tenga un tamaño muy grande tan solo para calentar tortillas. El diseño como tal puede ser bueno, y que solo se hagan algunos cambios significativos. Otra cosa importante para tomar en cuenta en el diseño son las resistencias, los botones de encendido y la celda de combustible.

Para la resistencia, existe un principio algunos principios de TRIZ que se puede utilizar y son:

Segmentación: cambiar un sistema en partes o secciones.

Pero si fuese posible cambiar una resistencia por varias resistencias con un menor peso y con un diferencial de voltaje de trabajo menor, mejoraría directamente en el peso del producto. Esta es una buena opción por lo que se debe analizar si es factible, esto se investigará y si existe información se mostrará la información investigada.

Para los botones de encendido para cada resistencia existe el principio de:

Unión o consolidación: este principio indica que es posible unir, fusionar o consolidar objetos u objetos destinado a realizar operaciones o funciones relacionadas.

En esta primera parte se había propuesto utilizar un botón por cada resistencia. Esto se considera un gasto innecesario, ya que se pueden sustituir estos dos botones solamente por uno. En el cual cumplirán la función de encienden cada resistencia de manera individual y de manera colectiva.

Para el diseño de la carcasa se tomaran los siguientes principios, que aportan información adecuada para reducir el volumen de material, son:

- * Segmentación: hacer un objeto seccional, para su fácil ensamble y desensamble.

- * Calidad local: si un objeto es homogéneo hacerlo no homogéneo.
- * Material poroso: hacer un objeto poroso o utilizar elementos suplementarios porosos.
- * Transformación de propiedades: cambiar el estado físico de un objeto (ya sea gas, líquido o sólido).
- * Expansión térmica: usar varios materiales con diferente coeficiente expansión térmica.

Con estos principios se propone para el diseño algunos cambios significativos y son:

- * Utilizar uno o algunos polímeros de alta resistencia térmica, baja densidad y bajo coeficiente de expansión térmica, en diferentes partes del diseño. Lo cual hace ver que se varía la homogeneidad del producto final.
- * Utilizar un combustible para la celda que sea un gas.
- * Seguir utilizando hoyos o perforaciones en el material de la carcasa, para reducir la temperatura en el interior.

Esto es tan solo algunas posibles soluciones a las que se han llegado debido al uso de TRIZ, puede que existan otras opciones dentro del diseño que se puedan mejorar. Pero la información mostrada afecta directa o indirectamente a otras propiedades, y esto se verá conforme se desarrolle cada característica. Con esto se concluye la parte del diseño, el siguiente punto es seguridad.

Para la parte de seguridad de alguna forma se ha resuelto de manera indirecta. Debido a la parte en requerimientos de TRIZ, donde se pretende sustituir la resistencia exterior, y si es posible la interior, utilizada por varias mini resistencias las cuales reducen el peso así como el peligro de uso. Para la resistencia interior se tenía el problema al momento de introducir la mano, se corría el riesgo de tener una quemadura. Se propone utilizar un compartimiento móvil, el cual evitara la necesidad de meter la mano en la parte interior y tocar la resistencia. Con esto se trata de solucionar la parte de seguridad, ahora sigue la parte de materiales.

3.8 Sustitución de aluminio por plásticos

Para la parte de materiales, se pretende utilizar lo propuesto en la parte de requerimientos de TRIZ. En donde dice que, para reducir la masa del calentador se propone utilizar materiales de baja densidad y de diversas características, así como reducir el diseño inicial. Cambiar el aluminio por otra opción resultaría ser muy adecuado, hablando económicamente. Pero el problema de cambiar un material por otro depende de ciertos factores que tienen que ser justificados. La utilización de un polímero, en el primer diseño, para la base constituyó un punto a favor, debido a muchos puntos, por ejemplo, como son:

- Bajo costo, en comparación a metales.
- Reducción de masa.
- Resistencia a la corrosión.
- Se reducen costos de ensamblado, maquinado, acabado, etc.
- Sus propiedades mecánicas mejoran, en comparación a los aluminios.

Por ejemplo, si tomáramos el primer punto en el que habla sobre los costos de los materiales. Podría ser un tanto aventurado estar seguro de esta cuestión, por lo mismo se muestra mediante el siguiente grafico, figura 3.11, como se ha dado esta comparativo de costos.

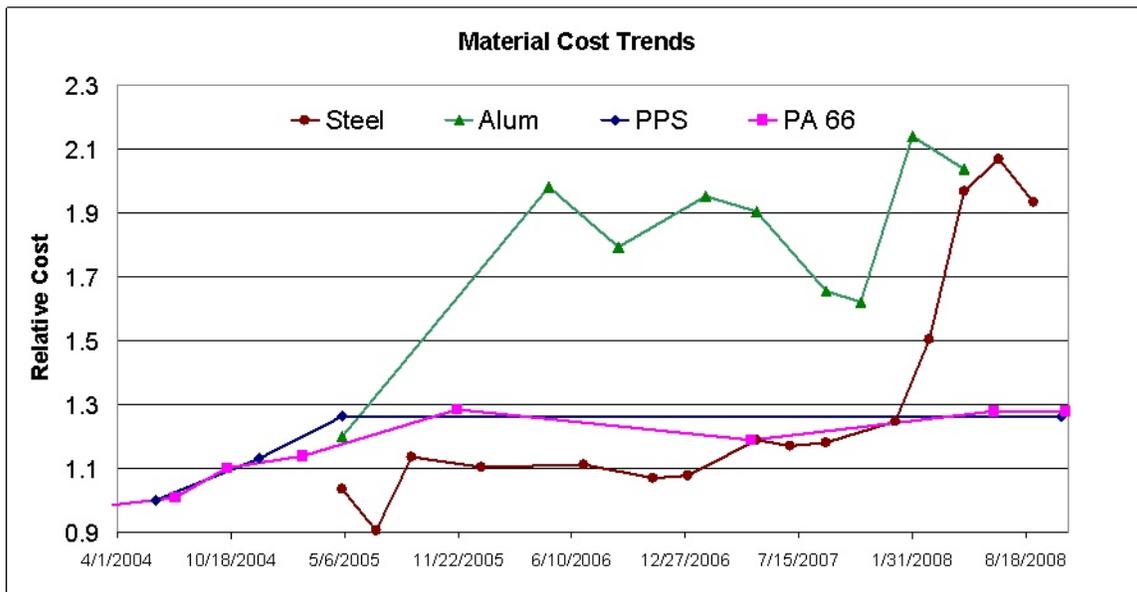


Figura 3.11 Gráfico de costo de materiales en los últimos años. Obtenido de la presentación de **Sustitución de metal por plástico, TICONA.**

Hay varios ejemplos más que muestran esto, por tal motivo se propone hacer una sustitución del aluminio por algún polímero, pero por el momento no se pretende abarcar esto por lo menos sentar las bases para elegir un nuevo material para la carcasa. Esta información corresponde hasta el momento para la carcasa del calentador. Pero aun queda definir la parte importante, celda de combustible.

Como ya se ha dicho con anterioridad, el uso de celdas de combustible se ve muy limitado, debido a su disposición, costos, etc. En la primera parte se había utilizado una celda comercial, la cual se encontraría en el mercado dentro de algunos años, a un menor precio y accesibilidad. Pero ahora, se pretende utilizar una celda de uso académico con el fin de reducir costos. En caso de que esta celda no cumpla con lo requerido, se cambiará por una celda comercial a un menor precio. Solo que esta selección se hará en una parte posterior de este capítulo.

Una última consideración que se tendrá será con respecto a la plancha. Para esta parte se considerara el mismo material que en el primer diseño. Por este motivo se utilizarán los datos del aluminio, el cual fue seleccionado en la primera parte para la estructura. Con estas consideraciones termina la parte de TRIZ, ahora se iniciara la parte de recolección de información y conceptualización, en que sea necesario.

3.9 Desarrollo del proceso de Dieter, segundo diseño

No se pretende ser tan rigurosos como en el primer proceso, pero si seguir esta metodología de Dieter lo más fiel posible. De lo más importante que tendrá esta parte serán los temas de materiales, resistencias y celda de combustible, que permitirán definir el diseño del calentador en esta según parte. Se comenzará con las resistencias ya que es un tema que abarca poco.

3.9.1 Selección de resistencia, elementos Peltier

En la primera parte se había definido que las resistencias a utilizar eran la siguiente:

Externa: se utilizó una resistencia cilíndrica que abarcaba casi en su totalidad la plancha del primer diseño. Esta resistencia fue propuesta debido a sus características y debido a que permitía calentar metales.

Interior: para esta parte se selecciona una resistencia que trabajará a una menor temperatura, en comparación a la resistencia exterior. Además se necesitaba una resistencia para calentar el aire en el interior del calentador para que mantuviera la temperatura de la tortilla. Para este caso se utilizó una resistencia más pequeña, tanto en tamaño como en volumen.

Encontrar resistencias que cumplan con lo antes establecido, disminuyendo el tamaño y volumen es complicado. Pero tomando en cuenta lo que TRIZ propone de segmentar un objeto en varios, puede ser una gran opción. Hay una opción sobre resistencias, es un modelo relativamente nuevo y mejora en muchos aspectos. Entre las mejoras se tienen las siguientes:

- Reducción de tamaño.
- Menor uso de voltaje y corriente.
- Costo aproximado de 12 dólares por unidad, esto varía dependiendo del modulo.

Estos dispositivos se le conocen como módulos termoeléctricos de enfriamiento o elementos Peltier, y pueden tanto calentar como enfriar. Estos módulos funcionan de la siguiente forma:

Básicamente utilizan el principio de Peltier, por el cual, una corriente eléctrica que atraviesa las uniones de un lazo formado por dos metales diferentes, dependiendo del sentido de la corriente genera calor en una unión y lo absorbe en la otra. Concretamente, el

principio físico del "efecto *Peltier*" es que al conectar una fuente de corriente a un lazo formado por 2 conductores A y B, en una unión la corriente que va desde A hacia B es favorecida por el potencial de contacto, y en la otra, la corriente que va desde B hacia A debe vencer una barrera de energía debida al potencial de contacto opuesto. Por lo tanto, la corriente al atravesar las uniones en una libera calor y en la otra lo absorbe del medioambiente. Su estructura se muestra en la figura 3.12, a continuación queda de la siguiente forma:

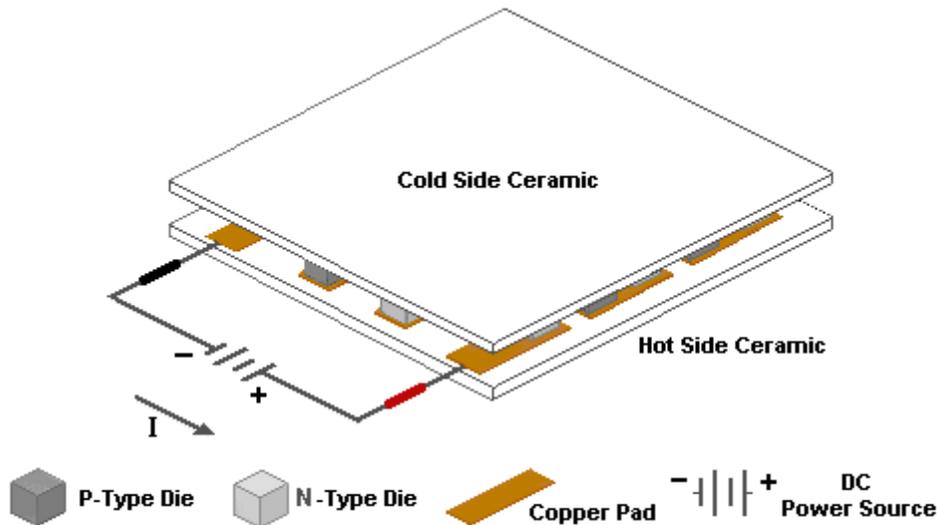


Figura 3.12 Esquema de un elemento Peltier. Imagen obtenida de Advance Thermoelectric de www.americool.com

Los módulos *Peltier* se fabrican con $\text{Te}_3\text{-Bi}_2$ (telurio 3 - bismuto 2) tipo-p, y con $\text{Te}_3\text{-Bi}_2$ tipo-n. En vez de cables, son bloquitos de 1 mm x 1 mm x 2 mm conectados alternadamente en serie, tipo-n - tipo-p - tipo-n - tipo-p - etc., y térmicamente en paralelo, de modo tal que todas las uniones donde la corriente va del p al n estén en contacto térmico con la misma cara del módulo donde se liberará calor, y todas las uniones donde la corriente va del n al p, estén en contacto térmico con la otra cara, que absorberá calor. Los electrones que se dirigen hacia el material tipo p, pierden energía en forma de calor, mientras que para ir hacia el material tipo n, los electrones deben absorber calor.

Estos módulos se venden de diferentes tamaños y potencia de bombeo calórico, y dependiendo esto se puede determinar el tamaño, para un uso de 12 V se tiene módulos *Peltier* comerciales de unos 30 mm x 30 mm x 2 mm de tamaño. Lo cual indica que tiene una gran ventaja. Su precio es accesible y puede disminuir dependiendo del volumen del pedido. Para sustituir a las primeras resistencias resulta ser una gran opción, por lo que se tomará este producto para realizar el diseño.

3.9.2 Selección de materiales, segundo diseño

En la parte de materiales se propuso cambiar el aluminio por un polímero, para realizar esto se tiene que realizar una selección de materiales. En esta parte no se pretende realizar una selección tan amplia como en la primera parte, pero si elegir un material que cumpla con ciertas características que se pueden definir como:

- Resistencia a la temperatura de 150° C: debido a que en la parte interior no se utiliza una temperatura tan elevada, como en la parte donde se encuentra la plancha, se puede utilizar un material que cumpla con esto.
- Buen acabado superficial: el aluminio por si solo cumplía con este punto, puesto que por si solo presenta un superficie agradable a la vista. Dentro de las ventajas de los plásticos se observo que tenían un buen acabado superficial, y que en muchos casos no necesitaban de retoques.
- Bajo precio: en principio el uso de aluminio influyo de manera muy notoria en el precio del primer calentador. Para reducir costos es necesario buscar opciones más apropiadas.

Con estos tres puntos se busca un material que se adecue a las necesidades que este proyecto necesita. Dentro de la página de TICONA.com, existen compañías dedicadas a la fabricación de una gran gama de polímeros diversos. Por ejemplo, en la fabricación de la base del diseño anterior, se utilizo un material de este tipo. Dentro de las propuestas que se tiene al Celanex 3310-2 que tiene muchas ventajas en diferentes aplicaciones. Este es tan solo el ejemplo de un material que se encuentran en el mercado actualmente. Por esta razón se pretende realizar el mismo procedimiento para seleccionar el material para la carcasa, de esta forma se analizarán algunos materiales para seleccionar uno. Se analizará la disposición, el precio y otros aspectos que se puedan obtener. La información de los materiales propuestos, se detalla en el apéndice 3.

Como se mencionó, no se pretende realizar una gran selección de materiales como en el diseño anterior. En el cual se utilizaron diagramas de Ashby, pero si se utilizara una tabla de propiedades con un ejemplo de cada uno de los materiales utilizados, con el cual se obtendrá una tabla β (tabla 3.12), y al final se determinara un valor γ (tabla 3.13). Para obtener este valor se utilizara la tabla de propiedades ponderadas, tabla 3.2, utilizada en el primer diseño, además de las ecuaciones (2), (3) y (4). Para este caso se utilizarán valores diferentes al de la tabla 3.8. Debido a que los materiales utilizados no tienen los mismos datos sobre sus propiedades, tabla 3.12, se utilizaran solo aquellos que se encuentren en todos los materiales.

Tabla 3.11 Tabla de propiedades de materiales seleccionados

Material\Propiedades	Densidad (g/cm ³)	Absorción H ₂ O(%)	Encogimiento lineal (cm/cm)	Esfuerzo de tensión ult. (MPa)	Temp. Deflexión a 0.46 MPa (°C)
Ticona Vectra® A130	1.62	0.020	0.001	190	252
Ticona Riteflex® 640	1.15	0.500	0.010	21	150
Ticona Fortron® 0203	1.40	0.020	0.011	86	204

Con estos datos se obtendrán los valores de β , tabla 3.12.

Tabla 3.12 Tabla de valores β

Material\Propiedades	Densidad (g/cm ³)	Absorción H ₂ O(%)	Encogimiento lineal (cm/cm)	Esfuerzo de tensión ult. (MPa)	Temp. Deflexión a 0.46 MPa (°C)
Ticona Vectra® A130	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
Ticona Riteflex® 640	70.98	4.00	10.00	11.05	59.52
Ticona Fortron® 0203	86.42	100.00	9.09	45.26	80.95

Al igual que en el primer diseño, con la tabla propiedades ponderadas y la tabla de β , se obtendrá el valor de γ con la ecuación (4), tabla 3.13.

Tabla 3.13 Tabla de valores γ

Material	γ
Ticona Vectra® A130	100
Ticona Riteflex® 640	28.554
Ticona Fortron® 0203	74.745

Por lo que se obtiene que el valor que predomina sea de Vectra con un 100%, con esta elección se utilizarán los datos de este polímero para obtener datos del calentador, que serán analizados en el siguiente capítulo. Ahora terminado este punto, es necesario comenzar con la parte de celda de combustible, ya que es una parte importante en el diseño final.

3.9.3 Selección de la celda

En la primera parte se realizó la elección de una celda de combustible comercial, de entre varias opciones. Entre las ventajas más notables, eran que las celdas propuestas aun se encontraban difundidas en un mercado muy pequeño y en pocos países. Además de que algunas características de la celda de combustible afectaban de manera significativa al primer diseño. En un principio se mencionó que en la primera parte se utilizaría una celda comercial, y en esta segunda se utilizaría un equipo pedagógico de una celda, figura 3.13. Con esto se pretende bajar los costos así como el peso del producto final. Pero para poder ocupar estas celdas hay que saber la suficiente información. De la información más relevante de estas celdas se obtuvo lo siguiente:

* Un área de 16 cm².

- * Voltaje en circuito abierto de 0.99V.
- * Puede montarse y desmontarse en cualquier momento.
- * Utiliza una celda PEM.
- * Cuentan con tanques de almacenamiento, tanto para el agua como para los gases generados.
- * Su precio está entre los 500 y 600 MNX.

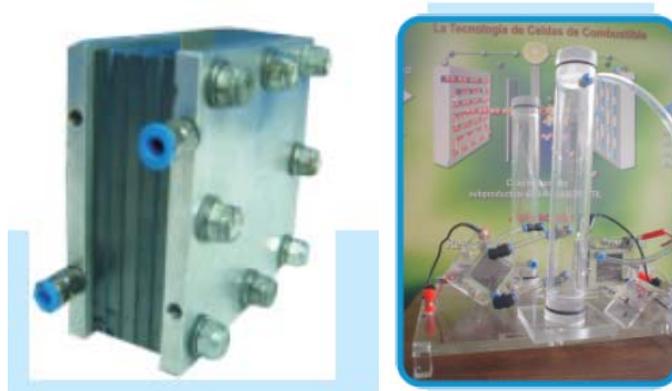


Figura 3.13 Imágenes de una celda pedagógica. Obtenido de HyCelco.com

Las imágenes muestran como es la celda y las partes del equipo que distribuye HyCelco, a pesar de ser una buena opción se observa que el principal problema que tiene es el voltaje de salida. Para el propósito de las resistencias se necesita un voltaje mayor. Otra opción disponible es utilizar este tipo de celdas en stacks (unión de varias celdas de combustible de este tipo, con el cual aumenta el voltaje de salida así como la corriente generada), figura 3.14. Para este tipo de pila de combustible, se tiene como proveedor a Fuel Cell Store, esta compañía se encarga de producir celdas de combustible, tiene una gran gama y sus productos son de calidad.

Esta compañía ofrece una celda que cumple con lo que se requiere en esta parte, y las características tanto físicas como técnicas de su producto son:

- Son 20 celdas entrelazadas, capaces de generar de 20W a 13V, 25-30W a 12V.
- No requiere una externa humidificación o presurización.
- Máxima precisión en aplicaciones.
- Incluye: botella de gases, tanques de metal híbrido e hidrogeno para químicas reacciones.
- Cuenta con una unidad de control, que regula el flujo de hidrogeno así como el enfriamiento de la celda.
- Contiene un compresor de aire, de filtración, unidad de enfriamiento en un rango de temperaturas, medidores de flujo para el hidrogeno y el aire, de voltaje, corriente y temperatura.
- Las dimensiones de esta celda son de 14 cm x 5.7 cm x 8.8 cm (LxAxH).
- Su peso aproximado es de 2.5 kg.
- Utiliza H₂ como combustible, es fácil remover el producto generado por la celda.

- Tiene una eficiencia del 50%, a su máxima capacidad.
- Su precio es de aproximadamente de 15000 MNX.



Figura 3.14 Imagen de la celda propuesta. Obtenido de FuelCellStore.

A comparación de la primera celda en la cual no se tenía mucha información, además de que su distribución aun estaba en espera. Debido a que la compañía desarrolladora estaba perfeccionando y tratando de reducir sus costos. A pesar de que esta propuesta es más cara y más pesada, ofrece algo más real a utilizar en un momento futuro más cercano. La información obtenida de esta celda, en conjunto con las resistencias podrá permitir realizar el nuevo diseño. Una parte nueva en este modelo, es un compartimiento en el cual se podrá colocar el combustible a utilizar. Esto ira en la parte interior de la carcasa y a una distancia razonable del calentador interior.

3.10 Desarrollo del segundo diseño

Para comenzar a proponer nuevos diseños, se tomarán las siguientes consideraciones:
Se utilizará Ticona Vectra® A130 para la carcasa del calentador.

Para la base se utilizara el mismo material propuesto en la primer parte, (ABS) 30% fibra de vidrio.

Para el cajón interior se propone el mismo material que el de la carcasa, seleccionado con anterioridad.

En esta parte se aceptará lo mismo que en el primer proceso, sobre evitar la necesidad de realizar un análisis térmico en el interior del calentador debido a que no se utiliza una temperatura mayor de 100° C. Considerando que el polímero tiene una temperatura de deflexión de 252° C a 0.46 MPa. Ahora ya se cuenta con la información necesaria para modelar y obtener valores numéricos importantes del diseño, como pueden ser peso, volumen, etc. Estos valores se pueden obtener mediante el uso del software de diseño, que se utilizó en la primer calentador. Con todo esto se propone el siguiente diseño, figura 3.15 y figura 3.16, así como las medidas necesarias para su modelación:

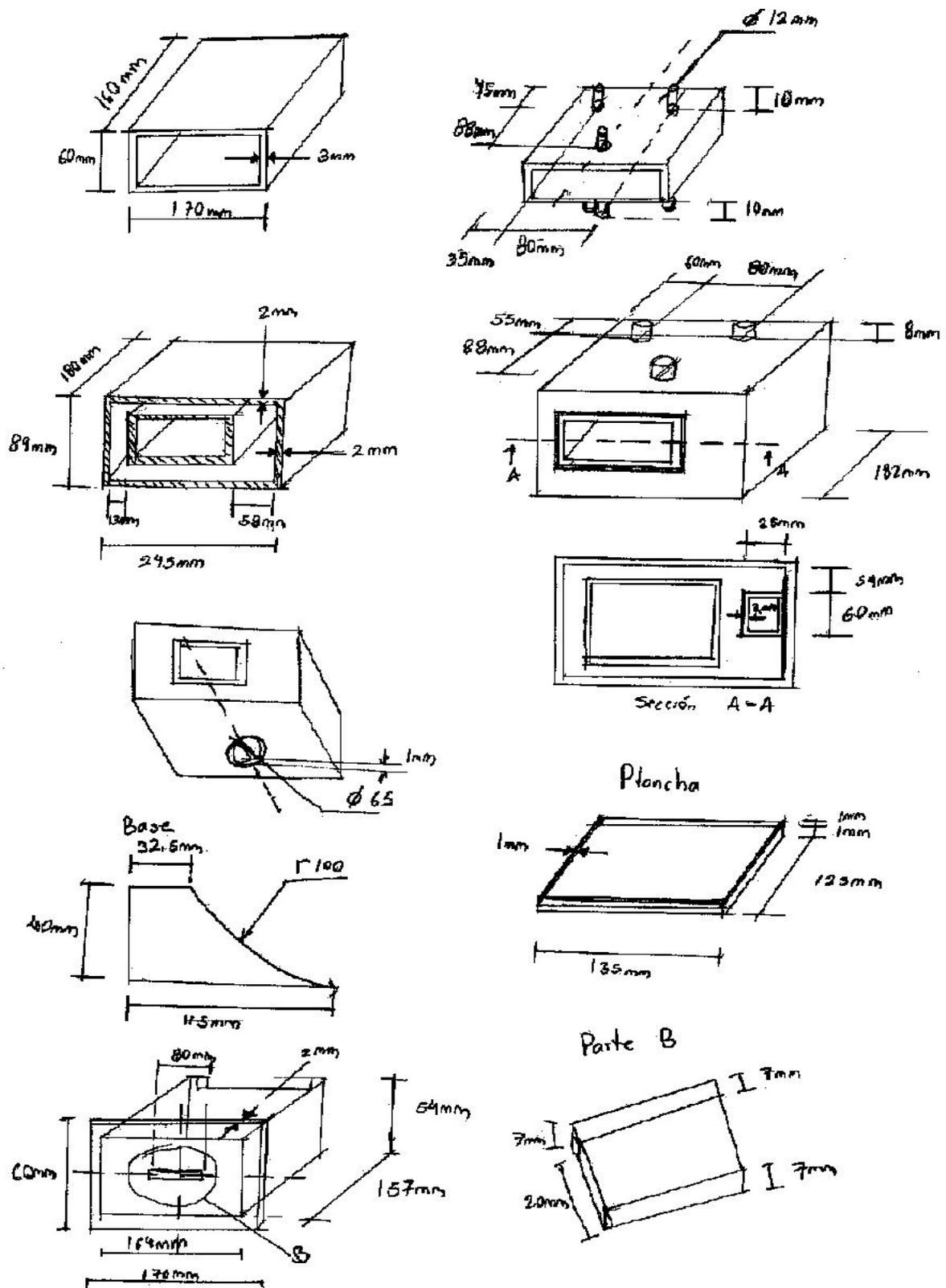
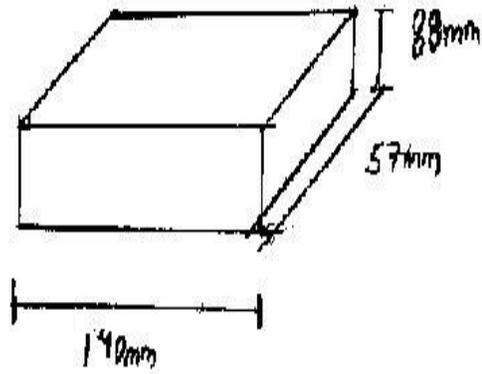


Figura 3.15 Boceto del diseño final del calentador con celdas de combustible, detallando piezas que serán utilizadas para su fabricación, parte 1.

Celda



Orificios para
interruptor y
display

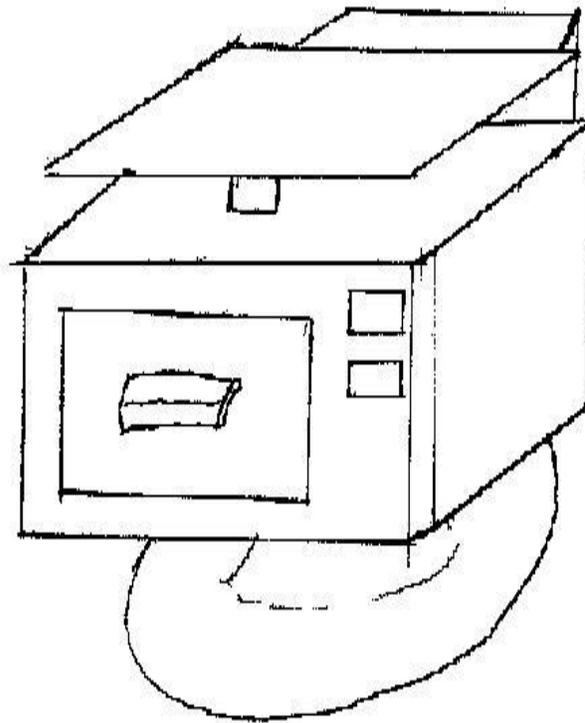
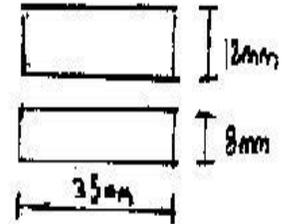


Figura 3.16 Boceto del diseño final del calentador con celdas de combustible, detallando piezas que serán utilizadas para su fabricación, parte 2.

Con esto se obtiene mediante Unigraphics el siguiente modelo, figuras 3.17 y 3.18.

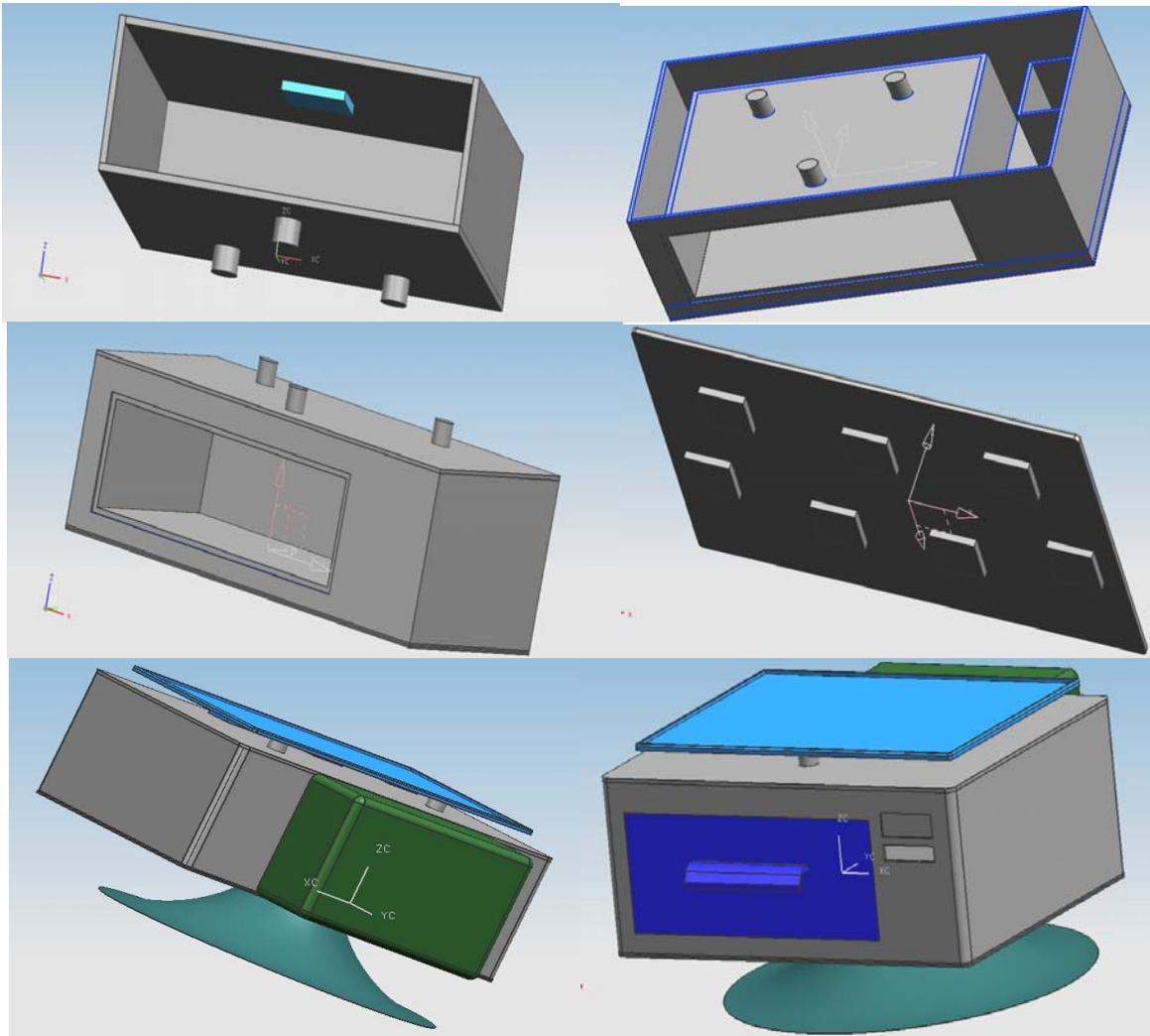
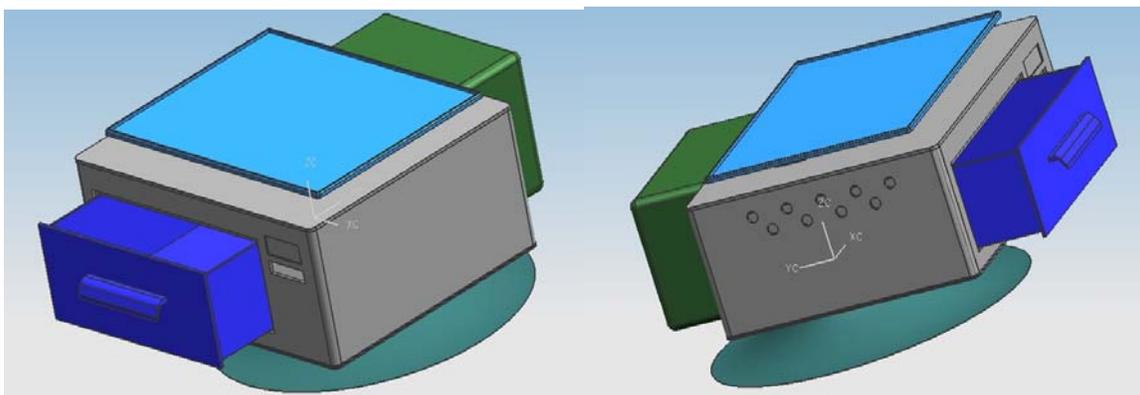


Figura 3.17 Imágenes, proceso de diseño del calentador, en sus diferentes etapas.



Figuras 3.18 Diseño final del calentador. Realizado en Unigraphics.

Con todo lo obtenido se concluye con esta parte, en el siguiente capítulo se analizarán los resultados obtenidos del primer diseño tanto en su diseño, el análisis de costo, ventajas de la celda seleccionada y el plano de conjunto. Ya para la segunda parte se analizarán las ventajas de utilizar TRIZ, así como lo mencionado para la primera parte.

Capítulo 4. Análisis de resultados

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos para ser analizados, se muestran las vistas del planos de conjunto, ventajas y desventajas, análisis de costo y masa para ambos diseños. Posteriormente se analizarán los resultados que se obtuvieron al haber usado las metodologías de Dieter y las herramientas como son TRIZ.

4.1 Vistas del plano de conjunto y análisis de peso

En esta parte como se mencionó anteriormente se muestran vistas del plano de conjunto del primer diseño, figura y tabla 4.1. para darse una idea del tamaño del calentador las medidas aproximadas son 19 cm de alto, 24 cm de largo y 31.2 cm de profundidad.

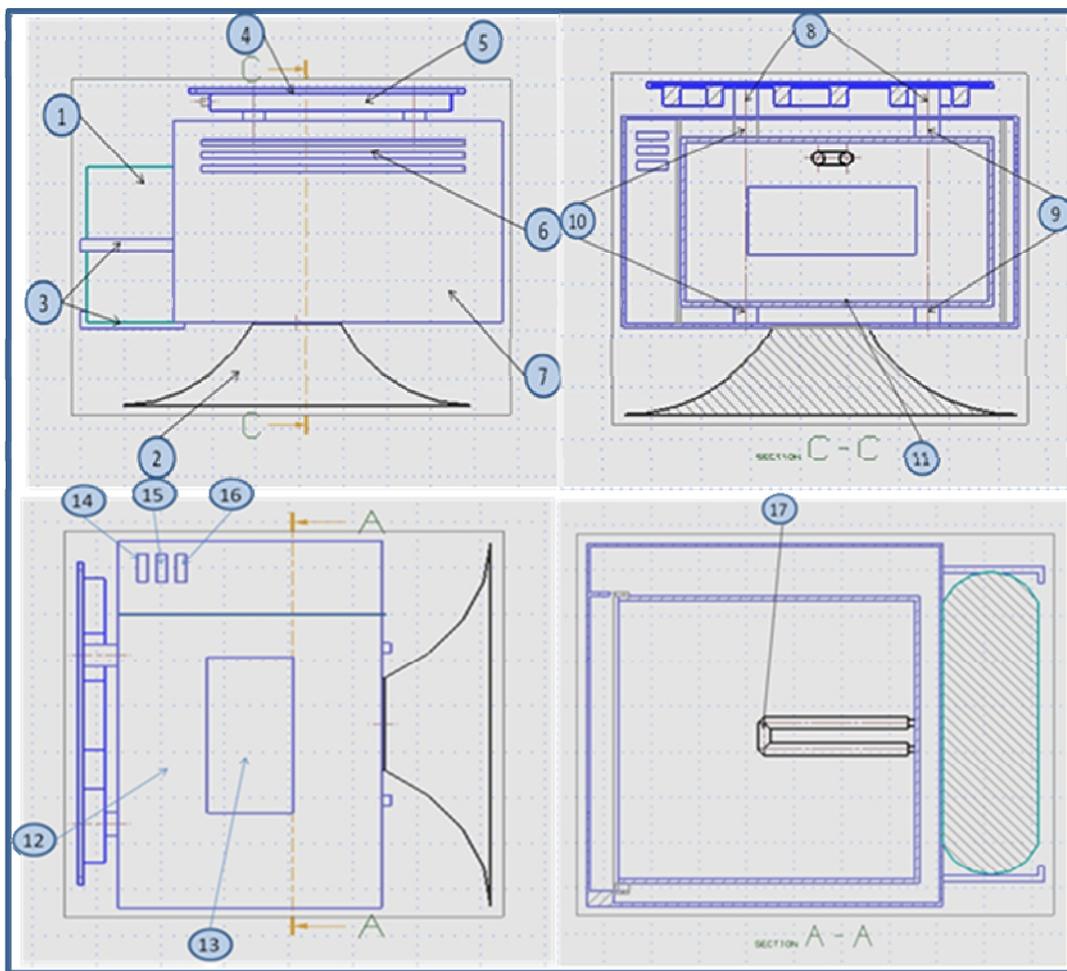


Figura 4. Vistas del plano de conjunto del primer diseño.

Tabla 4.1 Listado de partes del plano de conjunto

1.-Celda de combustible.	11.-Carcasa(parte interior).
2.-Base.	12.-Puerta del calentador.
3.-Sujetadores.	13.-Ventanilla.
4.-Plancha.	14.-Espacio disponible.
5.-Resistencia exterior.	15.-Espacio para interruptor(resistencia ext.).
6.-Ranuras de ventilación.	16.-Espacio para interruptor(r. int).
7.-Carcasa (parte exterior).	17.-Resistencia interior.
8.-Soportes de la plancha.	
9,10.-Soportes interiores.	

Una vez mostrado las vistas del plano de conjunto, a continuación se mostrará el peso total del producto. En la lista se encontraran todas las piezas, tabla 4.2.

Tabla 4.2 Análisis de peso

Parte.	Material.	Peso(kg)
Celda de combustible	Mixto	1.000
Base	(ABS) 30% fibra de vidrio	0.910
Carcasa	Aluminio	2.269
Plancha	Aluminio	0.216
Resistencia exterior	Aluminio	0.300
Resistencia interior	Aluminio	0.027
Total		4.402

Para terminar esta primera parte, se necesita realizar el análisis de costo que tiene el calentador.

4.1.1 Análisis de costos directos e indirectos

Para el análisis de costo, se realizará el mismo método utilizado en la determinación del peso del primer diseño. Solo que en esta parte se tomara el costo de cada parte, tabla 4.3, como es un diseño conceptual se omiten costos de maquinados.

Tabla 4.3 Análisis de costo

Parte	Proveedor	Costo \$ MXN IVA incluido
Celda de combustible/cartucho	LG	8082.20
Plancha	Metales Díaz	7.45
Carcasa	Metales Díaz	78.28
Resistencia interior	Mikai S.A. de C.V.	126.50
Resistencia exterior	Mikai S.A. de C.V.	575.00
Base	Plastic Technology	42.90
Anodizado	Caswell Inc.	723.35
Otros	Diversos	287.50
Indirectos		163319.30
Ingeniería		81600 (58752)
Total		254842.48

Para consultar como se obtuvieron los datos de indirectos e Ingeniería verificar en el capítulo memoria de cálculos. Todas las cotizaciones fueron realizadas el día 14/04/09.

4.1.2 Ventajas y desventajas del primer diseño

Dentro de las principales características, tanto positiva como negativas, que se tuvieron del primer diseño. Dentro de la parte positiva se tienen:

- El anodizado le dará un acabado bastante llamativo. Además de ventajas en sus propiedades mecánicas
- La adaptación de una base giratoria le permite movilidad a 360°.
- La combinación de un sistema de calentamiento, la plancha, externo y rápido, junto con un calentamiento continuo, parte interna, permiten que este diseño cumpla con lo propuesto en este proyecto.
- La movilidad del producto le da ciertas ventajas ante los calentadores convencionales fijos.
- Las emisiones de contaminantes son mínimas.
- Su uso no depende de fuente de energías convencionales.

- Se considera que el calentado de las tortillas será lo más uniforme posible.

Y dentro de los puntos en contra se tienen:

- Si se pensará en construir este diseño, se tendría que esperar hasta que los precios de las celdas de combustible se reduzcan.
- El modelo era grande para la función realizada.
- Las resistencias pueden considerarse un peligro para el usuario, si no se utilizan adecuadamente.
- Su diseño es similar al de un horno de microondas.
- La celda utilizada aún no se encuentra en el mercado, su uso se restringe por el momento si se quisiera desarrollar el calentador
- La utilización del aluminio en la carcasa, aumento considerablemente el precio del producto final.
- Su costo es muy elevado, sin tomar en cuenta la celda, debido del anodizado sobre el aluminio.

Hasta esta parte se ha considerado tan sólo la parte del primer diseño que fue desarrollado, para este trabajo en común, se utilizó la metodología que propone Dieter. En realidad Dieter, nunca dice que los resultados serán excelentes. Por tal motivo lo único que se propuso, fue una serie de pasos a seguir para desarrollar el diseño de un calentador con celdas de combustible, y que gracias a esta metodología se evitó pérdida de tiempo, ya sea pensando en que paso seguirá después del anterior o que se podría realizar. Ahora, se observará qué sucede cuando se realiza el segundo diseño, utilizando esta misma metodología. En esta parte se considerará la información obtenida del primer diseño. Posteriormente se observarán los resultados obtenidos con esta modificación. Al igual, se realizará una comparativa entre ambos diseños, realizando un informe en la parte final de este capítulo.

Con esto se finaliza el análisis del primer diseño, ahora se continuará con el resultado del segundo diseño del calentador.

Se realizará lo mismo que en el análisis del primer diseño. Primero se iniciará con las vistas del plano de conjunto, análisis de peso y análisis de costo, etc.

4.2 Vistas del plano de conjunto y análisis de peso, diseño final

En esta parte se mostrarán las partes del segundo diseño, figura 4.2 y tabla 4.4, junto con el nombre de cada una. Las dimensiones de la celda son 13.4 cm de alto, 24.5 cm de largo y 27.4 cm de profundidad.

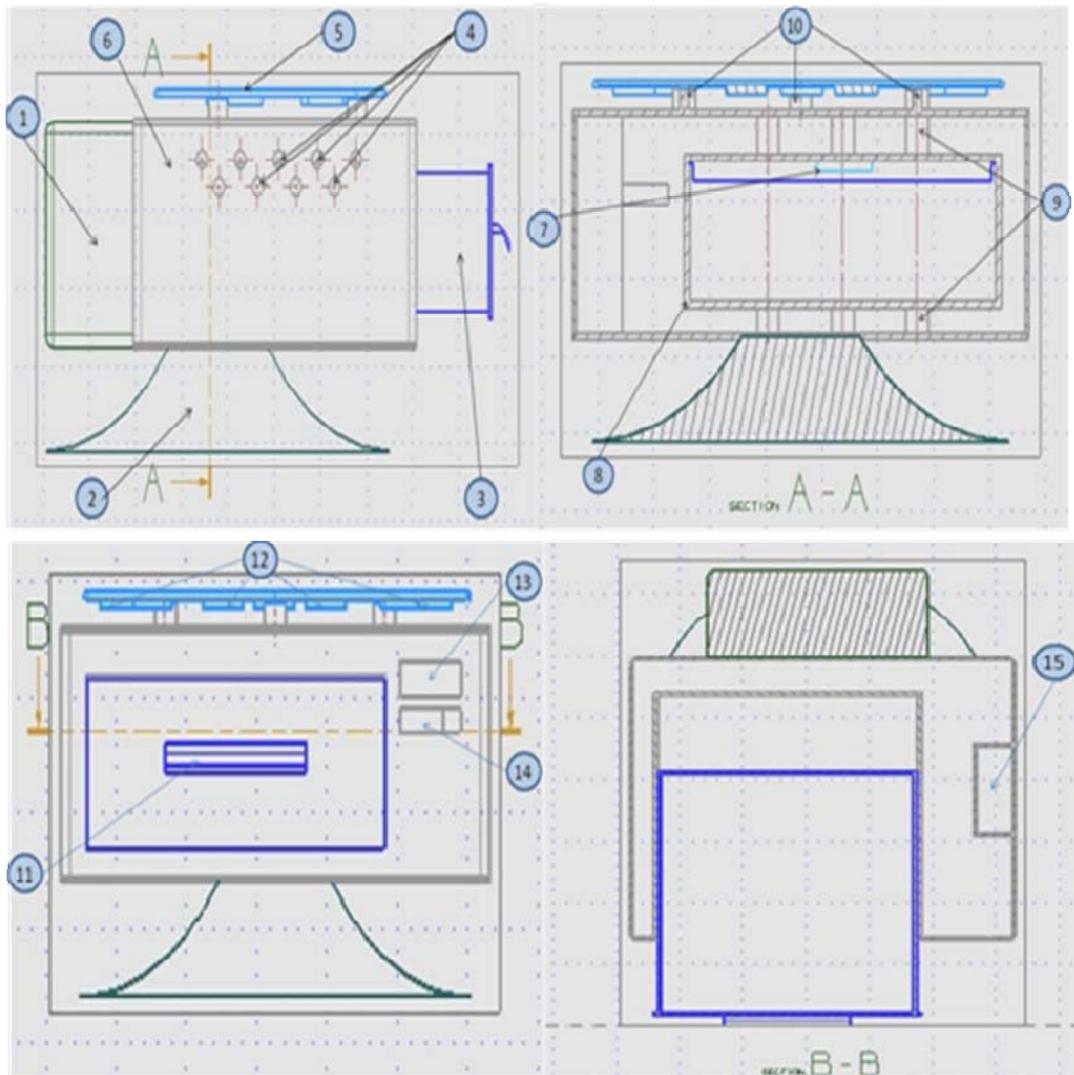


Figura 4.2 Vistas obtenidas del plano de conjunto del segundo diseño.

Tabla 4.4 Listado de partes de las vistas obtenidas del plano de conjunto

1.-Celda de combustible.	10.-Soportes (exterior).
2.-Base.	11.-Manija.
3.-Cajón.	12.-Resistencias exteriores.
4.-Ranuras de ventilación.	13.-Orificio para medidor de temp.
5.-Plancha.	14.-Orificio para interruptor.
6.-Carcasa (parte exterior).	15.-Compartimiento interior para combustible.
7.-Resistencia interior.	
8.-Carcasa (parte interior).	
9.-Soportes (interior).	

De la misma forma se analizarán las partes, y como estas influyen en el peso del segundo diseño, tabla 4.5.

Tabla 4.5 Análisis de peso

Parte	Material	Cantidad	Peso (kg)
Carcasa	Ticona Vectra® A130	1	0.922
Celda de comb.	Mixto	1	2.500
Resistencia	Mixto	6	0.054
Base	(ABS) 30% fibra de vidrio	1	0.743
Cajón	Ticona Vectra® A130	1	0.196
Plancha	Aluminio	1	0.064
total		11	4.479

Por último se mostrara el análisis de costo que tiene este diseño. Tomando en cuenta la cantidad de partes utilizadas para este calentador, si se requiere.

4.2.1 Análisis de costos directos e indirectos

Para esta parte, se tomará cada parte que compone el calentador y se realizará una suma de todos los elementos, tabla 4.6, con el fin de obtener un precio final para este primer diseño.

Tabla 4.6 Análisis de costo.

Parte	Proveedor	Cantidad	Costo \$ MXN IVA incluido
Celda de comb.	Fuel Cell Store	1	24972.46
Carcasa	Plasticker	1	40.07
Resistencia	Advanced termoelectric	6	1618.34
Plancha	Metales Díaz	1	2.30
Base	Plastic Technology	1	38.50
Cajón	Plasticker	1	7.85
Otros	Diversos		287.50
Indirectos			163319.30
Ingeniería			81600 (58752)
Total		11	271886.32

Del mismo modo que con el primer diseño del calentador las cotizaciones se realizaron en la siguiente fecha 14/04/09.

De la misma forma se deben informar las ventajas de haber utilizado la misma metodología de Dieter en el desarrollo de productos, con un punto importante la “retroalimentación”. Pero primero se mostraran las ventajas y desventajas de este diseño.

4.2.2 Ventajas y desventajas del segundo diseño.

Dentro de las ventajas se tienen:

- Su diseño es compacto en comparación diseño preliminar.
- El uso de polímeros y fibras poliméricas, mejoró en mucho las propiedades del diseño.
- Sin contar la celda ni las resistencias, el precio del producto mejoró considerablemente.
- Al continuar siendo un producto móvil, es superior a los aparatos de uso casero.
- El uso de los módulos de Peltier, mejorará considerablemente la seguridad sobre el uso de este calentador.
- La masa del calentador, sin considerar la celda, es mucho menor al primer diseño.

- Mantener la base giratoria, mantiene el aspecto de un producto llamativo.
- El uso de un cajón permite al usuario evitar tener riesgos con el modulo de Peltier.
- El uso de solo un botón para el funcionamiento de todas las resistencias, mejora la calidad del producto reduciendo la cantidad de interruptores.

Dentro de las desventajas:

- El precio de una celda comercial es muy elevado.
- La adaptación de esta celda al diseño, aumenta el precio del producto final.
- El precio de envío para algunas partes como son la celda y las resistencias, no se contempla en el análisis de costo. Por lo que el precio del producto será más elevado del mostrado en esta parte.

4.3 Comparativa de la aplicación de la metodología de Dieter.

Ahora con respecto a la metodología de Dieter en esta sección de la tesis, se puede concluir que la utilización de la información del primer diseño disminuyó considerablemente el tiempo de desarrollo para la segunda parte del capítulo anterior. En principio esta metodología fue desarrollada en un lapso de tiempo mediano (3 meses), pero una vez que se reutilizó esto disminuyó debido a que se comprendían mejor los pasos de diseño de un producto.

Aunque no era la única metodología la elección de esta permitió que se evitara pérdida de tiempo en seleccionar que se debía realizar durante el desarrollo del producto, debido a que se tenía un plan de trabajo que proponía Dieter. Para saber si es bueno o no se tendría que comparar con otras metodologías, pero esto no es parte de este trabajo.

Ahora con la información de cada diseño, se realiza un comparativo para ver las ventajas que tiene un diseño sobre el otro. Con esto se observará si al utilizar TRIZ se mejoraron ciertas características, cuando se realizó el desarrollo del segundo calentador.

4.4 Resultados de la aplicación de TRIZ.

Para poder analizar las ventajas de esta metodología se consideran las ventajas del segundo producto, como son:

Estética: 4, debido a que se redujo el tamaño del diseño, se utilizaron materiales ligeros lo que redujo el peso del producto final.

Costo celda de combustible: 3, permanece igual debido que al cambiar de celda no mejoraron ciertas características, como el precio, peso, etc

Seguridad: 4, aumento debido a que los módulos utilizaban un menor espacio, lo cual permitía colocarlos en un espacio fuera del alcance de las manos del cliente. Además de la adición de un cajón disminuye la necesidad de meter la mano en la parte interior del calentador.

Materiales: 4, el uso de materiales poliméricos mejoró las propiedades del calentador. Así mismo, disminuyó el precio del producto final. Debido al bajo costo de la materia prima a utilizar.

Funcionalidad: 5, para esta parte realmente no hay mucho que considerar, se supuso al principio que el primer diseño cumplía con lo requerido. Con esto se pretendía continuar con el segundo diseño, por lo que no se puede considerar un cambio significativo.

Con lo que el radar de evolución, figura 4.3, queda de la siguiente forma.

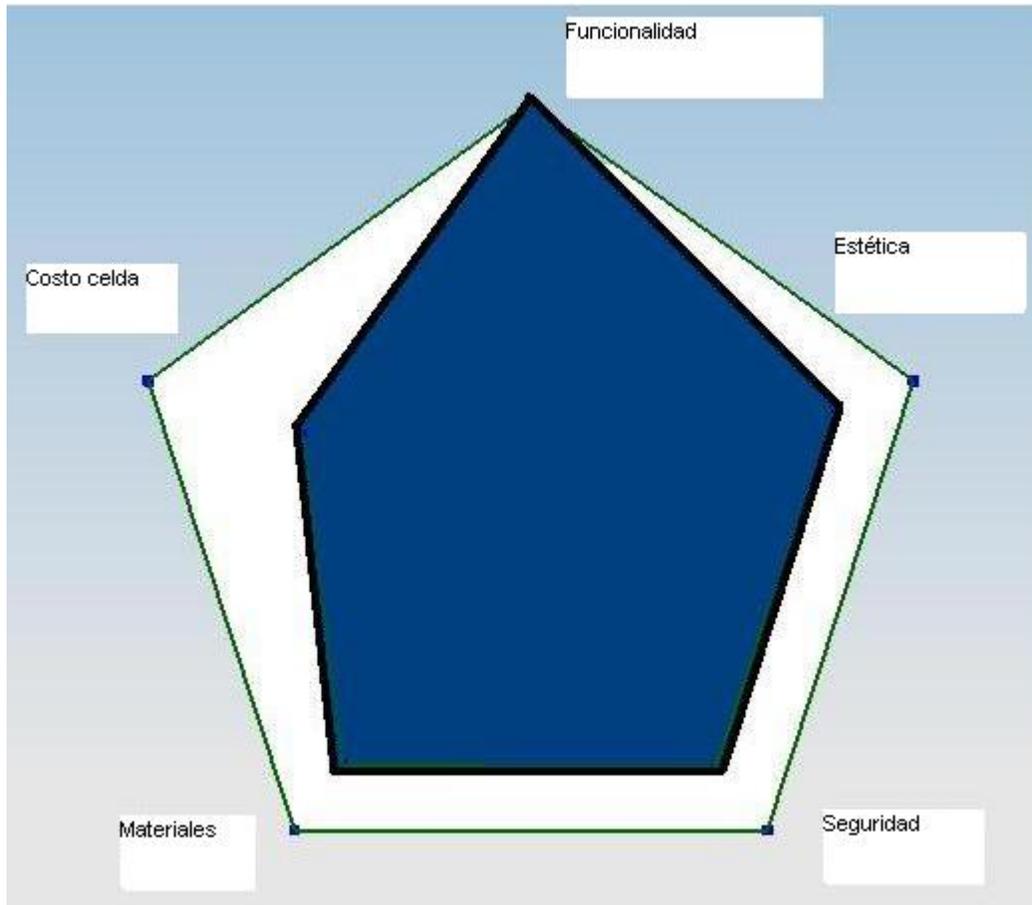


Figura 4.3 Radar de la evolución del segundo diseño.

Con lo anterior y tomando en cuenta las calificaciones del primer producto en el radar de evolución propuesto en el capítulo interior. Se tiene la siguiente comparativa, tabla 4.7, entre ambos diseños.

Tabla 4.7 Comparativa de diseños, resultados del radar de la evolución

Característica\diseños	Primer diseño	Segundo diseño	Mejor producto
Estética	2	5	Segundo
Costo celda de combustible	3	3	Segundo
Seguridad	1	4	Segundo
Materiales	3	5	Segundo
Funcionalidad	5	5	Ambos

Claramente se observa, que el segundo diseño mejoró sobre el primer diseño y esto se pudo observar en la tabla 4.7. Por lo que se puede decir, que la aplicación de algunos principios de TRIZ permitió encontrar mejoras en algunas características del primer diseño, que podían ser consideradas como deficientes. Esta metodología propuso que se podía realizar, pero la decisión de cómo se utilizan caen directamente sobre el diseñador. Por lo que se puede deducir que TRIZ, es una gran herramienta de mejora en el diseño de productos y que no solo depende de los principios que esta metodología propone, depende en gran parte de la inventiva y aplicación dadas por el usuario.

4.5 Análisis global.

Ahora el resultado global de este proyecto es:

Las celdas de combustible es una gran tecnología, en ambas partes se observó que el principal problema era el precio. En la primera parte, el principal defecto fue el tamaño. Ya en la segunda parte, otra característica en contra fue el peso de la celda utilizada. Si se pudieran combinar las características de ambas celdas se podría encontrar una celda ideal para el calentador.

De las desventajas encontradas hasta el momento como punto principal es el costo de la celda de combustible. Si se quisiera desarrollar el calentador, se tendrían el problema de la disponibilidad, mantenimiento y posiblemente combustibles en México.

Definitivamente el uso de plásticos, en lugar de metales, mejora varias características de un producto. De estas características como son: peso, costo, acabado, maquinabilidad, etc. Al inicio se utilizó aluminio 4043 para la carcasa pero tan solo fue la selección preliminar, ahora como selección final se tuvo el material Ticona Vectra® A130 que es un polímero de cristal líquido, este material debía cumplir con ciertas normas que van dirigidas al contacto con alimentos. Las normas son reguladas por la FDA (U.S. Food and Drug Administration, en español Administración de alimentos y medicamentos de los E.U), regulan el uso de ciertos materiales que se encuentran en contacto con alimentos y se aplica tanto en México como en E.U. por la mayoría de los fabricantes de recipientes de plástico. La FDA aprobó el uso del material Ticona Vectra® A130 mediante las siguientes notificaciones de contacto con alimentos (FCN, Food Contact Notifications) tanto la FCN 103 y 423¹³, que dice que para la mayoría de los polímeros de Vectra se les permite el contacto con comida siempre y cuando sus componentes, de manera individual, del material no pasen cierto porcentaje en el momento de la copolimerización. En este caso el material seleccionado cumple con la anterior norma por lo que no tiene ningún problema en su uso al estar en contacto con las tortillas.

La función del diseño del producto de calentar y mantener calientes a las tortillas, se cumple para ambos diseños. Al cumplir se pudieron mejorar ciertas partes como son: las resistencias, y el uso de un bajo voltaje de la celda de combustible.

¹³ Para información mas detallada de las FCN no. 103 y 423 revisar la pagina <http://www.fda.gov/>

Con respecto a la seguridad que se debe tener con este producto es únicamente en la plancha que se encuentra en la parte superior del calentador para ambos diseños, de alguna forma es el mismo problema que se ha tenido con los comales. En cambio en la parte interior la utilización de un cajón evita que el usuario tenga contacto con el modulo de Peltier, con esto se evita quemaduras que con las resistencias podía ocurrir. Con respecto a las celdas de combustible su uso tiene que ser solo mediante especificaciones de uso que se tienen en el instructivo, estas advertencias sólo se consultan si se compra el producto algo que no se puede realizar por el momento debido a que se llevo hasta el diseño conceptual.

Con respecto al mantenimiento del calentador, la mayoría de él se puede limpiar sin ningún problema debido a los materiales con que está hecho. Para los módulos de Peltier solo se recomienda que su uso sea mediante interruptores y que el usuario no tenga ningún tipo de contacto para no reducir el tiempo de vida de este. En cuanto a la celda de combustible el tiempo de vida está limitado por el desgaste y/o corrosión de sus componentes, por tanto las recomendaciones de mantenimiento se reducen a utilizar una celda que utilice hidrogeno puro como combustible. Su tiempo de vida media es de aproximadamente de 3 años pero esto varía dependiendo del uso que se les dé.

El uso de metodologías para el desarrollo de este calentador, permitió tener las ventajas que se han estado mencionando.

Ahora con esta información obtenida se informara de las conclusiones a las que se llegaron de este proyecto.

Capítulo 5 Conclusiones

Al inicio de esta tesis se planteó diseñar un calentador de tortillas con celdas de combustible. Para realizar este diseño se tomaron en cuenta ciertos aspectos tanto de las tortillas, los calentadores más usuales y las celdas de combustible. Aspectos que podían ser una ayuda o una restricción en su desarrollo, uno de éstos fue sin duda el precio de las celdas de combustible. A pesar de esta consideración se continuó con el desarrollo de esta tesis y sólo hasta la parte de análisis de costo fue utilizado el precio de la celda seleccionada, capítulo 4. Por otra parte el calentador desarrollado aportó una gran información desde el inicio de su diseño hasta el final.

De la misma manera que las celdas, el calentador de tortillas mostró que para su creación era necesario seleccionar un material para su carcasa y unas resistencias que calentarían a las tortillas. Ambos en el diseño preliminar arrojaron datos relevantes que permitieron realizar cambios significativos en el diseño final. Por ejemplo, en la carcasa se utilizaron materiales poliméricos en vez de usar aluminio, o el caso de las resistencias las cuales se cambiaron por unos módulos de Peltier, en donde ambos influyeron en la masa del calentador final.

El haber realizado dos diseños permitió conocer ciertas características que usualmente se omiten en un solo desarrollo. El uso de la herramienta de diseño, TRIZ, y la información obtenida del diseño preliminar sirvió para lograr un diseño más eficiente esto se observó en la tabla 4.7 del capítulo 4 de esta tesis. Sin lugar a duda si se hubiera tenido que realizar un tercer diseño, tendría diversas mejoras como ha sido el caso de los aparatos eléctricos, un ejemplo son los ipods.

El diseño final cumple con la función que realizan los calentadores convencionales, además de esto cuenta con la función de mantener tibias a las tortillas después de haber sido calentadas, lo cual cumple con lo pretendido en esta tesis. Gracias a toda la información recabada, metodologías aplicadas y el uso de material de apoyo, por ejemplo unigraphics para el modelado del calentador se logró cumplir con el objetivo de esta tesis, el diseño conceptual de un calentador de tortillas con celdas de combustible.

Como se mencionó en un principio que el problema más fuerte es el precio de la celda de combustible. Sin lugar a duda lo es y se sabía desde el inicio de la tesis, pero como cualquier tecnología se espera que baje su precio en los próximos años hasta que sea accesible. Esto permitirá que se pueda desarrollar en productos como este calentador de tortillas. No hay duda que esta tecnología es impresionante y seguramente sea una opción disponible en poco tiempo. Contiene muchas ventajas sobre otras fuentes de energía y aunque sus desventajas existen, en poco tiempo podrá alcanzar una madurez tecnológica y comercial.

El producto desarrollado en esta tesis podrá servir de ayuda en próximos proyectos, donde se utilicen celdas de combustible. Puesto que el principal problema que al que se enfrentó este trabajo fue al hecho no contar con información sobre el uso de estas celdas en

aplicaciones cotidianas, en los que no sólo fuera un artículo donde sólo se hacía mención de su posible uso.

Al desarrollar esta tesis se observaron los problemas que se pueden tener al momento de crear un producto. Las complicaciones iban desde elegir un método de diseño hasta seleccionar algún material para el calentador o alguna celda de combustible. Con esto se tuvo una idea de los problemas que se llegan a tener en empresas desarrolladoras de productos, en donde el proceso es más detallado puesto que se toman más decisiones sobre cada paso a realizar. Todo lo que se realiza se representa en costo y se ve reflejado en el producto final, de aquí depende que se obtengan ganancias o pérdidas al momento de tenerlo en el mercado. Definitivamente esto es una excelente simulación para conocer todo un proceso de diseño, en el cuál en un momento posterior uno aportará propuestas, ideas y soluciones ya de forma formal en el área laboral.

Apéndice 1. Antecedentes celdas de combustible.

A1.1 Hidrógeno.

El hidrógeno, es una sustancia que en los últimos años ha estado tomando un papel importante como combustible, debido a la alta demanda de un combustible más limpio y menos dañino al ambiente. Pero lo antes mencionado, no implica que este compuesto no se haya utilizado con anterioridad. En cuanto a su descubrimiento, se relata que algunos científicos como Henry Cavendish, en 1766, quien demostró que el hidrógeno era un elemento químico. Posteriormente a esto, fue Antoine Laurent de Lavoisier quien le dio el nombre químico con el que se le conoce actualmente. Cada uno por su parte, fue descubriendo diversas características de este elemento, las cuales se mencionaran a continuación.

Dentro de sus principales características tenemos que es un gas diatómico (H_2), incoloro, inodoro, insípido, no metálico y altamente inflamable. Su abundancia en el universo es del 75%. A pesar de existir en gran cantidad, en nuestro planeta el hecho de usarlo, implica el tener que obtenerlo mediante procesos especiales. Dentro de estos procesos de obtención, tenemos uno de los más simples y comunes, que es la electrolisis.

La electrolisis es un método muy sencillo y conocido, por el cual se pueden separar elementos de un compuesto mediante la aplicación de electricidad entre dos electrodos, en el cual se da una reacción redox. La diferencia de potencial aplicado a los electrodos, depende del electrolito y del material que constituye los electrodos. Y la cantidad de esta diferencia debe ser usada de acuerdo al valor teórico obtenido. Ya que una variación mínima en este proceso, puede ocasionar que la reacción fuese lenta o no se lleve a cabo, ocasionando que se necesite de un mayor potencial aplicado. El potencial añadido en exceso se denomina potencial de sobretensión.

La cantidad de producto que se forma durante una electrólisis, depende de:

- a. La cantidad de electricidad que circula a través de la pila electrolítica.
- b. De la masa equivalente de la sustancia que forma el electrolito.

Y la reacción redox, en este caso para el agua se muestra a continuación, donde el oxígeno se produce en el ánodo e hidrógeno en el cátodo:

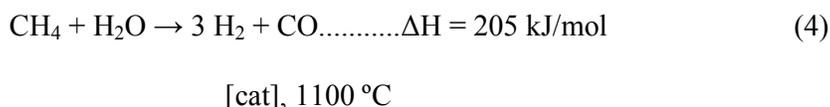


El agua pesada, D_2O , se produce como subproducto durante la electrolisis.

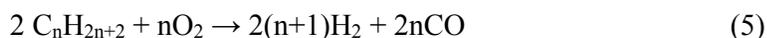
A pesar de que este proceso es tan conocido y perfectamente entendido, solo constituye el 4% de la producción mundial del hidrogeno, aunque la pureza es mayor del 99%. La electrolisis del agua ha caído en importancia, debido a la baja eficiencia del proceso electrolítico y a los altos costes de la electricidad. Aunque en un momento posterior y

gracias a la fabricación de tecnología más eficiente, el uso de este método podría remplazar a los métodos convencionales. Además de este método, tenemos la generación de hidrogeno por medio de procesos petroquímicos.

El 77% del H₂ se produce a partir de los procesos petroquímicos. Dado que es la forma más barata de conseguir el compuesto. Esto no quiere decir que sea la mejor, ya que la mayoría de los subprocesos que constituyen este proceso, descargan una gran cantidad de residuos dañinos al ambiente. La forma de obtener hidrogeno por este método, es mediante la reacción catalítica del vapor de agua con el gas natural (metano) u otros hidrocarburos ligeros (propano, butano, etc). Lo antes mencionado se puede explicar mediante la siguiente reacción:



Pero además de los procesos antes mencionados, también se puede producir mediante la oxidación parcial de hidrocarburos pesados a altas temperaturas. Y es mostrado mediante la siguiente formula:



Estas reacciones vienen seguidas de una reacción térmica no catalítica, que consiste en la conversión del monóxido de carbono en dióxido de carbono e hidrógeno:



Este equilibrio se denomina reacción de desplazamiento del gas de agua. Se puede desplazar a la derecha, a bajas temperaturas, y hacia la izquierda, a altas temperaturas. Para evitar que vaya hacia la izquierda, la mezcla se enfría alrededor de los 400 °C con vapor de agua, y se hace pasar a través de un reactor de desplazamiento que opera a 400 °C, en presencia de un catalizador de hierro-cobre, con esto se convierte la mezcla de CO y agua en CO₂ e H₂. En países donde el carbón es barato (como Sudáfrica), el H₂ se prepara directamente mediante la siguiente reacción:



Dentro de las principales aplicaciones, tenemos al hidrogeno como refinado de combustibles fósiles y en la producción de amoniacos, dirigidos hacia la producción de fertilizantes.

Aunque este método sea el más utilizado en la industria, depende de la disposición del petróleo para su obtención. Por lo que resulta poco eficiente, considerando que habrá un momento en el que se cambiara este combustible, ya sea por uno alternativo o mas eficiente. Estos métodos antes mencionados, son los más comunes en la industria. También tenemos que el hidrógeno se forma como subproducto, a gran escala, en un número importante de procesos industriales:

- En el craqueo y reformado del petróleo.

- En procesos de producción de alquenos, acetileno y estireno.
- En el proceso Fischer-Tropsch (síntesis de metanol).
- En la síntesis de amoníaco.
- En la industria cloro-álcali

Después de haber descrito algunos procesos, para obtener hidrogeno. Se continuara analizando su uso, enfocado en su mayoría a la industria, con el fin de tener una mayor visión del alcance de este combustible.

Desde el principio de este proyecto, se ha hablado de las celdas de combustible en la posible aplicación sobre el calentador. Pero por el momento dejaremos a un lado esto, ya que posteriormente se hablará con mayor profundidad del tema.

Considerando lo anterior y mediante el siguiente diagrama, comenzaremos con la descripción de las diferentes aplicaciones industriales del hidrogeno.

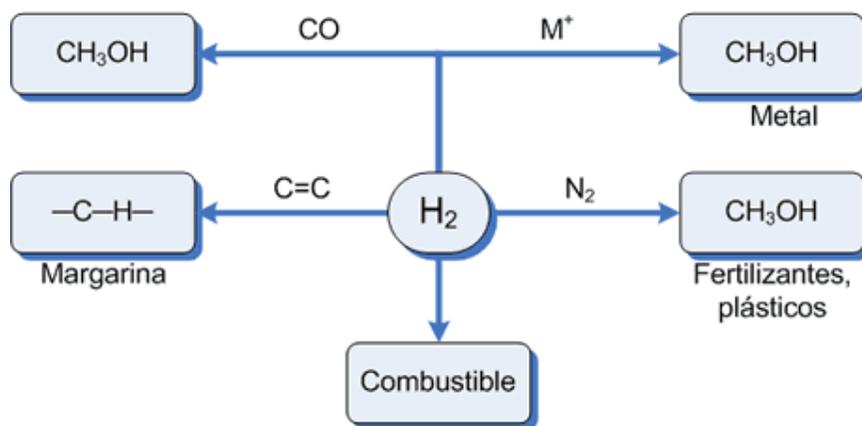


Figura 1.1 Usos industriales del hidrogeno. Obtenido de www.textoscientificos.com

A1.1.1 Descripción de las aplicaciones del hidrogeno

Tomaremos uno de los ejemplos en el diagrama mostrado, para describir los procesos de forma más general.

1.-Una de las aplicaciones, es en la producción de amoníaco usado más comúnmente en la fabricación de fertilizantes. A este proceso se le conoce como proceso de síntesis de amoníaco o proceso Haber. En química, el proceso de Haber – Bosch, es la reacción de nitrógeno e hidrógeno gaseoso, para producir amoníaco. La importancia de la reacción radica, en la dificultad de producir amoníaco a un nivel industrial. Ya que este proceso, fue desarrollado para obtener nitrógeno del aire y producir amoníaco, que al oxidarse forma nitritos y nitratos. Éstos son esenciales en los fertilizantes.

Como la reacción natural es muy lenta, se acelera con un catalizador de hierro (Fe^{3+}), en el que óxidos de aluminio (Al_2O_3) y potasio (K_2O) también se utilizan. Otros factores que aceleran la reacción son que se opera bajo condiciones de 200 atmósferas y 450-500°C, resultando en un rendimiento del 10-20%.



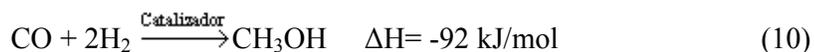
ΔH representa el calor generado, también llamado entalpía, y equivale a -92.4 kJ/mol . Como libera calor, se considera una reacción exotérmica.

2.- Otra de las aplicaciones del hidrogeno a nivel industrial, es en la hidrogenación en la manufactura de productos orgánicos. A este proceso también se le conoce como hidrogenación catalítica, generalmente se utiliza para producir grasas sólidas comestibles, a partir de aceites vegetales insaturados. Aunque actualmente se han reducido los efectos indeseables de este proceso, dicho proceso tecnológico aún tiene como inconveniente la formación de ácidos grasos, cuyas insaturaciones (dobles enlaces) son de configuración trans. Estos ácidos son dañinos para la salud, por lo que este proceso resulta inconveniente.

3.-Entre las aplicaciones, tenemos que el hidrogeno puede utilizarse como eliminador de la oxidación en los metales. Ejemplos de ellos tenemos los siguientes: plata, cobre, plomo, bismuto, mercurio, molibdeno y wolframio. Y se demuestra mediante la siguiente reacción:



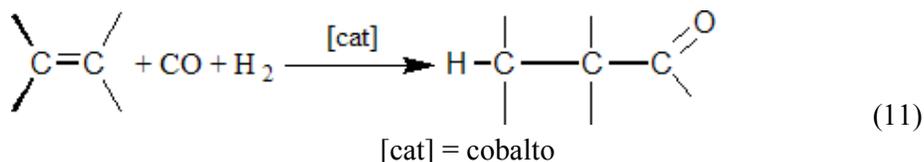
4.-Dentro de los procesos mas importantes en el que el hidrogeno se encuentra involucrado, es en el proceso de síntesis de metanol. La síntesis es a partir de CO y H_2 , y se demuestra mediante la siguiente reacción química:



Al liberar calor se denomina un proceso exotérmico.

Este proceso ha aumentado su uso, debido al aprovechamiento de combustibles alternos. Pero está no es la única aplicación de este método, ya que se puede fabricar formaldehído, ácido acético y combustible de alto octanaje (utilizado en automóviles). De este último ejemplo, tenemos como caso a Brasil, quien opto por este combustible con el fin de sustituir combustibles de origen fósil.

5.-Como ultima aplicación tenemos el proceso de Hidroformilación de olefinas. Es empleado a nivel industrial, para la obtención de aldehídos a partir de olefinas, monóxido de carbono e hidrogeno. Está reacción es demostrada a continuación, donde el catalizador utilizado fue cobalto.



En este proceso se forma un aldehído, que contiene un átomo de carbono más que la olefina de partida.

Y la importancia que tiene, es debido a que ha permitido obtener grandes cantidades de alcoholes detergentes a nivel mundial. Hasta este punto, se ha analizado en general las características del hidrógeno y sus aplicaciones. Ahora continuando con lo antes

mencionado, se tomara al metanol para su investigación y desarrollo, debido a que es considerado como combustible en algunas celdas.

A1.2 Metanol.

El metanol o conocido también como alcohol metílico, es el primero de los alcoholes. Su estructura química es muy similar a la del agua, con la diferencia que el ángulo de enlace es ligeramente mayor, debido a que el grupo metilo es mayor que un átomo de hidrogeno. Es muy similar al agua, en cuanto a sus propiedades debido a que ambos tienen grupos hidroxilos.

En condiciones ambientales: es un líquido incoloro, de poca viscosidad, de un olor agradable aunque toxico e inflamable (volátil a temperatura ambiente). El metanol es un combustible con un gran poder calorífico, que arde con llama incolora o transparente y cuyo punto de inflamación es de 12.2 °C. Este combustible genera muchos vapores, por lo que su manipulación y almacenamiento debe estar bien ventilada. Y los materiales de los contenedores deberán ser antichispas, para evitar cualquier posible explosión.

A1.2.1 Métodos de obtención del metanol.

Para obtener metanol, en un principio se hacia por destilación destructiva de astillas. Este proceso consiste en destilar la madera en ausencia de aire, a unos 400 °C formándose gases combustibles (CO, C₂H₄, H₂), empleados en el calentamiento de las retortas. Hoy en día el proceso que se utiliza para obtener metanol, se sintetiza mediante un proceso catalítico a partir de monóxido de carbono e hidrogeno. Este proceso se realiza a altas temperaturas y presiones, en reactores industriales grandes. Se observa la reacción de este proceso a continuación:



Los catalizadores usados en este proceso son ZnO o Cr₂O₃.

Pero además del proceso anterior se tiene que la firma Lurgi Corp. e Imperial Chemical Industries Ltd. cuenta con un proceso propio, este proceso se llama Proceso Lurgi. Este se denomina proceso de baja presión, para obtener metanol a partir de hidrocarburos gaseosos, líquidos o carbón. Y se da en tres etapas:

1. Reforming: en esta parte se busca que el gas natural que entra al sistema, sufra algunas reacciones con el fin de prepararlo, antes de entrar al reactor de metanol.
2. Síntesis: en esta parte entra el gas anterior, a unos tubos llenos de catalizadores para formar el metanol, en forma de gas.
3. Destilación: aquí entra el metanol en forma gaseosa, a un intercambiador de calor, el cual se encargara de reducir la temperatura condensando el líquido. Después de lo anterior el metanol sale en condiciones normalizadas.

La aplicación más importante del metanol, es como combustible alternativo para automóviles. Pero después se vio que al mezclar metanol con algún combustible convencional, reduciría hasta en un 30 por ciento las emisiones de monóxido de carbono y entre 6 y 10 por ciento las de dióxido de carbono. Y para que un auto utilice al 100% de metanol como combustible, tendría que adaptarse la maquinaria del

automóvil. Empleando metanol, los autos eliminarían casi por completo las emisiones de partículas en suspensión y compuestos tóxicos, tales como: óxido de nitrógeno (NO), ozono (O₃), hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) y dióxido de azufre (SO₂) entre otros. El único defecto que tienen el uso de este combustible alternativo, es el de generar vapor de agua como gas de residuo, el cual contribuye al calentamiento global. Aunque este combustible, es la opción más fuerte que se tiene para sustituir a los combustibles convencionales.

Después de analizar el metanol y el hidrógeno, debido a la importancia que tienen como fuente de energía en celdas de combustible. Se comenzara con un tema principal para el desarrollo de este proyecto, las “celdas de combustible”. Pero en si, ¿qué son las celdas de combustible?, y ¿Cuál son sus ventajas al usarse?. Para responder estas interrogantes, es necesario realizar lo mismo que se hizo con el metano o el hidrógeno. Hay que analizar este tema desde el punto de vista industrial y su impacto, tanto en la sociedad como en la naturaleza. Todo esto con el fin de saber, si es posible adaptar este equipo a un aparato de uso común, a algo tan sencillo como es un calentador de tortillas.

A1.3 Celdas de combustible.

Las celdas de combustible puede parecer un tema nuevo, aunque en realidad no lo sea, pues en el siglo XIX el abogado galés William Grove, demostró que haciendo burbujear H₂ y O₂ sobre ciertos metales, permitía producir energía eléctrica y agua. Para este momento este acontecimiento era algo inesperado, la causa era que habían pasado pocos años de la publicación de las leyes de la electrolisis, por parte de Michael Faraday. Al principio los experimentos que se hacían de celdas contaban con ciertos problemas. La eficiencia era muy baja, esto no resultaba conveniente desde el punto de vista energético. Años después Francis T. Bacon desarrolló una celda de combustible, utilizando electrocatalizadores de platino y solución alcalina como medio conductor, lo cual resulto un gran salto para esta tecnología. Todo esto permitió, que esta tecnología se fuera desarrollando y tomara gran importancia para su uso. Y esto se ve reflejado en la década de los 60's, cuando se creó la primera celda alcalina de 1kW para ser utilizada en el modulo de la nave Gemini.

También se les conoce como pila de combustible, se considera un dispositivo electroquímico de conversión de energía, muy similar a las pilas convencionales. La diferencia más notoria ante estas últimas, es que esta diseñada para permitir el reabastecimiento continuo de los reactivos consumidos. Esto es permitido, debido a que produce electricidad mediante una fuente externa de combustible y oxígeno, en comparación a las pilas convencionales que se limitan al almacenamiento de energía con que cuenta. El único inconveniente al que se enfrentan las celdas, es a la degradación y corrosión de los materiales.

La forma en que trabajan las celdas de combustible es mediante dos electrodos, un ánodo y un cátodo, separados por un electrolito. El oxígeno proveniente del aire, pasa sobre un electrodo y el hidrógeno gas pasa sobre el otro. Cuando el hidrógeno es ionizado en el ánodo se oxida y pierde un electrón; al ocurrir esto, el hidrógeno oxidado (ahora en forma de protón) y el electrón toman diferentes caminos, migrando hacia el segundo electrodo llamado cátodo. El hidrógeno lo hará a través del electrolito, mientras que el electrón lo hace a través de un material conductor externo (carga). Al final de su camino ambos se vuelven a reunir en el cátodo, donde ocurre la reacción de reducción o

ganancia de electrones del oxígeno gas, para formar agua junto con el hidrógeno oxidado. Así, este proceso produce agua 100% pura, corriente eléctrica y calor útil, por ejemplo, energía térmica.

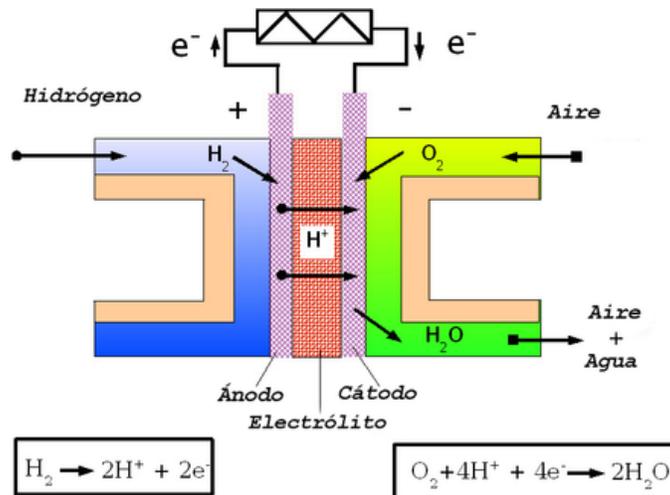


Figura 1.2 Esquema de funcionamiento de una celda de combustible wikipedia.org.

Estos dispositivos a comparación de las maquinas de combustión, no se rigen por el ciclo de Carnot, no sigue un ciclo termodinámico. Por tanto, la eficiencia de las celdas es mucho mayor, ya que convierte energía química en eléctrica directamente. El rendimiento de las celdas η , en condiciones estándares, se puede definir mediante el resultado obtenido de cociente entre la variación de la energía libre, estándar de Gibbs ΔG° , y la variación de la entalpía estándar de la reacción química completa ΔH° , demostrado mediante la siguiente fórmula:

$$\eta = \frac{\Delta G^\circ}{\Delta H^\circ} \quad (13)$$

El resultado de la eficiencia real es igual o normalmente inferior a este cociente. Generalmente se obtienen eficiencias del 50%, que se describe como el hidrógeno que se convierte en energía eléctrica. Y este valor puede variar dependiendo de ciertos factores importantes, como son:

- La cantidad de corriente eléctrica que circula sobre la celda de combustible, se sabe que a mayor corriente menor rendimiento.
- Del combustible utilizado, la calidad, y la temperatura en que opera la celda.

La eficiencia mencionada tan solo toma parte del papel del hidrógeno, pero cuando una celda trabaja, además de generar electricidad genera calor. Este calor generalmente es aprovechado dentro del dispositivo, provocando un aumento en la eficiencia de hasta un 90% (bajo ciertas condiciones). Estas características de alcanzar una alta eficiencia durante la generación de electricidad, además de permitir el uso del hidrógeno u otro combustible, que lo contenga como: el gas natural, metanol, etanol, biogás, propano, así como el diesel y la gasolina. La hacen muy competente ante otros generadores de energía. Además de su versatilidad en cuanto a combustibles, también tiene la ventaja

de adaptarse a diversas aplicaciones. Sólo que lo anterior, implica que haya diversos tipos de celdas, que satisfagan las necesidades de dichas operaciones.

Mediante la siguiente imagen, se ilustran los tipos más comunes de celdas de combustible, posteriormente a esto, se explicaran algunos detalles y aplicaciones de cada una.

A1.3.1 Tipos de celdas de combustible

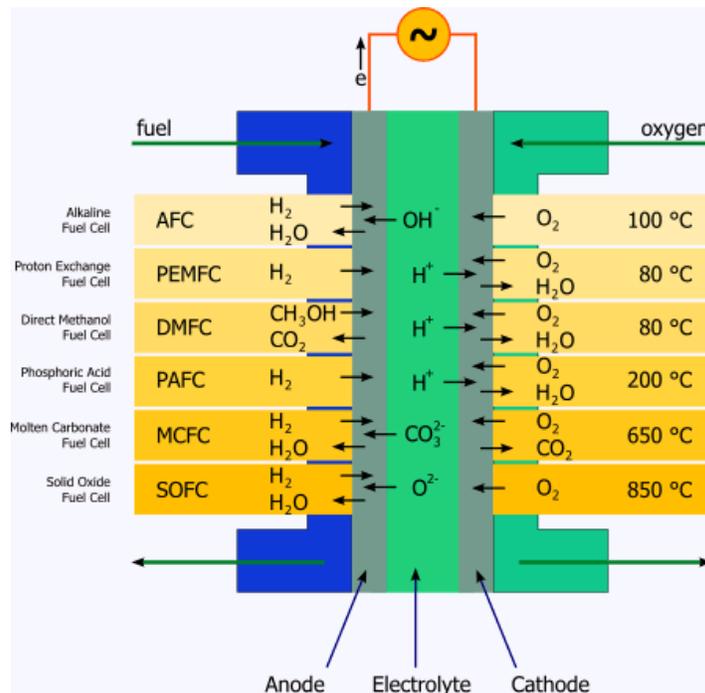


Figura 1.3 Esquema de los diferentes tipos de celdas de combustible.

1. Celdas de Combustible Alcalinas (AFC).

Para el caso de estas celdas, el electrolito utilizado es el hidróxido de potasio (KOH), y el porcentaje en peso del electrolito depende de la temperatura de trabajo. Si desea operar a altas temperaturas (~250° C), el concentrado deberá ser de 85% en peso, y de 35 a 50% en peso KOH, para bajas temperaturas de operación (<120° C). Este tipo de celdas utilizan hidrogeno como combustible, solo que debe de ser lo mas puro posible, ya que cualquier otro elemento puede alterar el electrolito. Por ejemplo el CO y el CO₂, si llegan a tener contacto con las sustancias de la celda, la arruinarían por completo. Generalmente se utilizan bajo ciertas condiciones y en un ambiente controlado.

Han sido utilizadas por la NASA en misiones espaciales, debido a que alcanzan eficiencias del 70%, y a que trabajan excelentemente en el espacio por la falta de CO₂. Aunque en principio solo era para aplicaciones de esta organización, poco a poco se han difundido para aplicaciones comerciales. Al principio su precio era elevado, pero conforme la tecnología ha mejorado su precio se ha vuelto más accesible.

2. Celdas de Combustible con Membrana de Intercambio de Protones (PEMFC).

Estas celdas, utilizan como electrolito una membrana polimérica conductora de protones. Dicha membrana se encuentra entre dos electrodos porosos impregnados, en el lado de la membrana con un electrocatalizador y un material de hidrofobito, del otro lado. Cuando el hidrógeno ingresa al sistema, las propiedades catalíticas de la superficie de la membrana, liberan electrones y protones de las moléculas de hidrógeno. La membrana tiene la propiedad de ser permeable a los protones, por lo que la atraviesan y forman agua al reaccionar con el oxígeno del aire (lado catódico); los electrones que no pueden atravesar la membrana, circulan por un elemento conductor externo de ella, dando lugar a corriente continua "CC". Estas celdas trabajan a temperaturas relativamente bajas (alrededor de 80° C). Y además de producir corriente eléctrica, también generan calor y agua caliente. Una de las características de ellas, es que pueden variar su salida rápidamente para satisfacer cambios en la demanda de potencia, en aplicaciones donde se requiere una demanda inicial alta. Cuentan con una eficiencia cercana al 70%, que las hace muy útiles.

Las PEM son relativamente caras, pero gracias a su mejora en los materiales que la constituyen su precio bajara posteriormente. Ya que la aplicación mas notoria es hacia la industria automotriz, y en una menor medida como baterías recargables de videocámaras, telefonía inalámbrica y otras aplicaciones residenciales.

3. Celdas de Combustible de Metanol Directo (DMFC).

Estas celdas son similares a las de tipo PEMFC, ambos usan una membrana polimérica como electrolito. Sólo que este tipo utiliza metanol líquido como combustible, a comparación de los anteriores ejemplos, que necesitaban hidrogeno en estado gaseoso para su funcionamiento. Sin embargo, las DMFC, su propio catalizador del ánodo deduce el hidrogeno del metanol liquido, eliminando la necesidad de un reformador de combustible (su función es convertir combustibles como la gasolina en hidrogeno). La eficiencia que alcanzan estas celdas es relativamente baja, alrededor del 40%, y su rango de temperatura de trabajo se encuentra alrededor de los 50 a 100 80°C. Dentro de sus principales aplicaciones están: computadoras portátiles, teléfonos celulares, y otros aparatos eléctricos. Estas celdas aun cuentan con problemas de operación, aunque algunas empresas aseguran haber resuelto esto. En algunos años estas celdas abarcaran un gran mercado, siempre y cuando mejoren: sus diseños, forma de operación y materiales.

4. Celdas de Combustible de Ácido Fosfórico (PAFC).

Este tipo de celdas utilizan un concentrado al 100% de ácido fosforito como electrolito. Operan en un rango de temperatura de 150 a 220°C. Y al generar corriente eléctrica, tiene una eficiencia que va del 40 hasta un 85%. Esto es debido al vapor que genera, el cual se recupera y se reutiliza. Utiliza platino como catalizador, el cual es un problema considerando que los combustibles que se utilizan no deben contener mas 1.5% CO. Ya que si se sobrepasa este limite, el CO envenenaría al platino haciendo inservible. Además se considera que el platino es muy caro. No obstante, estas celdas son las mas desarrolladas en al industria y la mas comercializada (existen unidades capaces de generar hasta 200kW). Tiene ya varias aplicaciones, tan diversas en: clínicas, hospitales, hoteles, edificios de oficinas, escuelas, plantas eléctricas y una terminal aeroportuaria.

5. Celdas de Combustible de Carbonato Fundido (MCFC).

Las celdas de carbonato fundido, utilizan sales fundidas como electrolito, la eficiencia que alcanza es alta. Y la ventaja que da este tipo de celda, es la habilidad para consumir combustibles a base de carbón, incluyendo CO y biocombustible. La temperatura de operación es alrededor de los 650°C, además de permitir la deformación del combustible (extracción del hidrógeno contenido en hidrocarburos utilizados) en la celda, así como de evitar el uso de electrocatalizadores de metales nobles. Su rango de generación de corriente eléctrica va desde 10 kW a 2 MW. Todo lo anterior permite que sus aplicaciones sean diversas, debido a que se puede utilizar un combustible barato, además de que soporta altas temperaturas. Y por el contrario las desventajas que se tienen son: la corrosión de la celda debido a las sales fundidas, la necesidad de reposición de CO₂ en el cátodo para recuperación y formación de iones carbonato.

6. Celdas de Combustible de Óxidos Sólidos (SOFC).

Este tipo de celdas no utiliza electrolitos corrosivos, como los anteriormente mencionados, en este caso se utiliza un electrolito de tipo sólido, normalmente un material cerámico (zirconia estabilizada de itrio). La ventaja de este cambio de electrolito, es que se pueda tener un rango de operación cercano a los 1000°C, pero esto depende del cátodo utilizado. La mayoría de las celdas trabajan a una menor temperatura de operación, lo cual las pone en gran desventaja contra las SOFC. La eficiencia de generación de potencia de estas celdas es alrededor del 60%, sin cogeneración, al tiempo que la cinética de reacción en estas celdas es muy rápida, y no requiere reposición de CO₂ en el cátodo. Su eficiencia es del 80% cuando es empleado en cogeneración. Algunos ejemplos son: en Europa en unidades generadoras de 100 kW y en Japón en unidades de 25kW.

De la misma manera que las MCFC, cuando se alimenta de un hidrocarburo puede ser reformado dentro de la celda. Lo cual permite utilizar una gran variedad de combustibles. Dentro de las mejoras que se han hecho últimamente, es tener un arreglo de tubos en la celda, lo cual permitirá tener una mayor eficiencia, también el hecho de adaptarlas a la morfología que tiene el combustible sólido. Estas, hasta el momento son las más prometedoras en la industria, por la generación de altos niveles de potencia y su versatilidad en el uso de combustibles.

Además de lo mencionado para cada celda de combustible, en forma general y para cada celda, es necesario detallar algunas características importantes como son las ventajas y desventajas.

A1.3.2 Ventajas y desventajas de las celdas de combustible

Dentro de las características más importantes, en general, que se tienen de las celdas de combustible, ventajas y desventajas, son:

- Alta eficiencia y eficacia en la conversión del combustible a electricidad.
- Capaces de utilizar varios combustibles.
- Son cogeneradores natos.
- Silenciosas en su operación.
- Carecen de partes móviles.

- Gran flexibilidad para operar con otros sistemas de generación de electricidad aumentando la eficiencia del sistema.

Ahora viendo las ventajas de cada tipo de celda tenemos:

PEMFCs.

- El electrolito sólido reduce la corrosión y problemas de manejo.
- Bajas Temperaturas.
- Encendido Rápido.
- Ideales en aplicaciones portátiles, transportes y en hogares.

DMFCs.

No se requiere de un voluminoso y pesado sistema de almacenamiento de hidrógeno o un subsistema reformado. Esta ventaja está en términos de simplicidad y costo.

AFCs.

- Las AFC fueron las primeras celdas de combustible modernas en ser desarrolladas y aplicadas (misiones espaciales).
- Los atributos de la AFC se incluyen su actuación excelente en hidrógeno (H₂) y oxígeno (O₂), comparándolas con otras celdas de combustible, debido a la cinética que ocurre en los electrodos, y su flexibilidad de usar una gama amplia de electrocatalizadores, un atributo que proporciona flexibilidad de desarrollo.

PAFCs.

- Sobre el 85 % de eficiencia en cogeneración.
- Son las que más se han aplicado, alrededor de 200 ya están en todo el mundo.
- Aplicaciones en plantas HVAC (Calor, Ventilación, Aire acondicionado).

MCFCs.

- Fabricación menos costosa, usando catalizadores de níquel.
- Altas temperaturas, el calor de rechazo permite trabajar con turbinas de gas o vapor o para cogenerar.

SOFCs.

- Trabajan a altas temperaturas.
- Electrolito Sólido, la construcción de cerámica sólida de la celda ayuda al problema de corrosión caracterizado por las celdas de electrolito líquido.
- El diseño de la celda presenta formas tubulares o planas.
- La ausencia de líquido también elimina el problema de movimiento del electrolito y no inunda los electrodos.
- Las reacciones cinéticas de la celda son rápidas

Y dentro de las desventajas, en general, tenemos que la aplicación de la tecnología es muy costosa. Su introducción en el mercado aun es reciente, por lo cual no se conocen sus beneficios. Otras desventajas, hablando por cada tipo de celda, son:

PEMFCs.

- Baja temperatura, requiere de catalizadores costosos.
- Gran sensibilidad para impurezas de combustible.
- El calor de rechazo no puede usarse para cogeneración o propósitos de poder adicionales.
- El calor y los problemas de evacuación del agua pueden limitar la densidad de poder.

DMFCs.

- En la producción de corriente alta, la cantidad necesaria de catalizador de platino, es hoy muy costosa en comparación a las del tipo PEM.
- Es la celda de combustible más nueva que se está investigando y desarrollando.
- El campo de aplicación de este tipo de celdas es sólo para automóviles.

AFCs.

- Retiro costoso del CO₂ del combustible.
- Alto costo en el uso de platino.

PAFCs.

- Usa catalizadores de Platino, alto costo.
- Gran tamaño y peso.

MCFCs y SOFCs.

- La alta temperatura refuerza la corrosión y daña los componentes de la celda. Es decir, las temperaturas altas promueven problemas de materiales, particularmente mecánico y la vida útil de la celda.
- De los tres grandes sectores de aplicación de las celdas de combustibles: Estacionario (industrias, residencias), Transporte (terrestre, marítimo, aéreo, espacio) y Portable, el que se ha investigado y desarrollado con mayor atención es el sector estacionario, debido al futuro desabastecimiento eléctrico en diferentes países y debido a la disminución de la producción de combustibles derivados del petróleo con su correspondiente irregularidad en los precios. En segunda instancia está el sector transporte, en el que se está investigando y desarrollando debido a las implicancias en la contaminación atmosférica por las actuales fuentes móviles. Y en tercera prioridad está el sector portable con diversas aplicaciones de baja potencia y en la enseñanza de esta tecnología en organizaciones educativas.

Mediante las siguientes imágenes, se trata de mostrar cómo es una celda de combustible físicamente, figuras 1.4, 1.5, 1.6 y 1.7.



Figura 1.4 Obtenida de wikipedia.org



Figura 1.5 Obtenida de fuelcellstore.com



Figura 1.6 Obtenida de tacticalpower.com

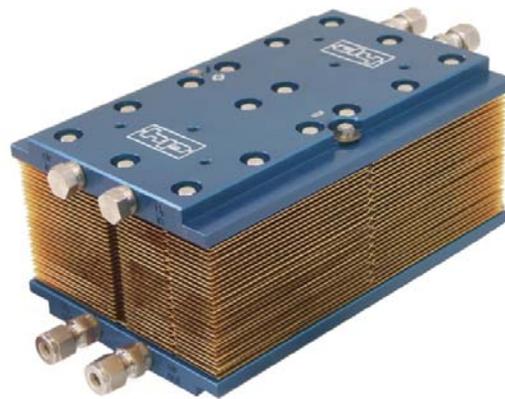


Figura 1.7 Obtenida de ticonaphotos.com

Apéndice 2 Opciones de celdas de combustible.

En esta parte se encontrará la información referente a las celdas de combustible, que será utilizada en el primer diseño.

Opción 1. Hitachi Maxell

Modelo simple con una gran un gran rango de producción de energía eléctrica, dentro de las desventajas más notorias es su uso de aluminio como catalizador, pero se prevé que en un futuro se pueda utilizar aluminio reciclado. La celda es mostrada mediante la siguiente imagen.

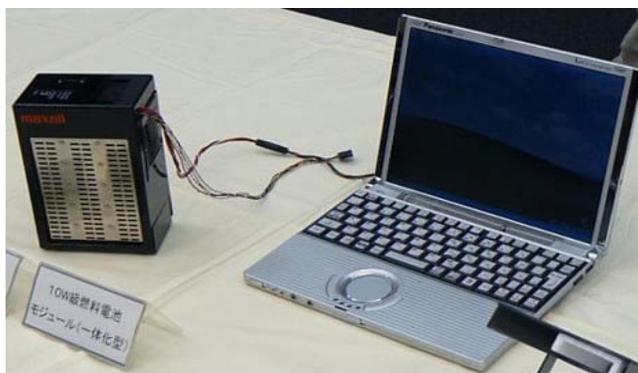


Figura 2.1 Imagen e información, opción 1, obtenida de www.gizmag.com

Especificaciones:

- * Tipo PEFC.
- * Es simple de ocupar.
- * Por el momento el costo es elevado, se espera reducir considerablemente los costos.
- * De 10 a 100W de generación.
- * Genera 1.3 lt por cada gramo de aluminio.
- * Peso mediano.
- * Dimensiones 10 x 15 x 20 [cm].
- * Con 20 gr de aluminio produce de 4 a 5 hrs de uso de una laptop.
- * Compañía Hitachi Maxwell.

Opción 2. Toshiba

Este modelo fue desarrollado pensando en dispositivos reproductores de audio portátiles. Este modelo utiliza metanol liquido con fuente de energía, por el momento no es muy comercializado pero Toshiba, empresa desarrolladora, planea comercializarlo dentro de los próximos años.



Figura 2.2 Imagen e información, opción 2, obtenida de dvice.com

Especificaciones:

- * Dimensiones 23×78x10mm
- * Peso de 78.5 g.
- * Pensado para reproductores con disco duro.
- * Utiliza una mezcla de metanol.
- * Su precio se espera que sea bajo.
- * 35 horas con solo 3.5 ml de metanol concentrado.
- * Bajo costo.
- * Produce hasta 15 volts.
- * Compañía Toshiba.

Opción 3. LG

Desarrollada por LG, las cuales ya están a la venta. Consiste en celdas de combustible directamente de metanol y consiste en dos partes: una unidad base y un cartucho removible. Su principal problema es el costo, pero se espera reducir esto en los próximos años.



Figura 2.3 Imagen e información, opción 3, obtenida de www.theregister.co.uk/

Especificaciones:

- * Peso menor a 1kg.
- * Genera 25W de potencia.
- * En aplicaciones para aparatos portátiles como de laptops.

- * Costo aproximado
- * Precio 500 dls de la base y 2 dls por cada cartucho.
- * Cuenta con sistema de ventilación propio.
- * El cartucho de metanol de 200cc es suficiente para brindar energía por más de 10 horas.
- * Dimensiones 6x20x9.5 cm.
- * Compañía LG

Opción 4. Fuel cell store

Este modelo es comercializado por fuel cell store, cuenta con muchas ventajas en producción de energía eléctrica. Cuenta con un gran rango en voltaje y amperaje. Y es pensado en aplicaciones que requieren alta corriente.



Figura 2.4 Imagen e información, opción 4, obtenida de fuelcellstore.com

Especificaciones:

- * Dimensiones 20 cm x 12 cm x 12 cm.
- * Poder 800W 22V, 880W 20V.
- * Combustibles: hidrogeno/aire, hidrogeno/oxigeno.
- * Cuenta con sistema de refrigeración a base de agua y aire.
- * Medidores de flujo para el hidrogeno y el aire.
- * Peso de 7.3 kg.
- * Precio aproximado de 10000 pesos mexicanos (sin IVA incluido).
- * Numero de celdas: 34.
- * Empresa fuel cell store.

Opción 5. Heliocentris

La celda utiliza componentes robustos y eficientes, a pesar de lo anterior su diseño permite tenerlo en un uso móvil. Basado en tecnología de baja presión y diseño compacto le permite adaptarse a cualquier aplicación que sea necesaria. Cuenta con un sistema de enfriamiento de agua, la celda opera con hidrogeno y oxigeno el cual es monitoreado por un sofisticado control. Los datos que arroja pueden ser utilizados por otros sistemas por medio de su interfase.



Figura 2.5 Imagen e información, opción 5, obtenida de heliocentris.com

Especificaciones:

- * Tipo PEM.
- * Tiempo de servicio 3000 hrs.
- * Rango de voltaje 58...79 | 48...79 | 36...57 | 48...76 V
- * Corriente de salida 80 | 180 | 350 | 350 A
- * Presión de entrada 4...5 bar.
- * Potencia a generar 4 | 8 | 12 | 16 kW.
- * Alto costo
- * Dimensiones 87x50x32 cm.
- * Peso 80 kg.
- * Utiliza hidrogeno parcialmente puro.

Con toda la información recabada, se podrá seleccionar una celda utilizando una tabla comparativa.

Apéndice 3. Selección de material para la carcasa en el diseño final.

En este apéndice se maneja información sobre el material que se utilizará para la carcasa del diseño final. En este caso se seleccionaron tres opciones, de las cuales se expondrán sus características a continuación.

Para iniciar tenemos a Vectra, esta compañía se dedica principalmente a la fabricación de polímeros de cristal líquido (LCP). Una característica peculiar de estos polímeros es su estructura molecular, están constituidos a base de macromoléculas fibrilares rígidas, que se orientan paralelamente en estado de fusión, dando lugar a estructuras de cristal líquido. Esto les permite, al momento de estar expuesto a una corriente de cizallamiento o alargamiento sus rígidas macromoléculas se ordenan en forma de fibras y fibrillas, que quedan fijadas al enfriarse la masa. Ello determina la morfología específica de los polímeros de cristal líquido en estado sólido.

Dentro de las características que tiene este material, debido a la rígida estructura fibrilar de estos polímeros, respecto a los polímeros convencionales, determina una considerable mejora de sus características mecánicas, especialmente en el mismo sentido de orientación, dando lugar a toda una serie de otras propiedades excepcionales:

- * Temperaturas de uso de hasta 240°C, con puntas de hasta 300°C.
- * Inyección de piezas de alta calidad sin rebabas.
- * Enorme resistencia a la tracción (hasta 185 MPa) y altísimo módulo elástico (hasta 30.000 MPa).
- * Bajísimos coeficientes térmicos de dilatación, comparables al acero y la cerámica.
- * Muy buena resistencia a los agentes químicos y a la oxidación muy baja absorción de agua.
- * Su resistencia a la tracción y tenacidad en el sentido del flujo aumentan proporcionalmente con el grado de orientación de la masa fundida.

Ahora como segundo material tenemos a los elastómeros termoplásticos de poliéster (RITEFLEX). Estos productos combinan las ventajas de productos de caucho vulcanizado con la facilidad de transformación de los termoplásticos. Su estructura molecular está compuesta de componentes de poliéster blando alternados con componentes de poliéster duro. Su grado de dureza se controla mediante la proporción relativa entre la fase dura y la fase blanda. Dentro de las características más notorias se tienen:

- * Elevada tenacidad y resistencia a la flexión alterna, tanto a temperatura ambiente como a baja temperatura.
- * Elevada capacidad de absorción de energía.
- * Resistencia química y al envejecimiento.
- * Alto brillo superficial, pintabilidad.

- * Transformación fácil y económica.

Para terminar con la lista de materiales se utilizara se mostrará la última opción, Fortton. Fortron PPS es polisulfuro de fenileno lineal semicristalino. Un anillo de fenileno y un átomo de azufre constituyen la base de su macromolécula, proporcionando al Fortron PPS una serie de extraordinarias características. El PPS sin refuerzo posee una resistencia al a un nivel de calor medio(entre 45 y 65° C). La adición de fibras de vidrio y mezclas de fibras de vidrio y carga mineral permiten alcanzar al Fortron PPS elevadas temperaturas de indeformabilidad al calor y resistencia mecánica. Las propiedades que caracterizan a este material son:

- * Temperaturas de uso de hasta 240°C, puntas de hasta 270°C.
- * Muy buena resistencia a los agentes químicos y a la oxidación.
- * Bajísima absorción de agua.
- * Escasa tendencia a la plastodeformación, incluso a temperaturas superiores a las habituales.

Apéndice 4 Diagramas de Ashby.

En este apéndice se muestran los diagramas que son utilizados en el capítulo 3 para la selección de la carcasa del diseño preeliminar. Todos estos diagramas fueron obtenidos de Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures, Processing and Design de Michael F. Ashby y D R H Jones.

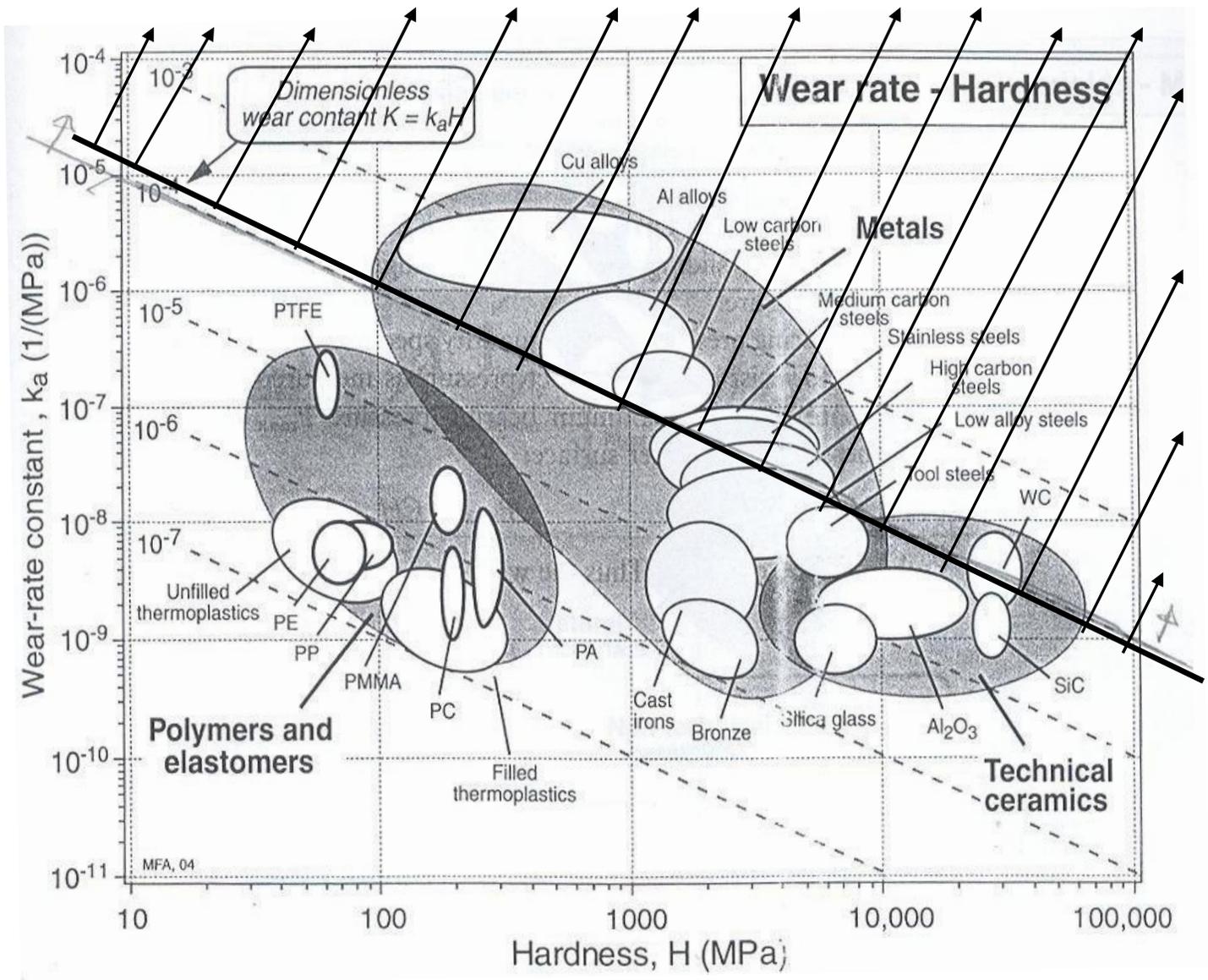


Figura D1. Diagrama de dureza(hardness) H (MPa) contra desgaste(wear-rate) k_a (1/(Mpa)).

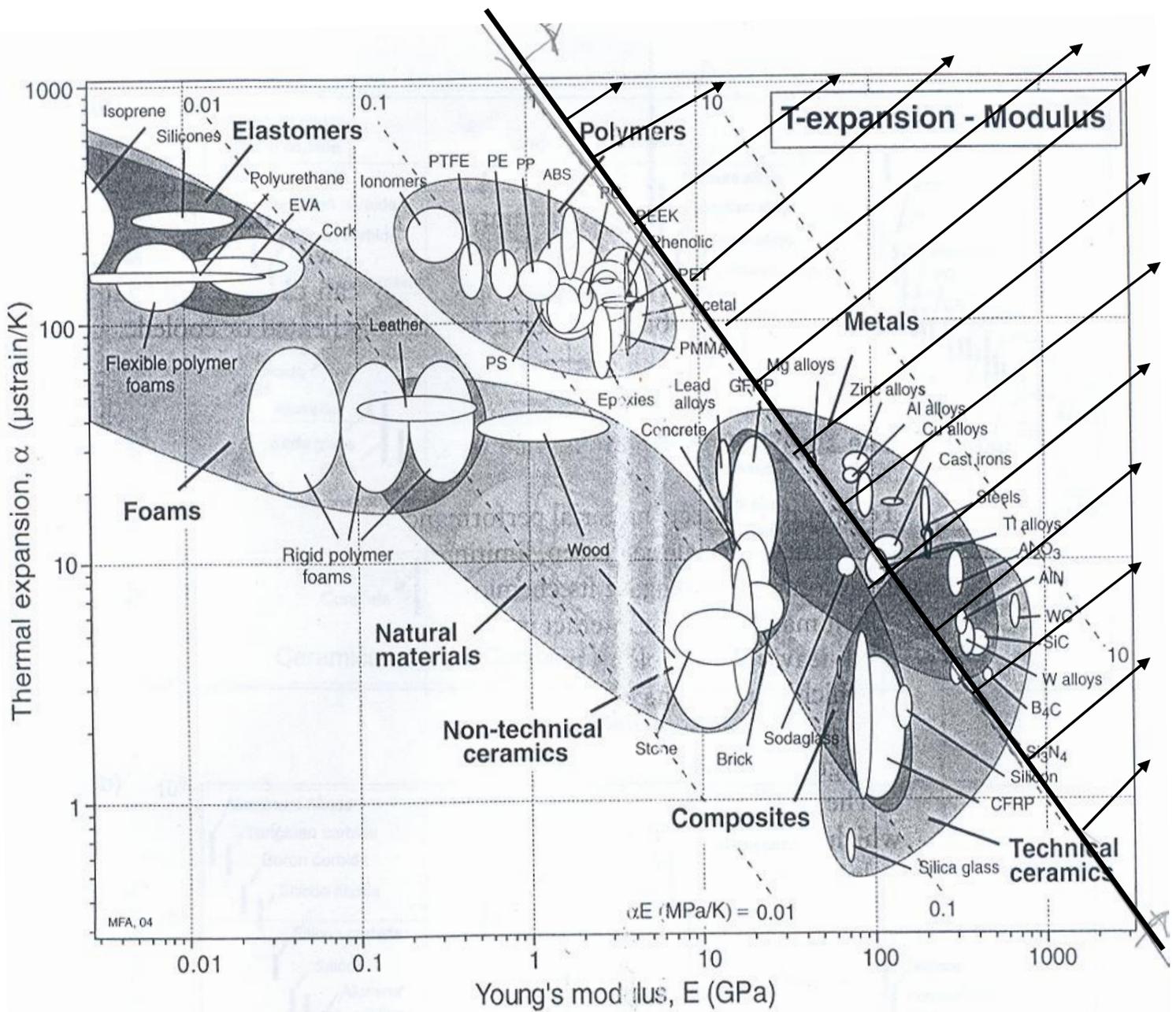


Figura D2. Diagrama de Modulo de Young E (GPa) contra expansión térmica(thermal expansion) α ($\mu\text{strain/K}$)

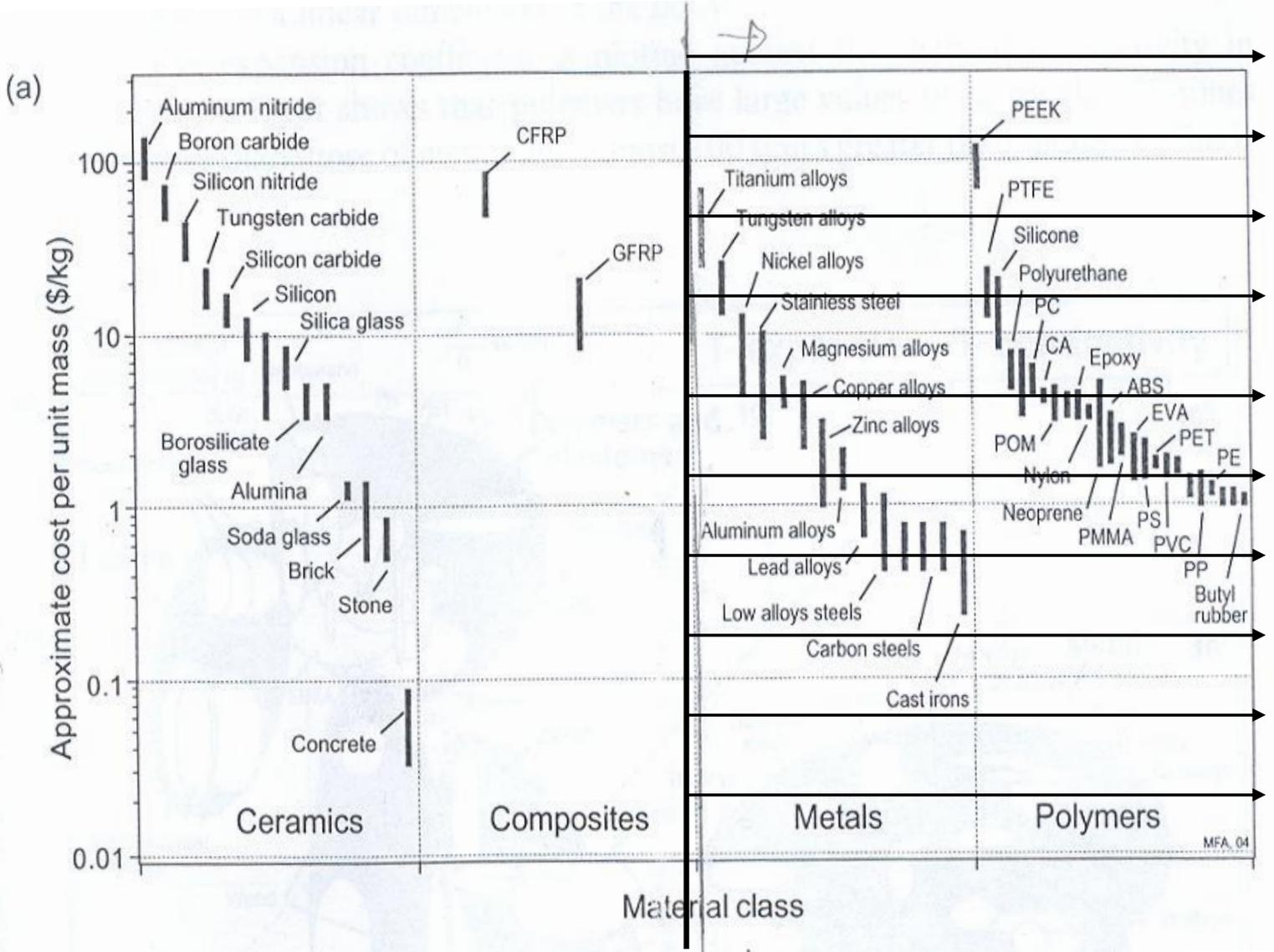


Figura D3. Diagrama de clase de materiales(material class) [1] contra costo aproximado por unidad de masa (aproximate cost per unit mass) (\$/kg)

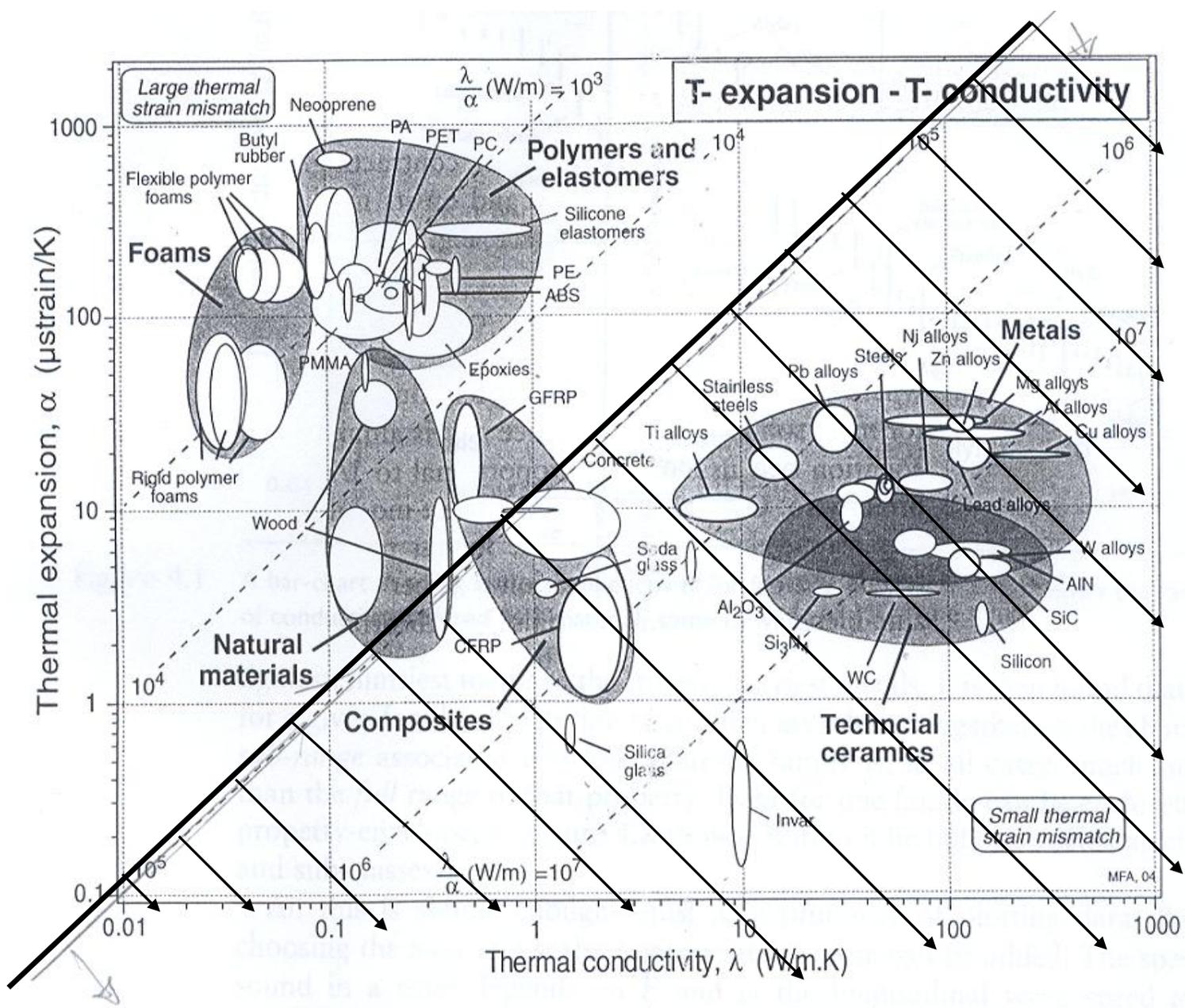


Figura D4. Diagrama conductividad térmica (thermal conductivity) λ (W/m.K) contra expansión térmica (thermal expansion) α ($\mu\text{strain/K}$)

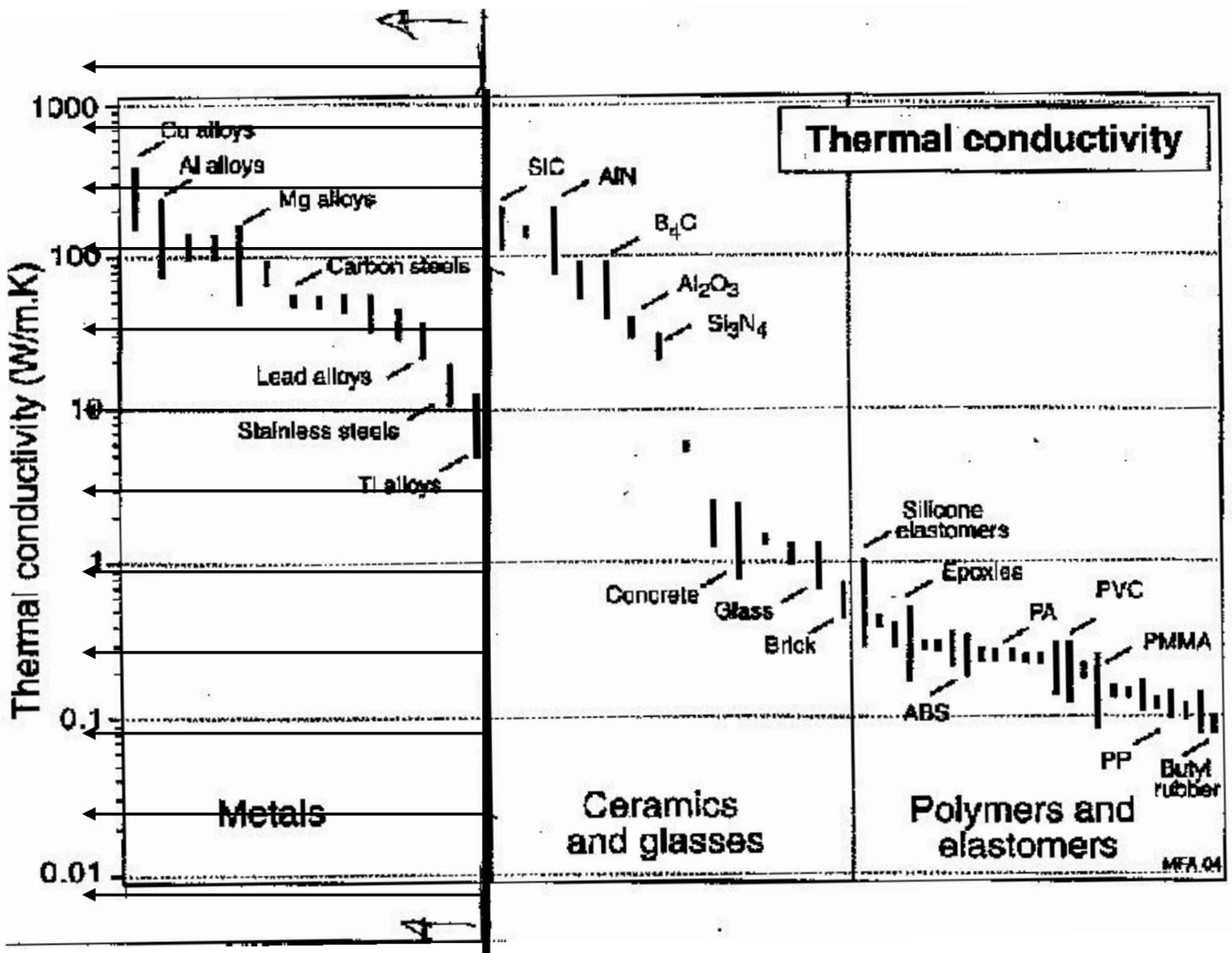


Figura D5. Diagrama conductividad térmica (thermal conductivity) (W/m.K) para algunos materiales como son: metales, cerámicos, vidrios, polímeros y elastómeros.

Apéndice 5 Memoria de cálculos.

En esta parte se mostrarán los cálculos realizados para obtener los resultados que se muestran en el capítulo 3, esto es con el fin de no tener una gran cantidad de información que pueda distraer la atención del lector con respecto al trabajo desarrollado.

Dentro del capítulo 3 se encuentra la Tabla 3.2, donde se realizaron algunos cálculos, en esta parte los valores de ΣDB y α se obtienen de la siguiente forma:

- 1) Para el valor de ΣDB (es un valor adimensional, por lo que no es necesario especificar alguna unidad)

$$\Sigma DB = DB1 + DB2 + DB3 + DB4 + DB5 = 1 + 4 + 2 + 0 + 3 = 10$$

- 2) Para los valores de α , se utiliza la siguiente fórmula:

$$\alpha_i = DB_i / (\Sigma DB)$$

Con lo anterior, se obtienen los siguientes valores:

$$\alpha_1 = DB / (\Sigma DB) = 1/10 = 0.1$$

$$\alpha_2 = 4/10 = 0.4$$

$$\alpha_3 = 2/10 = 0.2$$

$$\alpha_4 = 0/10 = 0.0$$

$$\alpha_5 = 3/10 = 0.3$$

Estos valores son mostrados en la Tabla 3.2. Continuando con los valores utilizados en el capítulo 3. Ahora, para los valores de la Tabla 3.9 se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \frac{\text{valor numérico de la propiedad}}{\text{valor máximo de la propiedad}} \times 100\%$$

Y

$$\beta = \frac{\text{valor mínimo de la propiedad}}{\text{valor numérico de la propiedad}} \times 100\%$$

Los valores utilizados en esta tabla son:

Material\Propiedades	Densidad (g/cc)	Límite elástico de tracción (MPa)	Conductividad térmica (W/m-K)	Calor específico (J/g-°C)	Dureza Brinell
Aluminum 4043-H14	2.69	165	150	0.85	46
Aluminum 5052-H36	2.68	241	138	0.88	73
AISI Type 410S Stainless Steel	7.80	1005	24.9	0.46	415
304 Stainless Steel	8.00	215	16.2	0.50	123

Utilizando los valores de esta tabla y las ecuaciones, se obtiene la tabla de valores de β , el cálculo de valores se hace para cada propiedad. Se tiene que considerar que en algunos casos se utilizará la ecuación para valores mínimos o máximos según sea el caso. Con esto la memoria de cálculos queda de la siguiente forma:

Para la densidad, se tomó un valor mínimo, debido a que esto afecta directamente al valor de la masa del producto. En esta parte al igual que en el principio de esta parte del proyecto, se omitirán las unidades de cada propiedad.

Valor mínimo: Aluminum 5052-H36

Ecuación 2

$$\beta_1 = (2.68/2.69) \times 100 = 99.62\%$$

$$\beta_2 = (2.68/2.68) \times 100 = 100.00\%$$

$$\beta_3 = (2.68/7.80) \times 100 = 34.23\%$$

$$\beta_4 = (2.68/8.00) \times 100 = 33.50\%$$

Para el límite elástico de tracción, se seleccionara un valor mínimo. En este caso esta propiedad no afecta de manera importante al calentador por lo que se puede elegir ya sea un mínimo o un máximo.

Valor minimo: Aluminum 4043-H14

Ecuación 2.

$$\beta_1 = (165/165) \times 100 = 100.00\%$$

$$\beta_2 = (165/241) \times 100 = 68.46\%$$

$$\beta_3 = (165/1005) \times 100 = 16.41\%$$

$$\beta_4 = (165/215) \times 100 = 76.74\%$$

Para la conductividad térmica se utilizará un valor mínimo, debido a que en el calentador no debe haber una transferencia de calor, de la parte interior al exterior.

Valor minimo: 304 Stainless Steel
Ecuación 2.

$$\begin{aligned}\beta_1 &= (16.2/150) \times 100 = 10.80\% \\ \beta_2 &= (16.2/138) \times 100 = 11.73\% \\ \beta_3 &= (16.2/24.9) \times 100 = 65.06\% \\ \beta_4 &= (16.2/16.2) \times 100 = 100.00\%\end{aligned}$$

Para la propiedad de calor especifico, se eligió un valor máximo debido a que el material debe tener una alta capacidad de resistencia al calor, por este motivo este valor es el mas apropiado.

Valor maximo: Aluminum 5052-H36

Ecuación 1.

$$\begin{aligned}\beta_1 &= (0.85/0.88) \times 100 = 99.56\% \\ \beta_2 &= (0.88/0.88) \times 100 = 100.00\% \\ \beta_3 &= (0.46/0.88) \times 100 = 52.27\% \\ \beta_4 &= (0.50/0.88) \times 100 = 56.81\%\end{aligned}$$

Para la dureza, para el calentador no se precisa de un material duro. La aplicación para la que se utiliza, requiere de otras propiedades que se relacionan a la corrosión y transferencia de calor. Por lo que para esta propiedad se utiliza un valor mínimo, debido a su baja importancia.

Valor maximo: Aluminum 4043-H14

Ecuación 2.

$$\begin{aligned}\beta_1 &= (46/46) \times 100 = 100.0\% \\ \beta_2 &= (46/73) \times 100 = 63.01\% \\ \beta_3 &= (46/415) \times 100 = 11.08\% \\ \beta_4 &= (46/123) \times 100 = 37.39\%\end{aligned}$$

Los valores obtenidos servirán en un momento posterior para la realización de la tabla 3.10, para obtener los valores γ . Para obtener este valor se hará uso de la siguiente ecuación:

$$\gamma = \sum(\alpha_i * \beta_j)$$

donde la ecuación utiliza los valores de α y β , que van de $i, j = 1$ hasta 5, que fueron obtenidos con anterioridad, esto se realizara para un material con todas sus propiedades.

Para el Aluminum 4043-H14 y utilizando el β_1 de cada propiedad, se obtiene lo siguiente:

$$\gamma_1 = \sum(\alpha_i * \beta_j) = (0.1 * 99.62) + (0.4 * 100.00) + (0.2 * 10.80) + (0.0 * 96.59) + (0.3 * 100.00) = 82.122$$

Para el Aluminum 4043-H14 y utilizando el β_2 de cada propiedad, se obtiene lo siguiente:

$$\gamma_2 = \sum(\alpha_i * \beta_j) = (0.1 * 100.00) + (0.4 * 68.46) + (0.2 * 11.73) + (0.0 * 100.00) + (0.3 * 63.01) = 58.633$$

Para el Aluminum 4043-H14 y utilizando el β_3 de cada propiedad, se obtiene lo siguiente:

$$\gamma_3 = \sum(\alpha_i * \beta_j) = (0.1 * 34.23) + (0.4 * 16.41) + (0.2 * 65.06) + (0.0 * 52.27) + (0.3 * 11.08) = 26.323$$

Para el Aluminum 4043-H14 y utilizando el β_4 de cada propiedad, se obtiene lo siguiente:

$$\gamma_4 = \sum(\alpha_i * \beta_j) = (0.1 * 33.50) + (0.4 * 76.74) + (0.2 * 100.00) + (0.0 * 56.81) + (0.3 * 37.39) = 65.263$$

Con esto se verifica que los valores de la selección de material del primer diseño. Para continuar en este capítulo se realizará a continuación la memoria de cálculos del segundo diseño.

Parte de selección de materiales del segundo diseño.

En esta parte se mostrarán los datos que son mostradas en las tablas 3.12 y 3.13, del tercer capítulo. Al igual que en la primera parte, se pretende realizar el mismo procedimiento para esta parte, pero en este caso no se desarrollará una tabla de propiedades ponderadas. Se utilizarán los valores de la tabla 3.2, para la utilización de la ecuación. Por lo que en esta ocasión se iniciará con los valores de β y γ , utilizando la siguiente tabla de valores:

Material\Propiedades	Densidad (g/cm ³)	Absorción H ₂ O(%)	Encogimiento lineal (cm/cm)	Esfuerzo de tensión ult. (MPa)	Temp. Deflexión a 0.46 MPa (°C)
Ticona Vectra® A130	1.62	0.020	0.001	190	252
Ticona Riteflex® 640	1.15	0.500	0.010	21	150
Ticona Fortron® 0203	1.40	0.020	0.011	86	204

En esta parte se observa claramente que los valores de la tabla 3.9 no son similares que los de la tabla 3.12, por lo tanto se omitirá la diferencia de propiedades utilizadas entre la primera y segunda parte. Por tal motivo al continuar con el desarrollo de esta parte queda de la siguiente manera:

Para la parte de densidad, en esta ocasión se utilizará un valor máximo. Esto es posible debido a que se trata de un material polimérico, el cual tiene un peso mucho menor al de los metales, quedando los cálculos de la siguiente manera:

Valor máximo: Ticona Vectra® A130

Ecuación 1

$$\beta_1 = (1.62/1.62) \times 100 = 100.00\%$$

$$\beta_2 = (1.15/1.62) \times 100 = 70.98\%$$

$$\beta_3 = (1.40/1.62) \times 100 = 86.42\%$$

para la siguiente propiedad, absorción H₂O, se hace la siguiente consideración sobre el material: tomar un material que no absorba demasiada humedad, ya que esto perjudica al material a largo plazo. Por esto, se tomara un material con una baja absorción de H₂O.

Valor mínimo: Ticona Vectra® A130

Ecuación 2

$$\beta_1 = (0.020/0.020) \times 100 = 100.00\%$$

$$\beta_2 = (0.020/0.500) \times 100 = 4.00\%$$

$$\beta_3 = (0.020/0.020) \times 100 = 100.00\%$$

En esta propiedad, encogimiento lineal, se pretende que el material no se encoja demasiado debido a las condiciones a la que estará expuesto. Por lo tanto se elegirá un valor mínimo.

Valor mínimo: Ticona Vectra® A130

Ecuación 2

$$\beta_1 = (0.001/0.001) \times 100 = 100.00\%$$

$$\beta_2 = (0.001/0.010) \times 100 = 10.00\%$$

$$\beta_3 = (0.001/0.011) \times 100 = 9.09\%$$

Para el caso de esta propiedad, esfuerzo de tensión último, en un principio no se tenía contemplado para su uso en la tabla, pero debido a la falta de información fue necesario adicionarla para su comparación entre materiales. Debido a que el producto no estará expuesto a grandes esfuerzos, se considera que tenga una buena resistencia a esfuerzos que pueden darse de manera habitual (cargas no mayores a 10 kg). Por lo que se utilizará un valor máximo, pensando en un material resistente.

Valor máximo: Ticona Vectra® A130

Ecuación 1

$$\beta_1 = (190/190) \times 100 = 100.00\%$$

$$\beta_2 = (21/190) \times 100 = 11.05\%$$

$$\beta_3 = (86/190) \times 100 = 45.26\%$$

La última propiedad, temperatura de deflexión, es importante debido a que el material debe resistir una temperatura de hasta 150° C, debido a que las resistencias utilizadas así como el modulo de Peltier trabajan bajo esta temperatura. Si es posible tener un material que tenga una resistencia a la deflexión mayor a la propuesta, se puede considerar como un material óptimo para el desarrollo del calentador. Con todo esto los datos quedan de la siguiente forma:

Valor máximo: Ticona Vectra® A130

Ecuación 1

$$\beta_1 = (252/252) \times 100 = 100.00\%$$

$$\beta_2 = (150/252) \times 100 = 59.52\%$$

$$\beta_3 = (204/252) \times 100 = 80.95\%$$

Después de obtener los datos de β , tabla 3.12 tercer capítulo, junto con los valores α se podrán obtener los valores de γ , que son mostrados en la tabla 3.13. Los valores de esta tabla quedan de la siguiente forma:

Para el Ticona Vectra® A130 y utilizando el β_1 de cada propiedad, se obtiene lo siguiente:

$$\gamma_1 = \sum(\alpha_i \cdot \beta_j) = (0.1 \cdot 100.00) + (0.4 \cdot 100.00) + (0.2 \cdot 100.00) + (0.0 \cdot 100.00) + (0.3 \cdot 100.00) = 100.00$$

Para el Ticona Riteflex® 640 y utilizando el β_2 de cada propiedad, se obtiene lo siguiente:

$$\gamma_2 = \sum(\alpha_i \cdot \beta_j) = (0.1 \cdot 70.98) + (0.4 \cdot 4.00) + (0.2 \cdot 10.00) + (0.0 \cdot 11.05) + (0.3 \cdot 59.52) = 28.554$$

Para el Ticona Fortron® 0203 y utilizando el β_3 de cada propiedad, se obtiene lo siguiente:

$$\gamma_3 = \sum(\alpha_i \cdot \beta_j) = (0.1 \cdot 86.42) + (0.4 \cdot 100.00) + (0.2 \cdot 9.09) + (0.0 \cdot 45.26) + (0.3 \cdot 80.95) = 74.745$$

Con esto se comprueba cómo fueron obtenidos los valores numéricos, utilizados en el tercer capítulo. Continuando con los cálculos, en esta parte se mostrarán el monto de los costos indirectos y de ingeniería utilizados en el capítulo 4 de esta tesis.

Para ambos diseños se consideran un tiempo de 480 horas de trabajo en promedio, por este motivo se harán los cálculos tomando en cuenta lo anterior, además de que en la página de la secretaría del trabajo publican que aproximadamente un ingeniero recién egresado debe ganar 75 pesos por hora como máximo. En esta parte es complicado decir una cifra correcta puesto que cada quien sabe cuánto vale su trabajo aunque no siempre se le reconozca así. Por mi parte el hecho de obtener 75 pesos resulta poco así que para esta tesis considero que el pago verdadero debería ser de 170 pesos la hora, con este valor se obtiene:

480 horas x 170 pesos/hora = 81600 MXN

Eliminando impuestos del 28 % $81600 \cdot (1 - 0.28) = 58752$ MXN

Para el cálculo de gastos indirectos es necesario tomar en consideración que para obtener este dato. Por ejemplo es necesario saber cuánto se gastó aproximadamente de electricidad en el tiempo en el que se desarrollaron ambos diseños, la papelería utilizada, el pago de la licencia del software utilizado, etc.

Para licencia del NX 5 tan solo para modelar el precio de la licencia oscila entre los \$10000 US por año, una licencia de Office es aproximadamente de \$120 US, esto es con respecto a la papetería utilizada. En este caso se considera que ya se cuenta con una computadora con un sistema operativo ya incluido.

Total software = 10000 + 120 \$USD = 10120 \$USD (14 pesos/dolar) = 141680 MXN
*(15% IVA) = 162932.00 MXN IVA incluido.

De la papelería utilizada se consideran las hojas de papel que tiene un costo de \$109.90 MXN IVA incluido, memoria USB \$109.00 MXN IVA incluido y otros (plumas, lápices, etc) \$50.00 MXN IVA incluido

Total papelería = 109.90 + 109.00 + 50.00 = 268.90 MXN IVA incluido

Para la parte de gasto de electricidad es necesario hacer una lista de los aparatos utilizados para la realización de ambos diseños. Como primer aparato tenemos a la computadora, la luz utilizada en su mayor parte fue eléctrica. Para poder realizar este cálculo es necesario saber cuánto gasta cada uno de estos elementos y cuál es el costo de la electricidad en México. Para la computadora el consumo promedio es de 0.230 kWh y de los focos es de aproximadamente 0.10 kWh, al tratarse de aparatos de consumo continuo se considera que es por 480 horas.

Computadora $(0.230 \text{ kWh}) \cdot (80 \text{ horas mensuales}) \cdot (2 \text{ bimestres}) = 36.8$ kWh bimestrales
Focos $(0.10 \text{ kWh}) \cdot (80 \text{ horas mensuales}) \cdot (2 \text{ bimestres}) = 16.0$ kWh bimestrales

Total = 36.8 + 16.0 = 52.8 kWh bimestrales

Dentro de la página de la compañía de LyFc maneja datos sobre el consumo de energía eléctrica menor a 75 kWh a un costo de 65 centavos cada kWh. Por lo tanto el resultado final queda de la siguiente forma:

52.8 kWh 65 centavos/kWh = 34.32 pesos bimestrales * 3 (ya que en 6 meses hay tres bimestres) = 102.96 MXN * 15% IVA = 118.40 MXN IVA incluido

Con todos los datos se obtiene el valor de gastos indirectos.

Total = papelería + software + energía eléctrica utilizada = 162932.00 + 268.90 + 118.40 = 163319.30 MXN IVA incluido

Concluyendo así con la parte de la memoria de cálculos de este proyecto.

Bibliografía

EG&G Technical Services, Inc.: “Fuel Cell Handbook”, seventh edition, U.S. Department of Energy, Morgantown West Virginia, 2004.

Dieter, G., E.: “Engineering Design”, Second Edition, Mc Graw-Hill, New York, 1991.

Ashby, Michael: “Engineering Materials 2: An Introduction to Microstructures, Processing and Design”, first edition, Oxford, New York, 1986.

Altshuller, Genrich: “40 Principles, TRIZ keys to technical innovation”, part 2, Technical Innovation Center, Inc., 2002.

Ballesteros, L.; Dorantes A.; Barrios, O.; Vega, J.; Braham, G.: “Técnicas numéricas y experimentales aplicadas al desarrollo de nuevos productos”, revista interna, Mabe Tecnología y Desarrollo.

Fernández, J.; Márquez, J. C.; Armenta, Ma. Del S.; Dorador, J. M.: Desarrollo del modelo del producto para ingeniería concurrente utilizando AML, CDMIT, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Cruz Morales, Miguel Ángel: “Sustitución de metal por plástico”, Grupo Celanese, Ticona México, presentación en POWER POINT.

Asimov, M., “Introduction to Design”, Prentice –Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., 1962.

Páginas de Internet consultadas.

Textos científicos, <http://www.textoscientificos.com/>.

Advanced Thermoelectric, <http://www.americool.com/>.

MATWEB Material property data, <http://www.matweb.com/>.

Wikipedia, <http://es.wikipedia.org/>.

Tortilla cocina Mexican cookware, <http://www.tortillacocina.com/>.

Maxiwatt, <http://www.resistencias.com/>.

Ticona, <http://www.ticona.com/>.

HyCelco, <http://www.hycelco.com/>.

Fuel Cell Store, <http://www.fuelcellstore.com/>.

Metales Diaz, <http://www.metalesdiaz.com.mx/>.

Golden plastic, <http://www.goldenplastics.com/>.

Plasticker, <http://plasticker.de/>.

Gizmag, www.gizmag.com.

Dvice: life the future, <http://dvice.com/>.

The register, <http://www.theregister.co.uk/>.

Heliocentris, <http://www.heliocentris.com/>.

Monografias.com, <http://www.monografias.com/>.

Sociedad mexicana de hidrógeno A.C., <http://www.smh.org.mx/>.

Universia, <http://www.universia.com.ar/>.

Luz y fuerza del centro, <http://www.lfc.gob.mx/tarifas.htm>