



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO
EN INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DE UNA MÁQUINA SELLADORA DE
MICROPLACAS APLICANDO LA METODOLOGÍA TRIZ**

T E S I S

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE

MAESTRO EN INGENIERÍA

INGENIERÍA MECÁNICA- DISEÑO MECÁNICO

P R E S E N T A

ING. OMAR YUREN MENDOZA BRAVO

T U T O R

DR. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA



2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: DR. MARCELO LÓPEZ PARRA

SECRETARIO: DR. LEOPOLDO ADRIÁN GONZÁLEZ GONZÁLEZ

VOCAL: DR. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA

1er SUPLENTE: DR. ALEJANDRO CUAUHEMOC RAMÍREZ REIVICH

2do SUPLENTE: DR. VICENTE BORJA RAMÍREZ

Lugar donde se realizó la tesis

MÉXICO, DISTRITO FEDERAL

TUTOR DE TESIS

DR. ADRIÁN ESPINOSA BAUTISTA

FIRMA

DEDICATORIA

Cuán grande es la riqueza aun entre los pobres, el ser hijo de unos buenos padres.

No tengo más que agradecer a mi padre Rosalino y a mi madre Teresa por los cimientos que me dieron con sus enseñanzas y por ayudarme a seguir adelante, son ustedes quienes me han hecho lo que soy, con cariño siempre estarán en mi corazón.

A mi compañera de vida Alicia, con amor, por su comprensión y apoyo, pero sobre todo por permanecer siempre a mi lado aun en los momentos difíciles y por ayudarme siempre que lo necesite.

De manera muy especial a mis hijos Naomi y Yuren, mi razón de ser, mi fuente de inspiración, porque su presencia ha sido y será siempre el motivo más grande que me ha impulsado para lograr esta meta, con todo mi amor, para ustedes hijos como un ejemplo de lo que el trabajo constante y lo que una mente abierta y dispuesta a aprender pueden lograr.

Y recuerden que el verdadero éxito no consiste en superar a los demás, sino en superarse a sí mismo, en ser mejor cada día. La felicidad más que “el resultado de...” o “el premio a...”, es más bien, un estado de ánimo, una actitud, una forma de vida, por ello, lo único que puedo heredarles es mi amor y buenos ejemplos.

RECONOCIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento a la Universidad Nacional Autónoma de México por contribuir a mi desarrollo profesional y por otorgarme una gran oportunidad.

A todos mis profesores del posgrado de Ingeniería de la UNAM que me brindaron sus conocimientos.

De manera muy especial a mi tutor el Dr. Adrian Espinosa Bautista, así como al Dr. Alejandro Ramírez Reivich por su paciencia, por el tiempo que me dedicaron y por compartir conmigo sus experiencias.

También quiero agradecer el apoyo económico que me brindaron durante la maestría las siguientes instituciones:

CEP, UNAM (Coordinación de Estudios de Posgrado)

FUNDACION TELMEX (Fundación de Teléfonos de México)

Porque es grandioso reconocer su gran labor apoyando el desarrollo intelectual de los estudiantes en nuestro país.

INDICE

INTRODUCCION	1
Planteamiento del Problema.....	2
Objetivo General	3
Metas	3
Alcances.....	4
Antecedentes	4
1. METODOLOGIA	7
1.1. Herramientas para Determinar las Especificaciones de Diseño	7
1.1.1 Benchmarking.....	7
1.1.2 Investigación de Campo.....	8
1.1.3 Despliegue de la Función de Calidad	8
1.2. Herramientas para Analizar los Sistemas de Sellado	9
1.2.1 Patrones de Evolución	9
1.2.2 Análisis Sustancia-Campo.....	10
1.2.3 Análisis de Contradicciones.....	11
1.3. Herramientas para Obtener las Soluciones Conceptuales	12
1.4. Los 5 Niveles de Invención de TRIZ.....	13
2. DETERMINACION DE LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	15
2.1. Benchmarking	15
2.1.1. Planeación	15
2.1.2. Ejecución	16
2.1.3. Implementación	21
2.2. Investigación de Campo	21
2.2.1. Planeación	21
2.2.2. Ejecución	22
2.3. Matriz de la Calidad	26
2.3.1. Planeación	26
2.3.2. Ejecución	28
2.3.3. Implementación	29
3. ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE SELLADO ACTUALES	32
3.1. Los Patrones de evolución	32
3.1.1. Planeación	32
3.1.2. Ejecución	33
3.1.3. Implementación	36
3.2. Recursos del Sistema	41
3.2.1. Recursos del sellado térmico	41

3.2.2. Recursos del sellado con adhesivo	42
3.2.3. Recursos del sellado con tapa	43
3.3. Análisis Sustancia-Campo	44
3.3.1. Construcción del modelo del sistema	44
3.3.2. Evaluación del diagrama Sustancia-Campo	45
3.3.3. Transición de los sistemas de sellado	46
4. DESARROLLO DE LAS SOLUCIONES CONCEPTUALES	50
4.1. Método de los Agentes	50
4.1.1. Planeación	50
4.1.2. Ejecución	51
4.1.3. Implementación	54
4.2. Evaluación Preliminar de Resultados	61
4.3. Descripción del Nuevo Concepto de Solución	62
4.4. Validación de la Propuesta de Solución	64
5. CONCLUSIONES	65
5.1. Artículos Desarrollados en Base al Presente Trabajo.....	67
6. BIBLIOGRAFIA	68
7. APENDICE	71



INTRODUCCIÓN

La innovación tecnológica en el campo de la medicina impulsa, entre otras cosas, a lograr diagnósticos clínicos más certeros y rápidos, mediante el desarrollo de nuevos productos y mediante la adaptación tecnológica a los procesos existentes. El desarrollo de las microplacas ha ayudado a este propósito. La microplaca es una placa delgada con múltiples pozos, empleados como pequeños tubos de ensayo, permitiendo multiplicar y acelerar los resultados en diversas áreas de investigación analítica, así como en pruebas de diagnóstico. Algunos de los ensayos en los que se emplean las microplacas son: Reacción en Cadena de la Polimerasa (*PCR por sus siglas en inglés*), Ensayo Inmunoenzimático Ligado a Enzimas (*ELISA por sus siglas en inglés*), cultivo celular, cristalografía de proteínas, etc.

El incremento en la productividad de los ensayos es un factor importante, pero asegurar la fiabilidad de los resultados es fundamental para poder mejorar la salud de las personas de manera eficaz. Un aspecto que contribuye con este factor, es sin duda, el sellado de las microplacas de manera apropiada, debido a que las muestras contenidas en ellas están expuestas a contaminarse por agentes externos o entre ellas mismas por algún movimiento brusco conocido como contaminación cruzada, o también al someterlas a temperaturas elevadas tienden a evaporarse, por lo que se presenta la pérdida por evaporación.

El sellado de las microplacas se define como el proceso requerido para cerrar herméticamente los pozos de las microplacas mediante la interacción de dos sustancias. Al analizar las máquinas selladoras de microplacas existentes en el mercado se identificó que se basan en los siguientes principios de trabajo: sellado con adhesivo, sellado térmico y sellado con tapa; de los cuales los dos primeros son empleados por la mayoría de las máquinas debido a que presentan un mayor nivel de hermeticidad y las películas son más económicas que las tapas, no obstante, ambos métodos presentan los siguientes problemas inherentes, el sellado térmico; deforma a la microplaca y daña a las muestras sensibles al calor, ocasionando que su campo de aplicación sea reducido. Con respecto al sellado con adhesivo, se considera que el adhesivo contamina a la muestra en algunos ensayos.

De esta manera, se identificó una oportunidad de rediseño de las máquinas selladoras de microplacas desde su principio de trabajo, por lo que surgió el interés de aplicar un proceso de diseño conceptual para generar propuestas innovadoras para el sellado de microplacas, mediante el empleo de la Teoría para Resolver Problemas de Inventiva (TRIZ acrónimo ruso).

Con el fin de identificar oportunidades de rediseño y generar propuestas innovadoras para el sellado de microplacas, el proceso de diseño se realizó en tres partes: en la primera se hizo un benchmarking en donde se analizaron las máquinas selladoras de microplacas presentes en el mercado y los principios en los que se basan; posteriormente se aplicó una investigación de campo a través de visitas a laboratorios, entrevistas y técnicas exploratorias para obtener los requerimientos del cliente, y con ayuda de la matriz de la calidad se propusieron las especificaciones de diseño.



Introducción

En la otra sección se analizaron profundamente los tres sistemas de sellado existentes en el mercado mediante la identificación de sus patrones de evolución, análisis sustancia-campo y las contradicciones de los sistemas permitiendo generar estrategias para el rediseño. Finalmente, con el método de los agentes se desarrollaron las propuestas para el sellado de microplacas, las cuales fueron evaluadas para comprobar que cumplieran con las especificaciones inicialmente establecidas.

El presente trabajo se enfoca en el rediseño conceptual de las máquinas selladoras de microplacas desde su principio de trabajo, el cual permitirá desarrollar máquinas más rápidas, menos complejas y que desarrollen su función principal de manera efectiva y sin problemas inherentes.

Se espera que el presente trabajo muestre claramente el proceso de rediseño de los sistemas de sellado de microplacas aplicando la metodología TRIZ, en donde se resalten las ventajas y desventajas de esta metodología y se establezca un antecedente de diseño para futuros trabajos relacionados con el tema.

El trabajo presenta la siguiente estructura:

1. Metodología: en este capítulo se describen todas las herramientas de diseño empleadas durante cada etapa del proceso de diseño.
2. Determinación de las especificaciones de diseño: en este capítulo se muestra la investigación realizada para identificar las oportunidades de rediseño y la identificación de las especificaciones del producto, mediante el empleo de un benchmarking, una investigación de campo y la casa de la calidad.
3. Análisis de los sistemas de sellado actuales: en este capítulo se analizan los sistemas de sellado identificados en el mercado y se establecen las estrategias para el rediseño del sistema, empleando los patrones de evolución, el análisis sustancia-campo y la identificación de las contradicciones.
4. Desarrollo de las soluciones conceptuales: en este capítulo se generan las propuestas para el sellado de microplacas y se proponen ejemplos que sustenten el concepto, aplicando el método de los agentes, finalmente se realiza un evaluación de los resultados obtenidos en el proceso y se establece cual es la propuesta más fiable que se emplearía para un futuro diseño de configuración.

Planteamiento del Problema

La microplaca es una herramienta estándar empleada para investigaciones analíticas y pruebas de diagnóstico clínico. Los ensayos en los que se emplean las microplacas son: Reacción en Cadena de la Polimerasa (*PCR por sus siglas en inglés*), Ensayo Inmonoenzimático Ligado a Enzimas (*ELISA por sus siglas en inglés*), cultivo celular, cristalografía de proteínas, etc.



La microplacas se caracterizan por su capacidad para desarrollar un gran número de pruebas en un solo ensayo, sin embargo, al contener las muestras dentro de los pozos se presentan los siguientes problemas que pueden alterar los resultados del ensayo: contaminación por agentes externos, contaminación cruzada y pérdida por evaporación.

Por lo que se han desarrollado máquinas selladoras de microplacas que se basan en los siguientes principios; sellado térmico, sellado con adhesivo y sellado con tapa, sin embargo, se han identificado algunos problemas inherentes en cada uno de estos principios que afectan la fiabilidad de los resultados.

De esta manera, se plantea el problema que enmarca el presente trabajo y que será resuelto durante su desarrollo empleando la metodología de TRIZ:

¿Cómo generar un rediseño conceptual de una máquina selladora de microplacas desde su principio de trabajo, que proporcione un sello hermético durante los análisis y los periodos de almacenamiento y que no afecte a la muestra ni a la microplaca?

Objetivo General

Desarrollar un rediseño conceptual de una máquina selladora de microplacas desde su principio de trabajo de manera sistemática, que sea competitivo a nivel mundial, mediante la aplicación de la técnica de TRIZ, con el fin de un futuro diseño de configuración y detalle.

Metas

- Explorar y aplicar un proceso de diseño sistemáticamente estructurado para generar una aplicación efectiva de soluciones conocidas al nuevo caso de estudio.
- Definir las especificaciones del producto que debe cumplir con los estándares del mercado a nivel mundial.
- Rediseñar las máquinas selladoras de microplacas, desde su principio de trabajo, para poder generar máquinas más rápidas, menos complejas para cumplir con las especificaciones del producto propuestas.
- Estudiar la técnica de TRIZ y sus avances para aplicarla al caso de estudio de manera efectiva.
- Establecer las bases para un futuro diseño de configuración y detalle.
- Contribuir con la innovación tecnológica en México mediante el desarrollo de un caso de estudio.



Alcances

Desarrollar un diseño conceptual de una máquina selladora de microplacas desde su principio de trabajo, el cual constará de la determinación del material, especificando características y propiedades por las que fue seleccionado, la propuesta de una geometría que ayude a la interacción del sistema y la descripción del principio físico en el que se fundamenta el concepto. “En conjunto estas características garantizaran que la función se cumpla en conformidad con la tarea requerida” (Gerhard, Wolfgang, Jorg, & Karl-Heinrich, 2007)

Antecedentes

Para obtener un desempeño eficiente de las técnicas analíticas y pruebas de diagnóstico que son sometidas a un ciclo térmico han tenido que pasar por diversas etapas con las cuales han mejorando su función y han adquirido nuevas características, con forme a las necesidades del cliente y del supersistema. Para analizar los antecedentes del sistema se considerará la PCR como el supersistema, debido a que es el que ha presentado mayores problemas para el sellado.

La PCR fue descubierta en 1993 por Kary Mullis, la cual en sus inicios fue laboriosa, insuficiente y larga, debido a que requerían de grandes cantidades de ADN E. coli polimerasa para realizar el estudio, porque no soportaba temperaturas elevadas. En 1985 se desarrolló la primera máquina termocicladora para facilitar el proceso de agregar encimas frescas para cada tubo de ensayo después de cada etapa del ciclo térmico haciéndolo más práctico y corto.

También, se requería de un sellado hermético, para aislar el sistema evitando la contaminación por agentes externos y la pérdida por evaporación. Otra característica requerida fue el acceso a la reacción para la incorporación de la polimerasa, los tubos de ensayo con tapa roscada ofrecían las características requeridas por el sistema.

En 1986 se descubrió la Taq polimerasa la cual eliminó los grandes inconvenientes del método de la PCR. Este ADN polimerasa es estable a altas temperaturas, eliminando la necesidad de añadir a la reacción nueva polimerasa tras cada ciclo. La taq polimerasa creó la necesidad de una máquina termocicladora más rápida. De esta manera, se agilizó el proceso de la PCR y se emplearon recipientes más pequeños para que se alcanzara la temperatura requerida en su interior rápidamente y de manera uniforme.

Por esta razón, se empleó el tubo capilar que posteriormente fue sustituido por el tubo de microcentrifugado (Figura 1) que es fabricado de polipropileno, el cual se sellada en el contorno superior

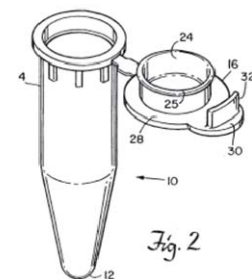


Figura 1. Tubo de microcentrifugado conocido como tubo eppendorf



Introducción

del tubo mediante el uso de una tapa del mismo material, dejando un volumen de aire entre la tapa y la muestra ocasionando presiones elevadas hasta de una atmosfera debido a los cambios de temperatura, por lo que se requería de una fuerza externa para ayudar a mejorar la hermeticidad del tubo. Esto se logró con la ayuda de un termociclador de bloques calientes, en el cual se colocan los tubos eppendorf en orden matricial, posteriormente se les coloca una placa encima de las tapas para ejercer presión y generar calor para evitar la condensación del vapor en el interior.

La desventaja de este sistema es que las tapas tienen que ajustarse perfectamente, por lo que resulta difícil insertarla y removerla, ocasionando sobresaltos de la muestra, provocando la contaminación cruzada, debido a esto han desarrollado diversos cambios para mejorar el sellado como se muestra en la patente U.S. 5,254,314 (Yu, Yu, & Newton, 1993).

También se desarrollaron algunas máquinas que ayudaran a la colocación y remoción de la tapa, no obstante, estos dispositivos se consideran difíciles de manufacturar y son relativamente costosos.

Contrario a estos sistemas, se desarrolló los de contacto, que es un dispositivo de sellado que se encuentra en contacto directo con la muestra para eliminar o reducir la fase de vapor sobre el volumen de la reacción líquida, esto era comúnmente desarrollado mediante la aplicación en la superficie de la muestra de un pequeño volumen de aceite, debido a que el aceite y el agua no se mezclan, es menos denso y no es volátil. Aunque el uso del aceite es fácil y efectivo, es usualmente necesario remover el aceite antes de que la reacción pueda ser analizada y después del ciclo. Esto toma mucho tiempo y hace difícil la automatización.

En 1991 se desarrolló la PCR en tiempo real usando una polimerasa termo-estable, rTrh, facilitando las pruebas de diagnóstico para RNA virus y disminuyendo los problemas de contaminación presentes en el PCR tradicional. Con este avance se creó la necesidad de emplear recipientes con propiedades ópticas debido a que esta técnica puede ser monitoreada mediante el incremento en la intensidad de las muestras fluorescentes.

Con el descubrimiento de nuevas aplicaciones de la PCR y el incremento en investigaciones genómicas, los laboratorios fueron presionados a incrementar sus resultados y fiabilidad con un menor costo, surgiendo el uso de la microplaca, que inicialmente contaba con 6 pozos, posteriormente fueron aumentando a 24, 96 y 364 pozos, con los avances de la biología molecular se han reducido los volúmenes de los ensayos a 1µL surgiendo las microplacas de 1536, 3456 y 9600 pozos. Debido a

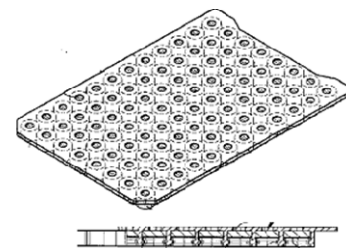


Figura 2. Tapa desarrollada para evitar la contaminación cruzada. Obtenida de la patente U.S. 6,106,783

Introducción

esto surgió la necesidad de cubrir una gran cantidad de pozos de manera uniforme, fiable y económica, por lo que se desarrollaron una gran variedad de máquinas selladoras de microplacas las cuales se basan en los siguientes principios de trabajo; tapas rígidas, tapas flexibles, películas adhesivas y películas para sellado térmico. De los cuales, las tapas (Figuras 2) inicialmente eran diseñadas para evitar la contaminación por agentes externos y para reducir el porcentaje de evaporación (Gamble, 2000); posteriormente se desarrollaron tapas flexibles para mejorar la hermeticidad, no obstante, se puede obtener mayor hermeticidad con los otros principios de sellado y a un menor costo.

En sus inicios con las películas adhesivas resultaba difícil mantener el sello a las temperaturas requeridas debido a la presión interna del recipiente y a la presencia de vapor, por estos motivos las cintas adhesivas comerciales no podían contener la presión sin la aplicación de una fuerza externa para mantener el contacto de la cinta y el recipiente, por lo que las cintas para sellado térmico dominaban el mercado ya que proporcionaban un sello hermético a diversas temperaturas, sin embargo, el calor requerido para aplicarlas deforma las microplacas, sin embargo, con el tiempo se han desarrollado adhesivos resistentes a temperaturas elevadas que aseguran la hermeticidad del sistema, como el sistema desarrollado por Finney y Titcomb (1998), en donde muestra el uso de una película de capas múltiples (Figura 3) de la cuales una proporcionaba la dureza y la integridad, la segunda es delgada(50µm-1016µm) de un material deformable el cual proporcionaba un buen sello, no obstante, proporcionaba un bajo nivel de adhesión entre 1.1N/dm a 5N/dm, aunque la baja adhesión (tack) es deseable para prevenir salpicaduras al desprenderla, puede causar altos niveles de evaporación e incrementar la contaminación cruzada.

Posteriormente se desarrollaron películas adhesivas que aseguran la hermeticidad a temperaturas elevadas, como la propuesta en la patente U.S. 6,703,120B1 (Ko, Melancon, & Schulz, 2004), la cual emplea un adhesivo sensible a la presión de silicón que se adhiere perfectamente a los materiales comúnmente empleados en la microplacas como son poliolefina, poliestireno, polipropileno, etc. También es biológicamente inerte y resistente a solventes como dimetil sulfóxido (DMSO), además puede ser reposicionado varias veces, evita la contaminación cruzada y la pérdida por evaporación en un rango de temperaturas de -80°C a 200°C.

De esta manera, las películas de sellado térmico han sido desplazadas por las películas adhesivas, dominando así el mercado de sistemas para el sellado de microplacas. Sin embargo, se han identificado ciertos inconvenientes respecto al contacto de la muestra con el adhesivo y los restos del adhesivo sobre las microplacas.

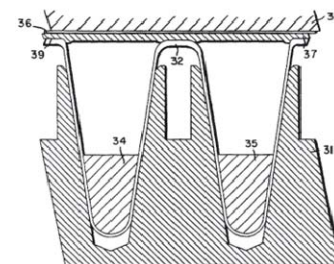


Figura 3. Dibujo de la película de capas múltiples



1. METODOLOGÍA

Para resolver el problema planteado anteriormente se emplearan las herramientas que a continuación se describen de manera breve, conforme se fueron utilizando en cada capítulo del trabajo para obtener una mayor comprensión del proceso de diseño.

1.1 Herramientas para Determinar las Especificaciones de Diseño

El primer paso para el rediseño del sistema fue la identificación de las especificaciones por lo cual se empleará un *benchmarking* para identificar los requerimientos del mercado y una investigación de campo para escuchar la voz del cliente y finalmente con la ayuda del QFD se espera clasificar y cuantificar los requerimientos obtenidos en las actividades anteriores, para proponer las especificaciones de diseño. A continuación se describen cada una de las herramientas antes mencionadas:

1.1.1 Benchmarking

Es un proceso continuo de medición entre las empresas que pueden ser identificadas como las mejores en todo el mundo, y la mejora de las prácticas comerciales (Wireman, 2004). Basado en un análisis comparativo, se identifican las áreas en donde las empresas, productos y servicios presentan deficiencias en comparación de las mejores en el mercado.

El *benchmarking* está siendo ampliamente usado dentro del diseño de productos como una herramienta de recopilación y análisis de la información de los sistemas líderes en el mercado, para obtener una visión global que permita identificar los requerimientos del producto en el mercado y entender; como las compañías que son estudiadas han logrado sus resultados, es usualmente más importante y valorable que obtener algunas métricas precisas cuantificadas (Boxwell, 1994). En la figura 1.1 se muestra el proceso seguido para la aplicación del benchmarking al caso de estudio.

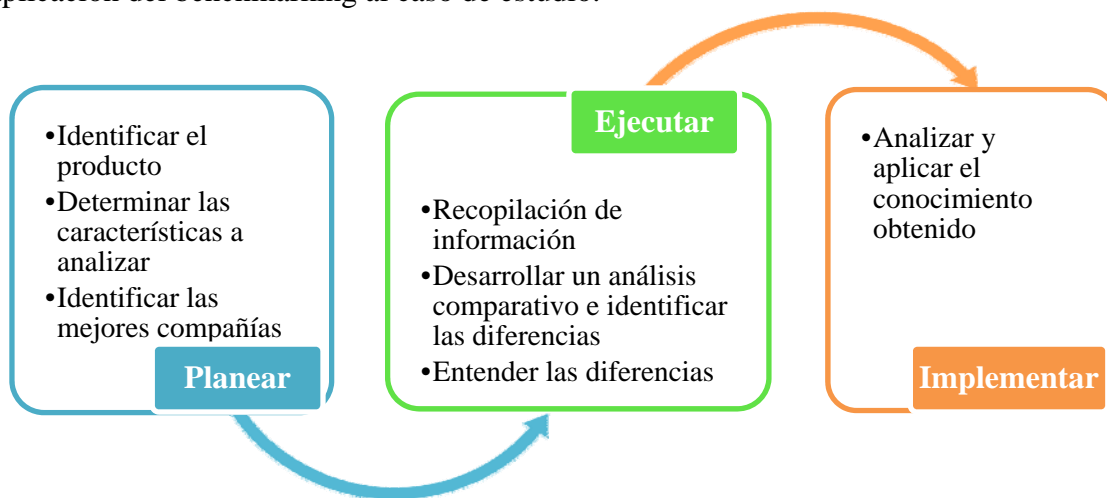


Figura 1.1. Esquema del proceso para la aplicación del Benchmarking.

1.1.2 Investigación de Campo

Es el proceso que permite obtener nuevos conocimientos (necesidades, deseos, hábitos, percepciones o inconformidades) a través del contacto directo con el caso de estudio en su ambiente natural, para diagnosticar necesidades y problemas para efectos de aplicar los conocimientos con fines prácticos.

La investigación en el diseño de productos no solo se basa en el análisis objetivo de evidencia, sino también en la síntesis de evidencia, reconocimiento de tendencias emergentes, empatía con la gente respecto a la motivación y comportamiento, etc. (Fulton Suri, 2008) para obtener información relevante y fidedigna que generalmente pasa desapercibida, la cual puede significar una gran ventaja en el mercado. Sin embargo, la investigación de campo tiene algunas desventajas como es la obtención de información errónea por una mala interpretación de los resultado y resulta ser una práctica costosa al requerir de personal capacitado (Gonzalez, 1997). En la figura 1.2 se muestra el proceso para su ejecución.

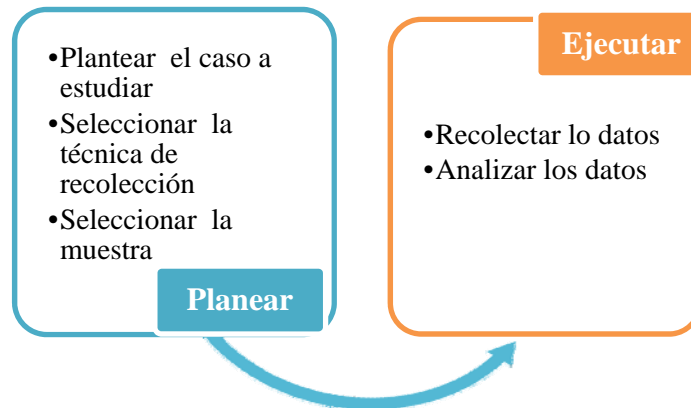


Figura 1.2. Esquema del proceso a seguir para la investigación de campo.

1.1.3 Despliegue de la Función de Calidad (QFD por sus siglas en inglés)

Es un método de diseño de productos y servicios que recoge las demandas y expectativas de los clientes y las traduce en pasos sucesivos a características técnicas y operativas satisfactorias.

El núcleo del QFD es un mapa conceptual que relaciona los requerimientos de los clientes (RC) con las características técnicas (CT); necesarias para satisfacerlos. Estas relaciones se presentan en forma de una tabla elaborada llamada "matriz de la calidad". Tomados en su conjunto, los RC definen la calidad de un producto y son las expresiones que los clientes utilizan para describir los productos y sus características deseables. Asociada con cada CT, existe una métrica, que se usa para determinar el grado de satisfacción de los clientes con cada uno de sus requerimientos. Con esta herramienta se establecen las CT más valoradas por el cliente y se cuantifican con respecto a los productos más competitivos en el mercado (Yacuzzi & Martín, 2003). En la figura 1.3 se muestra el procedimiento para la aplicación de la matriz de la calidad.

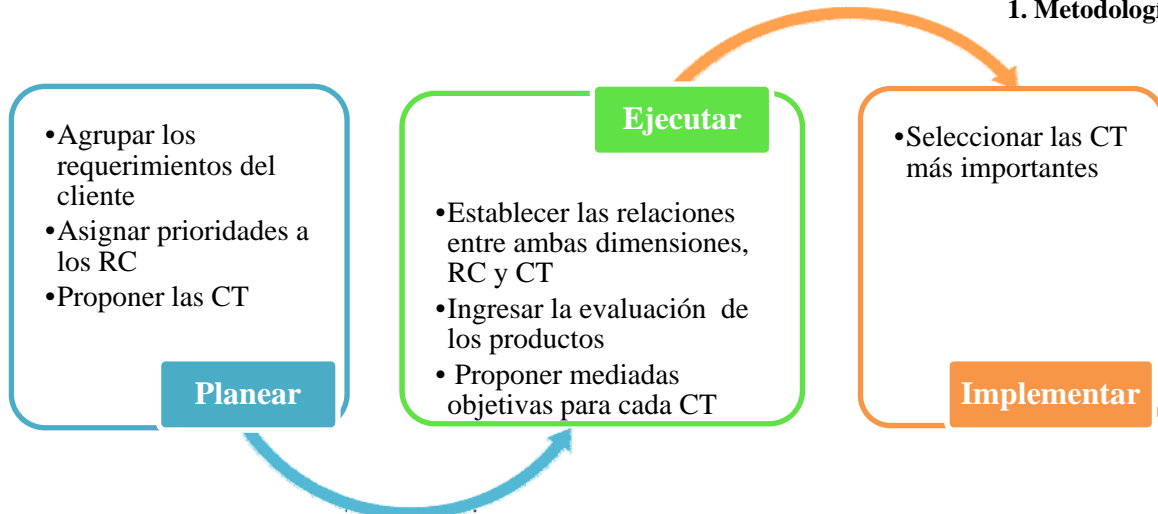


Figura 1.3. Esquema del proceso para la implementación de la matriz de la calidad.

1.2 Herramientas para Analizar los Sistemas de Sellado

En la segunda sección de la investigación se analizan los sistemas de sellado. En primer lugar, se analizan los antecedentes del sistema para identificar los patrones de evolución que han seguido para poder proponer un siguiente paso en su evolución, posteriormente con el análisis sustancia-campo se analizó la interacción de cada sistema y se estableció una relación entre los tres sistemas de sellado, identificando las contradicciones a las que se han enfrentado y de qué manera las han superado, gracias a esto se identificó una estrategia para el rediseño del sistema. A continuación se describe cada una de las herramientas empleadas:

1.2.1 Patrones de Evolución

Son el corazón de la teoría para resolver problemas de inventiva (TRIZ) los cuales son el resultado del análisis de diversas investigaciones, las cuales fueron clasificadas (Leon, 2006). Se identificó que los sistemas técnicos no evolucionan de manera aleatoria, si no que siguen ciertos patrones. Asimismo, se identificaron dos fuerzas motrices (FM) que impulsan a un producto a evolucionar, una es la evolución que ocurre respecto a las necesidades humanas las cuales estimulan a un producto a evolucionar, provocando necesidades más sofisticadas, resultando en una retroalimentación continua, y la otra son los patrones y efectos inherentes en los supersistemas que siempre dominan y forjan a los sistemas subordinados a evolucionar.

Altshuller estableció un requerimiento crítico, un patrón formulado no tiene que ser solamente informativo (descriptivo), sino también pronosticable haciendo posible predecir la dirección en la cual el sistema evolucionaría. Y un instrumento que ayude a analizar estas direcciones y controlar la evolución del sistema (Zlotin & Zusman, 2006). Por lo que el papel de los patrones de evolución es evaluar el conocimiento actual sistemáticamente, para identificar lo que se puede lograr, y más específicamente cómo un avance tecnológico podrá satisfacer las necesidades humanas. El proceso para aplicar los patrones de evolución al sistema de sellado se muestra en la figura 1.4.

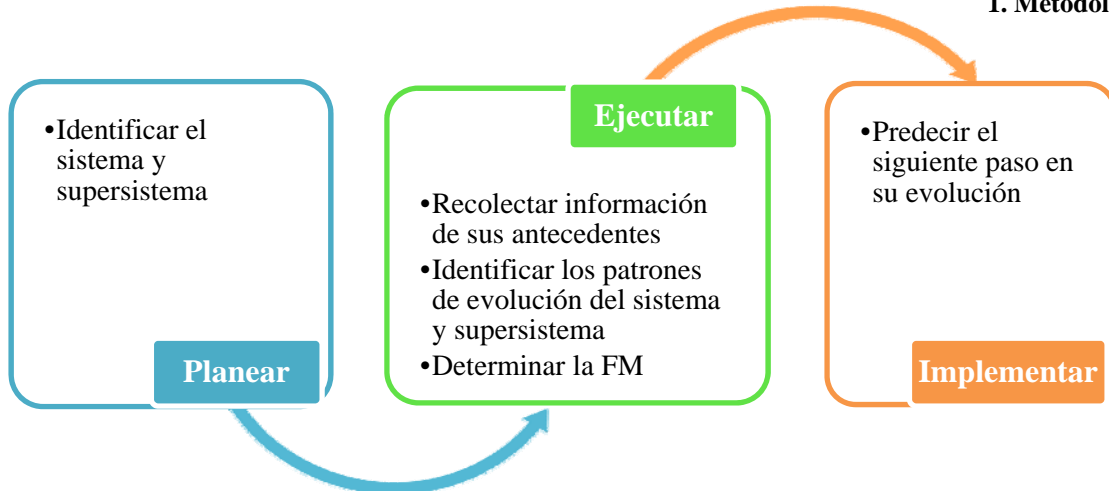


Figura 1.4. Esquema de los pasos a seguir para la aplicación de los patrones de evolución.

1.2.2 Análisis Sustancia-Campo

Es una herramienta de TRIZ que permite resolver problemas de inventiva mediante el desarrollo de un modelo gráfico que representa y describe al sistema técnico mediante la interacción de sus componentes, llamado diagrama sustancia-campo (Hsiang-Tang & Ya-Chuan, 2006), de esta manera, se obtiene una visión global permitiendo identificar su efectividad, completitud y problemática. Sin olvidar que existen otros puntos de vista de un sistema técnico, como el que propone el Dr. Aguirre “Un sistema tecnológico representa productos, commodities y trabajos de arte en los cuales un flujo y conversión de energía se tiene lugar (1990)

Una vez identificado el problema se aplican las 76 soluciones estándar (Apéndice A) para la síntesis, reconstrucción y mejoras de los sistemas técnicos en términos de sustancias y campos (Slocum, 2006), mediante reglas estructuradas basadas en una investigación de un gran número de patentes. Esta herramienta es usada para explorar la zona de interés o interface del sistema técnico.

Los elementos que conforman a este análisis son los siguientes:

Sustancia: es cualquier cosa tangible que tenga una estructura definida que sea posible detectar con los cinco sentidos o con instrumentos adecuados, desde algo tan tenue como el aire hasta una sólida viga de acero (Margarito Coronado Maldonado, 2005). En este trabajo se representa como un círculo de color naranja.

Campo: es comúnmente alguna forma de energía, que proporciona una fuerza o reacción para garantizar un efecto entre las sustancias, en este trabajo se emplean dos tipos de campo: el campo requerido para generar la interacción representado por un círculo verde y el campo de interacción representado por un círculo azul.

Interacción: es el efecto resultante de la acción entre las sustancias del sistema y puede ser de cinco formas, a continuación se muestran en la figura 1.5.



1. Metodología

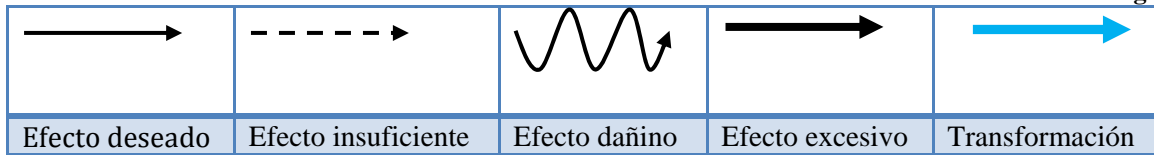


Figura 1.5. Muestra las diferentes formas de la interacción.

El proceso para aplicar el análisis sustancia campo se divide en tres, en el primero se construye el diagrama sustancia-campo del sistema posteriormente se evalúa el diagrama, si no cumple con el efecto deseado se mejora el efecto mediante la aplicación de las 76 soluciones estándar, después de ser rectificado nuevamente se evalúa la propuesta. En la figura 1.6 se muestra el proceso basándose en la propuesta de John Terninko (1996).



Figura 1.6. Esquema del proceso de aplicación del análisis sustancia-campo.

1.2.3 Análisis de Contradicciones

En TRIZ inventar o innovar significa eliminar una serie de contradicciones que surgen cuando dos necesidades de un producto o proceso están en conflicto. En todos los procesos industriales donde se detecta un problema hay al menos una contradicción. Las contradicciones se clasifican fundamentalmente en técnicas y físicas (Kai & Hongwei, 2000). Las cuales a continuación se describen:

- *Contradicción técnica (CT)*: representa el conflicto entre dos elementos de un mismo sistema.
- *Contradicción física (CF)*: implica condiciones contradictorias de un mismo elemento físico, donde parece obvio que una cierta característica puede ser y no ser a la vez.

Una vez identificadas las contradicciones se procede a eliminarlas mediante el empleo de las herramientas propuestas por TRIZ. Para eliminar contradicciones físicas se proponen cuatro condiciones que te ayudan a resolverlas:

1. Separación en el espacio.
2. Separación en el tiempo.
3. Separación entre las partes y el todo.
4. Separación de acuerdo a con condición.

1. Metodología

Para las contradicciones técnicas se emplea la matriz de contradicciones (Apéndice B) la cual facilita la selección de uno de los 40 principios de innovación que se han identificado a través del estudio de patentes (Altshuller, 1998). En la figura 1.7 se propone el procedimiento para eliminar las contradicciones.

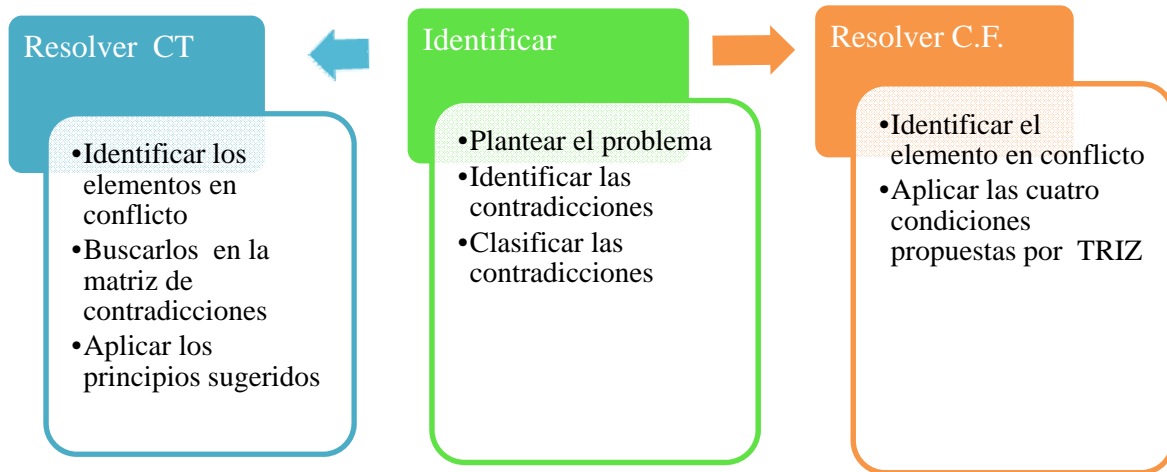


Figura 1.7. Esquema del proceso para la aplicación del análisis de contradicciones.

1.3 Herramientas para Obtener las Soluciones Conceptuales

Finalmente, para desarrollar el concepto se emplea el método de los agentes que se caracteriza por identificar las acciones y propiedades de las sustancias para obtener un resultado final ideal, con esta información y con la generada en el análisis anterior se propone el rediseño del sistema.

Método de los Agentes: originalmente fue llamado como “gente pequeña inteligente” desarrollado por Altshuller al final de los 1960’s, el cual se basa en cierta empatía, sin embargo, se encontraron ciertos inconvenientes, por lo que se decidió cambiar la idea de las personas pequeñas por agentes con características específicas para evitar la empatía y la inercia psicológica (Altshuller, Shulyak, Rodman, Dronova, & Urmanchev, 1996).

Para una mayor comprensión de esta metodología se definen los siguientes conceptos:

Resultado final ideal: es la mejor solución de un problema para las condiciones dadas, enfocándose en las necesidades del cliente o funciones necesitadas sin tomar en cuenta los obstáculos del sistema actual (Domb, 1997)

Verdadero Problema del Sistema: son los problemas presentes en el sistema sin considerar los ocasionados por algún factor externo o por la solución actual del sistema.

Este método ayuda a encontrar soluciones conceptuales para problemas técnicos, con un soporte gráfico en forma de simples bocetos. Los agentes desempeñan el papel de la “herramienta universal ideal” para cumplir las funciones principales del sistema, mediante el desempeño de cualquier acción necesaria (Savransky, 2000).



1. Metodología

El método de los agentes construye el puente entre los dos puntos; el verdadero problema del sistema (VPS) y el resultado final ideal (RFI), a través de un proceso estructurado en el que se identifican los pasos críticos de la solución, completando el hueco entre la situación del problema y su objetivo (Zusman & Zlotin, 2004). Para la aplicación de este método se presenta el proceso en la figura 1.8, el cual será aplicado al caso de estudio.

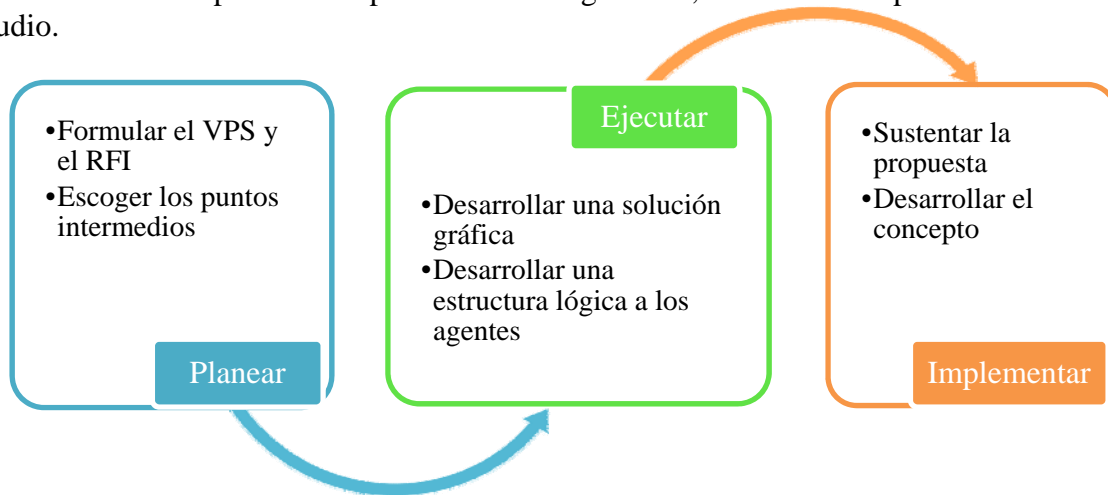


Figura 1.8. Esquema del proceso para la implementación del método de los agentes.

1.4 Los 5 Niveles de Invención de TRIZ

Altshuller quería entender las diferencias entre soluciones con un alto y bajo grado de inventiva por lo que desarrollo una clasificación con 5 niveles que le permitirían clasificar las soluciones en base al tipo de conocimiento necesitado para obtener la solución, contradicciones resueltas y número de intentos necesitados para obtener la solución.

Estos cinco niveles han sido replanteados en términos de función, principio y mercado por Valeri Souchkov para permitir una mejor interpretación, no obstante, esta clasificación no sustituye a la original. A continuación se describen los términos antes mencionado y los cinco niveles de invención (Souchkov, 2007):

Función: cualquier sistema es diseñado para cumplir ciertos objetivos, los cuales son obtenidos por ciertas funciones principales del sistema, por ejemplo para cumplir el objetivo de investigaciones medicas, se necesita un sistema el cual ofrezca la función para ver atreves del cuerpo humano. La función puede ser general y muy específica, usualmente elevados niveles de invención permite entregar funciones generales que hace esta invención aplicable a un amplio rango de problemas.

Principio: esto es un efecto científico. Principio, fenómeno o ley que ofrece funciones. Por ejemplo, las emisiones de rayos-X creo la función de ver a través del cuerpo humano.

Mercado: es el contexto en donde se desempeña un sistema técnico para desarrollar funciones que cumplan ciertas necesidades especificas del contexto. Por ejemplo, la imagen de rayos-X es usada para el mercado medico, pero esto también puede ser aplicado para el



1. Metodología

mercado de sistemas de seguridad. Con un mercado diferente puede haber diferentes aplicaciones que son beneficiados por la función producida por el sistema.

La metodología TRIZ trabaja principalmente a un nivel 3 y 4 de innovación, esto significa que la solución a un problema se sustenta en principios existentes que no han sido aplicados a un caso en particular, es por esto que las herramientas de TRIZ no proporcionan una solución como tal, sino que te dan las propiedades y acciones que se requieren para solucionar el problema y facilitar la búsqueda de la solución.

Tabla 1.1. Se muestra los 5 niveles de invención planteado en términos de mercado, principio y mercado.

Nivel	Descripción	Ejemplo
1 Mejora cuantitativa (mercado/principio/función)	Solución que solo requiere cambios cuantitativos de un valor en cierto parámetro o un par de parámetros dentro del sistema técnico basado en la combinación existente(mercado/principio/función)	Incrementar el poder del generador del rayo X para objetos grandes
2 Mejora cualitativa (mercado/principio/función)	Cambios cualitativos y mejoras de componentes o configuración dentro del sistema técnico basado en la combinación existente (mercado/principio/función), también se puede obtener mediante la combinación de diferentes sistemas técnicos existentes para reducir espacio y precio. Sin producir un nuevo efecto en el sistema y sin resolver alguna contradicción	Pulsación del rayo X para capturar movimientos rápidos
3 Extender una combinación principio/función conocida a un nuevo mercado	Usar una combinación principio-función conocida dentro de un nuevo contexto para ofrecer un objetivo específico (contexto, una nueva área de aplicación, nicho tecnológico, nuevo mercado), esto requiere re-ingeniería o adaptación del diseño existente para satisfacer las nuevas demandas.	Cambiar de área en la aplicación del rayo X: pruebas no destructivas, sistemas de seguridad, etc.
4 crear una nueva combinación principio/función radical	Creación de una nueva función basada en un principio científico descubierto en el nivel 5. No importa si el principio fue usado antes para ofrecer otra función. En este nivel un principio científico particular o efecto nunca ha sido usado antes para ofrecer alguna función particular en alguna área del mercado.	El principio de emisión de rayos X es usado para ver a través del cuerpo humano (función) logrando una nueva área de tecnología, máquinas medicas.
5 Descubrimiento de un nuevo principio	Es un punto de inicio que resulta un progreso en la innovación, esto expande los límites de la ciencia y ofrece un acceso a un nuevo tipo de recurso a través de la creación de un nuevo conocimiento científico.	Descubrimiento del rayo X



2. DETERMINACION DE LAS ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

El primer paso para el rediseño de la máquina selladora de microplacas es la determinación de las especificaciones de diseño con base en la metodología propuesta, se proponen las siguientes actividades; un estudio de mercado para identificar a los mejores equipos en este rubro, posteriormente una investigación de campo para conocer los requerimientos del cliente y finalmente con la información obtenida se desarrolla la matriz de la calidad para cuantificar y clasificar las especificaciones del producto. A continuación se describen cada una de las actividades antes mencionadas.

2.1 Benchmarking

Es un proceso continuo de medición entre los productos que pueden ser identificados como los mejores en todo el mundo, y la mejora de las prácticas, el proceso para aplicar el *benchmarking* se divide en tres estepas planeación, ejecución e implementación.

2.1.1 Planeación

Identificar el producto a analizar: se propone el producto que se desea analizar, en este caso son las máquinas selladoras de microplacas.

Determinar las características y parámetros a analizar: una vez propuesto el producto se identifican las características más importantes de las máquinas selladoras de microplacas, las que hacen que el sistema desempeñe su función como la del proceso físico o principio de trabajo como lo propone *Pahl and Beitz* (2007) “Al identificar el proceso físico mediante la selección del efecto físico y determinar la geometría y características del material resulta en una interrelación de trabajo que asegura la función adecuada con respecto a la tarea”. Los subsistemas y la configuración del sistema son otras características importantes a considerar. Dentro de los parámetros se encuentran la velocidad de sellado, peso, tamaño, temperatura de trabajo, presión, etc.

Identificar las compañías que diseñan los mejores productos del mercado: la búsqueda se desarrolló a través de los distribuidores de productos biomédicos y en páginas de internet. En la figura 2.1 presenta una lista de compañías dedicadas a la manufactura de máquinas selladoras de microplacas.








Estados Unidos	 <p>(1)</p>	 <p>(2)</p>	 <p>(3)</p>
Reinos Unidos	 <p>(4)</p>	 <p>(5)</p>	 <p>(6)</p>  <p>(7)</p>

Figura 2.1. Imagen donde se muestran las empresas más sobresalientes en la manufactura de máquinas selladoras de microplacas.



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

2.1.2 Ejecución

Recopilación de información: se desarrolló accediendo a las páginas web de las empresas antes mencionadas y recopilando las características y parámetros más importantes de los sistemas de sellado de microplacas, posteriormente se buscaron las patentes de los sistemas para obtener más información. En la figura 2.2 se presentan las diferentes máquinas que hay en el mercado.

Fluid(5) 	ALPS-50V(2) 	Thermo Sealer(2) 	AXI(4) 	Plate Loc(7) 
2ALPS-300(2) 	Treaseal(6) 	Auto Seal(1) 	Mini Seal(6) 	
XCS-384(5) 	RS-300(3) 	ALPS-300(2) 		

Figura 2.2. Imagen de las diferentes máquinas de sellado de microplacas en el mercado, en las cuales el número en paréntesis representa la empresa por la que fue manufacturada con respecto a la lista de empresas anteriormente mostradas.

Posteriormente se investigaron las diferentes formas de sellado de microplacas que existen en el mercado (Figura 2.3), las cuales conforman el principio de trabajo de las máquinas selladoras de microplaca.

2. Determinación de las Especificaciones de Diseño



Figura 2.3. Imagen de los diferentes principios de sellado de microplacas que existen en el mercado.

Desarrollar un análisis comparativo de los parámetros propuestos e identificar las diferencias: con la información recopilada se desarrolló un análisis comparativo (Tabla 2.1) de cada una de las características técnicas del sistema.

Tabla 2.1. Análisis comparativo de las características técnicas de las máquinas selladoras de microplacas.

Equipo	Placas /min.	Placas (mm)	Peso (Kg)	Dimensiones (mm)	Temp. (°C)	Presión	Tipo
Máquinas Automáticas							
XCS-384	15	0-60	---	---	---	--	Adhesivo
ALPS-300(2)	10	0-50	15	140x290x210	25-250	5.5 bar	Térmico
PLATE LOC	7.5	0-70	20	584x216x399	30-200	6.2bar	Térmico
ALPS-300	6	0-50	22	275x569x410	25-200	5.5bar	Térmico
RS-300	6	0-60	31	635x381x431	-----	-----	Adhesivo
Tri Seal	5	0-45	18	280x200x150	50-195	8.0bar	Térmico
Máquinas Semiautomáticas							
Mini Seal	3	3-62	8.5	181x270x160	25-200	-----	Térmico
AXI	3	0-60	29.5	250x430x450	25-190	-----	Térmico/ Adhesivo
Auto Seal	2.5	0-60	71.1	482x660x660	25-190	-----	Térmico
Máquinas Manuales							
Fluid	4	0-60	4.5	218x320x415	125-200	manual	Térmico
ALPS 50V	3	0-60	4	140x300x200	25-190	manual	Térmico
Thermo Seal	3	0-70	3.6	150x160x330	25-190	manual	Térmico



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

Con la información obtenida los sistemas se clasifican en tres categorías de acuerdo con su configuración para identificar la mejor en su clase. A continuación se presenta esta evaluación:

Automáticos: son las que requieren de la colocación de la microplaca en posición de forma manual o robótica, para que el sistema coloque la película y la selle mediante la aplicación de calor y presión. Dentro de esta clasificación podemos remarcar que el equipo con mejores características es el **ALPS-300(2)** (el cual es el rediseño del ALPS-300) como son menor peso, menores dimensiones y un rango amplio de temperaturas, sin embargo, el sistema **XCS-384** proporciona una mayor velocidad de sellado debido a que emplea películas adhesivas.

Semiautomáticas: son las que requieren de la colocación de la microplaca y la película en posición de forma manual para que el sistema selle mediante la aplicación de calor y presión. Dentro de esta clasificación el **Mini Seal** es el que presenta mejores características como son menores dimensiones, amplio rango de temperatura y menor peso mediante sellado térmico, no obstante, el **AXI** presenta la misma velocidad de sellado y se basa en sellado con adhesivo

Manuales: son las que requieren de la colocación de la microplaca y la película en posición, así como también la aplicación de la presión de forma manual para que el sistema selle mediante la aplicación de calor. Dentro de esta clasificación el equipo con mejores características es el **Fluid** debido a que presenta una mayor velocidad de sellado a pesar de ser el más pesado y con mayores dimensiones.

Con respecto a los principios de trabajo a continuación se describen los 3 principios de sellado para microplacas empleados en el mercado:

Sellado con tapa: las tapas se fabrican de poliestireno transparente. Se adaptan de forma óptima a la correspondiente microplaca de forma que las placas con tapa pueden apilarse sin inconvenientes. Se emplean para evitar que las muestras preparadas para reacciones o cultivos celulares se contaminen o evaporen.

Una variación de este principio son las tapas flexibles de silicón la cual se ajusta dentro de cada pozo y evita la contaminación y evaporación de las muestras y solo requiere de la aplicación de presión. También con la adaptación de nuevos materiales se han desarrollado las tapas flexibles autosellables las cuales pueden ser perforadas por una aguja y al retirarla la tapa se autosella.

Sellado Térmico: el principio se compone de una película de polipropileno o aluminio las cuales son aplicables a microplacas de polipropileno mediante la fusión de ambos materiales por medio de calor y presión, muchas de las máquinas selladoras se basan en este principio.

Sellado con adhesivo: el sellado se logra aplicando una película de poliéster, aluminio, polipropileno, polietileno o vinil dependiendo su aplicación y de la temperatura a la que se vaya a someter, las cuales son cubiertas en una cara por un adhesivo inerte el cual evita la contaminación y evaporación de las muestras.



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

De este principio se desprende el *sellado con adhesivo sensible a la presión* el cual se basa en la patente de 3M en la cual el adhesivo se compone de silicón inerte encapsulado el cual únicamente reacciona cuando es presionado.

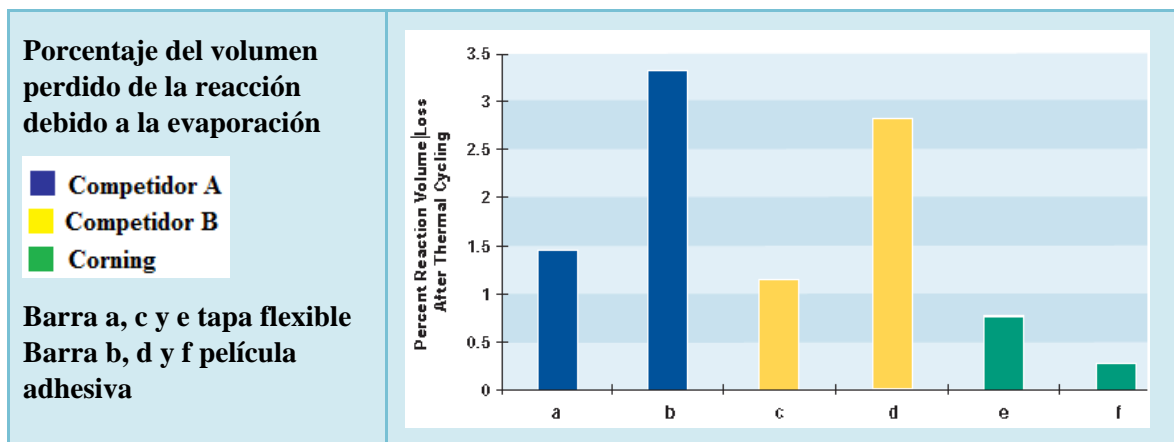
Para mostrar la gran variedad de películas y sus aplicaciones se tomó la guía de selección de películas desarrollada por EXCEL scientific (Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Se muestra la gran variedad de películas adhesivas y sus aplicaciones entre otras características, la cual fue desarrollada por EXCEL scientific para facilitar la selección de las películas www.excelscientific.com/sealing_films.html
*Para mayor detalle referirse al apéndice D

Product:	SealPlate® Films	AlumaSeal II™ Films	AlumaSeal 9.6™ AlumaSeal 3.84™	ThermalSeal™ Films	ThermalSeal RT™ Films	EZ-Pierce™ Films	Zone-Free™ Films	X-Pierce™ Films	AbsorbMax™ Films	BrightMax™ Films
Application:	ELISA, Incubation, Storage	PCR, Cold Storage	PCR, Storage	PCR, Storage	Real-Time qPCR, Crystallization Studies	Processing, Auto-sampling	Processing, Auto-sampling	Processing, Auto-sampling, Sonication	Fluorescence, Storage	Luminescence, Microscopy
Special Properties:	eliminates edge effects	chemical-resistant light-blocking good moisture barrier	chemical-resistant light-blocking good moisture barrier	chemical-resistant good moisture barrier	best optical clarity	easily pierceable chemical-resistant conforms to plate	easily pierceable chemical-resistant adhesive-free area over each well	pre-cut pierceable resealing printed well guides	black, light-absorbing	white, light-reflecting
Minimum Temp:	-40 °C	-80 °C	-40 °C	-40 °C	-40 °C	-40 °C	-40 °C	-40 °C	-40 °C	-40 °C
Maximum Temp:	+120 °C	+120 °C	+150 °C	+125 °C	+120 °C	+90 °C	+90 °C	+90 °C	+80 °C	+80 °C
Available Sterile:	Yes	Yes		Yes		Yes	Yes	Yes	Yes	
Pierceable:		Yes	Yes			Yes	Yes	Yes		
RNase/DNase Free:		Yes	Yes	Yes	Yes					
Material:	Polyester	Aluminum	Aluminum	Polypropylene	Polyester	Polyethylene	Polyethylene/ Polypropylene	Vinyl	Vinyl	Vinyl

Es importante resaltar que de los principios antes mencionados el más empleado por las máquinas de sellado es el *sellado térmico*, sin embargo, *el sellado con adhesivo sensible a la presión* está siendo ampliamente usado debido que a reduce el consumo de energía, simplifica el sistema y con el surgimiento de adhesivos resistente a temperaturas elevadas pueden sustituir al sellado térmico.

En la figura 2.4, se presentan los resultados de un estudio desarrollado por la empresa Corning en donde analizaron sus películas adhesivas y tapas flexibles en microplacas de 384 pozos de otras empresas para comparar la contaminación cruzada y la pérdida por evaporación de la muestra al someter el sistema a una temperatura de 92°C.





2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

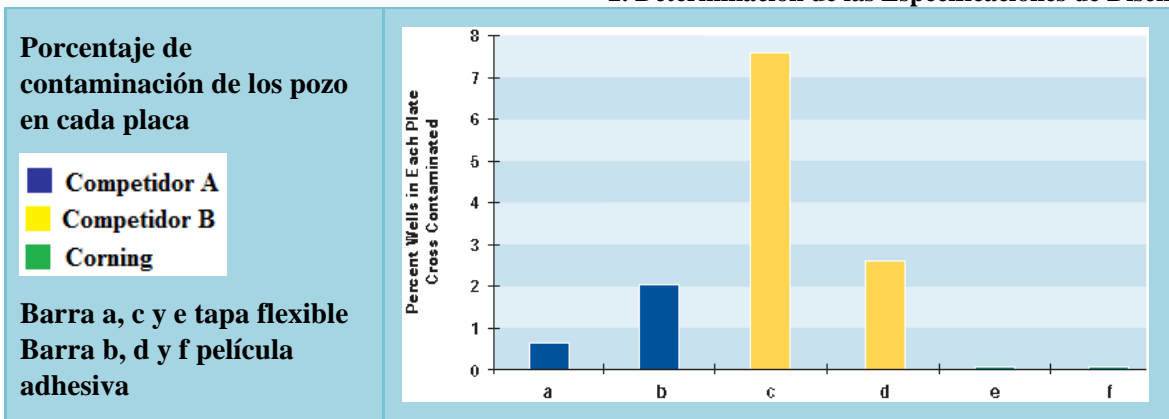


Figura 2.4. Muestra los resultados obtenidos del estudio desarrollado por la empresa Corning extraído de la página www.corning.com

Al analizar los resultados de la tapa flexible y la película adhesiva de Corning se encontró que ambos principios evitan la contaminación entre pozos, sin embargo, las películas adhesivas pueden alcanzar niveles más altos de hermeticidad que las tapas flexibles.

Entender como lograron mejorar cada uno de los parámetros: después de identificar los mejores parámetros de cada producto el siguiente paso es entender cómo se obtienen esos parámetros en los productos y aprender de ellos. Es lo más importante de un *benchmarking* “Entender como las compañías que se han estudiado logran sus resultados, es usualmente más importante y valorable que obtener algunas métricas precisas cuantificadas” (Boxwell, 1994). Al analizar los sistemas de sellado se encontró lo siguiente:

1. Los equipos de sellado térmico con mayor velocidad de sellado dentro de cada categoría son los que tienen un mayor rango de temperatura.
2. Los equipos automáticos definitivamente tiene una mayor velocidad de sellado debido a que no dependen la habilidad de las personas y los movimientos son más precisos.
3. Los equipos de sellado con adhesivo igualan y en algunas ocasiones superan la velocidad de sellado debido a que no requieren de la aplicación de calor.
4. Los sistemas de sellado automático se componen de los siguientes subsistemas; sistema de alimentación de la cinta, sistema de desplazamiento de la microplaca y sistema de sellado.
5. En el mercado se emplean tres principios para el sellado de las microplacas, sin embargo, dos de ellos son la base de la mayoría de las máquinas selladoras; el sellado térmico y en sellado con adhesivo sensible a la presión.
6. La hermeticidad del sistema a temperaturas elevadas en el caso de las tapas depende de las tolerancias y las propiedades del material (dilatación y resistencia térmica) en el caso de las películas depende en gran medida del adhesivo empleado o la soldadura del plástico.



2.1.3 Implementación

Analizar y aplicar el conocimiento obtenido en el diseño: una vez generado el conocimiento e identificado el estado del arte del producto, se pueden plantear algunos requerimientos para el rediseño de la máquina selladora de microplacas existentes en el mercado. De los cuales se presentan a continuación:

- El rango de temperaturas para el sellado térmico es de 25°C a 250°C.
- El sistema debe sellar como mínimo 15 placas/minuto.
- Se requieren al menos 5.5 bar de presión para el sellado térmico.
- La velocidad de sellado depende del principio de trabajo.
- El sello debe soportar desde -80°C hasta 150°C.
- Se debe evitar el uso del calor para el sellado de esta manera se hace más eficiente el sistema.
- El espesor de las películas varía entre 25µm y 50µm.
- Los materiales para cubrir los pozos son plásticos como polietileno, poliestileno, silicón, aluminio, polipropileno, vinil, etc. dependiendo la aplicación.
- El sistema debe pesar al menos 15kg.

2.2 Investigación de Campo

Para aplicar la investigación de campo al estudio de las máquinas selladoras de microplacas se dividió en dos pasos: Planeación y Ejecución, los cuales a continuación se describen.

2.2.1 Planeación

Planteamiento del caso de estudio: el estudio se enfoca en las máquinas selladoras de microplacas, de manera particular se desea conocer el medio donde se emplea el equipo, escuchar la voz del cliente, identificar las normas y estándares que rigen al producto e interactuar con el producto en su medio con el fin de identificar normas, necesidades, deseos, hábitos, percepciones o inconformidades para el rediseño del producto.

Selección de la técnica de recolección de datos: la técnica seleccionada para el caso de estudio basado en sus objetivos son la observación, entrevista y técnicas exploratorias. También se incluirá una investigación de normas que esté relacionada con el caso de estudio.

Selección de la muestra: la muestra es un subgrupo de la población. Se puede decir que la población se conforma por todas las personas que se relacionan con el caso de estudio y la muestra es un grupo pequeño de la población los cuales deben ser seleccionados de tal forma que los resultados basados en ella correspondan muy estrechamente con los que se obtendrían si fuera estudiada toda la población. Por lo cual la muestra se enfocó en los doctores, investigadores y estudiantes de los centros de investigación de la UNAM los cuales a continuación se listan:



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

- Facultad de Química, Laboratorio de Inmunología, UNAM
- Centro de Investigaciones Biomédicas, UNAM
- Facultad de Veterinaria, Laboratorio de Inmunología, UNAM
- Instituto de Fisiología Celular, Unidad de Microarreglos, UNAM

2.2.2 Ejecución

Recolección de datos: en este paso se aplican las herramientas seleccionadas para la recolección de datos en la muestra de la población seleccionada, a continuación se presenta un resumen de cada actividad:

Observación

Ambiente de trabajo: los laboratorios donde se trabaja con microplacas son lugares poco espaciosos que constan de pasillos entre estantería debido a que manejan muchas sustancias químicas, instrumentos, equipos de medición, etc. Requieren de repisas, gavetas, cajones para guardarlos y al mismo tiempo tenerlos a la mano, por esta razón surge la necesidad de una máquina pequeña y que pueda ser transportada fácilmente a distintas áreas. No se encontró un ambiente automatizado, la mayoría de los análisis se desarrollan de manera manual, solo en el Instituto de Fisiología Celular se encontró un equipo automático de inyección de muestras (Figura 2.5) en la cual se coloca la microplacas y el equipo llena todos los pozos con la sustancia a analizar y de la misma manera después del análisis la retira, a este equipo se le puede incorporar una máquina de sellado para automatizar mas el proceso.



Figura 2.5. Imagen del equipo de para la fabricación de microarreglos del Instituto de Fisiología Celular.

Máquinas de sellado: durante las visitas a los laboratorios se encontró que la mayoría emplean un pequeño rodillo (Figura 2.6) y una película adhesiva para sellar muestras de cristalografía, elisas y PCR, para los cultivos celulares emplean tapas. Solo se encontró una máquina de sellado al vacío en el laboratorio de inmunología de la Facultad de Veterinaria, empleada para sellar muestras que van a estar en almacenamiento por un largo periodo.



Figura 2.6. Imagen donde se muestra el rodillo empleado para sellar las microplacas.

Método de Sellado: en el instituto de fisiología celular, unidad de microarreglos, el Dr. Jorge Ramírez Salcedo mostró la forma en que sellan las microplacas con una película adhesiva y un rodillo el cual consiste de pocos pasos pero con gran precisión. En primer lugar, se toma la película y se despegan unos 2cm de la cubierta para posicionarla sobre la microplaca, después de posicionarla se retira el resto de la cubierta de



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

manera que la cinta adhesiva se vaya colocando sobre el resto de la microplaca y finalmente se le pasa el rodillo sobre toda la superficie de la película unas tres veces ejerciendo presión moderada.

Entrevista

Esta técnica se aplicó a 30 personas relacionadas con el empleo de las microplacas como: doctores y ayudantes de los laboratorios visitados. A continuación se presentan los comentarios más importantes obtenidos de las entrevistas.

En el Instituto de Fisiología Celular, unidad de microarreglos el Dr. Jorge Ramírez Salcedo mostró su desagrado hacia el sellado térmico debido a que deforma la microplaca y cuando la coloca en la máquina para retirar las muestras la microplaca se atora en los inyectores a causa de la deformación, por esa razón él prefiere el sellado con películas adhesivas y utiliza un rodillo para colocarlas porque las considera muy adecuadas para sus análisis.

En el Instituto de Fisiología Celular, Departamento de Bioquímica el Dr. Alfredo Torres Larios quien trabaja en cristalización de proteínas comentó que no cuenta con un equipo de sellado de microplacas, que las sella únicamente con cintas adhesivas para evitar la evaporación, dijo también que para sus ensayos el no puede utilizar un sellado térmico debido a que las sustancias que emplea son sensibles al calor, sin embargo, le pareció interesante la idea de una máquina selladora de microplacas ya que en ocasiones le resulta complicado la aplicación de la película adhesiva.

De manera general se considera que el sellado térmico resulta problemático debido a que el calor puede dañar a las muestras en el caso de cristalización de proteínas, elisas y cultivo celular. También deforma a las microplacas ocasionando que no puedan ser empleadas en un proceso automatizado, sin embargo, este método es empleado debido a su buen sello hermético y su resistencia térmica.

El sellado con película adhesiva resultó ser el método más empleado para sellar microplacas, sin embargo, algunos consideran que el adhesivo contamina las muestras y no conserva su hermeticidad a temperaturas elevadas y en largos periodos de almacenamiento. Otro aspecto que se mencionó fue que si no se coloca bien a la primera el adhesivo pierde su efectividad.

El sellado con tapa generalmente es empleado para cultivo celular para evitar la contaminación y permitir la entrada del aire, sin embargo, resultan ser igual de costosas que las microplacas, para estos casos se han diseñado películas adhesivas porosas que permiten el paso del aire.



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

Finalmente, se le preguntó al usuario cuál sería una forma ideal para sellar las microplacas, algunos consideraron que las tapas resultan muy cómodas debido a que puedes tapar y destapar las veces que sea necesario, algunos otros se mostraron muy conformes con el adhesivo y los inconformes consideraron que el adhesivo sensible a la presión era más adecuado debido a que se facilita la colocación y no contamina las muestras, sin embargo, no puede ser sellado varias veces. Cabe resaltar que con esta pregunta no se obtuvieron soluciones nuevas sino que se basan en soluciones existentes.

Técnicas exploratorias

Esta práctica se basa en experimentar los métodos de sellado para poder identificar algunas necesidades que no hayan sido expresadas por los usuarios, por lo cual en primer lugar se experimentó con el sellado térmico utilizando una película plástica, una microplaca y una plancha para generar el calor. La plancha alcanza una temperatura de 190°C los cuales son suficientes para nuestro objetivo. Este ejercicio resultó muy complicado debido a que hay que sujetar con una mano la película y con la otra la plancha y por el espacio reducido se tiene mucho contacto con el calor, al final no se logró un sellado uniforme en todos los pozos y se presentó la deformación de la microplaca. Se observó también que la película y la microplaca se unen únicamente en un borde que tiene la microplaca alrededor de cada pozo y se concluyó que para obtener un buen sellado se requiere del control de 3 parámetros: tiempo, temperatura y presión.

Posteriormente se experimentó con el sellado con adhesivo el cual resulto más cómodo, sin embargo, resulto difícil evitar las burbujas de aire que quedan encerradas al colocar la película, y la colocación requiere de precisión para que quede bien a la primera porque sino el adhesivo puede perder su efectividad, de la misma manera se observó que la unión se establece sobre los bordes de los pozos y todo lo demás sale sobrando.

Investigación de Normas y Estándares

Se investigaron las normas que están relacionadas con el caso de estudio, en primer lugar, se revisó la Norma Oficial Mexicana (NOM) la cual es la que se aplica en México y se encontraron las siguientes:

NOM-024-SCT2/2002, Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos. <http://www.economia-noms.gob.mx/>

NOM-051-SCT2/2003, Especificaciones especiales y adicionales para los envases y embalajes de las sustancias peligrosas de la división 6.2 agentes infecciosos. <http://www.economia-noms.gob.mx/>



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

NOM-137-SSA1-1995, Información regulatoria-Especificaciones generales de etiquetado que deberán ostentar los dispositivos médicos, tanto de manufactura nacional como de procedencia extranjera. <http://portal.salud.gob.mx/>

NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, protección ambiental-salud Ambiental-residuos peligrosos biológico-infecciosos clasificación y especificaciones de manejo. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes.aspx>

Posteriormente se investigó en las normas internacionales como la ANSI en la cual se encontraron los estándares para el diseño de microplacas desarrolladas por la Sociedad de las ciencias biomoleculares (SBS por sus siglas en inglés) las cuales se presentan a continuación:

ANSI/SBS 1-2004 Microplates - Footprint Dimensions

ANSI/SBS 2-2004 Microplates - Height Dimensions

ANSI/SBS 3-2004 Microplates - Bottom Outside Flange Dimensions

ANSI/SBS 4-2004 Microplates - Bottom Outside Flange Dimensions

En los estándares antes mencionados se describen las dimensiones que debe tener la microplacas con sus tolerancias y las dimensiones de los pozos, para mayor información se puede revisar la siguiente página electrónica de donde fue descargada la información. <http://www.sbsonline.com/msdc/approved.php>

Análisis de datos: una vez recolectada la información y analizada se determinó que el mercado se encuentra dividido por el sellado térmico para microarreglos y el sellado con adhesivo para las sustancias sensibles al calor, sin embargo, con los nuevos desarrollos en adhesivos resistentes al calor y sensibles a la presión, las películas adhesivas están abarcando el mercado de los microarreglos. No obstante, al escuchar la voz del cliente y experimentar con ambos, se determinaron algunos inconvenientes en ambos principios, con respecto a las tapas se ha demostrado que aun presentan desventajas con respecto al sellado hermético obteniendo así *una oportunidad de rediseño de las máquinas selladoras de microplacas desde su principio de trabajo.*

A continuación se listan las necesidades, perspectivas, deseos e inconformidades del cliente respecto a los principios de sellados determinados durante el análisis de mercado:

1. La máquina selladora debe ser pequeña y fácil de transportar.
2. El material empleado para el sellado de ser biológicamente inerte y resistente a la degradación química y térmica



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

3. La temperatura de la muestra debe permanecer constante durante el proceso de sellado ya que algunas son sensibles al calor o se puede alterar el estudio.
4. El principio de sellado debe ser fácil y rápido al aplicar y al desprender de manera manual o automática.
5. El principio de sellado debe soportar temperaturas extremas y largos periodos de almacenamiento sin perder su hermeticidad.
6. El proceso de sellado no debe afectar las dimensiones de la microplaca.
7. El principio de sellado no debe dejar residuos sobre la muestra o la microplaca al ser retirado para permitir la replicación del sello.
8. El sello debe proporcionar un alto grado de hermeticidad para evitar la contaminación y evaporación de la muestra.
9. El proceso de sellado no debe requerir mucha precisión para que se aplique con mayor velocidad.
10. El sistema de sellado debe permitir un buen intercambio térmico para hacer más rápido y eficiente el análisis de la muestra.
11. El principio de sellado debe permitir sellar y desprender la cubierta las veces que sean necesarias por si se quiere modificar algo en el análisis sin tener que emplear otra nueva.

2.3 Matriz de la calidad

Después de obtener la información del mercado y del cliente se procede a clasificarla y cuantificarla para establecer las especificaciones de diseño mediante el empleo de la matriz de calidad. Para aplicar la matriz de la calidad en el presente trabajo se proponen tres etapas: planeación, ejecución e implementación. Los cuales a continuación se describen.

2.3.1 Planeación

Agrupar los requerimientos del cliente: se presentan las necesidades, demandas, deseos, etc. obtenidas de la investigación previamente desarrollada (Tabla 2.3) enfocada al principio de sellado de microplacas, las cuales son interpretadas en términos técnicos.



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

Tabla 2.3. Se presentan los requerimientos obtenidos mediante la investigación de campo.

Información Obtenida	Extracción de Requerimientos	Requerimientos	Prio
La temperatura de la muestra debe mantenerse constante durante el proceso de sellado	Disminuir la temperatura de sellado o aumentar la velocidad de aplicación	1.- Disminuir la convección y Conducción del calor	2
	Evitar la aplicación de calor	2.- El proceso de sellado no debe emplear calor	4
Evitar la contaminación y la pérdida por evaporación de la muestra	Proporcionar un sello que evite el paso de fluido y gases	3.- Proporcionar un sello con un alto grado de hermeticidad	5
El proceso de sellado debe mantener las dimensiones de la microplaca	La deformación térmica debe ser elástica	4.- La temperatura de sellado debe mantenerse debajo del límite térmico elástico	4
	La deformación por las cargas debe ser elástica	5.- La carga aplicada para el sellado deben deformar la microplaca en un rango elástico.	2
El sello debe soportar altas temperaturas	El sello debe mantenerse sin desprenderse a altas temperaturas	6.- El sello debe mantener sus propiedades a temperaturas elevadas	5
Al desprender el sello no debe dejar residuos sobre la muestra.	La película debe evitar desprender residuos sobre la muestra.	7.- Evitar la contaminación de la muestra por desprendimiento.	5
El sello debe ser fácil y rápido de aplicar.	El sistema debe ser fácil de aplicar manualmente.	9.- El sistema debe requerir poca presión para el sellado.	2
	El sistema debe requerir poca precisión para su colocación	10.- El sistema debe ser de fácil ensamble.	3
El sello debe ser fácil de desprender	Debe requerir poca fuerza para desprender la cubierta	11.- Debe tener un área pequeña de contacto	2
	La unión debe presentar poca resistencia	12.- La unión debe resistir la presión interna de los pozos sin exceso para facilitar el desprendimiento	3
El sello debe permitir un buen intercambio térmico	El espesor de la cubierta debe ser delgado	13.- El espesor de la cubierta debe ser delgado	3
	Debe ser de un material con un alto coeficiente térmico	14.- La cubierta debe emplear un material con un alto coeficiente térmico	3
El material debe soportar las condiciones del sistema	El material no se debe degradar por las reacciones químicas	15.- El material debe tener resistencia química	5
	El material debe tener buenas propiedades ópticas	16.- El material debe tener propiedades ópticas	5
	El material debe soportar temperaturas elevadas	17.- El material debe tener resistencia térmica	5
El principio de sellado debe permitir sellar de manera repetible	El principio de sellado debe sellar de manera repetible sin perder la hermeticidad del sistema	18.- El principio de sellado debe sellar de manera repetible sin perder la hermeticidad del sistema	5



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

Asignar Prioridades a los requerimientos del cliente: una vez establecidos los requerimientos del cliente, el siguiente paso es asignar prioridades a cada uno de los requerimientos del cliente, esto se logra a través de una encuesta desarrollada a los usuarios del sistema mediante la ponderación del 1 al 5 considerando al 5 como la mayor prioridad a cada uno de los requerimientos del cliente, esto se muestra en la tabla 2.3, de igual manera se pueden ir eliminando algunos requerimientos debido a que resulta redundante, como es el caso del requerimiento 2 que elimina al 1 y 4, también el requerimiento 5 y 9 se pueden unificar ya que ambos se relacionan de manera directa.

Proponer las características técnicas: se proponen las características técnicas que se relacionan con cada una de los requerimientos del cliente con el fin de generar métricas con sentido para el técnico y el cliente.




2.3.2 Ejecución

Establecer la relación entre los RC y las CT: esto se logra mediante el empleo de unos símbolos que representan el nivel de relación entre ambos parámetros (Tabla 2.4), La intensidad de la relación entre CT y RC aclara si una característica de ingeniería contribuye a satisfacer a un RC dado. A continuación se muestra la tabla de los símbolos empleados y su respectiva ponderación.

Desarrollar medidas objetivas para cada CT : cada CT debe ser medida con las unidades adecuadas y comparada con un valor objetivo al cual tiendan los esfuerzos(Tabla 2.5) estos valores son medidas ideales que deberían ofrecerse en un nuevo producto o en un producto mejorado.

Evaluación de las CT : selección de las características técnicas más importantes: Después de evaluar las características técnicas del sistema se plantean las especificaciones de diseño.

Tabla 2.4. Símbolos utilizados en la matriz de la calidad.

Grado de Correlación	Símbolo	Valor numérico
Muy correlacionados		9
Correlacionados		3
Poco correlacionados		1
Sin correlación	Blanco	0



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

Tabla 2.5. En esta tabla se muestra la matriz de calidad aplicada al producto

	Prioridad	Área de contacto	Fuerza para aplicar el sello	% Desprendimiento	Resistencia del sello	Duración del proceso	Temperatura que debe soportar el sello	Temperatura para aplicar el sello	Espesor	Hermeticidad	Transmisión de luz	No. de aplicaciones sin perder su hermeticidad.	Resistencia química	Conducción Térmica
El sellado debe ser repetible sin perder su hermeticidad	2											⊙		
El proceso de sellado no debe emplear calor	4							⊙						
El sello debe proporcionar un sello con un alto grado de hermeticidad	5									⊙				
El sello debe mantener sus propiedades a temperaturas elevadas	5						⊙							
Evitar la contaminación de la muestra por desprendimiento	5			⊙										
El proceso debe requerir poca presión para el sellado sin llegar a deformar la microplaca	2	⊙	⊙											
Debe ser de fácil ensamble	3					⊙								
El sello debe tener un área pequeña de contacto	2	⊙												
La unión debe resistir la presión interna de los pozos sin exceso para facilitar el desprendimiento	3				⊙									
El espesor de la cubierta debe ser delgado	3								⊙					
La cubierta debe emplear un material con un alto coeficiente térmico	2													⊙
El material debe tener resistencia química	5												⊙	
El material debe tener propiedades ópticas	5										⊙			
El material debe tener resistencia térmica	5						⊙							
Valor objetivo de las CT		9.12 a .28 mm ²	20 N	0 %	10 OP a	5s	-80 °C a 150 °C	0°C	25 μm	-.5 %	24 0-9 00 nm	3	So lve nte s	2.2 W/ K m

2.3.3 Implementación

Finalmente se obtuvieron las siguientes especificaciones de diseño para las máquinas selladoras de microplacas desde su principio de trabajo. Recordando que las especificaciones deben decir lo que el producto debe hacer, no lo que tiene que ser, las especificaciones deben ser expresadas en términos cuantitativos en lo más posible y en su caso se deben dar límites dentro del desempeño aceptado (Dieter, 1991).



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

Geometría

- El espesor de la cubierta debe ser de 25 μ m.
- Las dimensiones de la superficie a sellar como lo propone la norma ANSI son las siguientes: largo: 127.76 mm \pm 0.25 mm (5.0299 inches \pm 0.0098 inches) ancho: 85.48 mm \pm 0.25 mm (3.3654 inches \pm 0.0098 inches)

Material

- El material debe permitir la transmisión elevada de luz de hasta 900nm.
- El material debe tener fluorescencia baja de 240nm-700nm.
- El material debe presentar resistencia química a la degradación de los solventes comúnmente usados en bioquímica como DMSO, alcohol, aldehídos y éteres. Como lo propone la norma NOM.
- El material debe permanecer estable de -40°C a 150°C.
- El material debe tener un coeficiente de conducción térmica de 22W/Km

Función

- El sello debe evitar el paso de fluidos y gases por lo cual se requiere un alto nivel de hermeticidad para evitar la pérdida por evaporación hasta un 0.5% de la muestra.
- El sello debe permanecer hermético de - 40°C a 150°C.
- El sello debe soportar 100Pa de presión interna

Proceso

- El proceso de sellado no debe emplear calor.
- El sistema debe requerir menos de 20N de fuerza para el sellado.
- El área de unión puede ser entre 9.12 mm² a 0.28 mm² para placas de 96 a 3456 pozos.
- El principio de sellado debe permitir sellar el sistema al menos 3 veces sin perder su hermeticidad.
- El tiempo de sellado debe ser menor a 5 segundos.
- El principio de sellado no debe desprender partículas al ser retirado.

Tendencias

- Dinamización incrementando la flexibilidad mediante el decremento del espesor de la cubierta a un nivel de membrana o un cambio de estado de la materia con un gel.
- Reducción de la complejidad del sistema mediante el empleo de dos sustancias y un campo los cuales son necesarios para desempeñar su función útil.
- Materiales inteligentes mediante los cuales se permita incrementar sus propiedades ópticas, resistencia química y térmica.



2. Determinación de las Especificaciones de Diseño

- Punto de diseño y el decremento del volumen de la muestra, el sistema requerirá mayor fiabilidad y repetitividad en el sistema de sellado.
- Se requiere de un sistema de sujeción que permita ser removido y colocado las veces que sea necesario, como las tapas.

Normas de la Norma Oficial Mexicana (NOM) relacionadas con el sistema

- NOM-024-SCT2/2002, Especificaciones para la construcción y reconstrucción, así como los métodos de prueba de los envases y embalajes de las sustancias, materiales y residuos peligrosos.
- NOM-051-SCT2/2003, Especificaciones especiales y adicionales para los envases y embalajes de las sustancias peligrosas de la división 6.2 agentes infecciosos.

Estándares del Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI por sus siglas en inglés) relacionadas con las microplacas

- *ANSI/SBS 1-2004 Microplates - Footprint Dimensions*
- *ANSI/SBS 2-2004 Microplates - Height Dimensions*
- *ANSI/SBS 3-2004 Microplates - Bottom Outside Flange Dimensions*
- *ANSI/SBS 4-2004 Microplates - Bottom Outside Flange Dimensions*

Hay que recordar que en esta era, la ausencia de especificaciones resulta en un diseño que sin duda fracasará en el mercado, las especificaciones pobres dirigirán a un diseño pobre y las especificaciones buenas no necesariamente resultaran en el mejor diseño, pero al menos el objetivo será logrado (Pugh, 1990).



3. ANALISIS DE LOS SISTEMAS DE SELLADO ACTUALES

En este capítulo se analizan a los sistemas de sellado mediante el estudio de sus patrones de evolución para plantear una dirección en el proceso de diseño, posteriormente se analiza la interacción de los sistemas mediante el empleo del diagrama sustancia-campo, así mismo, se identifican las contradicciones de los sistemas, para poder generar estrategias para el rediseño del sistema.

3.1 Los Patrones de Evolución

Los sistemas técnicos no evolucionan de manera aleatoria, si no que siguen ciertos patrones. TRIZ identifica alrededor de 35 patrones de evolución que permiten obtener un diagnóstico certero para poder predecir el siguiente paso en el rediseño de un sistema tecnológico. De esta manera, se puede plantear una dirección para el proceso de diseño. Por lo tanto, después de conocer las especificaciones del producto se procede a estudiar los patrones que han seguido los sistemas de sellado.

3.1.1 Planeación

Determinar el supersistema del sistema tecnológico: para predecir la tendencia evolutiva de manera fiable, primero se tiene que entender la situación del supersistema, por lo que el primer paso es identificarlo; para el caso de estudio, el supersistema lo forma todo un proceso (e.g. PCR, cultivo celular, cristalización de proteínas, entre otros). Debido a los diversos ambientes a los que son sometidas las muestras y su alto nivel de contaminación se enfocó en la Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR por sus siglas en inglés) ya que los sistemas de sellado presentan problemas inherentes.

La PCR es una técnica de biología molecular cuyo objetivo es obtener un gran número de copias de un fragmento de ADN particular a partir de una única copia de ese fragmento original o molde. De esta manera, se obtiene una amplificación de un fragmento del ADN, la cual se utiliza para varias aplicaciones entre ellas se incluye la clonación de ADN para la secuenciación, la filogenia basada en ADN, la identificación de huellas genéticas (usada en técnicas forenses y test de paternidad) y la detección de enfermedades infecciosas. En la Tabla 3.1 se describe el proceso para la amplificación del ADN.

Cabe mencionar que antes de este proceso se requiere de la extracción del ADN a partir de la sangre, esto incluye un proceso de extracción y purificación. También después de aislar el producto, éste es utilizado para otro proceso como la secuenciación del ADN, identificación de huellas genéticas, entre otros.



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

Tabla 3.1. Se describe el proceso para la reacción en cadena de la polimerasa que se considera como el supersistema del caso de estudio.



Etapas	Temp.(°C)	Descripción
Inicialización	94-96	Solo para ADN polimerasa que requieren activación por calor en un tiempo de 1-9 min.
Desnaturalización	94-95	Separación de las dos hebras del ADN.
Alineamiento	50-65	Unión del cebador a su secuencia complementaria en el ADN molde en un tiempo de 20-40 s.
Extensión	75-80	Actúa la ADN polimerasa, tomando el ADN molde para sintetizar la cadena complementaria y partiendo del cebador como soporte inicial necesario para la síntesis de nuevo ADN.
Elongación	70-74	Se asegura que cualquier ADN de cadena simple restante sea totalmente ampliado en un tiempo de 5-15 min.
Conservación	4-15	Para conservar la reacción a corto plazo.

3.1.2 Ejecución

Recolectar información de los antecesores del supersistema y sistema tecnológico: esta información se enfoca en la estructura, funcionalidad y principio de funcionamiento de los sistemas. A continuación se describe de manera breve el desarrollo del supersistema y sistema en el tiempo, no obstante, se recomienda revisar el capítulo de antecedentes para una mayor comprensión.

a) *Supersistema (PCR)*

Fue descubierta en 1983 por Kary Mullis, en su época fue laboriosa, insuficiente y larga debido a que requerían de grandes cantidades de ADN E. coli polimerasa para el estudio, ya que no soportaba temperaturas elevadas. En 1985 se desarrolló la primera máquina termocicladora para facilitar el proceso de agregar encimas frescas para cada tubo de ensayo después del proceso de calentamiento y enfriamiento haciendo más práctico y corto el proceso. En 1986 se descubrió la Taq polimerasa la cual eliminó los grandes inconvenientes del método de la PCR. Este ADN polimerasa es estable a altas temperaturas, eliminando la necesidad de añadir a la reacción nueva polimerasa tras cada ciclo.

La taq polimerasa creó la necesidad de una máquina termocicladora más rápida. En 1991 se desarrolló la PCR en tiempo real usando una polimerasa termo-estable (rTrh) facilitando las pruebas de diagnóstico para RNA virus y disminuyendo los problemas de



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

contaminación presentes en el PCR tradicional. De 1992 a 1994 se desarrollaron sistemas de diagnóstico de diversas enfermedades como el SIDA, clamidia y hepatitis C; de ahí en adelante los sistemas se fueron automatizando e incorporando nuevas funciones (Hongbao, 2005). Como se mencionó anteriormente, la PCR en sus inicios presentó ciertos inconvenientes, pero después de superarlos se descubrieron nuevas aplicaciones proporcionando grandes avances a la biología molecular. Como lo menciona Stephen Scharf un científico de Cetus “lo verdaderamente sorprendente acerca de la PCR es precisamente que no fue diseñada para resolver un problema; una vez que existió, comenzaron a emerger problemas para los cuales podrá ser aplicada” (Bartlett & Stirling, 2003)

b) Sistema de Sellado

Los sistemas de sellado fueron evolucionando de manera paralela al supersistema, en sus inicios se emplearon tubos de ensayo con tapas de corcho o roscadas para evitar la contaminación y evaporación de la muestra, así como también, que permitieran ser tapados y destapados con facilidad para incorporarles la polimerasa. Con el surgimiento de la Taq polimerasa el proceso se hizo más eficiente, por lo que se requirieron de recipientes más pequeños como el tubo capilar, el cual fue sustituido por los tubos de microcentrifugado (Eppendorf) que es fabricado de polipropileno, el cual es sellado en el contorno superior del tubo mediante el uso de una tapa del mismo material, No obstante, surgieron otros métodos para el sellado de estos contenedores como el método de contacto, el cual consiste en aplicar en la superficie de la muestra un pequeño volumen de aceite, debido a que el aceite y el agua no se mezclan, es menos denso y no es volátil. De esta manera, el contacto directo con la muestra elimina o reduce la fase de vapor sobre el volumen de la reacción líquida.

El desarrollo de la PCR en tiempo real se caracteriza por ser fluorescente para poder tener un control de la amplificación durante el proceso por esta razón surgió el interés por contenedores y sistemas de sellado con baja fluorescencia y alta transmisión de luz.

Con el descubrimiento de nuevas aplicaciones de la PCR y el incremento en investigaciones genómicas, los laboratorios fueron presionados a incrementar sus resultados y fiabilidad con un menor costo, surgiendo el uso de la microplaca, la que inicialmente contaba con 6 pozos, posteriormente fueron aumentando a 24, 96 y 384 pozos, con los avances de la biología molecular se han reducido los volúmenes de los ensayos a 1 μ L surgiendo las microplacas de 1536, 3456 y 9600 pozos. Entonces surgió la necesidad de cubrir una gran cantidad de pozos de manera uniforme, fiable y económica por lo que se desarrollaron los métodos de tapas rígidas, películas para sellado térmico y películas adhesivas. De los cuales, se derivan las tapas flexibles, las flexibles autosellables y las películas con adhesivo sensible al calor.

3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

Determinar la Fuerza Motriz del Supersistema: después de analizar los antecedentes de la PCR, se plantea la fuerza motriz la cual se define como los patrones del supersistema que forzarían al sistema a evolucionar, los cuales a continuación se presentan:

1.- *De escala macro a nano escala*: este patrón se refiere al decremento en el tamaño de los sistemas tecnológicos

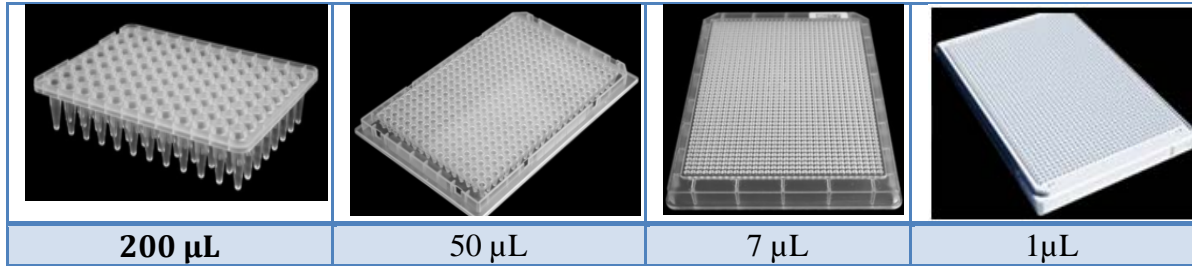


Figura 3.1. En la imagen se representa el patrón “De Macro a Nano Escala”.

Con los avances en la biología molecular el supersistema ha tendido a disminuir el volumen de la muestra hasta un micro litro, esto ha ocasionado el incremento en el número de los pozos de las microplacas (Figura 3.1) y a su vez ha dificultado el sellado del sistema.

2.- *Disminución de la intervención humana*: los sistemas técnicos tienden a disminuir la intervención de las personas para incrementar su precisión, eliminar la fatiga y el error humano.



Figura 3.2. En la parte superior se representa el patrón “Disminución de la Intervención Humana” tomado de Creax y en la parte inferior se muestra su aplicación al caso de estudio.

La técnica de la PCR inicialmente se desarrollaba de manera manual, no obstante, con el tiempo se han ido desarrollando sistemas que faciliten el proceso; actualmente existen sistemas automáticos de diagnóstico como el *COBAS AMPLICOR analyzer* (Figura 3.2).

3.- *Reducción de la complejidad del sistema*: este patrón se refiere a la evolución de los productos respecto al decremento en el número de partes que lo integran manteniendo la ejecución de su función principal.

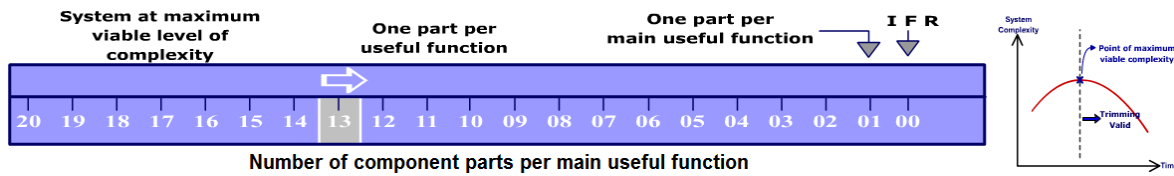


Figura 3.3. Representación del patrón “Reducción de la Complejidad del sistema” tomado de Creax.

Una vez que sea mejorada la técnica de la PCR los sistemas de diagnóstico tienden a reducir su complejidad, es decir, están reduciendo el número de elementos pero desempeñando las mismas funciones (Figura 3.3).

3.1.3 Implementación

Identificar el patrón de evolución del sistema técnico y el siguiente paso en su evolución: para identificar los patrones hay que someter la información obtenida del sistema a los patrones de evolución que se han determinado, y de esta manera resaltar los patrones que han seguido. Con esta información y con la fuerza motriz del supersistema se puede plantear el siguiente paso en su evolución.

1.- *Dinamización*: este patrón identifica la manera en que los productos se vuelven más dinámicos, es decir, que al inicio un producto es rígido y poco a poco va volviéndose más flexible.

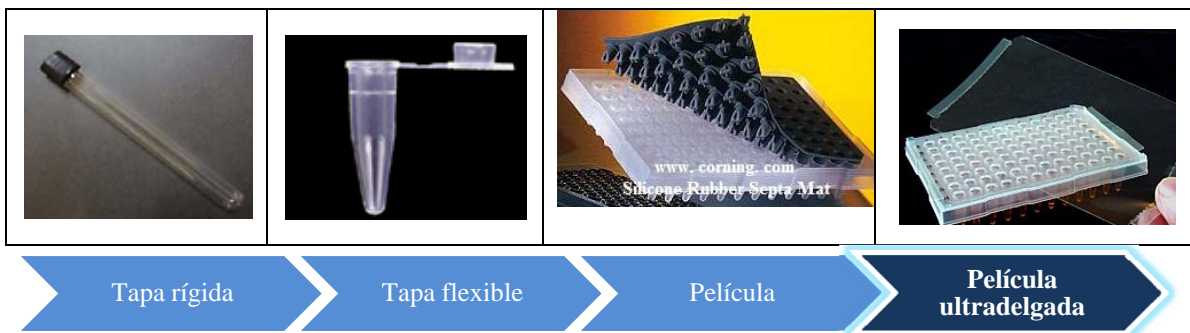


Figura 3.4. En la parte superior se representa el patrón “Dinamización” y en la parte inferior se muestra su aplicación al caso de estudio resaltando el siguiente paso en su evolución.

El sistema de sellado no ha sido la excepción y ha seguido este patrón, inicialmente se empleaba un tapón o tapas roscadas completamente rígidas para sellar los tubos de ensayo, posteriormente surgieron las tapas flexibles de los tubos eppenfort, actualmente existen tapas rígidas, flexibles, películas adhesivas flexibles de polietileno y polipropileno para sellar las microplacas. Por lo que el siguiente paso en su evolución sugiere el empleo de películas ultra delgadas o incluso el cambio de estado a un gel (Figura 3.4).



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

2.- *Materiales Inteligentes*: es el patrón que siguen los productos al ir adoptando materiales que son capaces de ajustarse a las necesidades específicas del usuario.



Figura 3.5. En la parte superior se representa el patrón “Materiales Inteligentes” mostrando una película, tapa autosellable y película con adhesivos sensibles a la presión y en la parte inferior se muestra su aplicación a las tapas autosellables y se muestra el siguiente paso en su evolución.

El patrón de evolución, se aplica en la tapa buscando la adaptabilidad del material de la tapa evitando la necesidad de retirarla para acceder a la muestra, por lo que el siguiente paso sería la *película autosellable* (Figura 3.5).

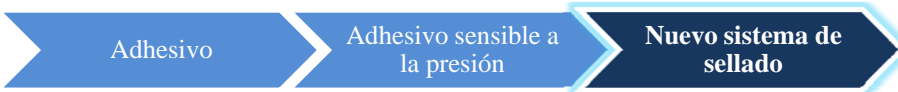


Figura 3.6 Se muestra la aplicación del patrón “Materiales Inteligentes” al sellado con adhesivo sensible a la presión.

El adhesivo sensible a la presión, es un material inteligente adoptado para sellar las microplacas para eliminar la contaminación de la muestra y facilitar su aplicación, sin embargo, con los problemas inherentes en el sistema, este patrón sugiere *un nuevo sistema de adhesión* (Figura 3.6).

3.- *Punto de Diseño*: este patrón describe la evolución de la optimización de un diseño desde un punto de operación hasta múltiples puntos para lograr un óptimo desempeño del producto.

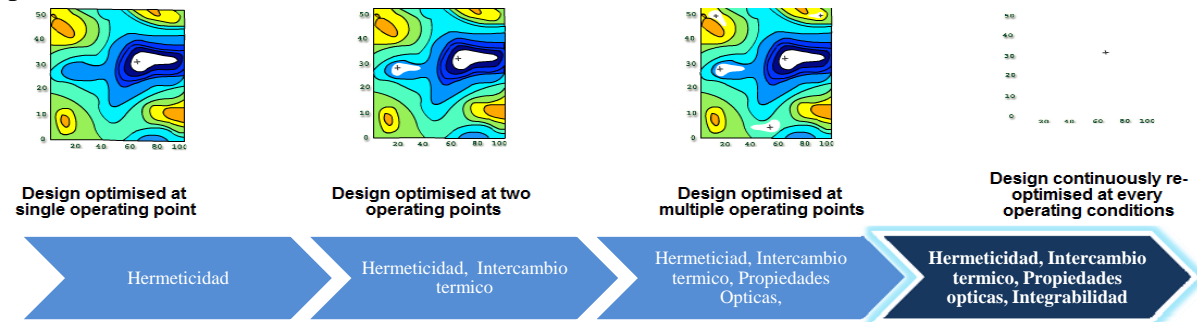


Figura 3.7. En la parte superior se representa el patrón “Punto de Diseño” tomado de Creax y en la parte inferior se muestra su aplicación al caso de estudio resaltando el siguiente paso en su evolución.



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

El patrón punto de diseño para el caso de los sistemas de sellado, han ido evolucionando desde un punto de operación, la hermeticidad, hasta enfocarse en las propiedades térmicas y ópticas de los materiales para obtener resultados óptimos en los análisis desarrollados a la muestra. Con el decremento de la intervención humana (FM) el siguiente paso en su evolución es la *integrabilidad a sistemas automatizados* (Figura 3.7).

4.- *Interés del Cliente*: este patrón describe cómo evoluciona el interés del cliente sobre los productos

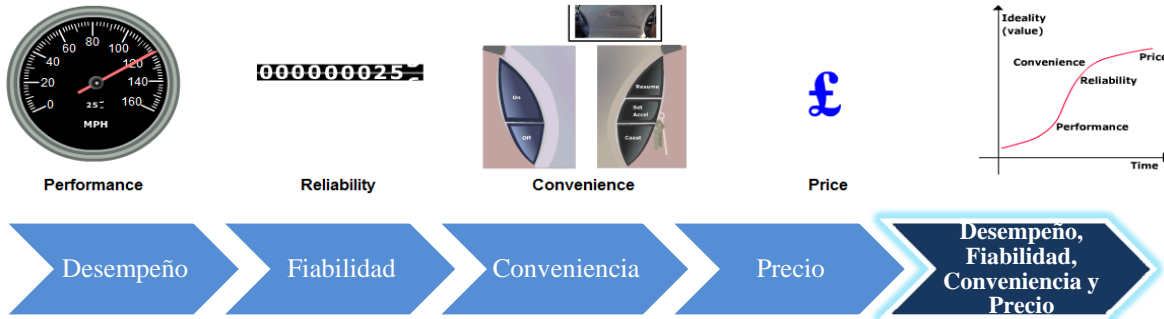


Figura 3.8. En la parte superior se representa el patrón “Interés del Cliente” tomado de Creax y en la parte inferior se muestra su aplicación al caso de estudio resaltando el siguiente paso en su evolución.

Inicialmente el cliente se interesaba porque el producto desempeñara la función principal, sin embargo, con el tiempo sus intereses fueron cambiando exigiendo resultados más fiables, comenzando así a utilizar los tubos eppendorf los cuales son más pequeños y cuentan con una tapa flexible proporcionando un mejor sello e intercambio térmico.

Posteriormente surgió el interés de reducir los costos del ensayo lo cual se logró con las microplacas, las cuales desarrollan varios ensayos al mismo tiempo con una sola tapa para todos los pozos, sin embargo, se presentó el inconveniente de la contaminación y la pérdida de muestra por evaporación. Debido a esto surgieron las películas para sellado térmico y sellado con adhesivo, las cuales resultan más económicas, fiables, y convenientes. Por lo que se considera que este patrón se mantendrá, convirtiéndose así en un reto a cumplir con el cliente, con la reducción en el volumen la muestra (FM) por ende el incremento en el número de pozos en las microplacas (Figura 3.8).

5.- *Incremento de la Transparencia*: identifica como algunos productos han evolucionado aumentando su transparencia con fines estéticos, funcionales, entre otros.

Inicialmente los elementos empleados para cubrir las microplacas eran opacos, posteriormente con el empleo de los plásticos pasaron a ser parcialmente transparentes, sin embargo, esta característica tenía fines funcionales como observar la evaporación o condensación de la muestra, entonces surgió la PCR en tiempo real la cual le dio un sentido benéfico a la transparencia del sistema porque permite monitorear el proceso de



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

amplificación. El siguiente paso en la evolución de este patrón es *el empleo de elementos activos que permitan monitorear el proceso de manera más precisa* (Figura 3.9).

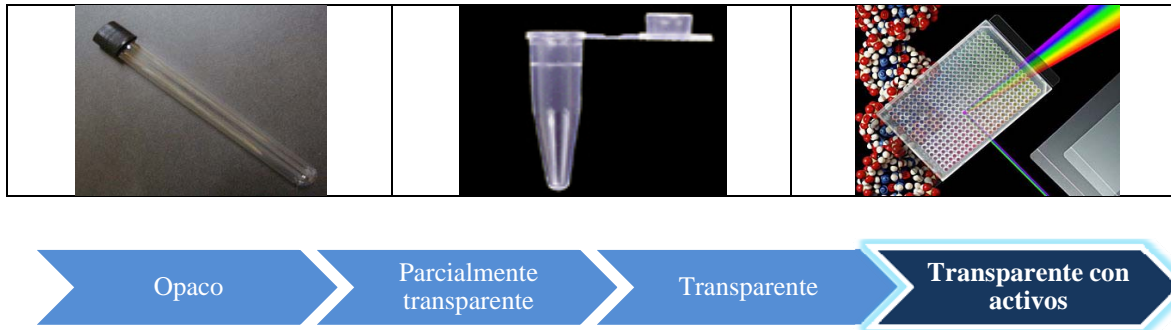


Figura 3.9. En la parte superior se muestra el patrón “Incremento de la Transparencia” y en la parte inferior se muestra el siguiente paso en su evolución.

6.- *Reducción de la complejidad del sistema:* este patrón se refiere a la evolución de los productos respecto al decremento en el número de partes que lo integran manteniendo la ejecución de su función principal.

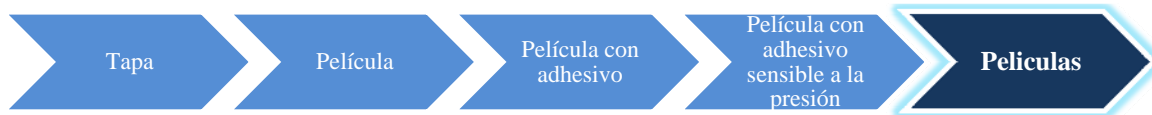


Figura 3.10 Se muestra la aplicación del patrón “Reducción de la Complejidad” al caso de estudio.

En este caso los sistemas de sellado se habían mantenido en una pieza para desempeñar su función principal, pero redujeron su complejidad para la manufactura hasta llegar a una simple película, posteriormente sufrió un pequeño incremento con el uso del adhesivo, el cual se ha incrementado hasta el adhesivo sensible a la presión que emplea múltiples capas, por lo que este patrón sugiere un decremento en su complejidad empleando una película (Figura 3.10).

Descripción de los Resultados: con base en las tendencias del sistema y a la fuerza motriz del supersistema se puede plantear de manera fiable el siguiente paso en la evolución del sistema de sellado. Para entender mejor el análisis anterior se desarrolló una gráfica de radar (Figura 3.11) para apreciar claramente la evolución de las soluciones de sellado de microplacas. La gráfica muestra sus inicios, su etapa en 1990 con los tubos eppendorf, como está actualmente y el siguiente nivel de solución identificado a través de las tendencias de evolución.

3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

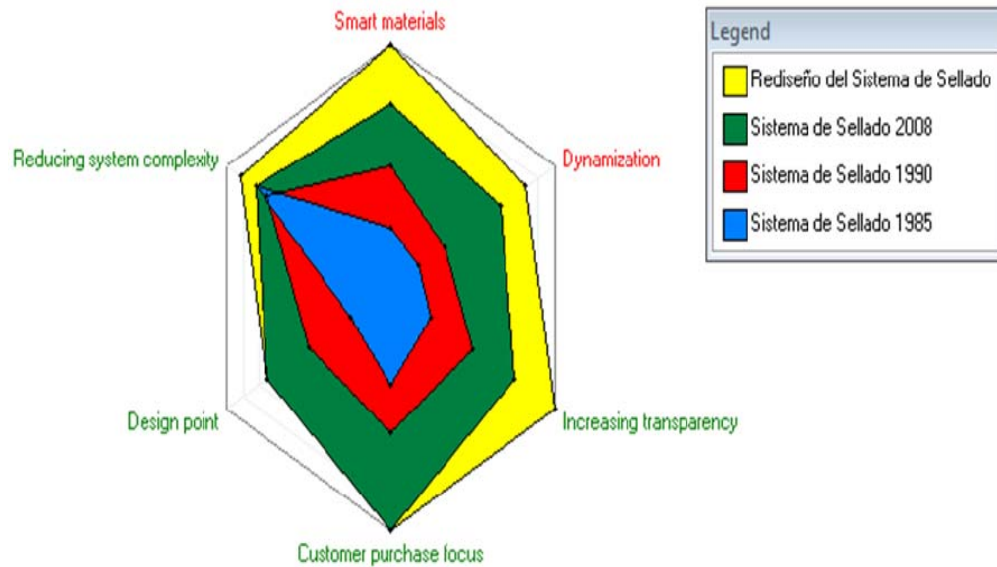


Figura 3.11 Gráfica de radar donde se muestra el siguiente paso en la evolución del sistema de sellado en color amarillo.

En este radar, la mayor evolución se indica entre más esté a la orilla de la gráfica. Por lo cual la figura central identifica la solución dada por la tapa rígida con los tubos de ensayo, la gráfica en rojo representa al tubo eppendorf, la verde representa a la película flexible y la gráfica amarilla representa el siguiente nivel en la evolución de las soluciones de sellado. Esta solución tendría las siguientes características:

Una película ultra delgada de espesor menor a 50µm (dinamización) que permita adaptarse a un gran número de pozos y facilite el intercambio térmico, la cual mediante el empleo de materiales inteligentes sea autosellable (materiales Inteligentes) y que emplee aditivos para incrementar su transparencia, mejorando la transmisión elevada de luz de 240 nm-900nm (incremento de la transparencia) lo cual ayudaría a disminuir la intervención humana (FM) mediante un monitoreo más preciso, facilitando la integración a sistemas automatizados(punto de diseño).

Con respecto al principio de sellado inicialmente se propuso un sistema basado en el cierre plástico, unido a la película y la microplaca; esto cumpliría con los requerimientos del sistema, es decir, lograr un sellado hermético, que no contamina la muestra, no deforma la microplaca, y es fácil de aplicar y retirar, sin embargo, el gran inconveniente de este sistema se basa en la tendencia de las microplacas a incrementar el número de sus pozos (FM), por lo que se dificultaría el sellado en áreas pequeñas de contacto, por esta razón se redefinió el concepto enfocándose en la nanotecnología para generar un acoplamiento entre la película y la microplaca a niveles microscópicos, con la funcionalidad del cierre plástico que solo se desprende en una dirección.

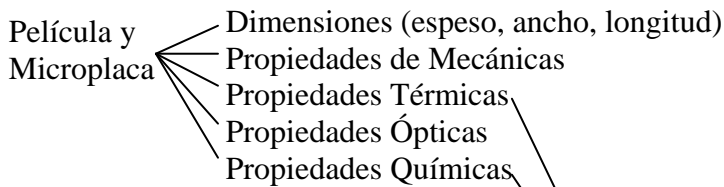
3.2 Recursos del Sistema

La información obtenida de los patrones de evolución será empleada posteriormente para generar propuestas de solución. En esta sección se analizan los elementos que componen a los sistemas de sellado, todos los sistemas técnicos se componen por recursos, el empleo de estos recursos disponibles en el sistema ayudan a mejorar su función y a reducir los costos, no obstante, algunos se encuentran implícitos en el sistema, por lo cual en ocasiones no son considerados para la solución de un problema. Por esta razón, se desarrolla un análisis de los recursos en los sistemas de sellado, para identificar recursos ocultos en los sistemas que podrían ser de utilidad para desarrollar la función de sellado.

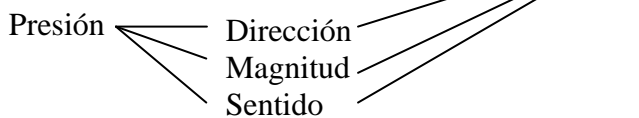
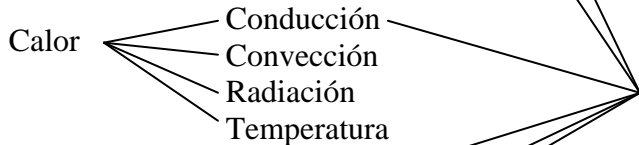
3.2.1 Recursos del Sellado Térmico

El sistema de sellado se compone de cinco recursos (Figura 3.12), los cuales a su vez contienen propiedades o recursos implícitos que muy pocos son empleados para desarrollar el efecto deseado.

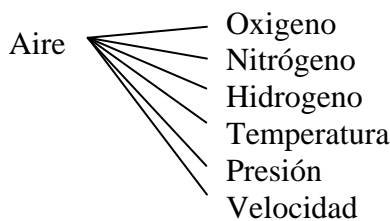
Recursos de sustancia



Recurso de Energía o Campo



Recurso del ambiente



Recursos de Tiempo



Soldadura

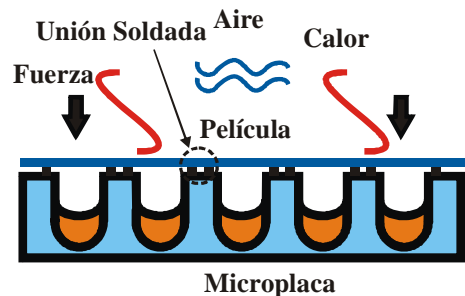


Figura 3.12 Se muestran los recursos que componen al sistema de sellado térmico.



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

Los materiales empleados para la microplaca y la película tienen que ser compatibles para poder obtener una soldadura adecuada, por esta razón se emplea el mismo material para ambos elementos, dentro de los más empleados son: poliestireno, polipropileno y polietileno.

El proceso para el sellado consiste en colocar la película sobre la microplaca, posteriormente se aplica una fuerza y calor para elevar la temperatura de la película y la microplaca, para llevar a cabo la fusión de ambos materiales, proporcionando el sello entre el borde que se encuentra en el contorno exterior de los pozos y la película. El sellado térmico depende de tres parámetros para obtener un buen sello: fuerza, temperatura y tiempo. Estos parámetros varían respecto del material empleado (Tabla 3.2).

Tabla 3.2 Se muestran los valores de los principales parámetros para el sellado de los materiales comúnmente empleados.

Material	Presión	Temperatura	Tiempo
Polietileno	25N	145°C – 165°C	3s.-5s.
Polipropileno	25N	150°C - 175°C	3s.-5s.
Polietileno	25N	150°C- 170°C	3s.-5s.

3.2.2 Recursos del Sellado con adhesivo

Este sistema se conforma por cinco recursos de los cuales el adhesivo es el que desarrolla la interacción entre los elementos del sistema (Figura 3.13). A continuación se muestran los recursos del sistema.

El proceso para el sellado con adhesivo se basa en colocar la película sobre la microplaca, posteriormente se aplica presión, proporcionando el sellado entre la película y el borde en el contorno del pozo con ayuda del adhesivo.

El adhesivo empleado para el sellado debe ser compatible con el material de la microplaca y la película, también tiene que ser biológicamente inerte para no afecta a la muestra, generalmente se emplea un adhesivo de silicón el cual es compatible con el polietileno, polipropileno y poliestireno. Los factores principales para el sellado con adhesivo son las propiedades químicas del adhesivo, el material de la película, y la fuerza aplicada para establecer los enlaces químicos que es alrededor de los 20N y el tiempo para el sellado es entre 1 y 3 segundos.

Recursos de Sustancia

Película y Microplaca

- Dimensiones (espeso, ancho, longitud)
- Propiedades de Mecánicas
- Propiedades Térmicas
- Propiedades Ópticas
- Propiedades Químicas

Adhesivo

- Dimensiones (espeso, ancho, longitud)
- Propiedades de Mecánicas
- Propiedades Térmicas
- Propiedades Ópticas
- Propiedades Químicas

Recurso de Energía o Campo

Fuerza

- Dirección
- Magnitud
- Sentido

Recurso del Ambiente

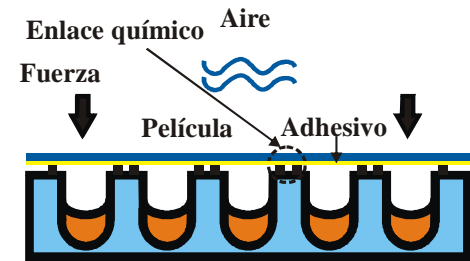
Aire

- Oxígeno
- Nitrógeno
- Hidrógeno
- Temperatura
- Presión
- Velocidad

Recursos de Tiempo

Tiempo

- Sellado
- Posicionamiento
- Muerto



Microplaca
Figura 3.13. Se muestran los recursos que componen al sistema de sellado con adhesivo.

Enlace Químico y Enlace Van der Waals

3.2.3 Recursos del Sellado con tapas

El sellado con tapa cuenta con 4 recursos (Figura 3.14), esto se debe al uso de los recursos inherentes en el material empleado, eliminando la necesidad de recursos externos como calor o adhesivo. A continuación se muestran los recursos que componen a este sistema.

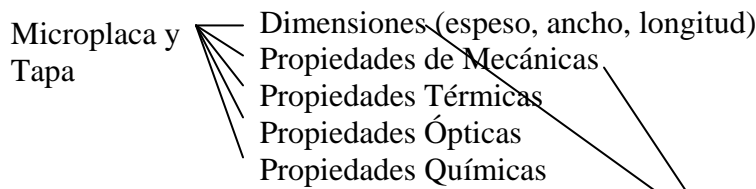
Este sistema generalmente emplea el mismo material para la tapa y la microplaca aunque pueden emplear diferentes ya que no están restringidos por la compatibilidad de los materiales. Los materiales comúnmente empleados para las tapas rígidas y la microplaca son polietileno, poliestireno o polipropileno y para la tapa flexible se emplea silicón. Actualmente se está empleando las olefinas para tapas rígidas por sus propiedades ópticas ya que no son compatibles con adhesivos.

3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

El proceso para el sellado consiste en colocar la tapa sobre la microplaca y aplicar una fuerza sobre ella, proporcionando un sello dentro de los pozos, entre la tapa y la pared interna del pozo.

Los factores más importantes para el sellado con tapa son las propiedades mecánicas (elásticas) del material, sus dimensiones (tolerancias) para el acoplamiento y la fuerza para acoplar los elementos que es alrededor de 30N y el tiempo para el sellado de 2 a 3 segundos.

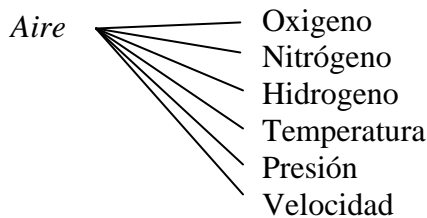
Recurso de Sustancia



Recurso de Energía o Campo



Recurso del Ambiente



Recursos de Tiempo



Acoplamiento Mecánico

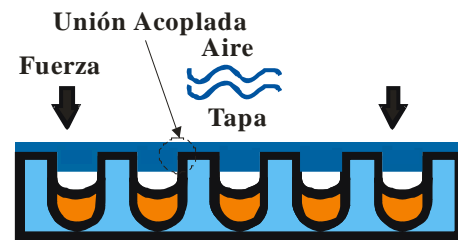


Figura 3.14. Imagen del sistema de sellado con tapa donde se muestran los recursos que los componen.

3.3 Análisis Sustancia-Campo

Después de analizar los recursos que componen a los sistemas de sellado se procede a analizar su interacción mediante el empleo del análisis sustancia-campo el cual a continuación se describe.

3.3.1 Construcción del modelo del sistema

Identificar los elementos: el primer paso es identificar los elementos que conforman el diagrama Sustancia-campo de los sistemas de sellado. Esto consiste en identificar los recursos principales que generan la interacción en el sistema para obtener el efecto deseado.

3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

Los cuales se clasifican en dos grupos: sustancias y campos. En la Figura 3.15 se muestran los elementos que conforman a los sistemas de sellado.

Sellado con Tapa	Sellado Térmico	Sellado con Adhesivo
➤ S ₁ : Microplaca (producto)	➤ S ₁ : Microplaca (producto)	➤ S ₁ : Microplaca (producto)
➤ S ₂ : Tapa (Herramienta)	➤ S ₂ : Película (Herramienta)	➤ S ₂ : Película (Herramienta)
➤ C _m : Campo Mecánico	➤ C _q : Campo Químico	➤ S ₃ : Adhesivo
	➤ C _f : Campo de Fuerza	➤ C _q : Campo Químico
➤ C _f : Campo de Fuerza	➤ C _f : Campo de Fuerza	➤ C _f : Campo de Fuerza
	➤ C _t : Campo Térmico	

Figura 3.15. Se muestran los elementos que conforman a los sistemas de sellado en términos de sustancias y campos.

Construcción de los modelos: se colocan las sustancias en la parte inferior y los campos en la parte superior, las flechas representan el efecto que el campo provoca al sistema (Figura 3.16).

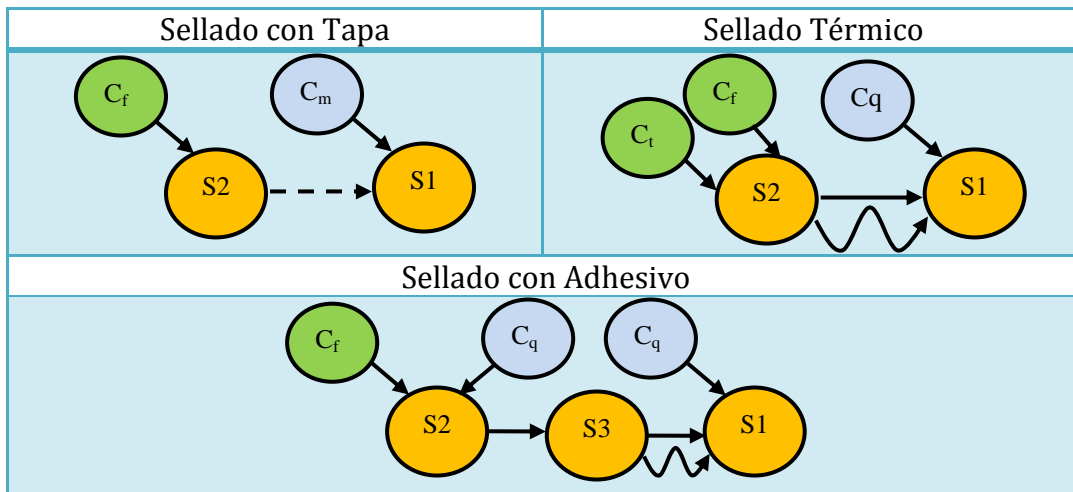


Figura 3.16. Imagen de los sistemas de sellado representados en un diagrama sustancia-campo.

3.3.2 Evaluación del Diagrama Sustancia-Campo

Inspeccionar: se revisa que el diagrama este completo. Los sistemas constan de una sustancia S₁ (producto) la microplaca que es el contenedor de las muestras, y una sustancia S₂ (herramienta) la cual es empleada para cubrir los pozos y sellar el sistema. La interacción entre ambas sustancias se presenta mediante un campo químico o mecánico. En el caso del sellado con adhesivo se incorpora una sustancia adicional S₃.



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

Sin embargo, los tres sistemas se consideran completos ya que al menos se requieren de dos sustancias y un campo para obtener un efecto deseado.

Utilidad y efectividad: al analizar la interacción entre las sustancias se clasificaron dentro de la siguiente categoría:

- Sellado con Tapa: se considera un *sistema completo inefectivo* debido a que no ofrece un sellado completamente hermético.
- Sellado Térmico: se considera un *sistema completo dañino* debido a la deformación provocada por el campo térmico.
- Sellado con Adhesivo: se considera un *sistema completo dañino* debido a la contaminación de la muestra ocasionada por el adhesivo.

Una vez que sea identificado el sistema se procede a la búsqueda de la solución estándar que se adecue al problema, sin embargo, al realizar este paso se identificó una transición entre los sistemas y otras posibles soluciones. Para este análisis se apoyo el análisis de contradicciones.

3.3.3 Transición de los Sistemas de Sellado

Aplicación de las 76 soluciones estándar y el análisis de contradicciones: al analizar los sistemas de sellado se identificó una relación de rediseño basado en las 76 soluciones estándar y la solución de las contradicciones en el sistema. A continuación se describe la transición identificada en los sistemas:

Transición, de sellado con tapa a sellado térmico: el sellado con tapa presenta el inconveniente de un sellado insuficiente con el uso de un campo mecánico, al analizar el sistema se encontraron las siguientes soluciones estándar (Apéndice A):

- 1.1.2 *el sistema no puede ser cambiado, pero se puede incorporar un agregado interno en cualquiera de los dos elementos*
- 1.1.4 *el sistema no puede ser cambiado, pero se puede agregar un recurso proveniente del ambiente interna o externamente*
- 2.2.1 *reemplazar o agregar al campo poco controlado un campo que sea más fácil de controlar.*
- 2.2.2 *cambiar S2 de una macro a un micro nivel*
- 2.2.4 *hacer el material más flexible o adaptable*

De las cuales se optó por la solución estándar 2.2.1 empleando un campo químico basado en la fusión de ambos materiales acompañado de un cambio en la sustancia S2 siguiendo la tendencia de dinamismo, obteniendo así el sellado térmico empleando una película flexible, el cual cumple con la función deseada (un sistema hermético), sin



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

embargo, surgieron nuevos inconvenientes como la deformación de la microplaca y daños a las muestras sensibles al calor a causa del campo térmico, por lo cual posteriormente se emplearan otras soluciones estándar para generar nuevas propuestas de solución. En base al sellado con tapa se generó la siguiente contradicción técnica.

Contradicción 1: se emplea un campo mecánico entre la tapa y la película para no generar efectos dañinos al sistema (atributo deseable) pero el campo no proporciona un sello con un alto nivel de hermeticidad (atributo indeseable).

Al emplear la matriz de contradicciones (Apéndice B), se considero como efecto deseado la estabilidad de la muestra, porque no es afectada por el material de la tapa ni por el proceso de sellado, la característica empeorada es la pérdida de sustancia. De lo anterior se obtienen los siguientes principios (Apéndice C):

2. Extracción: separar o quitar la parte que genera el problema de contradicción.
14. Esfericidad: con las siguientes alternativas.
 - a. Remplazar partes lineales con curvas o esferas
 - b. Uso de rodillos o espirales
 - c. Reemplazar un movimiento lineal por otro rotatorio
30. Membranas flexibles o películas delgadas: con las siguientes alternativas
 - a. Separación de varios objetos mediante membranas flexibles
 - b. Aislar una parte de un objeto del ambiente que lo rodea mediante una membrana o película flexible
40. Materiales compuestos: uso de los nuevos materiales con características muy especiales

Al analizar los principios obtenidos de las contradicciones podemos notar que el sellado térmico se basó en el uso de una membrana flexible o películas delgadas, principio 30. Posteriormente se empleara el principio 40 para generar una propuesta de solución.

Transición, de sellado térmico a sellado con adhesivo: el sellado térmico al requerir un campo térmico externo para lograr la interacción química entre los materiales ocasiona que la microplaca se deforme generando un efecto dañino como se muestra en el diagrama (Figura 3.16), ocasionando una contradicción física:

Contradicción 2: se requiere del campo térmico para generar la interacción química entre la película y la microplaca (atributo deseable), pero al mismo tiempo el campo térmico deforma la microplaca y afecta a las muestras sensibles al calor (atributo indeseado).



3. Análisis de los sistemas de sellado Actuales

Las contradicciones físicas se pueden resolver con las siguientes condiciones:

1. Separación en el espacio.
2. Separación en el tiempo.
3. Separación entre las partes y el todo.
4. Separación de acuerdo con una condición.

De las cuales en el capítulo siguiente se emplea la *separación en el tiempo* para resolver la contradicción, y de esta manera se obtiene una propuesta de solución, sin embargo, la transición al sellado con adhesivo se logró eliminando la contradicción, empleando la solución estándar 1.2.1 (Apéndice A) *efectos útiles y nocivos existen en el diseño actual, no es necesario que S1 y S2 estén en contacto directo, quitar el efecto nocivo introduciendo una sustancia S3*. De esta manera, se eliminó el campo térmico introduciendo una sustancia S3 (adhesivo). El sellado con adhesivo actualmente es el sistema más usado en la mayoría de los ensayos, sin embargo, para el análisis de la PCR se presento el inconveniente de la contaminación de la muestra por el adhesivo, por lo que se plantea la siguiente contradicción técnica:

Contradicción 3: se requiere eliminar los daños que afecta a la muestra y a la microplaca (efecto deseado) empleando un adhesivo, sin embargo, el adhesivo dentro de los pozos se mezcla con la muestra ocasionando perdida de información (efecto indeseado).

Al emplear la matriz de contradicciones (Apéndice B) tomando como efecto deseado la eliminación de factores dañinos y la característica empeorada que es la pérdida de información, se obtienen los siguientes principios (Apéndice C):

2. *Extracción*: Separar o quitar la parte que genere el problema de contradicción.
10. *Acción anticipada*, con dos opciones:
 - a. Llevar a cabo la acción anticipadamente.
 - b. Arreglar objetos con antelación de tal manera que entren en acción inmediatamente que sea necesario y en el lugar adecuado.
22. *Convertir algo dañino en benéfico*, con dos opciones:
 - a. Convertir dos o varios efectos dañinos en uno benéfico.
 - b. Incrementar la acción dañina hasta que cese de serlo.

Se podría decir que el rediseño del sistema se basó en el principio 10 acción anticipada y la solución estándar 1.2.1 en la que se incorporó una sustancia S4 (microcapsula) para separar las muestras del adhesivo y evitar el efecto dañino de manera anticipada, reconocido como adhesivo sensible a la presión (Figura 3.17), el cual consta de microcapsulas con adhesivo las cuales al aplicar presión son reventadas, obteniendo un sellado únicamente sobre las superficies de contacto. No obstante las microcapsulas en el interior se mezclan con la muestra, lo que ocasiona que la lectura del análisis se dificulte.

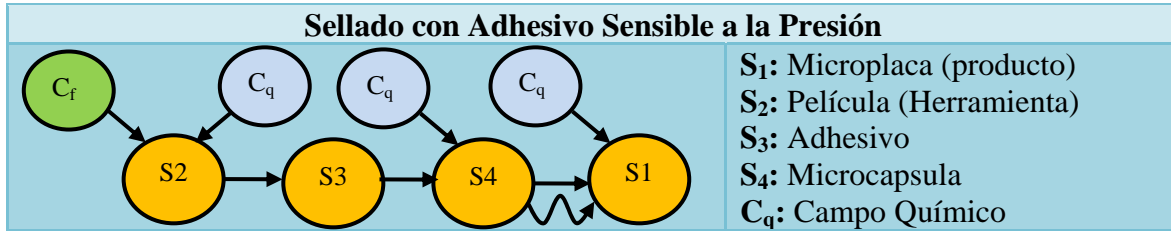


Figura 3.17. Imagen del diagrama sustancia-campo del sellado con adhesivo sensible a la presión y en el lado derecho se muestran los elementos que lo conforman.

Al analizar la transición de los sistemas de sellado de microplacas se identificó el camino que han seguido a través de su evolución, de igual manera se pudieron identificar otros caminos que se pueden tomar para el rediseño del sistema, cabe mencionar que el análisis sustancia campo muy pocas veces simplifica el sistema por lo que nos vamos a apoyar en el método de los agentes para obtener el resultado ideal y generar el concepto. Es importante resaltar cómo el rediseño de estos sistemas ha seguido la tendencia en el incremento de su complejidad al incrementar el número de elementos que lo conforman para desempeñar la misma función.

4. DESARROLLO DE LAS SOLUCIONES CONCEPTUALES

Después de analizar los sistemas de sellado de microplacas con las herramientas de la metodología de TRIZ se obtuvieron estrategias que en este capítulo serán empleadas para generar soluciones conceptuales del sistema, con ayuda del método de los agentes. Posteriormente se realizará una evaluación de los resultados para seleccionar la mejor propuesta.

4.1 Método de los Agentes

Es una herramienta de TRIZ empleada para construir el puente entre los dos puntos; el verdadero problema del sistema (VPS) y el resultado final ideal (RFI), a través de un proceso estructurado en el que se identifican los pasos críticos de la solución, completando el hueco entre la situación del problema y su objetivo. De esta manera, se direcciona el proceso de diseño hacia un resultado final ideal.

4.1.1 Planeación

Formulación del problema del sistema y el RFI: el sistema es una microplaca que consiste en una placa delgada con múltiples pozos, empleados como pequeños tubos de ensayo, permitiendo multiplicar y acelerar los diagnósticos, la cual es empleada para realizar investigación analítica y en pruebas de diagnóstico clínico.

Los problemas del sistema (Figura 4.1) se presentan después de colocar la muestra dentro de los pozos y son los siguientes:

- Contaminación por agentes externos: por la exposición al medioambiente
- Contaminación cruzada: durante los análisis las muestras pueden salirse de su pozo y mezclarse con otras muestras vecinas a causa del movimiento brusco.
- Perdida por evaporación: cuando se somete las muestras a temperaturas elevadas, estas tienden a evaporarse y salirse del pozo ocasionando pérdida de la concentración de la muestra.

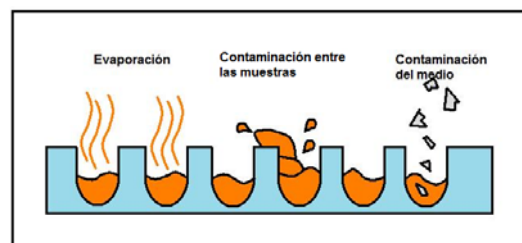


Figura 4.1. Se muestran los problemas del sistema.

El resultado final ideal es la mejor solución de un problema para las condiciones dadas, enfocándose en las necesidades del cliente o funciones necesitadas, sin tomar en cuenta los obstáculos del sistema actual.



4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

Con estos argumentos podemos construir el RFI proponiendo la función deseada, la cual es evitar la entrada y salida de alguna sustancia en determinados momentos, y esta función puede ser desempeñada por una barrera (campo o sustancia) que no afecte a la microplaca ni a la muestra y que permita monitorear el proceso del interior. El RFI se plantea de la siguiente manera:

Una barrera con buenas propiedades ópticas, que evite la salida de la muestra y la entrada de agentes contaminantes en determinados periodos y de manera repetible, que no afecte a la microplaca ni a la muestra.

Escoger los puntos intermedios entre el problema del sistema y el RFI: Para construir el puente entre estos dos puntos necesitamos en primer lugar establecer los momentos en que se va a necesitar de la barrera, la cual es necesaria después de haber llenado los pozos con la muestra hasta que se requiera alguna modificación de la misma, o hasta finalizar el ensayo, si no se ha finalizado el ensayo será necesario restablecer la barrera para continuar el estudio. Basado en esto podemos establecer los siguientes puntos dentro del proceso:

1. Colocación de la muestra dentro de los pozos, no se requiere de la barrera.
2. Colocación de la barrera sobre la superficie de cada pozo.
3. Evitar el paso de cualquier sustancia dentro y fuera del sistema.
4. Retirar la barrera sin afectar a la microplaca.

4.1.2 Ejecución

Crear una solución gráfica: la brecha entre el problema del sistema y el resultado final ideal se representa mediante una serie de 4 pasos (Figura 4.2) en donde se muestra el proceso para obtener la función deseada con ayuda de los agentes que pueden ser una sustancia o campo que poseen las propiedades y acciones necesarias, en este punto pueden ser cualquier cosa y en la imagen se representan con unos asteriscos.

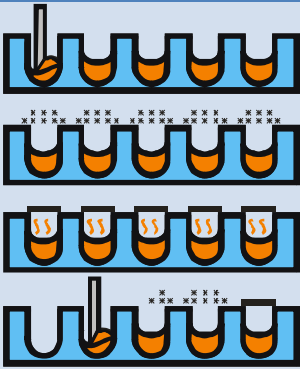
Solución Gráfica	Descripción
	<ol style="list-style-type: none">1. Se depositan las muestras dentro de los pozos descubiertos.2. Se colocan los agentes en la superficie de los pozos.3. Ya colocados en su posición se enlazan para evitar el paso de la muestra o de agentes externos.4. Al finalizar los análisis los agentes se retiran sin dañar a la muestra o a la microplaca.

Figura 4.2. Solución gráfica que representa la brecha entre VPS y RFI.



4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

Desarrollo de una estructura lógica para los agentes: esto consiste en identificar las acciones que deben desarrollar los agentes para desempeñar la función mostrada en la solución gráfica y posteriormente se deben proponer las propiedades que debe poseer para desarrollar dicha función.

Acciones: después de ilustrar el proceso de sellado se proponen las diferentes acciones que deben desempeñar los agentes para lograr el efecto deseado mediante un árbol de decisiones (Figura 4.3), en donde cada nivel representa un paso en la solución y dentro de cada nivel se pueden proponer todas las acciones que se relacionen, es semejante a una lluvia de ideas pero dirigida a un RFI y cada rama representa una posible solución.

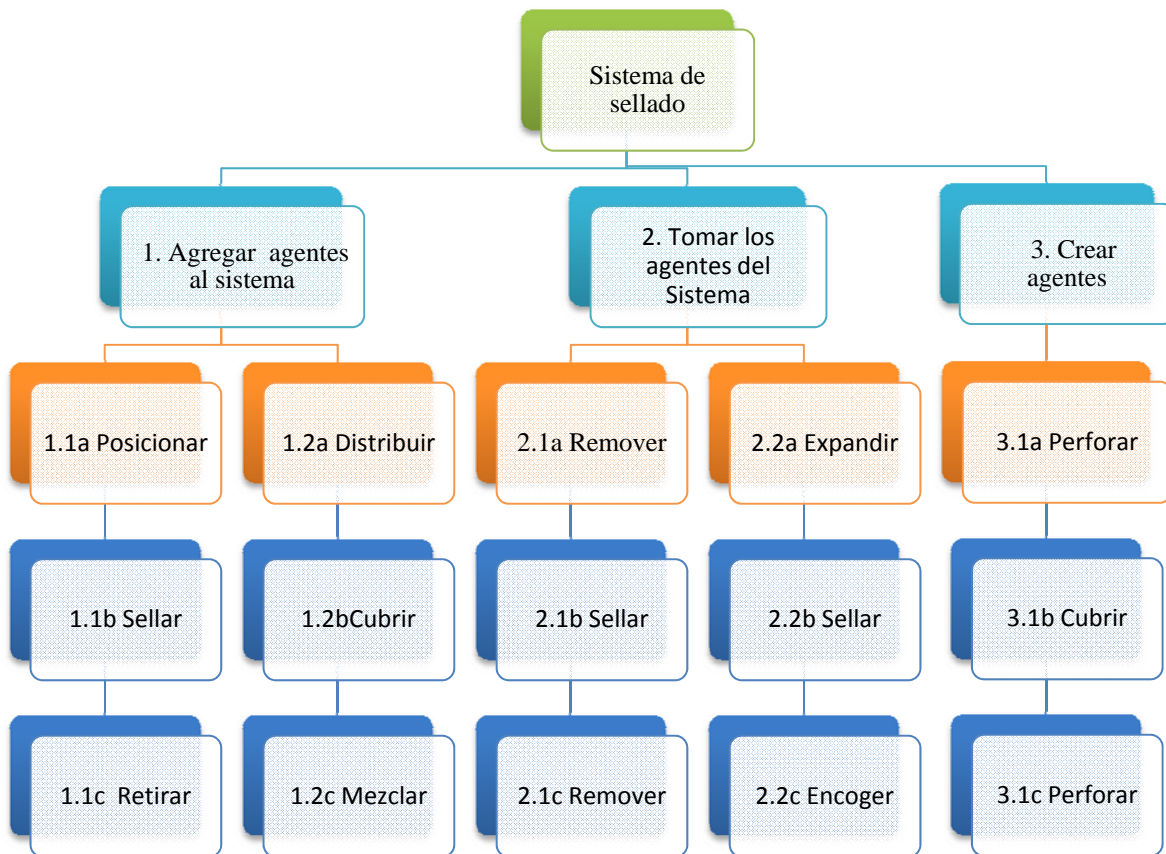


Figura 4.3 Árbol de decisiones que muestran las acciones que pueden desarrollar los agentes para obtener la función deseada.

Propiedades de los agentes: después de plantear las acciones de los agentes, se procede a establecer las propiedades que deben poseer para desempeñar dicha acción, recordando que cada ramificación representa una posible solución.



4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

1. Agregar agentes al sistema

Esta opción propone incorporar agentes externos al sistema ya sean en estado líquido, sólido o gaseoso (Tabla 4.1), los cuales deben cumplir con las especificaciones propuestas: *debe ser biológicamente inerte, con resistencia térmica y química (material)*. Esta opción se subdivide en posicionar (1.1) y distribuir (1.2).

Tabla 4.1. Se muestran las propiedades que deben tener los agentes para desarrollar dicha acción cuando se agregan al sistema

Acciones	Propiedades	Acciones	Propiedades
1.1a Posicionar	Sustancia solida Puntos de referencia Geometría	1.2a Distribuir	Sustancia Liquida Densidad elevada
1.1b Sellar	Flexibilidad Impermeable Acoplable Elástico	1.2b Cubrir	Volumen adecuado Capa delgada Impermeable Alta transmisión de luz
1.1c Retirar	Fácil desensamble Flexible	1.2c Mezclar	Miscible

2. Tomar los agentes del sistema

Tomar los agentes del sistema (Tabla 4.2) se refiere a introducirlos de manera anticipada, es decir, desde la manufactura de la microplaca o tomarlos del mismo material de la microplaca, por lo cual los agentes deben tener las siguientes características: *debe ser biológicamente inerte, con resistencia térmica y química (material)*.

Tabla 4.2 Se muestran las propiedades que deben tener los agentes para desarrollar dicha acción cuando se toman del sistema

Acciones	Propiedades	Acciones	Propiedades
2.1a Separar	Elástico delgada Sólido Flexible	2.2a Expandir	Elástico Poroso Deformable
2.1b Sellar	Elástico Autosellable Impermeable	2.2b Sellar	Impermeable
2.1c Separar	Elástico Delgado Sólido Flexible	2.2c Encoger	Deformable Elástico Poroso



3. Crear a los agentes

Esta opción propone generar a los agentes necesarios para sellar el sistema sin la necesidad de introducirlos de fuera (Tabla 4.3), es decir, reproducir, clonar o regenerar la barrera que cubre al sistema. La barrera de agentes tiene que ser biológicamente inerte, punto elevado de fusión y resistencia a solventes comunes.

Tabla 4.3 Se muestran las propiedades que deben tener los agentes para desarrollar dicha acción cuando se crean

Acciones	Propiedades
3.1a Perforar	Delgado Flexible Traspasable
3.1b Regenerar	Regenerativo Impermeable
3.1c Perfora	Delgado Flexible Traspasable

4.1.3 Implementación

Desarrollo del Concepto de Solución: con la información obtenida del método de los agentes se sustentaron las propuestas y con la información de los análisis previamente realizados se construyó los conceptos de solución.

Propuesta 1.1.1, agregar-posicionar-sellar-retirar, empleando un recurso gratis

Al analizar los recursos del sistema se identificó *un recurso gratis*, el aire o incluso el agua los cuales no son considerados en el sistema. De igual manera en el análisis sustancia-campo se obtuvo la solución estándar 1.1.4 *el sistema no puede ser cambiado, pero se puede agregar un recurso proveniente del ambiente interna o externamente*, para mejorar deficiencias del sellado con tapa, por estas razones se propone incorporar una sustancia S3 que ayude a mejorar la función del sistema.

Esto se puede lograr diseñando las tapas flexibles con un interior hueco, generando un recipiente a presión, el cual al ser sometido a temperaturas elevadas tendería a expandirse por la sustancia contenido en su interior. En la figura 4.4 se muestra el diagrama sustancia-campo y la representación gráfica.

4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

Diagrama sustancia-campo	Componentes
	<ul style="list-style-type: none"> • S1: Microplaca • S2: Tapa hueca • S3: Aire (recurso gratis) • Cm: Campo Mecánico • Cf: Campo de Fuerza
Sellado con tapa hueca	Descripción del proceso
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se introduce la muestra dentro de cada pozo. 2. Se coloca la tapa aplicando presión para acoplarla dentro de los pozos. 3. Al elevar la temperatura de la muestra el aire contenido en la tapa genera una presión interna mejorando la hermeticidad del sistema. 4. Una vez terminados los análisis se procede a retirar la tapa.

Figura 4.4. Se muestra el diagrama Sustancia-Campo y la representación grafica para el sellado de microplacas empleando un recurso gratis.

Propuesta 1.1.2, agregar-posicionar-sellar-retirar, empleando un campo Van der Waals

Esta propuesta parte del sellado con tapa, mediante el cambio del campo mecánico a un campo de fuerza Van der Waals como lo sugieren las 76 soluciones estándar 2.2.1 *reemplazar o agregar al campo poco controlado un campo que sea más fácil controlar*, y este campo se obtiene al seguir *el patrón de macro a nano escala* ya que las microplacas están incrementando el número de pozos forzando al sistema a evolucionar a un ensamble a menor escala.

Esto se puede lograr empleando el principio del Geco (Figura 4.5), investigación desarrollada por la universidad de California en Berkeley (Lee, Fearing, & Komvopoulos, Directional adhesion of gecko-inspired angled microfiber arrays, 2008), el cual proporcionaría la fuerza de sujeción y con el desarrollo de una configuración impermeable a un nivel microscópico, se obtendría mayor hermeticidad en el sistema sin problemas inherentes (Figura4.6).

Gecko adhesive system

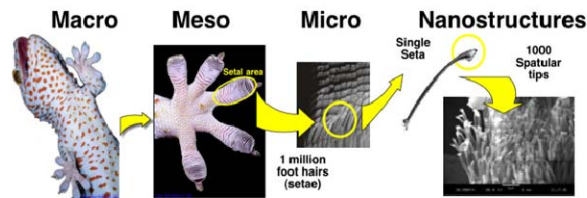


Figura 4.5 Imagen del gecko donde se muestran las setas de sus patas, imagen obtenida de <http://robotics.eecs.berkeley.edu>

Diagrama sustancia-campo	Componentes
	<ul style="list-style-type: none"> • S1: Microplaca • S2: Cinta adhesiva inspirada en el gecko • Cf: Campo de fuerza Van der Waals • Cf: Campo de fuerza
Cinta adhesiva inspirada en el gecko	Descripción del Proceso
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se llenan los pozos de la microplaca. 2. Se coloca la película de polipropileno en posición, sin aplicar presión. 3. Se aplica una precarga de manera perpendicular a la superficie para generar la adhesión. 4. Se retira la película con una fuerza normal muy pequeña.

Figura 4.6. Se muestra el diagrama Sustancia-Campo y la representación gráfica para el selado de micropláticas empleando un campo Van der Waals.

4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

Propuesta 1.2, agregar-distribuir-cubrir-mezclar, empleando un gel

Al analizar el sellado con adhesivo se identificó la contradicción 3 la cual puede ser resuelta empleando el principio 22 *convertir algo dañino en benéfico, incrementar la acción dañina hasta que deje de serlo*, lo cual se puede lograr al cambiar la sustancia S2 de un estado sólido a un gel, y por ende un cambio en el campo de interacción, siguiendo *el patrón de dinamización*.

Esta propuesta se asemeja al sistema de contacto que empleaba aceite para evitar la evaporación no obstante su principal problema se presentaba al retirar el aceite, por lo que en este caso no sería necesario retirarlo sino que podría ayudar al proceso de separación del producto como el gel de agarosa para la electroforesis proporcionando un efecto benéfico(Figura 4.7). En la figura 4.8 se presenta el diagrama sustancia campo y su representación gráfica de la propuesta.



Figura 4.7 Imagen del gel de agarosa.

Diagrama sustancia-campo	Componentes
	<ul style="list-style-type: none"> • S1: Microplaca • S2: Gel inerte • C_q: Campo químico • C_f: Campo de fuerza
Sellado con gel	Descripción del proceso
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se introduce la muestra en los pozos. 2. Se aplica el gel sellador dentro de cada pozo. 3. El gel proporciona un sellado hermético a temperaturas elevadas. 4. Se introduce la jeringa para retirar las muestras y posteriormente eliminar los residuos.

Figura 4.8 Se muestra el diagrama Sustancia-Campo y la representación grafica para el sellado de microplacas empleando un gel.

4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

Propuesta 2.1, tomar-remover-sellar-remover, empleando una película autosellable

Al analizar el sellado térmico se identificó la contradicción 2 la cual puede ser resuelta empleando la condición de *separación en el tiempo*, esto puede ser logrado incorporando una película autosellable siguiendo *el patrón de materiales inteligentes*, de esta manera se aprovecharían las ventajas del sellado térmico disminuyendo los efectos dañinos al mínimo como el daño causado a las muestras sensibles al calor, la deformación de la microplaca y se eliminaría la contaminación al retirar la película.



Figura 4.9 Imagen donde se muestra el dispositivo para la ventilación segura

Empleando películas autosellables se desarrollado el dispositivo ventilación segura para eliminar el aire contenido en las muestras (Figura 4.9). A continuación se muestra el diagrama sustancia campo y su representación gráfica (Figura 4.10).

Diagrama sustancia-campo	Componentes
	<ul style="list-style-type: none"> • S1: Microplaca • S2: Película autosellable • C_q: Campo químico • C_f: Campo de fuerza • C_t: Campo Térmico
Película autosellable	Descripción del proceso
	<ol style="list-style-type: none"> 1. La microplaca se encuentra sellada antes de introducir la muestra, por lo que se tiene que perforar la película. 2. La película perforada se autosella para el posterior análisis de la muestra. 3. Para retirar la muestra nuevamente se perfora la película. 4. Una vez retirada la muestra se desprende la película para limpiar los residuos.

Figura 4.10 Se muestra el diagrama Sustancia-Campo y la representación grafica para el sellado de microplacas empleando una película autosellable.

4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

Propuesta 2.2 tomar-expandir-sellar-encoger, empleando un material superabsorbente

A causa del patrón de macro a nano escala del supersistema ocasiona que las microplacas aumenten su número de pozos, incrementando la dificultad para el sellado con tapa por lo que se propone incorporar una sustancia S3 siguiendo el principio 40 *materiales compuestos*, que desarrolle la función de sellado y que no afecte a la muestra, sustentado en el material desarrollado por la empresa BASF llamado Luquafleece® (Steigelmann, 2008), de esta manera, la tapa disminuirá su complejidad porque solo se necesita contener a la sustancia y esta proporcionara el sello al expandirse evitando el paso de las sustancias(Figura 4.11). A continuación se presenta su diagrama sustancia-campo y su representación gráfica (Figura 4.12).



Figura 4.11. Imagen del luquafleece empleado en las suelas de los tenis

Diagrama sustancia-campo	Componentes
	<ul style="list-style-type: none"> • S1: Microplaca • S2: Tapa • S3: Película súper absorbente • Cf: Campo de fuerza • Cf: Campo de fuerza
Película absorbente	Descripción del proceso
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se introduce la muestra dentro de los pozos. 2. Se coloca una película del material absorbente y una tapa en la parte superior. 3. Se introduce un líquido con un punto de ebullición elevado, por lo que el material absorbente se expande y se vuelve impermeable. 4. Al finalizar el análisis, se retira la tapa y el material absorbente.

Figura 4.12 Se muestra el diagrama Sustancia-Campo y la representación grafica para el sellado de microplacas empleando un material superabsorbente.

4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

Propuesta 3.1, crear-perforar-cubrir-perforar, empleando una película "autocurable"

Esta propuesta se basa en una unión permanente regenerable siguiendo el patrón de materiales inteligentes. Empleando un material que puede ser separado y unido mediante enlaces de hidrógeno con solo la aplicación de presión (Figura 4.13) desarrollado por el Dr. Leibler del *Industrial Physics and Chemistry Higher Educational Institution* (ESPCI) en Paris, Francia (Cordier, François, & Leibler, 2008). Esto se lograría modificando las sustancias S1 y S2, es decir, manufacturando la película y la microplaca de goma autocurable, de esta manera, se podría unir y desprender ambos con la aplicación de una fuerza (Figura 4.14).



Figura 4.13. Imagen del material autocurable

Diagrama sustancia-campo	Componentes
	<ul style="list-style-type: none"> • S1: Microplaca regenerativa • S2: Película regenerativa • C_q: Campo químico(enlace de hidrogeno) • C_f: Campo de fuerza
Película autocurable	Descripción del proceso
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se introduce la muestra dentro de cada pozo 2. Se coloca la película regenerativa y se aplica presión para que se una con la microplaca en las áreas de contacto mediante enlaces de hidrogeno. 3. Se genera una unión impermeable evitando el paso de la muestra. 4. Se desprende la película para retirar la muestra.

Figura 4.14 Se muestra el diagrama Sustancia-Campo y la representación grafica para el sellado de microplacas empleando una película autocurable.



4.2 Evaluación Preliminar de Resultados

Para evaluar los resultados obtenidos se propone verificar que las propuestas de solución cumplan con las especificaciones del producto, obtenidas en el primer capítulo, mediante una tabla en la que se relacionan las propuestas con las especificaciones (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Se muestran los resultados de la evaluación preliminar de las propuestas obtenidas.

Soluciones Especificaciones	Soluciones					
	1.1.1	1.1.2	1.2	2.1	2.2	3.1
El material debe ser biológicamente inerte.	✓	✓	✓	✓	✓	✗
El material debe tener auto fluorescencia baja	✓	✓	✗	✓	✗	✗
El material debe permitir la transmisión elevada de luz	✓	✓	✗	✓	✗	✗
El material debe tener resistencia a la degradación química	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Sello hermético de -40 a 150°C.	✓	✓	✗	✓	✗	✓
El proceso debe requerir menos de 5.5 bares de presión para el sellado	✓	✓	✓	✓	✓	✓
La película debe requerir menos de 0.5 N para desprenderla	✓	✓	✓	✓	✓	✓
El proceso no debe deformar a la microplacas	✓	✓	✓	✗	✓	✗
El proceso no debe afectar a la muestra	✓	✓	✓	✓	✓	✓



4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

Al analizar la tabla 4.4 se concluyó lo siguiente:

La solución 2.1 eliminó la mayoría de los inconvenientes del sellado térmico, sin embargo, el proceso de sellado podría deformar a la microplaca, pero con un manejo adecuado del proceso esto se podría reducir al mínimo abriendo la posibilidad a una propuesta fiable.

La solución 3.1 es una propuesta interesante que cumple con las características funcionales, sin embargo, el material no posee las propiedades adecuadas para el caso de estudio, no obstante, en un futuro los investigadores en esta tecnología podrían aplicarla a materiales adecuados para esta aplicación generando una solución innovadora.

La solución 1.2 y 2.2 fueron descartadas a causa del empleo de sustancias líquidas que al ser expuestas a temperaturas elevadas tienden a evaporarse perdiendo su funcionalidad

La propuesta 1.1.1 y 1.1.2 cumplen con las especificaciones de diseño, no obstante, por su versatilidad y adaptabilidad a diversos ambiente la solución 1.1.2, la cinta de sellado hermético basado en el gecko fue la propuesta seleccionada para un futuro diseño de configuración.

Una vez desarrollada la evaluación preliminar se concluyó que la cinta de sellado hermético basada en el gecko proporcionaría una solución innovadora y superior a los sistemas de sellado actuales sin descartar de manera definitiva las otras propuestas.

4.3 Descripción del Nuevo Concepto de Solución

Después de evaluar las propuestas de solución se concluyó que el sellado con una película adhesiva basada en el principio del gecko podría cumplir con las especificaciones de diseño, por lo que en esta sección se describe el nuevo concepto de solución el cual constaría con la siguiente estructura:

Material:

Para el nuevo concepto se propone la Ciclo-olefinas de polímero porque cumple con las especificaciones requeridas como son:

- Transmisión elevada de luz de hasta 900nm
- Fluorescencia baja de 240nm-700nm.
- Alta resistencia térmica de -100 a 160 °C
- Resistencia a química a solventes comunes

El único inconveniente de este material es que no se han desarrollado prototipos de cintas adhesivas basadas en el gecko con este material, por lo que habría que experimentarlo, sin embargo, se propone una segunda opción que sería el polipropileno ya que es un

4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

material comúnmente usado para el sellado de microplacas por ser biológicamente inerte, con resistencia química y térmica, pero con pobres propiedades ópticas comparado con las ciclo-olefinas, la ventaja de este material es que ha sido empleado exitosamente para el desarrollo de las cintas adhesiva basado en el geco.

Geometría:

- Las dimensiones de la película serian las mismas que las de la microplaca largo: $127.76 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ y ancho: $85.48 \text{ mm} \pm 0.25 \text{ mm}$ con dos pestañas en cada extremo.
- El espesor de la película debe ser de $25 \mu\text{m}$
- La superficie de contacto debe tener un cierto número (millones) de microfibras por cm^2 para generar la adhesión Van der Waals deseada. Actualmente se han desarrollado de 42 millones de microfibras por cm^2 (Figura 4.15) para soportar 9 N/cm^2 al cortante y una resistencia de 0.1 N/cm^2 normal (Lee, Fearing, & Komvopoulos, 2008).
- La superficie de contacto debe tener pequeñas barreras entre los pozos para evitar el paso de la muestra y generar un sellado hermético.

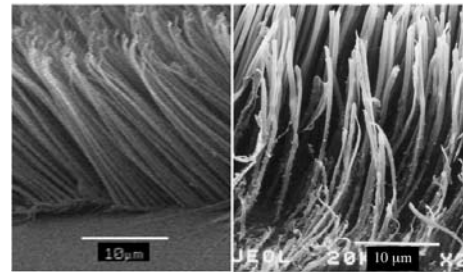


Figura 4.15 Imagen de las microfibras del adhesivo basado en el geco.

Función:

- La película de sellado basado en el geco podría evitar el paso de fluidos y gases hasta un 0.5% de la muestra.
- El sello a nivel microscópico podría mantener la hermeticidad de -40 a 150°C
- El sello basado en el geco podría soportar los 100 Pa desarrollando una configuración adecuada con respecto al número de microfibras por cm^2

Proceso

Proceso de sellado empleando la adhesión basada en el geco cumpliría con las siguientes especificaciones.

- No emplearía calor para sellar el sistema ya que la adhesión depende de la configuración.
- El sistema requerirá menos de 20N ya que solo requiere de una pequeña precarga perpendicular a la superficie para generar a la adhesión.
- La adhesión se puede generar en áreas pequeñas de contacto como de 9.12 mm^2 a 0.28 mm^2



4. Desarrollo de las Soluciones Conceptuales

- El sello basado en el gecko puede ser aplicado de manera repetible sin perder su adhesión ya que las microfibras se autolimpian recuperando su efectividad (Lee & Fearing, 2008).
- Este principio de sellado no desprende fragmentos ni deja residuos sobre la microplaca al no emplear adhesivos.
- La película basada en el gecko podrá ser aplicada en 5s. al no requerir un campo térmico.

Ventajas del sellado basado en el gecko respecto al sellado con adhesivo sensible a la presión.

- La película podría adherirse de manera repetida sin afectar su adhesión.
- La película no contaminaría a la muestra ya que no requiere de adhesivo ni dejaría residuos en la microplaca.
- La fuerza requerida para retirar la película puede ser menor a la requerida por el adhesivo sensible a la presión.
- El sistema sería menos complejo porque solo se emplearía un material (polipropileno) ya que la adhesión depende de la geometría y no de las propiedades químicas.
- La película se pueden adherir a un mayor número de materiales ya que la adhesión depende de la geometría.

4.4 Validación de la Propuesta de Solución

La validación consiste en comprobar que la propuesta de diseño cumpla con las especificaciones de diseño y que realmente presente ventajas sobre los métodos de sellado existentes de manera experimental.

Esto se lograría a través de varias pruebas, sin embargo, algunas de las principales serían las siguientes:

- 1) Prueba de pérdida por evaporación: esta prueba consiste en colocar la muestra en la microplaca, sellarla con la cinta adhesiva basada en el gecko, tomar su peso y posteriormente someterla a temperaturas elevadas, al final de la prueba se toma nuevamente su peso y de esta forma se determina si existió pérdida por evaporación.
- 2) Prueba de contaminación cruzada: esta prueba consiste en colocar muestras de color rojo y verde de manera intercalada en la microplaca, posteriormente se sella la microplaca y se somete a un ciclo térmico. Al final de la prueba se verifica que las muestras no se hubiesen mezclado, observando que hayan mantenido su color, en caso de que se presentara un tercer color (amarillo) indicaría contaminación entre muestras.
- 3) Prueba de desprendimiento: esta prueba consiste colocar una muestra en la microplaca, sellarla y someterla a un ciclo térmico, posteriormente se desprende el sello para analizar si existen residuos sobre la muestra y la microplaca.



5. CONCLUSIONES

En el presente trabajo se mostró el proceso de diseño conceptual para el área de biología molecular, enfocándose en el sellado de microplacas para el estudio de la PCR. Las microplacas han ayudado a conseguir diagnósticos clínicos más eficientes mediante la innovación tecnológica, sin embargo, esto a su vez ha incrementado la dificultad del sellado de las microplacas debido a que se manejan volúmenes menores de muestra para los análisis, con esto se corre el riesgo de perder la fiabilidad de los resultados por problemas de evaporación o contaminación de las muestras, por deficiencias o por problemas inherentes en los sistemas de sellado actuales.

Por esta razón, surgió el interés de desarrollar este proyecto para generar un rediseño en los sistemas de sellado, este trabajo se dividió en tres partes; determinación de especificaciones, análisis de los sistemas de sellado y el desarrollo de la solución.

En la primera parte se plantearon las especificaciones de diseño mediante un estudio de mercado de los principales sistemas de sellado de microplaca. La investigación de campo consistió en recolectar información de diversas fuentes, incluso de los mismos usuarios de las microplacas, y se empleó la matriz de calidad para la obtención de las especificaciones.

Una vez obtenidas las especificaciones se procedió a analizar los sistemas de sellado actuales, a partir de esta sección se emplearon las herramientas de TRIZ. Para empezar se identificaron los patrones de evolución de los sistemas de sellado, esto implicó estudiar los antecedentes y la evolución del producto, una vez planteado, resultó fácil encontrar los patrones que ha seguido a través de su historia y de esta manera se planteó el siguiente paso en su evolución. Es importante resaltar que los patrones de evolución de un producto no se obtienen al cotejarlos con los existentes, sino que se encuentran implícitos en la historia del producto.

Posteriormente se aplicó el análisis de contradicciones y el análisis sustancia-campo de manera simultánea a cada uno de los principios de sellado, de esta manera se propusieron los principios y las soluciones estándar que resolverían los problemas inherentes de cada sistema. Cabe mencionar que de las soluciones estandar obtenidas, algunas daban como resultado la línea de evolución del producto (i.e. de sellado con tapa a sellado térmico) Como resultado de este análisis se encontraron nuevas propuestas para analizar, algunas de las cuales ayudaron a complementar las propuestas de solución.

Estas herramientas requieren de un profundo conocimiento de cada uno de los conceptos y términos muy particulares de esta metodología para poder plantear un problema adecuadamente, sin embargo, las posibles soluciones al problema resultan fáciles de encontrar una vez planteado el problema con ayuda de una tabla de flujo o una matriz de



5. Conclusión

contradicciones, no obstante, el paso más crítico es la interpretación de las soluciones obtenidas, y es donde se requiere de la investigación y el conocimiento de diversas áreas para la construcción del concepto. Es importante mencionar que estos análisis muy pocas veces simplifican el sistema.

Por esta razón, se empleó el método de los agentes para desarrollar una solución más simple en su configuración. Con esta herramienta se planteó el problema de sellado de las microplacas sin considerar los inconvenientes de los principios de sellado existentes, estableciendo una solución ideal y con la ayuda de los agentes se planeó la manera de realizarla. Este ejercicio dio como resultado seis conjuntos de acciones y propiedades requeridas para lograr una solución ideal. Esta herramienta puede alcanzar hasta un nivel 4 de invención por lo que requiere romper con la inercia psicológica para establecer las acciones y propiedades de los agentes y así obtener un resultado final ideal.

Finalmente, con la información obtenida a través del planteamiento del problema desde distintos puntos de vista (análisis de contradicciones, análisis sustancia-campo y método de los agentes) se conformaron seis propuestas de solución sustentadas con productos existentes (sección 4.1.3). Estas propuestas fueron evaluadas de manera preliminar, es decir, sin experimentación o desarrollo de prototipos, obteniendo como resultado más viable la película adhesiva basada en el gecko solución 1.1.2 sin descartar de manera definitiva las otras propuestas. Sin embargo en este trabajo no se pudo estimar el costo de fabricación del producto, debido a que emplea un principio físico que aun se encuentra en desarrollo y por consiguiente no se encuentra en el mercado.

En términos de TRIZ esta propuesta se ubica en un nivel 3 de invención (sección 1.1) porque el nivel cinco es el descubrimiento del campo Van der Waals (principio), el nivel cuatro es la aplicación del campo Van der Waals en las cintas adhesivas basándose en la configuración del gecko (combinación de principio y función) y un nivel tres es la aplicación de este principio y función a diferentes mercados como a robots escaladores, tenis antifricción o a la nueva aplicación propuesta en este trabajo el sellado de microplacas.

Con esta propuesta se resolvería el problema que enmarca el presente trabajo. En la sección 4.3 se describe el nuevo principio de sellado, el cual proporcionaría un alto nivel de hermeticidad sellando a niveles microscópicos y la adhesión basada en el gecko ofrecería la fuerza de sujeción; debido a que este principio se basa en la configuración del material, su aplicación no afectaría a la muestra ni a la microplaca porque no requiere de un adhesivo o un campo térmico para generar la adhesión, solo requiere de una leve compresión para lograr su función.

De esta manera, se lograron las metas de generar un rediseño conceptual de una máquina selladora de microplacas desde su principio de trabajo mediante la aplicación de un proceso de diseño sistemático basándose en la herramienta de TRIZ para el diseño



5. Conclusión

conceptual. No obstante, se consultaron otras fuentes de diseño para obtener puntos de comparación.

Se logró contribuir en la innovación tecnológica de México mediante el desarrollo de este trabajo, en el que se plasma de la manera clara y estructurada el proceso de diseño para generar un producto con un alto nivel de invención, que tiene la posibilidad de impactar en el mercado al representar la voz del cliente, mediante el empleo de la técnica para resolver problemas de inventiva (TRIZ). Con base en este trabajo se espera aportar conocimientos que puedan ser empleados para desarrollo de productos mexicanos.

Las actividades futuras, consisten en desarrollar un diseño de configuración y detalle trabajando de manera colaborativa con otras universidades involucradas en el adhesivo basado en el gecko para el desarrollo de prototipos y poder así realizar la validación de la propuesta planteada en la sección 4.4.

El presente trabajo demuestra conocimientos y habilidades especializadas en el área de diseño mecánico, que permitirán afrontar problemas que involucren retos de ingeniería. De igual manera, se lograron desarrollar dos artículos (sección 5.1) con base en este trabajo de tesis, que fueron presentados en el congreso internacional anual de la SOMIM.

5.1 Artículos Desarrollados con Base en el Presente Trabajo

- [1] Mendoza Bravo, Omar Yuren, Espinosa Bautista, Adrián, *Aplicación de las Tendencias de Evolución de TRIZ en el Sellado de Microplacas*, XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM, 23, 24 y 25 de Septiembre de 2009, Ciudad Obregón, Sonora, México.
- [2] Mendoza Bravo, Omar Yuren, Espinosa Bautista, Adrián, *Propuestas Innovadoras para el sellado de Microplacas aplicando TRIZ*, XV Congreso Internacional Anual de la SOMIM, 23, 24 y 25 de Septiembre de 2009, Ciudad Obregón, Sonora, México.



6. BIBLIOGRAFIA

- Aguirre Esponda, G. J. (1990). Tesis doctoral. *Evaluation of Technical Systems at the Design Stage*.
- Altshuller, G. (1998). *40 Principles TRIZ Keys to Technical Innovation*. United States of America: Technical Innovation Center, Inc.
- Altshuller, G., Shulyak, L., Rodman, S., Dronova, N., & Urmanchev, U. (1996). *And Suddenly the Inventor Appears: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving* (2de ed.). U.S.: Technical Innovation Center, Inc.
- Bartlett, J. M., & Stirling, D. (2003). *PCR Protocols* (segunda ed.). New Jersey: Humana.
- Boxwell, R. J. (1994). *Benchmarking for Competitive Advantage*. United States of America: McGraw-Hill.
- Cordier, P., François, C., & Leibler, L. (2008). Self-healing and thermoreversible rubber from supramolecular assembly. *Nature*, 977-980.
- Coronado, M., Oropeza, R., & Arzate, E. (2005). *TRIZ, la metodología más moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática*. Mexico: Panorama.
- Dieter, G. E. (1991). *Engineering Design: a Materials and Processing Approach* (Segunda ed.). (L. Beamesderfer, & J. M. Morriss, Edits.) Singapore: McGraw Hill.
- Domb, P. E. (Febrero de 1997). *The Ideal Final Result: Tutorial*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2008, de TRIZ Journal: www.triz-journal.com
- Finney, M. J., & Titcomb, P. (1998). *Patente n° 5,721,136*. Estados Unidos.
- Fulton Suri, J. (Diciembre de 2008). Informing Our Intuition: Design Research for Radical Innovation'. *Rotman Magazine*, 52-57.
- Gamble, K. R. (2000). *Patente n° 6,106,783*. Estados Unidos.
- Gerhard, P., Wolfgang, B., Jorg, F., & Karl-Heinrich, G. (2007). *Engineering Design a Systematic Approach* (3ra ed.). Londres: Springer.
- Gonzalez Rio, M. J. (1997). *Metodologia de la Investigacion Social* (Primera ed.). Mudeco, España: Aguacalara.
- Hongbao, M. (2005). *The Journal of American Science*. Obtenido de Development Application of Polymerase Chain Reaction(PCR): <http://americanscience.org/journals/am-sci/0103/>



Bibliografía

- Hsiang-Tang, C., & Ya-Chuan, K. (2006). An Eco-Innovative Problem Solving Design Process Combining TRIZ Su-Field Model and Standards. *Going Green-CARE INNOVATION*. Vienna, Austria.
- John Terninko, A. Z. (1996). *Step-by-Step TRIZ: Creating Innovative Solution Concepts*. Responsible Management.
- Kai, Y., & Hongwei, Z. (2000). A Comparison of TRIZ and Axiomatic Design. *First International Conference on Axiomatic Design*. Cambridge, MA: ICAD56.
- Ko, J. H., Melancon, K. C., & Schulz, A. L. (2004). *Patente n° 6, 703, 120*. Estados Unidos.
- Lee, J., & Fearing, R. S. (10 de Septiembre de 2008). Contact Self-Cleaning of Synthetic Gecko Adhesive from Polymer Microfibers. *Langmuir*, 10587–10591.
- Lee, J., Fearing, R. S., & Komvopoulos, K. (2008). Directional adhesion of gecko-inspired angled microfiber arrays. *Applied Physics Letter*, 93 (191910).
- Leon, N. (Octubre de 2006). *Trends and patterns of evolution for product innovation*. Recuperado el septiembre de 2008, de the TRIZjournal: <http://www.triz-journal.com>
- Pugh, S. (1990). *Total Design: Interated Methods for Successful Pruduct Engineering*. Great Britain: Addison-Wesley.
- Savransky, S. D. (2000). *Engineering of creativity, introduction to TRIZ methodology of inventive problem solving*. United States of America: CRC press.
- Slocum, M. S. (2006). *Su-Field Analysis-Model Solutions*. Obtenido de The TRIZ Journal: www.triz-journal.com
- Steigelmann, M. (7 de Octubre de 2008). *Superabsorbent fabric keeps feet dry in all weathers*. Obtenido de BASF: www.basf.com
- Wireman, T. (2004). *Benchmarking BEST Practices in Maintenance Management*. United States of America: Industrial Press inc.
- Yacuzzi, E., & Martín, F. (Abril de 2003). *QFD: Conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos*. Obtenido de UCEMA publicaciones: http://www.cema.edu.ar/publicaciones/doc_trabajo.php
- Yu, Z., Yu, Z., & Newton, P. B. (1993). *Patente n° 5, 254, 314*. Estados Unidos.
- Zlotin, B., & Zusman, A. (2006). *Ideation International*. Obtenido de Patterns of Evolution: Recent Findings on Structure and Origin: www.ideationtriz.com



Zusman, A., & Zlotin, B. (2004). *Smart Little Creatures*. Recuperado el 25 de septiembre de 2008, de IdeationTRIZ: <http://www.ideationtriz.com>



7. APENDICE

Apéndice A; Las 76 Soluciones Estándar

Altshuller ofreció 76 estándares, agrupados en 5 categorías, las cuales son:

Clase 1. Construir ó destruir un Campo-Sustancia.

Clase 2. Desarrollar un Campo-Sustancia. Mejorar el sistema cambiando el sistema.

Clase 3. Transición del sistema base a un suprasistema o a un micro-nivel.

Clase 4. Medir o detectar cualquier cosa dentro del sistema técnico.

Clase 5. Estrategias para simplificar y mejorar el sistema técnico, introduciendo sustancias o campos dentro del mismo.

A continuación se explican cada uno de los 76 estándares:

Clase 1. Modificar un sistema de tal manera que se obtenga el resultado deseado o eliminar un resultado indeseado. No hay cambios o pequeños cambios en el sistema.

Este grupo incluye las soluciones necesarias para completar un modelo incompleto. En términos del Campo-Sustancia, un modelo incompleto es aquel que no tiene el elemento o sustancia 1 (S1), elemento o sustancia 2 (S2) y el campo o fuerza (F) o éste es inadecuado.

1.1 Mejorar la función de un sistema inadecuado.

1.1.1. Completar o descompletar el modelo. Si hay un solo objeto S1, agregar un segundo objeto S2 y una interacción o campo F.

1.1.2. El sistema no puede ser cambiado, pero un agregado permanente o temporal es aceptado. Incorporar un agregado interno en cualquiera de los dos elementos S1 ó S2.

1.1.3. Como en 1.1.2., pero se usa un agregado permanente o temporal externo S3 para cambiar a cualquiera de los dos elementos S1 ó S2.

1.1.4. Como en 1.1.2., pero se utiliza un recurso proveniente del ambiente para agregar, ya sea interna o externamente.

1.1.5. Como en 1.1.2., pero modificamos o cambiamos el ambiente del sistema.

1.1.6. El control preciso de pequeñas cantidades es difícil de alcanzar. Controlar pequeñas cantidades aplicando y quitando el excedente.

1.1.7. Si un campo moderado es aplicado, pero es insuficiente para lograr el efecto deseado, y un campo mayor dañaría el sistema; el campo de mayor magnitud puede ser aplicado a otro elemento que esté ligado con el original. Del mismo modo, una sustancia que no realiza la acción completa directamente, puede alcanzar el efecto deseado, uniéndose con otra sustancia que pueda ser usada.

1.1.8. Cuando se requiere un modelo que tenga efectos grandes/fuertes y pequeños/débiles. La colocación requerida de pequeños efectos puede ser protegida por una sustancia S3.

1.2. Eliminar o neutralizar los efectos nocivos.

1.2.1. Efectos útiles y nocivos existen en el diseño actual. No es necesario que S1 y S2 estén en contacto directo. Quitar el efecto nocivo introduciendo una sustancia S3.



1.2.2. Similar a 1.2.1., pero no pueden ser agregadas nuevas sustancias. Quitar el efecto nocivo modificando S1 ó S2. Esta solución incluye agregar “nada”, esto es, huecos, hoyos, vacíos, aire, burbujas, espuma, etc., o agregar un campo que actúe como una sustancia adicional.

1.2.3. La acción nociva es causada por el campo. Introducir un elemento S3 que absorba el efecto nocivo.

1.2.4. Efectos útiles y nocivos existen en un sistema en donde los elementos S1 y S2 deben estar en contacto. Contrarrestar el efecto nocivo del campo F1 teniendo un campo F2 que neutralice el efecto nocivo o genere un efecto útil adicional.

1.2.5. Un efecto nocivo puede existir debido a una propiedad magnética de un elemento en el sistema. El efecto puede ser eliminado calentando la sustancia magnética por arriba de su punto de Curie, o introduciendo un campo magnético opuesto.

Clase # 2. Desarrollando el Sistema Campo-Sustancia

2.1. Transición a Modelos Campo-Sustancia Complejos.

2.1.1. Cadena del modelo Campo-Sustancia: Convertir el modelo simple a un modelo encadenado que contenga una sustancia S2 con un campo F1 aplicado a una sustancia S3, y esta misma con un campo F2 aplicado a una sustancia S1. La secuencia de los dos modelos puede ser controlada independientemente.

2.1.2. Doble modelación del Campo-Sustancia: Un sistema poco controlado necesita ser mejorado pero no se pueden cambiar los elementos del sistema existente.

Entonces, un segundo campo puede ser aplicado a la sustancia S2.

2.2. Forzando los Modelos Campo-Sustancia.

2.2.1. Reemplazar o agregar al campo poco controlado un campo que sea más fácil de controlar. Ir de un campo gravitacional a un campo mecánico que provea un mayor control, así como ir de un medio mecánico a uno eléctrico o de un mecánico a un magnético. Este es uno de los patrones de evolución de los sistemas que van progresando del contacto físico con objetos, con acciones realizadas por los campos.

2.2.2. Cambiar la sustancia S2 de un macro nivel a un micro nivel. Este estándar es actualmente el patrón de evolución de macro a micro nivel.

2.2.3. Cambiar la sustancia S2 a un material poroso o capilar que permitirá el paso de un gas o un líquido.

2.2.4. Hacer el sistema más flexible o adaptable; hacerlo más dinámico es otro patrón de evolución. La transición común es de algo sólido a un sistema articulado continuando al sistema flexible.

2.2.5. Cambiar un campo no controlado por un campo, con patrones predeterminados que puedan ser permanentes o temporales.

2.2.6. Cambiar una sustancia uniforme o una sustancia no controlada por una sustancia no-uniforme con una estructura espacial predeterminada que sea permanente o temporal.

2.3. Controlando la frecuencia para igualar o desigualar la frecuencia natural de uno o ambos elementos con el fin de mejorar la función.

2.3.1. Igualar o desigualar la frecuencia del campo F y la sustancia S1 o S2.

2.3.2. Igualar los ritmos de los campos F1 y F2.



2.3.3. Dos acciones incompatibles o independientes pueden ser realizadas, continuando una durante el tiempo muerto de la otra.

2.4. *Integrando material ferromagnético y campos magnéticos como una forma efectiva para mejorar la función de un sistema.*

2.4.1. Agregar material ferromagnético y/o un campo magnético al sistema.

2.4.2. Combinar lo dicho en 2.2.1 (ir hacia campos más controlados) y 2.4.1 (usar material ferromagnético y campos magnéticos).

2.4.3. Utilizar un líquido magnético. Los líquidos magnéticos son un caso especial de

2.4.2. Los líquidos magnéticos son partículas ferromagnéticas suspendidas en keroseno, silicón o agua.

2.4.4. Use estructuras capilares que contengan partículas magnéticas o líquidas.

2.4.5. Use aditivos (como capa) para dar a un objeto no-magnético propiedades magnéticas. Puede ser temporal o permanente.

2.4.6. Introduzca materiales ferromagnéticos en el ambiente, si esto no es posible, hacer el objeto magnético.

2.4.7. Use fenómenos naturales (tales como alineación de objetos con el campo, o pérdida de ferromagnetismo por encima del punto de Curie).

2.4.8. Use un campo magnético dinámico, variable o autoajutable.

2.4.9. Modificar la estructura de un material introduciendo partículas

ferromagnéticas, entonces aplicar un campo magnético para mover las partículas. Mas específicamente, hacer la transición de un sistema noestructurado a uno estructurado. O viceversa, dependiendo de la situación.

2.4.10. Igualar los ritmos en el modelo Campo-Sustancia ferromagnética. En macro sistemas, se usa la vibración mecánica para realzar el movimiento de las partículas ferromagnéticas. En los niveles moleculares y atómicos, la composición del material puede ser identificada por el espectro de la frecuencia de resonancia de los electrones en respuesta al cambio de frecuencia de un campo magnético.

2.4.11. Utilice corriente eléctrica para crear campos magnéticos, además de usar partículas magnéticas.

2.4.12. Líquidos que tienen una viscosidad controlada por un campo eléctrico.

Pueden ser usados en combinación con cualquiera de los métodos aquí descritos, porque ellos pueden imitar fases de transición líquido/sólido.

Clase 3. Transiciones del Sistema

3.1. *Transición de Bisistemas a Polisistemas.*

3.1.1. Transición 1a del Sistema: Creación de Bi-Sistemas a Poli-Sistemas.

3.1.2. Mejorar la unión entre Bi-Sistemas y Poli-Sistemas.

3.1.3. Transición 1b del Sistema: Incrementar las diferencias entre elementos.

3.1.4. Simplificación de los Bisistemas y Polisistemas.

3.1.5. Transición 1c del Sistema: Características opuestas del todo y las partes.

3.2. *Transición a Micro-Nivel.*

3.2.1. Transición 2 del Sistema: Transición a un Micro-Nivel.



Clase 4. Detectando y Midiendo. La detección y medición son típicamente para controlar. La detección es binaria (algo puede suceder o no suceder) y la medición tiene algún nivel de cuantificación y precisión.

4.1. Métodos Indirectos.

4.1.1. Modificar el sistema en lugar de la detección o medición; así, no hay una gran necesidad de medición.

4.1.2. Medir una copia o una imagen, si 4.1.1. no puede ser usado.

4.1.3. Usar 2 detecciones en lugar de mediciones continuas, si 4.1.1. ó 4.1.2. no puede ser usado

4.2. Crear o sintetizar un sistema de medición. Algunos elementos o campos deben ser agregados al sistema existente.

4.2.1. Si un sistema Campo-Sustancia incompleto no puede ser detectado o medido, debe crearse un sistema Campo-Sustancia simple o doble, con un campo como salida. Si el campo existente es inadecuado, cambiar o realzar el campo sin interferir con el sistema original. El nuevo campo debe tener un parámetro fácilmente detectable que correlacione al parámetro que necesitamos conocer.

4.2.2. Medición introduciendo un aditivo. Introducir un aditivo, que reaccione al cambio en el sistema original, entonces se medirán los cambios en el aditivo.

4.2.3. Si nada puede ser agregado al sistema, entonces detectar o medir el efecto del sistema sobre un campo creado por aditivos colocados en el ambiente externo.

4.2.4. Si los aditivos no pueden ser introducidos dentro del ambiente del sistema como en 4.2.3., entonces crear por descomposición o cambios en su estado algunos existentes en el ambiente, y medir el efecto del sistema en estos aditivos creados.

4.3. Realzar el Sistema de Medición.

4.3.1. Aplicar fenómenos naturales. Use efectos científicos que se sabe ocurrirán en el sistema, y determine el estado del sistema observando cambios en los efectos.

4.3.2. Si los cambios en un sistema no pueden ser determinados directamente o a través de un campo, medir la frecuencia de la resonancia del sistema o de un elemento de acuerdo con los cambios medidos.

4.3.3. Si 4.3.2. no es posible, medir la frecuencia de la resonancia del objeto ligado a otro de propiedades conocidas.

4.4. Medir el Campo-Ferromagnético.

4.4.1. Agregar o hacer uso de una sustancia ferromagnética y un campo magnético en un sistema para facilitar la medición.

4.4.2. Agregar partículas magnéticas al sistema o cambiar una sustancia por partículas ferromagnéticas para facilitar la medición por detección de los resultados del campo magnético.

4.4.3. Si las partículas ferromagnéticas no pueden ser agregadas directamente al sistema o una sustancia no puede ser reemplazada con partículas ferromagnéticas, construir un sistema complejo poniendo aditivos ferromagnéticos dentro de la sustancia.

4.4.4. Agregar partículas ferromagnéticas al ambiente, si éstas no pueden ser agregadas al sistema.



4.4.5. Medir los efectos de un fenómeno natural asociado con magnetismo tal como el punto de Curie, histéresis, templado de superconductividad el efecto Hall, etc.

4.5. Dirección de la Evolución de los Sistemas de Medición.

4.5.1. Transición de sistemas Bisistemas y Polisistemas. Si una medición simple del sistema no da suficiente seguridad, use dos o más sistemas de medición, o realice múltiples mediciones.

4.5.2. En lugar de la medición directa de un fenómeno, medir la primera y segunda derivadas en tiempo o en espacio.

Clase 5. Métodos para Simplificar y Mejorar las Soluciones Estándar.

5.1. Introduciendo Sustancias.

5.1.1. Formas indirectas.

5.1.1.1. Use “nada”, esto es agregue aire, vacíos, burbujas, hoyos, poros, huecos, etc.

5.1.1.2. Use un campo en lugar de una sustancia.

5.1.1.3. Use un aditivo externo en lugar de uno interno.

5.1.1.4. Use una pequeña cantidad de un aditivo muy activo.

5.1.1.5. Concentre el aditivo en un lugar específico.

5.1.1.6. Introduzca temporalmente el aditivo.

5.1.1.7. Use una copia o modelo del objeto en el que puedan ser usados los aditivos, en lugar del objeto original, si el aditivo no se permite en el original. Esto puede incluir el uso de simulaciones y copias de los aditivos.

5.1.1.8. Introducir un componente químico que reaccione favorablemente al elemento deseado o componentes, donde la introducción del material deseado pueda ser nocivo.

5.1.1.9. Obtener el aditivo requerido por descomposición del ambiente o del objeto mismo.

5.1.2. Dividir los elementos en unidades más pequeñas.

5.1.3. Aditivos eliminados por sí mismos después de su uso.

5.1.4. Utilizar “nada” si las circunstancias no permiten el uso de grandes cantidades de material.

5.2. Use Campos.

5.2.1. Use un campo para causar la creación de otro campo.

5.2.2. Use campos que estén presentes en el ambiente.

5.2.3. Use sustancias que surjan de campos.

5.3. Fase de Transiciones.

5.3.1. Fase de Transición 1: Sustituyendo las Fases.

5.3.2. Fase de Transición 2: Estado de Fase Binario.

5.3.3. Fase de Transición 3: Utilizar el fenómeno que acompaña la Fase de Cambio.

5.3.4. Fase de Transición 4: Transición del Estado a Dos Fases.

5.3.5. Interacción de las Fases. Incrementar la efectividad del sistema induciendo una interacción entre los elementos del sistema, o las fases del sistema.

5.4. Aplicando los Fenómenos Naturales.

5.4.1. Transiciones Auto-Controladas. Si un objeto debe estar en varios estados diferentes, debe hacer la transición de un estado a otro por sí mismo.



5.4.2. Reforzando la salida del campo donde hay una entrada débil del campo.

Generalmente esto se hace trabajando cerca de un punto de fase de transición.

5.5. *Generando Formas más Altas o Bajas de Sustancias.*

5.5.1. Obtener las partículas de la sustancia (iones, átomos, moléculas, etc.) por descomposición.

5.5.2. Obtener las partículas de la sustancia por asociación.

5.5.3. Aplicar la Solución Estándar 5.5.1. y 5.5.2. Si una sustancia de un nivel estructural alto tiene que ser descompuesta y no puede ser descompuesta, comenzar con la sustancia del siguiente nivel más alto. Igualmente, si una sustancia debe ser formada de materiales de un nivel estructural bajo y esto no es posible, entonces comenzar con el siguiente nivel más alto de la estructura.



Apéndice B; Matriz de Contradicciones

		Característica que Empeora				
		Temperatura	Brillantez	Potencia	Pérdida de sustancia	Pérdida de información
Característica que Mejora	Estabilidad de la composición	1, 32, 35	3, 15, 27, 32	27, 31, 32, 35	2, 14, 30, 40	
	Resistencia	10, 30, 40	19, 35	10, 26, 28, 35	28, 31, 35, 40	
	Fuerza	10, 21, 35		18, 19, 35, 37	5, 8, 35, 40	
	Velocidad	2, 28, 30, 36	10, 13, 19	2, 19, 35, 38	10, 13, 28, 38	13, 26
	Área del objeto móvil	2, 15, 16	13, 15, 19, 32	10, 18, 19, 22	2, 10, 35, 39	26, 30
	Área del objeto estacionario	35, 38, 39		17, 32	10, 14, 18, 39	16, 30
	Factores Dañinos actuando, desde el exterior.	2, 22, 33, 35	1, 13, 19, 32	2, 19, 22, 31	19, 22, 33, 40	2, 10, 22
	Factores dañinos generados por el objeto	2, 22, 24, 35	19, 24, 32, 39	2, 18, 35	1, 10, 34	10, 21, 29
	Peso del objeto móvil	4, 6, 29, 38	1, 19, 32	12, 18, 31, 36	3, 5, 31, 35	10, 24, 35
	Peso del objeto estacionario	19, 22, 28, 32	19, 32, 35	15, 18, 19, 22	5, 8, 13, 30	10, 15, 35
	Energía consumida por el objeto móvil	3, 14, 19, 24	2, 15, 19	6, 18, 19, 37	5, 18, 24, 35	
	Presión	2, 19, 35, 39		10, 14, 35	3, 10, 36, 37	
	Tiempo de acción del objeto móvil	19, 35, 39	2, 4, 19, 35	10, 19, 35, 38	3, 18, 27, 28	10
	Tiempo de acción del objeto estacionario	18, 19, 36, 40		16	16, 18, 27, 38	10
	Energía consumida por el objeto móvil	3, 14, 19, 24	2, 15, 19	6, 18, 19, 37	5, 18, 24, 35	
	Energía consumida por el objeto estacionario		2, 19, 32, 35		18, 27, 28, 31	
	Potencia	2, 14, 17, 25	6, 16, 19		18, 27, 28, 38	10, 19
	Manufacturabilidad	18, 26, 27	1, 24, 27, 28	1, 12, 24, 27	15, 33, 4	16, 18, 24, 32
	Nivel de automatización	2, 19, 26	8, 19, 32	2, 27, 28	5, 10, 18, 35	33, 35



Apéndice C; 40 Principios de Innovación

<p>1. Segmentación</p> <ul style="list-style-type: none">a. Divida un objeto en partes independientesb. Cree un objeto seccionadoc. Incremente un grado la segmentación de un objeto	<p>7. Anidación</p> <ul style="list-style-type: none">a. Contener el objeto dentro de otro que al final este contenido en un tercer objetob. Un objeto pasa por la cavidad de otro objeto
<p>2. Extracción</p> <ul style="list-style-type: none">a. Extracción (remover o separar) una parte ob. propiedad “desordenadora” de un objetoc. Extraer únicamente la parte o propiedad necesaria.	<p>8. Contrapeso</p> <ul style="list-style-type: none">a. Compensar el peso de un objeto uniéndolo con otro que tenga una fuerza de empujeb. Compensar el peso de un objeto con la interacción con un medio que provea fuerzas aerodinámicas o hidrodinámica
<p>3. Calidad Local</p> <ul style="list-style-type: none">a. Transición de una estructura homogénea de un objeto o medio ambiente externo, a una estructura heterogénea.b. Hacer que diferentes partes del objeto lleven a cabo diferentes funciones.c. Coloque cada parte del objeto en las condiciones más favorables para su funcionamiento.	<p>9. Acción contraria previa</p> <ul style="list-style-type: none">a. Si se necesita llevar a cabo una acción, considere una acción contraria por adelantadob. Si el problema especifica que el objeto debe tener una tensión, provea antitensión por adelantado
<p>4. Asimetría</p> <ul style="list-style-type: none">a. Reemplace una forma simétrica de un objeto con una asimétricab. Sí el objeto ya es asimétrico, incremente el grado de asimetría	<p>10. Acción previa</p> <ul style="list-style-type: none">a. Lleve a cabo la acción requerida con anticipación porb. completo, o al menos una partec. Ordene los objetos de tal manera que puedan entrar en acción sin pérdidas
<p>5. Combinando</p> <ul style="list-style-type: none">a. Combine en un espacio objetos homogéneos u objetos destinados a operar contiguamenteb. Combine en tiempo operaciones homogéneas o contiguas	<p>11. Amortiguamiento anticipado</p> <ul style="list-style-type: none">a. Compensación por la relativa baja confiabilidad de un objeto por medio de contramedidas tomadas en avance
<p>6. Universalidad</p> <ul style="list-style-type: none">a. Que el objeto realice múltiples funciones, de esta manera se elimina la necesidad de algunos otros objetos	<p>12. Equipotencialidad</p> <ul style="list-style-type: none">a. Cambiar las condiciones de trabajo para que un objeto no necesite ser levantado o bajado



<p>13. Inversión</p> <ul style="list-style-type: none">a. En lugar de una acción dictada por las especificaciones del problema, implementar una acción opuestab. Haga una parte movable del objeto o el ambiente exterior inamovible y la parte inmóvil hágala movablec. Voltee el objeto, la parte de arriba hacia abajo	<p>18. Vibración mecánica:</p> <ul style="list-style-type: none">a. Ponga un objeto en oscilaciónb. Si la oscilación existe, incremente su frecuencia.c. Use la frecuencia de resonanciad. En lugar de vibraciones mecánicas, use piezovibradorese. Use vibraciones ultrasónicas en conjunción con electromagnetismo
<p>14. Esferoidalidad</p> <ul style="list-style-type: none">a. Reemplace partes lineales o superficies planas con otras curvadas, formas cúbicas con formas esféricasb. Use espirales, pelotas, rodillosc. Reemplace un movimiento lineal con uno rotatorio.	<p>19. Acción periódica</p> <ul style="list-style-type: none">a. Reemplace una acción continua con una periódica, o un impulsob. Si una acción es periódica, cambie su frecuenciac. Use pausas entre impulsos para dar acción adicional
<p>15. Dinamicidad.</p> <ul style="list-style-type: none">a. Haga características de un objeto, o un ajuste automático del ambiente externo para el desempeño óptimo en cada estación de operaciónb. Divida un objeto en elementos que puedan cambiar de posición relativa con cada unoc. Si un objeto es inamovible, hágalo movable o intercambiable	<p>20. Continuidad de una acción útil</p> <ul style="list-style-type: none">a. Realice una acción sin descanso - todas las partes de un objeto deben ser operadas constantemente a su total capacidadb. Remueva un paro y movimientos intermedios
<p>16. Acción parcial ó sobrepasada</p> <ul style="list-style-type: none">a. Es difícil obtener un 100% del efecto deseado, ejecute algo de más o de menos para simplificar el problema	<p>21. Despachar Rápidamente</p> <ul style="list-style-type: none">a. Ejecute operaciones peligrosas a muy alta velocidad
<p>17. Moviéndose a una nueva dimensión</p> <ul style="list-style-type: none">a. Remueva los problemas de mover un objeto sobre 1D a 2D.b. Los problemas de mover un objeto en un plano desaparecen si se cambia a un espacio tridimensional.c. Use un ensamble de objetos en multicapa en lugar de una simple capad. Incline el objeto o voltéeloe. Proyecte imágenes en áreas cercanas o en el anverso del objeto	<p>22. Convertir algo malo en un Beneficio</p> <ul style="list-style-type: none">a. Utilice factores o efectos dañinos de un ambiente para obtener efectos positivosb. Remueva un factor dañino agregándolo a otro factor peligrosoc. Incremente la cantidad de acciones peligrosas hasta que dejen de serlo



<p>23. Retroalimentación</p> <ul style="list-style-type: none">a. Introduzca la retroalimentaciónb. Si ya existe retroalimentación, revíertala	<p>29. Uso de una construcción neumática o hidráulica</p> <ul style="list-style-type: none">a. Reemplace las partes sólidas de un objeto por gas o líquido
<p>24. Mediador</p> <ul style="list-style-type: none">a. Use un objeto intermediario para transferir o llevar a cabo una acciónb. Conecte temporalmente un objeto a otro que sea fácil de remover	<p>30. Película flexible o membranas delgadas</p> <ul style="list-style-type: none">a. Reemplace las construcciones habituales con membranas y películas delgadasb. Aísle un objeto del ambiente externo con películas delgadas o membranas finas
<p>25. Autoservicio</p> <ul style="list-style-type: none">a. Haga que el objeto tenga su propio servicio y ejecute operaciones de reparación suplementariasb. Haga uso de desperdicios de material y energía	<p>31. Uso de material poroso</p> <ul style="list-style-type: none">a. Haga un objeto poroso o use elementos porosos adicionales.b. Si un objeto ya es poroso llene sus poros con alguna sustancia
<p>26. Copiado</p> <ul style="list-style-type: none">a. Use una simple y poco costosa copia en lugar de un objeto que es complejo, costoso, frágil o inconveniente de operarb. Reemplace un objeto o un sistema de objetos por una copia óptica, imagen ópticac. Si se usan copias ópticas visibles, reemplácelas con copias infrarrojas o ultravioletas	<p>32. Cambio de color</p> <ul style="list-style-type: none">a. Cambie el color de un objeto o sus alrededoresb. Cambie el grado de translucidez de un objeto o sus alrededoresc. Use aditivos para observar objetos o procesos que son difíciles de verd. Si tales aditivos ya son usados, emplee trazadores luminiscentes oe. elementos trazadores
<p>27. Objeto barato de vida corta en vez de uno caro y durable</p> <ul style="list-style-type: none">a. Reemplace un objeto costoso por una colección de algunos poco costosos, comprometiendo otras	<p>33. Homogeneidad</p> <ul style="list-style-type: none">a. Haga que los objetos interactúen con un objeto primario que sea del mismo material o que esté cerca de él en comportamiento
<p>28. Reemplazo de sistemas mecánicos</p> <ul style="list-style-type: none">b. Reemplace el sistema mecánico por uno óptico, acústico u odoríferoc. Use un campo electromagnético, eléctrico o magnéticod. Reemplace los campose. Use un campo en conjunción con partículas ferromagnéticas	<p>34. Restauración y regeneración de partes</p> <ul style="list-style-type: none">a. Después de que completan su función o se hace inútil, rechazar o modificar un elemento de un objetob. Restaurar completamente cualquier parte usada de un objeto



<p>35. Transformación de los estados físicos y químicos de un objeto</p> <p>a. Cambiar un estado de agregación de un objeto, concentración de densidad, grado de flexibilidad, temperatura</p>	<p>38. Uso de oxidantes fuertes</p> <p>a. Reemplace aire normal con aire enriquecido</p> <p>b. Reemplace aire enriquecido con oxígeno</p> <p>c. Trate al aire o al oxígeno con radiaciones ionizantes</p> <p>d. Use oxígeno ionizado</p>
<p>36. Transición de fase</p> <p>a. Implemente un efecto desarrollado durante el cambio de fase de una sustancia</p>	<p>39. Medio ambiente inerte</p> <p>a. Reemplace el ambiente normal con uno inerte</p> <p>b. Lleve a cabo el proceso en el vacío</p>
<p>37. Expansión térmica</p> <p>a. Use la expansión o contracción de un material por calor</p> <p>b. Use varios materiales con diferentes coeficientes de expansión térmica</p>	<p>40. Materiales compuestos</p> <p>a. Reemplace materiales homogéneos con compuestos</p>



Apéndice D; Imagen de películas adhesivas existentes en el mercado.

Sealing Film Guide		Product:	Applications:	Special Properties:	Minimum Temp:	Maximum Temp:	Available Sterile:	Pierceable:	ENase/DNase Free:	Material:
	BrightMax™ Films	Luminescence, Microscopy		white, light-reflecting	-40 °C	-80 °C				Vinyl
	AbsorbMax™ Films	Fluorescence Storage		black, light-absorbing	-40 °C	+80 °C	Yes			Vinyl
	X-Pierce™ Films	Processing, Autocleaning, Sonication		pre-cut pierceable resealing printed well guides	-40 °C	+90 °C	Yes	Yes		Vinyl
	Zone-Free™ Films	Processing, Autocleaning		easily pierceable chemical-resistant adhesive-free area over each well	-40 °C	+90 °C	Yes	Yes		Polyethylene / Polypropylene
	EZ-Pierce™ Films	Processing, Autocleaning		easily pierceable chemical-resistant conforms to plate	-40 °C	+90 °C	Yes	Yes		Polyethylene
	ThermaSeal 3™ Films	RealTime qPCR, Crystallization Studies		best optical clarity	-40 °C	+120 °C			Yes	Polyester
	ThermaSeal™ Films	PCR Storage		chemical-resistant good moisture barrier	-40 °C	-125 °C	Yes		Yes	Polypropylene
	AlumaSea 96™ Films	PCR, Storage		chemical-resistant light-blocking good moisture barrier	-40 °C	+150 °C		Yes	Yes	Aluminum
	AlumaSea 11™ Films	PCR, Cold Storage		chemical-resistant light-blocking good moisture barrier	-80 °C	+120 °C	Yes	Yes	Yes	Aluminum
	SeaPlate® Films	ELISA, Incubation, Storage		eliminates edge effects	-40 °C	+120 °C	Yes			Polyester