



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**MODELADO DEL MÓDULO DE VACIO (PROYECTO PAP)  
A TRAVÉS DEL DISEÑO AXIOMÁTICO**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

P R E S E N T A

**OMAR SALINAS VEGA**

DIRECTOR DE TESIS:

MDI. HERMOGENES GUSTAVO ROJAS COCA



Cd. UNIVERSITARIA

AGOSTO 2011

*Con todo mí*

$$**r = A(1 - \text{sen}(\theta))**$$

*para Margarita García Yáñez y  
Cesar Victor Salinas Estrella*

*Esta tesis ha llegado a su fin gracias al apoyo directo e indirecto de numerosas personas e instituciones, por lo que resulta imposible mencionar a todos; sin embargo, en la medida de lo posible trataré de hacerlo.*

*A mis padres por el apoyo, paciencia, amor y confianza, la conclusión de este trabajo mucho tiene que ver*

*Al Mtro. Hermogenes Gustavo Rojas Coca por la oportunidad que me brindó para realizar esta investigación, así como su paciencia, sus enseñanzas y su guía.*

Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Índice	iv
Introducción	vi
Objetivos	vii
Presentación	viii

## **CAPITULO I Principios básicos**

I.1.- Antecedentes de diseño.	2
I.2.- Proceso de diseño.	3
I.3.- La naturaleza y estados del pensamiento en diseño.	8
I.4.- La variedad de los problemas de diseño.	8
I.5.- Clasificación de productos de diseño.	11
I.6.- Interacciones del proceso de diseño.	12
I.7.- Metodología de diseño.	13
I.8.- Métodos de diseño.	13
I.9.- Modelos de diseño.	14

## **CAPITULO II Diseño Axiomático**

II.1.- Modelos Prescriptivos.	17
II.2.- Diseño Axiomático.	17
II.3.- Requerimientos Funcionales y Parámetros de diseño.	19
II.4.- Primer y Segundo Axioma del Diseño Axiomático.	21
II.5.- Ecuación de diseño.	22
II.6.- Ejemplo práctico.	23

## **CAPITULO III Proyecto PAP**

III.1.- Proyecto PAP (Plataforma para el Acomodo de Piezas).	29
--	----

III.2.- Módulo de vacío.	30
<b>CAPITULO IV Análisis Módulo de Vacío</b>	
IV.1.- Obtención de la ecuación de diseño.	35
IV.2.- Solución 1.	37
IV.3.- Solución 2.	40
IV.4.- Solución 3.	48
IV.5.- Representación de valores de los parámetros de diseño.	54
<b>CAPITULO V Conclusiones</b>	
V.1.- Conclusiones.	58
V.2.- Recomendaciones.	59
Referencias.	60
Apéndice.	61

La sociedad siempre ha requerido una solución a sus necesidades y problemáticas, para lograr satisfacerlas es necesario tener un plan o proceso, esta forma de satisfacerlas se llama diseñar.

Los problemas de diseño se han resuelto con diferentes metodologías, estas se dividen en dos grupos (descriptivos y prescriptivos), lo que diferencia uno de otro es la forma en la que se realizan las actividades de diseño, los descriptivos nos indican una secuencia de actividades a seguir, mientras que en los prescriptivos marcan un patrón de actividades esto es dar pautas a cada uno de los procesos de diseño para poder desarrollarlas.

Dentro del grupo de metodologías descriptivas existe una metodología relativamente nueva, se trata del diseño axiomático, esta metodología creada por Suh permite tener una herramienta eficaz en la resolución de problemas de diseño.

En la presente investigación se desarrollan algunos elementos conceptuales de la metodología de diseño axiomático, aplicados a un caso específico de estudio, en el desarrollo de un módulo de vacío para el proyecto PAP, en el corte de la piel en el proceso de elaboración de calzado.

El estudio se orientó hacia la definición de requerimientos funcionales, parámetros de diseño y variables de proceso, para la manufactura del comprimido. Como resultados se presenta la evaluación de los axiomas de independencia e información.

Se encontró que la aplicación de la metodología de diseño axiomático constituye una alternativa para enfrentar la actividad de diseño integral de producto y proceso, como un ejercicio racional y sistémico, que facilita la generación de productos con los atributos de calidad que espera el futuro usuario de estos.

Se espera que con esta investigación se pueda comprender al diseño axiomático como un proceso de diseño que aporta orden y comprensión a nuestra resolución de los problemas de diseño analizando un diseño de módulo de vacío y así dar un acercamiento a esta nueva herramienta que tiene elementos nuevos que aportar a la resolución de problemas.

Palabras claves: Diseño, Requerimientos Funcionales, Parámetros de diseño, Variables de proceso, Axiomas.

### **Objetivo Principal**

Analizar el diseño del módulo de vacío del proyecto PAP utilizando los conceptos del diseño axiomático.

### **Objetivos Particulares**

- 1.- Revisar metodologías de diseño descriptivas y prescriptivas.
- 2.- Estudiar la metodología del diseño axiomático.
- 3.- Aplicar el diseño axiomático para analizar el diseño del módulo de vacío utilizado en el proyecto PAP.

En el Centro de Diseño y Mecánico y de Innovación Tecnológica (CDMIT) de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, se realizan proyectos con la pequeña, mediana y algunas grandes industrias. Algunas de aquellas que carecen de las condiciones para mantener un equipo permanente dirigido a la investigación tecnológica que ingresan en los programas de fomento tecnológico gubernamentales y las que han comprometido parte de sus recursos con la academia en sus programas de investigación tecnológica.

En el marco de esta relación, el CDMIT ha enfrentado diversos problemas de diseño, en especial de diseño original en una actividad permanente que ya cuenta con más de 30 años y que le permite contar con una fuente valiosa de conocimiento acumulado y de personal académico experimentado. Fuente y experiencia orientadas hacia la formación de recursos humanos que contribuyan al desarrollo tecnológico nacional mediante la realización de actividades académicas, de proyectos vinculados a la industria y de la difusión de las innovaciones en diseño.

Esta experiencia es fundamentada por la aplicación sistemática de las mejores prácticas de diseño como también de la implementación y aplicación de los más recientes métodos de diseño. Sin embargo, hay un gran afecto por los métodos prescriptivos más que a los descriptivos o más específicos como se detalla en la figura 1.

Para un modelo prescriptivo de proceso de diseño, la etapa más importante en la consecución de un proyecto es la que corresponde a la de especificaciones de diseño (Pahl and Beitz 1984; French 1985; Ullman 2003; Ulrich and Eppinger 2004; Rojas C. 2006). Sin embargo, no es privativo de este modelo. Gráficamente se puede ubicar esta etapa del proceso de diseño en un modelo prescriptivo en conjunto con algún método de diseño específico o un modelo descriptivo de proceso de diseño (Rojas C. 2006). El método de diseño puede ser contenido en un modelo prescriptivo del proceso de diseño (figura 1), donde el modelo descriptivo es un trazo particular en el modelo prescriptivo del proceso, mostrado como una sucesión de etapas, la línea segmentada representa el proceso de diseño, mientras que el rectángulo segmentado representa las técnicas o tareas usadas en esa etapa de diseño (métodos).



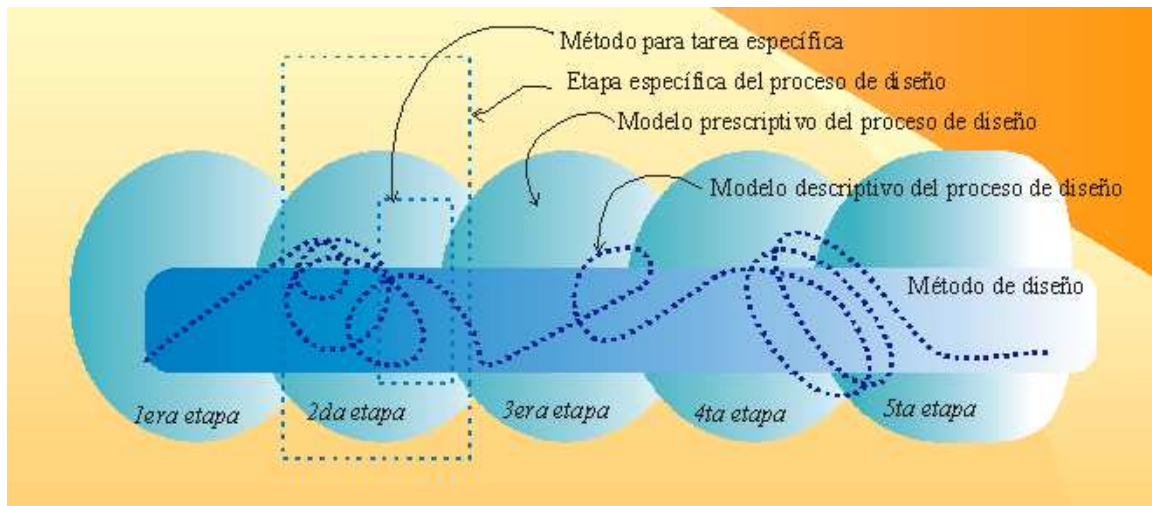


Figura 1.- El método de diseño (Rojas C. 2006).

Para la elaboración de las especificaciones de diseño se recurren a técnicas específicas o métodos específicos para esta tarea. Ullman (Ullman 2003) desarrolla todo un capítulo para explicar la aplicación de “*quality function deployment*” QFD (Terninko 1997) para el entendimiento del problema y el desarrollo de las especificaciones de ingeniería, de la misma manera que Suh para la determinación de los FRs o requerimientos funcionales (Suh 1990; Suh 1998; Suh 2001). También se recurre a establecer la importancia relativa de las necesidades del cliente (Ulrich and Eppinger 2004) con la técnica “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP) (Terninko 1997) para derivar en una matriz de necesidades vs. medidas y un estudio de benchmarking para definir las especificaciones meta. De la misma manera, se han ejercitado las herramientas basadas en TRIZ (Altshuller1999), en inglés “*Systematic Innovation and Technical Creativity*”, para resolver variados problemas de diseño.

El diseño axiomático es una metodología joven, por no decir reciente. Fue enseñado por primera vez en 1997-98 en el MIT (Massachusetts Institute of Technology) por su creador Nam Pyo Suh. Su primer libro al respecto es publicado en inglés en 1990 seguido de otros bajo la misma temática. Este trabajo es un primer ejercicio en el CDMIT, a nivel de licenciatura, de aplicar los conceptos derivados del método de diseño axiomático (DA) para modelar un sistema técnico y su representación mediante el álgebra lineal en una ecuación de diseño. Para esto se toma por un lado la herramienta metodológica DA y por otro un caso real de estudio; la Plataforma de Acomodo de Pieles (PAP).

### **Modelo de proceso de diseño y los conceptos básicos del diseño axiomático**

Un modelo de diseño es la representación tanto de filosofías como de estrategias dirigidas a mostrar cómo es el diseño y puede ser realizado, y son

representadas como diagramas de flujo, mostrando su naturaleza de carácter iterativo, etc. Los modelos prescriptivos sugieren una visión global de proceso de diseño por medio de pasos de un procedimiento. Los descriptivos tienen que ver con las acciones y actividades del diseñador durante el proceso de diseño.

Los modelos prescriptivos suelen conceptualizar el proceso de diseño como un procedimiento sistemático a seguir, tan especificado que deriva en una particular visión y metodología, pero también existen los que ponen atención a los atributos del producto. Evbuoman describe varios de estos modelos (Evbuomwan, Sivaloganathan et al. 1995), haciendo diferencia entre los que se basan en el proceso de diseño de los que se basan en la observación de los atributos del producto. De estos últimos tenemos el modelo de *diseño axiomático* de Nam Pyo Suh y el *modelo de la función pérdida* de Taguchi, una ecuación que cuantifica el descenso del valor percibido por el cliente a medida que cae la calidad del producto, siendo la primera propuesta que igualó calidad con costo.

### ***El concepto de dominio; el objeto de diseño es un sistema cerrado.-***

El diseño tiene que ver con la relación entre “qué es lo que deseamos lograr” y “el cómo elegimos satisfacer la necesidad”. Esta relación es sistematizada por medio del concepto de “dominio” que establece las líneas de demarcación entre cuatro diferentes tipos de actividades del diseño (Suh 2001): el *dominio del cliente*, el *dominio funcional*, el *dominio físico*, el *dominio de los procesos*. El qué hacer del diseñador deviene en un constante ir y venir de un dominio a otro en un proceso denominado de *mapeo* de un dominio a otro.

Suh considera al diseño como el diseño de un sistema cerrado que debe de satisfacer una serie determinada de requerimientos funcionales en todo momento y cuyos componentes no cambian en función del tiempo.

Resolver un problema de diseño involucra poner en práctica conocimientos y experiencia que el diseñador plasma en un proceso que normalmente culmina en la materialización de lo que considera la mejor solución. Este proceso, denominado proceso de diseño, involucra toda una filosofía particularizada paso por paso en una metodología de diseño.

Como ya se comentó anteriormente, el siguiente trabajo tiene como objetivo representar mediante los conceptos del Diseño Axiomático el módulo de vacío del proyecto PAP; un ejercicio único de abstracción y aplicación del razonamiento matemático a un objeto de diseño más afín a los procesos creativos. A continuación se presentará una introducción sobre los conceptos de diseño, modelos de diseño y metodologías de diseño.

# Capítulo I

## Principios básicos

“... Pues son los pormenores, como todo el mundo sabe, los que dan lugar a la virtud y a la felicidad, mientras que las generalidades son, intelectualmente consideradas, males necesarios”.

**Aldous Huxley**

A continuación se presentará una introducción sobre los conceptos de diseño, modelos de diseño y metodologías de diseño.

### **I.1.- Antecedentes de diseño**

Shigley define: “Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema. Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse”. [2]

Tomando como referencia lo dicho por Shigley, el diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. Algunas veces éstas decisiones deben tomarse con muy poca información, en otras con apenas la cantidad adecuada y en ocasiones con un exceso de información parcialmente contradictoria. Algunas veces las decisiones se toman de manera tentativa, por lo cual es conveniente reservarse el derecho de hacer ajustes a medida que se obtengan más datos. Lo importante es que el diseñador en ingeniería debe sentirse personalmente cómodo cuando ejerce la función de toma de decisiones y de resolución de problemas.

El diseño es una actividad de intensa comunicación en la cual se usan tanto palabras como imágenes y se emplean las formas escritas. Los ingenieros deben comunicarse en forma eficaz y trabajar con gente de muchas disciplinas. Éstas son habilidades importantes y el éxito de un ingeniero depende de ellas.

Las fuentes personales de creatividad, la habilidad para comunicarse y la destreza para resolver problemas están entrelazadas con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales. Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje) se combinan para producir un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se pueda fabricar y comercializar, sin importar quién lo construya o lo use.

Los ingenieros mecánicos están relacionados con la producción y el procesamiento de energía y con el suministro de los medios de producción, las herramientas de transporte y las técnicas de automatización. Las bases de su capacidad y conocimiento son extensas. Entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura y la teoría eléctrica y de la información. El diseño en la ingeniería mecánica involucra todas las áreas que componen esta disciplina.

Existen muchos autores de varias disciplinas que han dado definiciones de diseño bastante variadas para nuestro estudio solamente propondremos autores del área de ingeniería.

Fielden:

Diseño ingenieril es el uso de principios científicos, información técnica e imaginación en la definición de una estructura mecánica, maquina o sistema que represente funciones prespecificadas con el máximo de economía y eficiencia. [5]

Luckman:

Diseño es el primer paso del hombre que lo lleva al dominio de su medio, el proceso de diseño es la traducción de información en forma de requerimientos, restricciones, y experiencia en soluciones potenciales las cuales son consideradas por el diseñador que cumplen con las características de rendimiento requerido, algo de creatividad o originalidad debe entrar en el proceso para que esta sea llamado un proceso de diseño. [6]

Caldecote:

La función básica de diseño, para diseñar un producto el cual cumpla con la especificación, para diseñar algo que dure mucho tiempo y que cumpla con reciclaje y un mantenimiento sencillo, diseñar algo que sea manufacturado económicamente y que sea placentero para el ojo humano. [7]

Tomando las ideas de estos autores y usando palabras clave la definición de diseño puede resumirse de la siguiente manera:

“Es el proceso de establecimiento de requerimientos basados en la necesidades humanas, transformando estas en especificaciones de comportamiento y funciones, las cuales son trazadas y convertidas (sujeto a restricciones) en soluciones de diseño (usando creatividad, principios científicos y conocimiento técnico) que sean manufacturadas económicamente y producidas.”

## 1.2.-Proceso de diseño

Según Rzevski, Banares-Alcantar, y Gero citados por Evboumwan el proceso de diseño tiene diferentes propiedades y características que van asociados con filosofías y puntos de vista que a continuación se enumeran.[4]

- 1) El diseño es una actividad oportunista que representa el caso en donde situaciones ascendentes y descendentes se aproximan y son usados por el diseñador en una actitud oportunista.

- 2) Diseño es una actividad que involucra un proceso de evolución, donde cambios (mejoras o refinamientos) son propuestos para un diseño vigente con el objetivo de crear un mejor diseño.
- 3) Diseño como una actividad de exploración involucra una exploración basada en un modelo de diseño y describe el proceso de diseño como un conocimiento básico de tarea de exploración.
- 4) Diseño como un proceso de investigación involucra las necesidades del cliente y expectativas, que sean compatibles con técnicas de diseño que se basen en soluciones de diseño anteriores, fallas pasadas y éxitos.
- 5) Diseño como un proceso creativo involucra la creación de una solución de diseño con la ayuda del como-hacerlo, ingenio, buena memoria, habilidades para el reconocimiento de patrones, búsqueda al azar de una solución espacial, pensamiento lateral, analogías, etc.
- 6) Diseño como un proceso racional, relaciona el chequeo y las pruebas de las soluciones propuestas, involucrando razonamiento lógico, análisis matemático, simulación por computadora, experimentos en laboratorio y pruebas de campo, etc.
- 7) Diseño como un proceso de decisión-fabricación. En el proceso de diseño, los diseñadores usualmente hacen muchos juicios de valor para adoptar caminos alternativos de acción o escogiendo entre diferentes soluciones de diseño competitivos. Estos juicios y evaluaciones son usualmente basados en la experiencia y criterio derivado de los requerimientos del cliente.
- 8) Diseño como un proceso iterativo. La actividad de iteratividad es el proceso más común en un proceso de diseño. Propone diseños preliminares que son usualmente analizados con respecto a las limitaciones y, si no las satisfacen, son revisados en base de la experiencia y resultados del análisis.
- 9) Diseño como un proceso de interacción. Diseño interactivo brinda al diseñador que se adentre en el diseño y en el proceso forzándolo a ser una parte integral de él. Esto es necesario en situaciones donde el problema de diseño está mal definido, no hay las suficientes herramientas analíticas desarrolladas para armar un análisis cuantitativo y si hay una pequeña o nula experiencia con el problema de diseño.

Un sistema de diseño comprensible debe de ser capaz de soportar diferentes facetas de diseño involucrando:

- a) Un acercamiento de lo más adelantado a lo más atrasado.
- b) El proceso evolutivo del diseño.
- c) El conocimiento basado en la exploración del diseño.
- d) La investigación y búsqueda de los aspectos del proceso de diseño,
- e) El proceso creativo en el diseño,
- f) El proceso de razonamiento lógico involucrado en el diseño,
- g) Los procesos son iterativos así como interactivos al involucrarse en el diseño,
- h) La toma de decisiones basado en juicios de valor,
- i) El análisis matemático y proceso de simulación computacional hecho durante el diseño.

En el área del diseño industrial existe un proceso de diseño tanto un creativo como de solución de problemas: [3]

- Un problema existe y es descubierto.
- Se reúnen informaciones sobre el problema, se valoran y se relacionan creativamente.
- Se desarrollan soluciones para el problema que se enjuican según criterios establecidos.
- Se realiza la solución más adecuada (por ejemplo, se transforma en un producto).

Lo específico del proceso de diseño es el esfuerzo del diseñador en encontrar una solución al problema, concretada en el proyecto de un producto de las características correspondientes para que con su uso se puedan cubrir necesidades en forma duradera.

El proceso de diseño puede desarrollarse de forma compleja, por lo que resulta útil dividir el proceso de diseño en diferentes fases.

La división del proceso en cuatro fases, facilita la comprensión y engloba el proceso de diseño.

Proceso creativo	= Proceso de solución al problema	= Proceso de diseño (desarrollo del producto)
1.- Fase de preparación	<p>Análisis del problema</p> <p>Conocimiento del problema</p> <p>Acopio de información</p> <p>Valoración científica</p>	<p>Análisis del problema de diseño</p> <p>Análisis de la necesidad</p> <p>Análisis de la relación social (hombre-producto)</p> <p>Análisis de la relación con el entorno (producto-entorno)</p> <p>Desarrollo histórico</p> <p>Análisis del mercado/análisis del producto</p> <p>Análisis de la función (funciones prácticas)</p> <p>Análisis estructural (estructura constitutiva)</p> <p>Análisis de la configuración (funciones estéticas)</p> <p>Análisis de materiales y fabricación</p> <p>Patentes, prescripciones, normas</p> <p>Análisis de sistema de productos (producto-producto)</p> <p>Distribución, montaje, servicio a clientes, mantenimiento</p>



	Definición del problema, clasificación del problema, definición de objetivos	Fijación de valoraciones  Exigencias para el nuevo producto
2.- Fase de incubación	Soluciones al problema  Elección de métodos para solucionar el problema, producción de ideas, soluciones del problema	Soluciones de diseño  Concepto del diseño  Soluciones de principio  Esquema de ideas  Maquetas o modelos  Valoración de las soluciones de diseño
3.- Fase de iluminación	Valoración de la soluciones al problema  Examen de soluciones, proceso de selección, proceso de valoración	Elección de la mejor solución  Acoplamiento con las condiciones en el nuevo producto
4.- Fase de verificación	Realización de la solución del problema  Realización de la solución del problema, reiterada valoración de la solución	Solución de diseño  Construcción  Construcción estructural  Configuración de los detalles (elementos de servicio)  Desarrollo de modelos  Dibujos  Documentación

### **I.3.-La naturaleza y estados del pensamiento en diseño**

En el proceso de diseño, muchos diseñadores tienden a seguir ciertas fases de pensamiento, para moverse desde un problema abstracto a un producto realizable [4]. Estos estados son la divergencia, transformación y convergencia:

**Divergencia.-** Este es el acto de extender la barrera de una situación de diseño en orden de tener un suficiente espacio de búsqueda de soluciones. La divergencia busca aproximar la intención de estructurar el diseño original brevemente, mientras identificando las características de la situación de diseño que permita un valioso y fehaciente grado de cambio. Búsqueda divergente es mas productiva en los estados iniciales de diseño.

**Transformación.-** Este es el estado de hacer patentes, creatividad del más alto nivel, momentos de perspicacia, cambios de estado y inspirado trabajo imaginativo. El objetivo aquí es imponer los resultados de la búsqueda divergente a una patente que sea suficiente para convergir toda esa información a un diseño simple.

**Convergencia.-** El principal objetivo del estado de convergencia es reducir progresivamente incertidumbres lo más rápido posible para así crear nuevas alternativas. El resultado final de este estado debiera ser la reducción del rango de opciones a solamente una decisión de diseño, lo más rápido que pueda ser manejado.

### **I.4.-La variedad de los problemas de diseño**

Algunas veces la resistencia que requiere un elemento de un sistema significa un factor importante para determinar su geometría y dimensiones. En esa situación se dice que la resistencia es una consideración de diseño importante. Cuando se emplea la expresión consideración de diseño se involucra de manera directa alguna característica que influye en el diseño del elemento, o tal vez en todo el sistema. A menudo se deben considerar muchas de esas características en una situación de diseño dada. Entre las más importantes se pueden mencionar:

- Funcionalidad
- Resistencia/esfuerzo
- Distorsión/deflexión/rigidez
- Desgaste
- Corrosión
- Seguridad

- Confiabilidad
- Manufacturabilidad
- Utilidad
- Costo
- Fricción
- Peso
- Vida
- Ruido
- Estilo
- Forma
- Tamaño
- Control
- Propiedades térmicas
- Superficie
- Lubricación
- Comercialización
- Mantenimiento
- Volumen
- Responsabilidad legal
- Capacidad de reciclado/recuperación de recursos.

Algunas de estas propiedades se relacionan de manera directa con las dimensiones, el material, el procesamiento y la unión de los elementos del sistema. Algunas características pueden estar interrelacionadas, lo que afecta la configuración del sistema total.

También varias de las restricciones de diseño pueden ser clasificadas no solo por elementos internos del diseño sino también por elementos externos como a continuación se describe:

1.- Diseño de rutina: Estos son considerados como los derivados de prototipos comunes con el mismo juego de variables o características y la estructura tampoco cambia. Aquí ya existe un plan de diseño, con descomposición de sub-problemas, alternativas y soluciones prototipo conocidas en avance.

2.- Rediseños: Este involucra modificar un existente diseño para satisfacer nuevos requerimientos o mejorara su desempeño bajo nuevos requerimientos. El resultado final de rediseñar puede incluso exhibir alguna forma de creatividad, innovación o contenido de diseño de rutina. Rediseño puede ser discutido bajo diseños adaptativos y diseños variables:

- a) Adaptativos: Diseño configurativo o de transición. Estas formas de diseño involucran adaptar un sistema conocido (la solución principal que sea la misma) a una cambio de situación. También involucra mejoras en un diseño básico pro una serie de detalles de refinamiento.
- b) Variable: Diseño de extensión o parametrico. Este sigue un proceso extrapolar o intrapolar. La técnica de diseño involucra usar un diseño probado como la base para generar geometrías más complejas de similares o diferentes capacidades.

3.- Diseños no rutinarios, originales o nuevos: Estas formas de diseño son también conocidas y son clasificados en diseños innovadores y diseños creativos:

- a) Diseño innovador: Aquí las variables y características son introducidas, estas todavía pueden tener algún parecido a variables o características ya existentes, y la descomposición del problema es conocida, pero los sub-problemas y las alternativas de solución deben ser sintetizadas. En otras situaciones, recombinao alternativas de los sub-problemas puede crear nuevos diseños. Es también considerado resolver un mismo problema en diferentes formas, o diferentes problemas por una misma forma (por analogía), pueden ser considerados como innovadores.
- b) Diseño creativo: En este caso nuevas variables y características son introducidas las cuales no tienen similitud con las variables o características de algún prototipo pasado y el resultado del diseño tiene una pequeña similitud con diseños existentes. Para diseños creativos no existe un plan de diseño conocido, del problema que se está considerando.

Restricciones en el diseño



Figura 1.1.- Los problemas de diseño que confrontan tanto ingenieros como diseñadores pueden ser clasificados como sigue [4]

**I.5.-Clasificación de productos de diseño**

En el proceso de diseño se obtienen productos que cumplen con diferentes características a continuación se explicara cada una de esas características. [4]

- **Producto de diseño estático:** Productos estáticos son aquellos que el mercado comparte sus características y no tiene cambios respecto a los que se demanda en el producto. El concepto de diseño es conocido de productos ya existentes, y por lo tanto estos productos son considerados conceptualmente estáticos (también referido como diseño dominante).
- **Producto de diseño dinámico:** Los productos dinámicos tienen un límite de vida antes de que la siguiente generación los supere. Aquí, el desarrollo está enfocado en el producto, y el proceso de diseño involucra el desarrollo de diseños nuevos, radicales y alternativos.
- **Productos de diseño excesivamente limitados:** Estos productos tienden a existir en los mercados de alta tecnología. Aquí, el proceso de diseño se ubica alrededor del análisis de las propuestas alternativas hasta que la correcta (o más aceptable) solución es aceptada. Productos excesivamente limitados usualmente sujetos a limitaciones de función, deben ser

conflictivas, y el producto saldrá adelante con análisis severos y cambios repentinos de situación.

- Productos de diseño excesivamente limitados (ideas centrales): En este caso de diseños excesivamente limitados, la actividad de diseño se centra alrededor de productos traídos al mercado para satisfacer necesidades de demanda. Estos usualmente nos tiene demasiadas limitaciones, y el diseñador tiene un amplio espacio de innovación. Lo importante aquí es usualmente el concepto del producto, y los materiales y la tecnología usados para satisfacer los requerimientos funcionales del mercado.
- Diseño de productos excesivamente limitados (basados en habilidad): Esta forma de diseño se centra en los aspectos de manufactura en el desarrollo del producto.

### **I.6.-Interacciones del proceso de diseño**

Por lo general, el proceso de diseño comienza con la identificación de una necesidad. Con frecuencia, el reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad quizá sólo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la detección de que algo no está bien. A menudo la necesidad no es del todo evidente; el reconocimiento se acciona por una circunstancia adversa particular o por un conjunto de circunstancias aleatorias que se originan casi de manera simultánea. [2]

Hay una diferencia notable entre el enunciado de la necesidad y la identificación del problema. La definición del problema es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades.

Algunas veces, a la síntesis de un esquema que conecta elementos posibles del sistema se le llama invención del concepto o diseño del concepto. Este es el primer y más importante paso en la tarea de la síntesis. Varios esquemas deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas.

Puede observarse, y debe destacarse, que el diseño es un proceso iterativo en el cual se procede a través de varios pasos, se evalúan los resultados y luego se regresa a una fase inicial del procedimiento. De esta manera es posible sintetizar varios componentes de un sistema, analizar y optimizarlos y regresar a la síntesis para ver qué efectos tiene sobre las partes restantes del sistema. Resulta claro que deberían hacerse estimaciones gruesas para poder avanzar en el proceso, refinando e iterando hasta que se obtenga un diseño final que sea satisfactorio

para cada componente individual así como para las especificaciones de diseño generales.

La comunicación de los resultados a otros es el paso final y vital de presentación del proceso de diseño. Sin duda, muchos grandes diseños, invenciones y trabajos creativos se han perdido para la posteridad sólo porque sus creadores no fueron capaces o no estuvieron dispuestos a explicar sus logros a otros. La presentación es un trabajo de venta.

La asociación americana de ingenieros mecánicos (ASME siglas en inglés) define el campo de diseño teórico y metodológico como una disciplina en ingeniería preocupada por un proceso de entendimiento y procesos organizacionales para la creación, reestructuración y optimización de artefactos y sistemas.

### **I.7.-Metodología de diseño**

Es la colección de procedimientos, herramientas y técnicas para diseñadores que usan cuando diseñan; la metodología de diseño indica “como diseñar” mientras que la teoría solo define al diseño.

Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o inventen modelos abstractos del sistema que admitirá alguna forma de análisis matemático. A estos modelos se les llama modelos matemáticos. Cuando se les crea se espera que sea posible encontrar uno que simule muy bien al sistema físico real.

Nigel Cross define metodología de diseño como “el estudio de los principios, prácticas y procedimientos de diseño en un sentido amplio. Su objetivo central está relacionado a “cómo diseñar”, e incluye el estudio de cómo los diseñadores trabajan y piensan; el establecimiento de estructuras apropiadas para el proceso de diseño; el desarrollo y aplicación de nuevos métodos, técnicas y procedimientos de diseño; y la reflexión sobre la naturaleza y extensión del conocimiento del diseño y su aplicación a problemas de diseño”. [8]

De acuerdo con las definiciones formales de estos términos, se puede entender que la relación entre ellos se da a diferentes niveles. Así, método hace referencia a la manera cómo una persona (un ingeniero mecánico), realiza su tarea (diseñar); las técnicas son las herramientas que utiliza tal persona para aplicar su método; el modelo es la forma de representar el método. De esta manera, mientras que las técnicas son herramientas para el método, el modelo es para la metodología.

### **I.8.-Métodos de diseño**

Cualquier forma identificable de trabajar en el contexto de diseño, puede considerarse como un método de diseño.

Los métodos de diseño son todos y cada uno de los procedimientos, técnicas, ayudas o herramientas para diseñar, representan un número de clases distintas de actividades que el diseñador utiliza y combina en un proceso general de diseño.

Existe una tendencia a aceptar la necesidad de métodos que muestren el camino a recorrer durante el diseño de productos y de modelos que los representen, aunque fue solo a finales de los 50 y principios de los 60 que el tema de los métodos de diseño cobran relevancia como respuesta a la creciente complejidad del proceso de desarrollo de productos.

Cross hace una recopilación de los diferentes métodos de diseño desarrolladas en los siguientes 20 años (1962-1982). En su compilación, Cross identifica cuatro periodos, el primero comprendido entre 1962-67, en el que se refleja el intento por aplicar nuevos métodos y técnicas desarrolladas en la segunda guerra mundial, en la estructuración y gestión de todo el proceso de diseño, intento que, se puede afirmar, fracasó. El segundo periodo entre 1966-73, se describe como aquel en el que se intenta entender la complejidad de los problemas, habida cuenta del fracaso en los intentos previos de estructurar el proceso. [8]

Otro enfoque del tema se aborda tratando de entender la forma cómo los diseñadores abordan el proceso tradicional de diseño, para lo cual se recurre desde entrevistas abiertas hasta laboratorios controlados , enfoque este que tuvo su máximo interés a finales de los 70. Entre 1972-82 se define el cuarto periodo en el que emerge un enfoque más filosófico del diseño, que busca comprender y asimilar las experiencias ganadas en los años anteriores.

### **I.9.-Modelos de diseño**

En general se entiende como modelo de diseño la forma de representación del proceso que desarrolla el diseñador en su labor. Los modelos y métodos de diseño se pueden enmarcar dentro del campo que los expertos califican como “investigación de diseño”, cuyo objetivo genérico es establecer nuevas formas o recomendaciones que potencien la eficiencia en el diseño como se muestra a continuación en la figura 1.2.



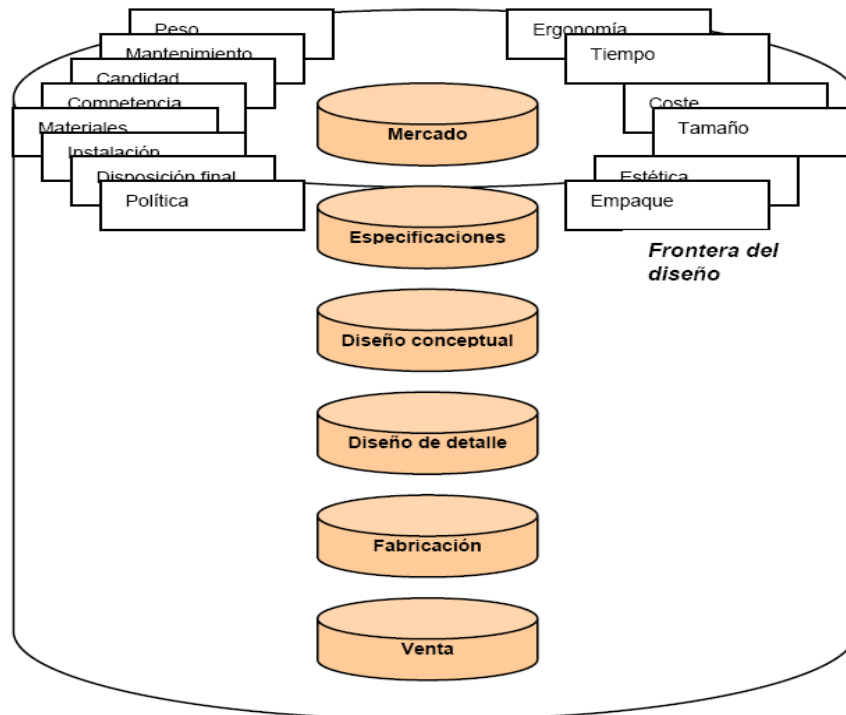


Figura 1.2.- Núcleo y especificaciones del proceso de diseño [8]

Cross clasifica los modelos de diseño en dos grupos: descriptivos y prescriptivos. Los modelos descriptivos muestran la secuencia de actividades que ocurren en diseño, dentro de los cuales se puede mencionar el modelo básico y el modelo de French. Los prescriptivos, como su nombre lo indica, prescriben un patrón de actividades de diseño.

Como se mencionó, los modelos prescriptivos además de describir, dan pautas para desarrollar cada una de las fases y etapas del proceso de diseño. En esta categoría existe una gran variedad de propuestas siendo las más conocidas las de Suh y Taguchi. En esta investigación se utiliza el modelo de Suh que es uno de los modelos prescriptivos que se ha empleado últimamente en el área de diseño.

# Capítulo II

## Diseño Axiomático

“A muchos científicos no les agradó la idea de que el universo hubiese tenido un principio, un momento de creación”.

**Stephen Hawking**

El diseño en ingeniería trata de la solución de necesidades humanas traducida en requerimientos funcionales. El proceso de diseño, da respuesta a éstos requerimientos por medio de un método. En este trabajo, se pone en práctica los conceptos del método de diseño axiomático para modelar un objeto de diseño ya existente. Este método de diseño se comenzó a aplicar en la década de los 90's. A continuación se dará una introducción y se comparará con otros modelos de diseño prescriptivo.

### **II.1.- Modelos Prescriptivos.**

A diferencia de los modelos descriptivos que suelen conceptualizar el proceso de diseño como un procedimiento sistemático a seguir, tan específico que es una particular visión, Evdouman afirma que entre los modelos prescriptivos del proceso de diseño, se hallan los que se basan en el proceso de diseño mismo y los que se basan en la observación de los atributos del producto [4]. Entre estos últimos se halla el modelo de diseño axiomático de Nam Pyo Suuh y el modelo de la función pérdida de Taguchi.

Gen'ichi Taguchi realizó un gran esfuerzo para llevar a un terreno práctico el diseño experimental. Introdujo, además, conceptos revolucionarios que afectaron la forma de medir la calidad y su costo. Para Taguchi, la calidad, antes que por la satisfacción de especificaciones, debe medirse en términos de la así llamada *función de pérdida*, que establece la pérdida que la sociedad sufre como consecuencia de la mala calidad [8]. Un producto de calidad es para el cliente aquél que cumple con las expectativas de *performance* o rendimiento cada vez que lo utiliza, sin fallas y en cualquier condición o circunstancia. Los productos que no cumplen con dichas expectativas causan pérdidas, tanto para los clientes y los productores, como para, eventualmente, el resto de la sociedad. Por esto, para Taguchi, la calidad debe medirse en función de la pérdida que causa: mientras mayor es la pérdida que se produce, menor es la calidad.

En esta tesis se busca satisfacer las necesidades y especificaciones del proyecto PAP el modelo de Taguchi tiene la particularidad de satisfacer la calidad antes de las necesidades y especificaciones en cambio del modelo de Suh se centra en la solución de las necesidades y especificaciones por lo que es práctico para nuestro objeto de estudio que es el módulo de vacío.

### **II.2.- Diseño Axiomático.**

El diseño axiomático es un principio general para análisis y síntesis de diseño desarrollado por el profesor Nam P. Suh del MIT para mejorar las actividades de diseño, proporciona una base teórica para basada en la lógica y el raciocinio a

través de herramientas y procesos, minimiza el proceso de prueba y error, reduce el tiempo de ciclo de desarrollo y mejora la calidad y la confiabilidad.

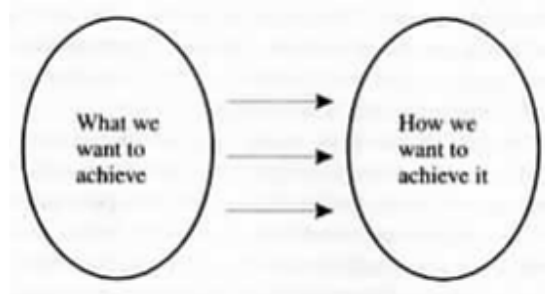


Figura 2.1.- El diseño se define cómo el mapeo o relación entre lo que se quiere hacer y cómo se va a hacer. [9]

Se define también como un método de diseño de sistemas, identificando los requerimientos funcionales, determinando los posibles parámetros de diseño y variables de proceso e integrándolos en un sistema. La forma para comprender las relaciones entre los diferentes requerimientos y parámetros se representa por matrices.

Según Suh, el diseño tiene que ver con la relación entre “que es lo que necesitamos lograr” y el “como elegimos satisfacer la necesidad” [9]. Esta relación es sistematizada por medio del concepto de “dominio” que establece la diferenciación entre los cuatro diferentes mundos del diseño: dominio de las necesidades del cliente, dominio funcional, dominio físico, dominio de los procesos.

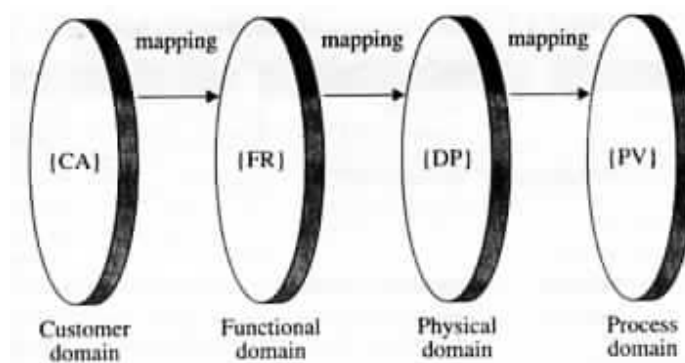


Figura 2.2.- Los cuatro dominios en el mundo del diseño, dominio de las necesidades del cliente, dominio funcional, dominio físico, dominio de procesos [9]

**II.3.- Requerimientos Funcionales y Parámetros de diseño.**

El que hacer del ingeniero consiste en un ir y venir de un dominio a otro en un proceso denominado mapeo. Para diseñar un sistema es imperativo determinar las necesidades del cliente CAs (customers attributes or needs) o atributos definidos en el dominio del cliente. Para esto existen muchos métodos para ordenar y jerarquizar las necesidades del cliente relacionándolas con características de ingeniería, estudio de mercado, etc; orientándolas el mejoramiento de un producto existente. Luego, en el dominio funcional, las necesidades del cliente son especificadas en términos de requerimientos funcionales FRs (Functional requirements) que se establecen como la mínima serie de requerimientos independientes que el diseño debe satisfacer de acuerdo a las restricciones Cs (Constraints).

El siguiente paso es mapear los FRs del dominio funcional hacia el dominio físico. Esto da a lugar a la materialización del diseño en términos de los parámetros de diseño DPs (Design Parameters). Los DPs deben ser elegidos de tal forma que no entran en conflicto con las restricciones. Para un sistema técnico, los FRs son funciones que el sistema debe realizar y los DPs son parámetros físicos, partes o ensambles de partes. Una vez que los DPs han sido establecidos, éstos van a ser mapeados en el dominio de los procesos PVs (process variables) para utilizar un proceso existente o crear uno nuevo, como se muestra en la figura 2.3.

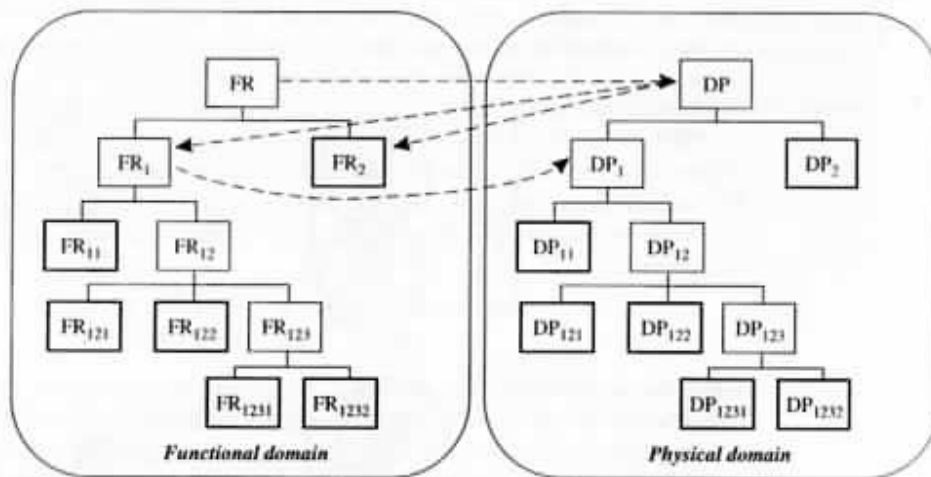


Figura 2.3.- Proceso de mapeo entre el dominio funcional y el dominio físico, se pueden observar los diferentes niveles de los requerimientos funcionales y los parámetros de diseño [10]

Ejemplo 1[9]:

“Diseño de una puerta de refrigerador”

¿Se puede considerar la puerta de refrigerador mostrada en la figura 2.4 como un buen diseño?

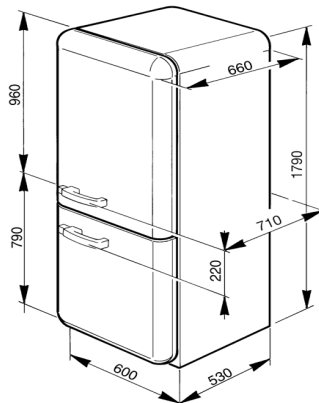


Figura 2.4.- Refrigerador Daewoo

Cada vez que se hace esta pregunta, se obtienen muchos tipos de respuestas. Algunos dicen que la puerta no es un buen diseño porque es inconveniente para las personas diestras. Algunos otros dicen que en realidad es un buen diseño. De cualquier manera la pregunta podría ser resulta si nos preguntamos cuales son las metas del diseño (requerimientos funcionales) de la puerta de refrigerador.

Si el propósito de la puerta es proveer el acceso a lo que está dentro del refrigerador, entonces la puerta cumple con esa función. Por lo tanto, el diseño de la puerta es un buen diseño. Aunque, otra manera de verlo sería con los requerimientos funcionales que genera la puerta:

- 1) Proveer el acceso a la comida dentro que está dentro del refrigerador.
- 2) Minimizar el consumo de energía.

Los requerimientos funcionales nos indican que la puerta tiene un pobre diseño porque cada vez que la puerta se abre, el aire frío que se encuentra en el refrigerador es reemplazado por aire caliente del exterior, eso es un desperdicio de energía. La puerta debió diseñarse de distinta manera para satisfacer estos dos requerimientos funcionales, considerando algunas alternativas en el diseño que nos dan los dos requerimientos funcionales.

Reconsiderando el diseño de la puerta del refrigerador los requerimientos funcionales del refrigerador son ( $FR_s$ ):

- $FR_1$ = Provee acceso a los artículos que se guardan dentro del refrigerador.
- $FR_2$ = Minimizar la pérdida de energía.

Para materializar el diseño es necesario establecer parámetros de diseño, estos se deben elegir en base a las restricciones de los requerimientos funcionales (parámetros físicos, partes, ensambles, etc..) de diseño sin que estos entren en conflicto entre estos. Lo siguiente es determinar los parámetros de diseño ( $DP_s$ ) y la matriz de diseño.

Los  $DP_s$  que se escogieron son:

- $DP_1$ = Puerta vertical colgante.
- $DP_2$ = Material de aislamiento térmico en la puerta.

#### **II.4.- Primer y Segundo Axioma del Diseño Axiomático.**

Para Suh, durante los procesos de mapeo, se deben respetar dos axiomas. El axioma de independencia determina que un DP específico puede ser ajustado para satisfacer su correspondiente FR sin afectar otro requerimiento funcional. Esto no quiere decir que para cada DP deba corresponder una pieza física separada.

De acuerdo al axioma 1 el caso ideal es tener un mapeo uno a uno de manera que un "1" específico pueda ser ajustada para satisfacer a su correspondiente Y sin afectar a otros requerimientos, es decir evitar vulnerabilidades. El acoplamiento ocurre cuando un concepto no incluye ciertos parámetros de diseño o no cumple sus restricciones. Por medio del proceso de Zigzagueo, el equipo identifica las restricciones de diseño. A veces se confunden con requerimientos funcionales (FRs). Los requerimientos funcionales representan lo que un diseño hace; se relacionan con el desempeño y pueden ser especificados con cierta tolerancia. Los aspectos tales como costo, confiabilidad, e impacto ambiental no mieden la función directamente y no pueden ser relacionados a una DP particular, por tanto representan restricciones. Una restricción es una propiedad del diseño, no algo que hace el diseño.

El segundo axioma, el axioma de la información, establece que la solución que contiene la menor cantidad de información es el mejor diseño. La cantidad de información puede ser medida estadísticamente al comparar dos soluciones que satisfacen de igual manera el axioma de independencia funcional pero cuya

probabilidad de suceder es diferente y es una guía para la selección de los DPs adecuados. Si un evento tiene una probabilidad de suceder de 1, luego tiene una cantidad de información igual a 0.

En un esfuerzo por establecer bases científicas para el diseño y mejorar la práctica del ingeniero al proveer una base teórica fundamentada en procesos de pensamiento y herramientas lógico racional. En principio son los axiomas de la independencia funcional y de la menor cantidad de información. Sus bases conducen al proceso de diseño a establecer relaciones, utilizando álgebra lineal, entre los dominios de las necesidades del cliente {Ns} al de los requerimientos funcionales {FRs} que a su vez se relacionan con el dominio de los parámetros de diseño {DPs} y sus correspondientes procesos de manufactura en ese dominio {MPs} que lo hacen realidad.

### II.5.- Ecuación de diseño.

La etapa de diseño conceptual involucra una relación entre los requerimientos funcionales {FRs} y las soluciones planteadas en el dominio físico como los parámetros de diseño {DPs}. Esta relación se da por medio de una matriz [A] de relación o matriz de diseño axiomático. Entonces un proceso de diseño está descrito por una ecuación de diseño de la forma {FRs} = [A]{DPs}.

Donde el vector {FRs} de requerimientos funcionales debe tener el mismo número de elementos que el vector {DPs} de parámetros de diseño, además de que [A] sea diagonal para un producto de diseño axiomático ideal o triangular para un producto de diseño axiomático desacoplado.

$$\begin{Bmatrix} Fr_1 \\ Fr_2 \\ \dots \\ Fr_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & A_{12} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_1 \\ Dp_2 \\ \dots \\ Dp_n \end{Bmatrix}$$

$$A=1$$

Otros arreglos con diferentes números de FRs a DPs son considerados redundantes o acoplados y por lo tanto diseños no adecuados.

$$\begin{Bmatrix} Fr_1 \\ Fr_2 \\ \dots \\ Fr_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ 0 & A_{22} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_1 \\ Dp_2 \\ \dots \\ Dp_n \end{Bmatrix}$$



A=1

Ejemplo 1 [9] (continuación):

Se toman en cuenta los requerimientos funcionales y los parámetros de diseño obtenidos anteriormente.

La matriz de diseño se puede determinar cómo:

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix}$$

El diseño de la puerta es un diseño acoplado (redundante). Desafortunadamente, este sigue no siendo un buen diseño porque el material de aislamiento (típicamente espuma de poliuretano) puesto en la puerta no puede compensar el aire frío que se escapa del refrigerador cuando la puerta está abierta.

Una solución es hacer la puerta colgante horizontal como aquellas que se encuentran en los frigoríficos. En este caso, el aire frío permanece dentro cuando la puerta se abre. El diseño matricial entonces podría presentar un diseño no acoplado que se muestra en la siguiente ecuación.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix}$$

Se concluye que la matriz de diseño siempre se busca que sea de una forma no acoplada.

## II.6.- Ejemplo práctico.

A continuación se resolverá el problema de la puerta del refrigerador usando el mapeo, el zigzageo y descomponiendo todos los requerimientos funcionales que surjan.

Los consumidores demandan una aplicación eléctrica que preserve la comida por un período de tiempo extenso. La solución típica que se le da al problema es congelar la comida para un periodo muy largo de tiempo y guardar a una temperatura baja los alimentos más no congelarlos para un período corto de tiempo. Estas necesidades se pueden establecer formalmente en términos de dos requerimientos funcionales:

- $FR_1$ = Congelar comida por un periodo largo de preservación.
- $FR_2$ = Mantener la comida a baja temperatura para periodos cortos de preservación.

Para satisfacer estos dos requerimientos funcionales, un refrigerador con dos compartimientos es diseñado. Dos parámetros de diseño para este refrigerador podrían quedar de la siguiente manera:

- $DP_1$ = La sección del congelador.
- $DP_2$ = La sección del refrigerador.

Para satisfacer  $FR_1$  y  $FR_2$ , la sección del congelador debe afectar solamente la comida que va a ser congelada y la sección del refrigerador solo debe afectar a la comida que se va a enfriar sin congelarla. En este caso, la matriz de diseño debería ser diagonal. Cuando nosotros descomponemos los requerimientos funcionales y los parámetros de diseño, debemos estar seguros que el nivel más bajo de requerimientos funcionales y parámetros de diseño sean consistentes con el nivel más alto de la decisión de diseño.

Habiendo escogido  $DP_1$ , podemos descomponer  $FR_1$  como:

- $FR_{11}$ = Control de la temperatura de la sección del congelador en el rango de  $-18^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$
- $FR_{12}$ = Mantener uniformemente la temperatura preseleccionada a través de toda la sección del congelador.
- $FR_{13}$ = Control de la humedad de la sección del congelador, teniendo una humedad del 50%.

De manera similar, habiendo escogido  $DP_2$ , podemos descomponer  $FR_2$  como:

- $FR_{21}$ = Control de la temperatura de la sección del refrigerador en el rango de  $2^{\circ}\text{C}$  a  $3^{\circ}\text{C}$ .
- $FR_{22}$ = Mantener uniformemente la temperatura preseleccionada a través de toda la sección del refrigerador con una tolerancia de  $0.5^{\circ}\text{C}$ .

Para satisfacer el segundo nivel de requerimientos funcionales, debemos idear un diseño y la forma de identificar los parámetros de diseño que puedan satisfacer los requerimientos funcionales en este nivel de descomposición. Como  $FR_1$  y  $FR_2$  son independientes uno del otro entonces  $DP_1$  y  $DP_2$  también, debemos asegurarnos que los requerimientos funcionales del segundo nivel sean independientes uno del otro. En la elección de nivel de los parámetros de diseño debemos fijarnos muy

bien en los niveles de los requerimientos funcionales para no comprometer la independencia de  $FR_1$  y  $FR_2$ .

Los requerimientos de la sección del congelador pueden ser solucionados como:

- 1) Introduciendo aire frío a la sección del congelador.
- 2) Hacer circular uniformemente el aire frío a través de la sección del congelador.
- 3) Monitorear la temperatura y humedad del aire, de modo que la temperatura sea controlada independientemente de la humedad contenida en el aire.

Entonces el segundo nivel de parámetros de diseño puede quedar de la siguiente manera:

- $DP_{11}$ = Sistema de sensores y compresor que active o desactive el compresor cuando la temperatura del aire sea más alta o baja que la temperatura predeterminada en la sección del congelador.
- $DP_{12}$ = Sistema de circulación de aire que ventile el aire dentro de la sección del congelador y que circule de manera uniforme a través de ésta, todo el tiempo.
- $DP_{13}$ = Condensar la humedad en el aire de retorno cuando su punto de rocío este excedido.

Entonces la ecuación de diseño puede ser escrita de la siguiente forma:

$$\begin{Bmatrix} FR_{12} \\ FR_{11} \\ FR_{13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{12} \\ DP_{11} \\ DP_{13} \end{Bmatrix}$$

La ecuación nos indica que se trata de un diseño desacoplado. Aunque, se puede ver que se tuvo que cambiar el orden de los requerimientos funcionales y los parámetros de diseño para que se formara una matriz triangular; el ventilador debe ser activado antes de activar el compresor.

Podemos ahora diseñar la sección del refrigerador donde la comida va a ser guardada a una temperatura de entre 2°C a 3°C. Como la vez anterior, el aire debe circular a través de la sección del refrigerador y activar el compresor cuando la temperatura del aire de retorno este fuera del rango de temperatura deseado. Para tener una distribución uniforme de temperatura se debe diseñar una combinación de aire con ventilación para asegurarnos de una buena circulación del mismo en la sección del refrigerador. Los parámetros de diseño son:

- $DP_{21}$ = Sistema de sensores y compresor que active o desactive el compresor cuando la temperatura del aire sea más alta o baja que la temperatura predeterminada en la sección del refrigerador.
- $DP_{22}$ = Sistema de circulación de aire que ventile el aire dentro de la sección del refrigerador y que circule de manera uniforme a través de esta todo el tiempo.

La matriz de diseño nos da una relación triangular:

$$\begin{Bmatrix} FR_{22} \\ FR_{21} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{22} \\ DP_{21} \end{Bmatrix}$$

La matriz maestra de diseño, mostrada en la tabla 2.1, que muestra los dos niveles de descomposición es la siguiente:

		DP <sub>1</sub>			DP <sub>2</sub>	
		DP <sub>12</sub>	DP <sub>11</sub>	DP <sub>13</sub>	DP <sub>22</sub>	DP <sub>21</sub>
FR <sub>1</sub>	FR <sub>12</sub>	X	0	0	0	0
	FR <sub>11</sub>	X	X	0	0	0
	FR <sub>13</sub>	X	0	X	0	0
FR <sub>2</sub>	FR <sub>22</sub>	0	0	0	X	0
	FR <sub>21</sub>	0	0	0	X	X

Tabla 2.1

Esta matriz maestra, muestra que la descomposición es consistente con el intento original de diseño.

Una de las preguntas que se derivan del diseño es el uso del compresor y ventilador para satisfacer el conjunto de {FR<sub>11</sub>, FR<sub>12</sub>, FR<sub>13</sub>} y el de {FR<sub>21</sub>, FR<sub>22</sub>} para minimizar la cantidad de información empleada sin comprometer la independencia del sistema. Claramente se puede usar un compresor y un ventilador para satisfacer el diseño. DP<sub>11</sub> y DP<sub>21</sub> son sistemas de sensores con compresor, el compresor debe activarse cuando cualquiera de estos este encendido. Pero el ventilador (representado por DP<sub>12</sub> y DP<sub>22</sub>) no debe ser activado a menos que la temperatura de alguna de la secciones este fuera de este rango. Este hecho se puede representar más claramente si descomponemos FR<sub>11</sub>-DP<sub>11</sub> y FR<sub>21</sub>-DP<sub>21</sub> al siguiente nivel.

Es interesante comparar este nuevo diseño con el diseño convencional, esto demuestra que puede haber muchas alternativas que satisfagan el diseño, el

trabajo del diseñador es encontrar las que satisfagan los requerimientos de diseño que en este caso se pudo con un arreglo de dos ventiladores y un condensador.

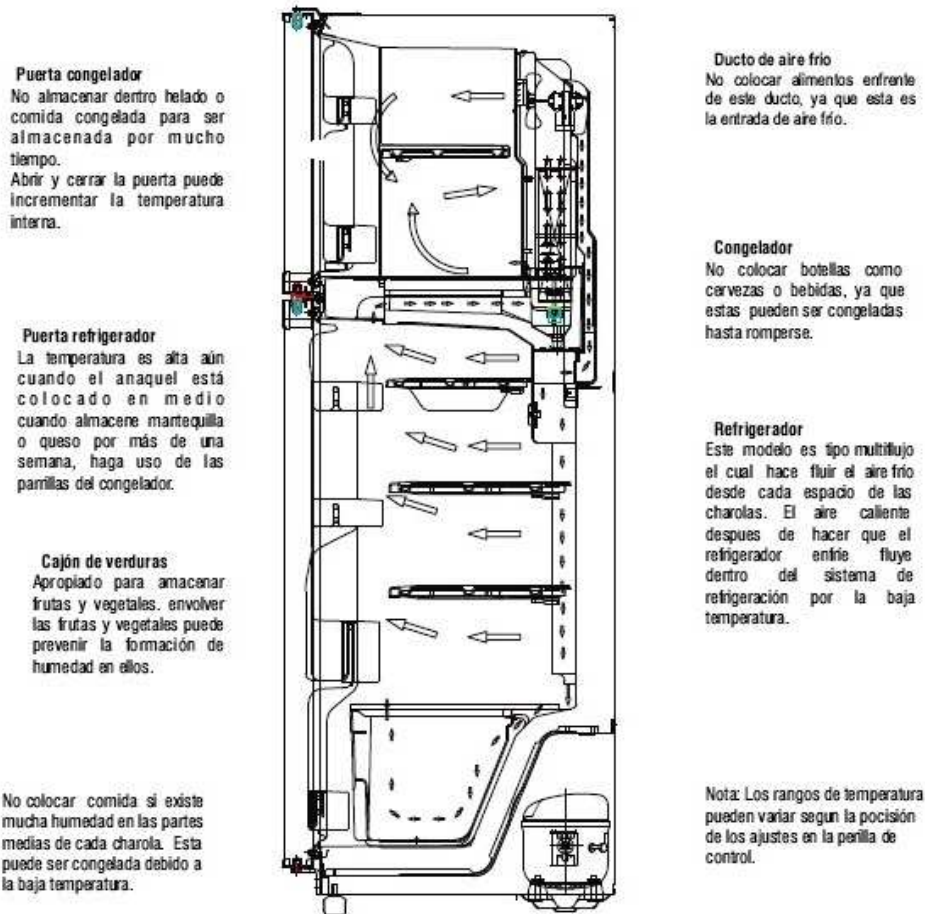


Figura 2.5.- Detalle de cada función y parámetro en el refrigerador

Se ha explicado el funcionamiento del diseño axiomático y la forma de utilizar este método, en el siguiente capítulo se explicara el caso de estudio y cómo podemos empezar a aplicar este método de diseño para el modelado de una alternativa de solución diferente a la ya convencional.

# Capítulo III

## Proyecto PAP

"Si la gente no piensa que las matemáticas son simples, es solo porque no se dan cuenta de lo complicada que es la vida".

**John Von Neumann**

Habiendo elegido los conceptos del diseño axiomático como método de modelado es necesario conocer nuestro caso de estudio. Un módulo de vacío que forma parte del proyecto PAP. Para caracterizarlo, es necesario conocer su funcionamiento, y de esa manera ilustrar cómo la solución de diseño inicial es representada en su ecuación de diseño axiomático.

### III.1.- Proyecto PAP (Plataforma para el Acomodo de Piezas)

En la industria del calzado una de las problemáticas más comunes dentro del proceso de fabricación es el desperdicio de materiales como la piel, al momento de realizar los cortes de cada una de las piezas del producto. A partir de lo anterior en el año de 2007 surge el proyecto PAP (*Plataforma para el Acomodo de Piezas*), el cual consiste en el diseño y construcción de un dispositivo que permite la sujeción y posicionamiento preciso que orienta, sujeta y coloca las piezas de cuero para que un sistema de visión y medición pueda realizar las operaciones de escaneo y marcado en cada pieza de piel, que pueden ser piezas de diferentes calibres, dimensiones y colores.

El dispositivo PAP consta de dos partes:

- 1) Software que es el programa de administración de datos que realiza el “nesting” (acomodo).
- 2) Hardware que consta de una estructura mecánica que consta de una mesa con sistema de vacío, un sistema de visión que consta de una cámara digital, lápiz luminoso y sistema de iluminación adosada a la estructura y una consola, que es básicamente una computadora que procesa la información.

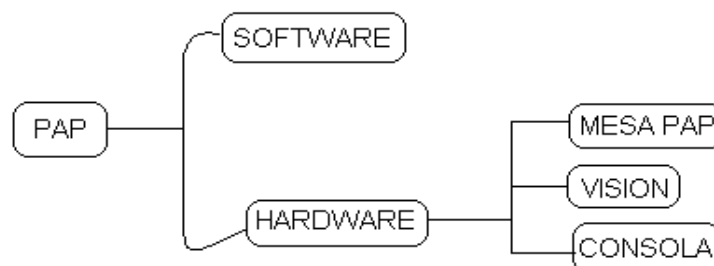


Figura 3.1.- Sistemas que integran PAP [1]

Como se observa en la figura 3.2, este dispositivo está diseñado para incorporarse a la línea de producción en un proceso off-line, apoyando al cumplimiento del programa de producción, mediante la operación de “nesting” (acomodo) sin interferir con la realización y desarrollo del mismo.

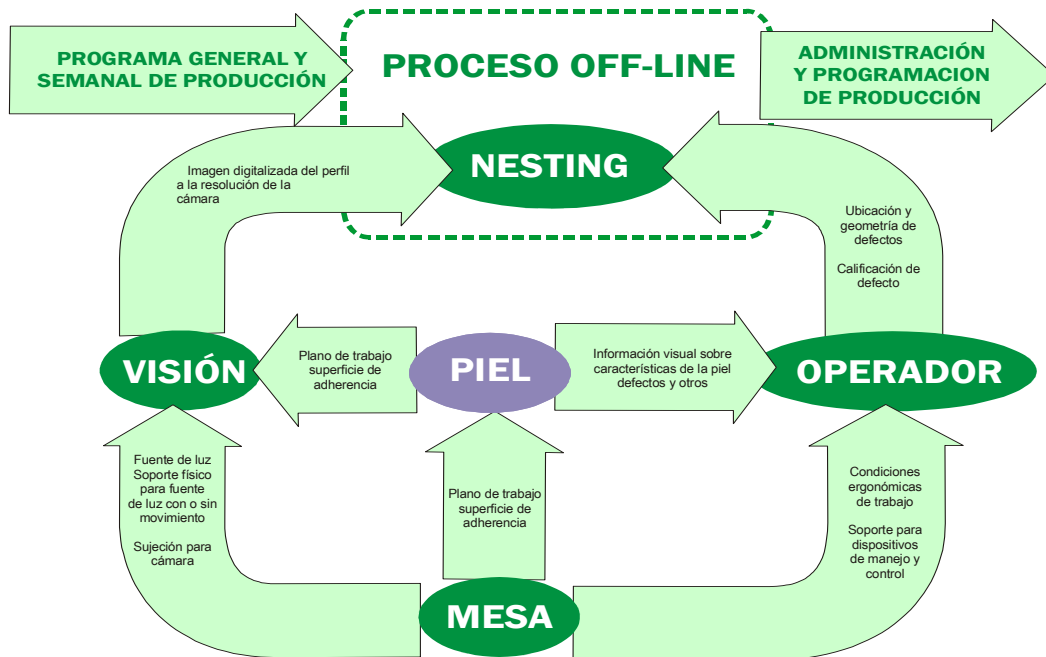
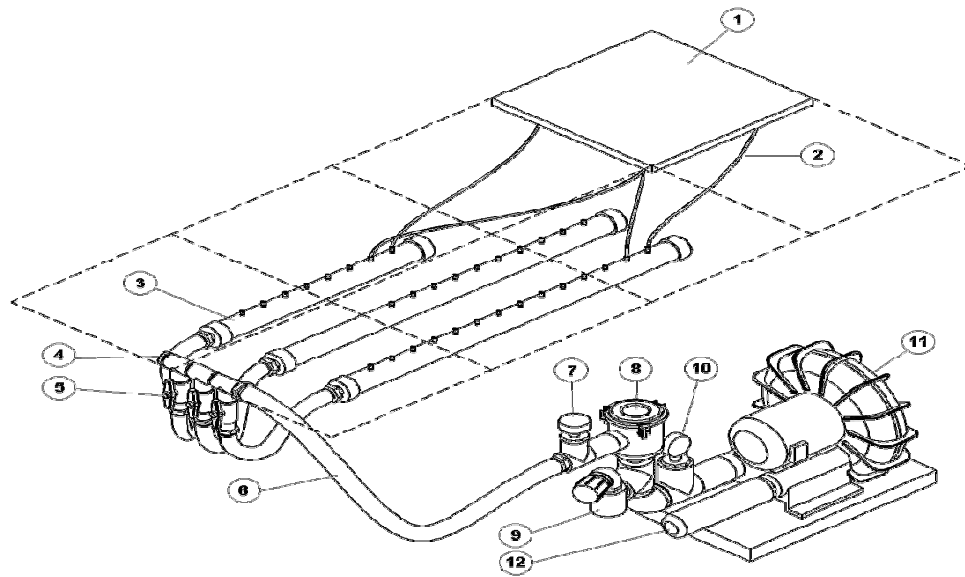


Figura 3.2.- Relación entre subsistemas en PAP [1]

### III.2.- Módulo De Vacío

Dentro del sistema PAP existe un subsistema denominado módulo de vacío (mesa), cuyo objetivo es succionar aire para que la pieza que se utilizará en el corte, no se mueva y pueda ser escaneada y medida, apoyada por controles neumáticos, bomba de vacío, tanque, etc.





- |   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. MÓDULO DE VACÍO (8 piezas)           | 7. VACUÓMETRO DE ENTRADA |
| 2. TUBO FLEXIBLE (32 piezas)            | 8. FILTRO                |
| 3. DISTRIBUIDOR LONGITUDINAL (3 piezas) | 9. VÁLVULA DE SEGURIDAD  |
| 4. DISTRIBUIDOR PRINCIPAL (1 pieza)     | 10. VACUÓMETRO PRINCIPAL |
| 5. VÁLVULAS DE CONTROL                  | 11. BOMBA DE VACÍO       |
| 6. DUCTO PRINCIPAL                      | 12. MOFLE                |

Figura 3.3.- Descripción del sistema de succión [1]

La mesa PAP básicamente es un plano de trabajo horizontal conformado por 8 módulos. Cada uno consta de 4 áreas de succión que dan un total de 32 áreas de succión repartidas en 3 secciones. La primera sección consta de 8 áreas de succión y se encuentra justo al frente del operador. La segunda sección rodea a la primera con un total de 10 áreas de succión. La última sección rodea a las dos anteriores con 14 áreas de succión.

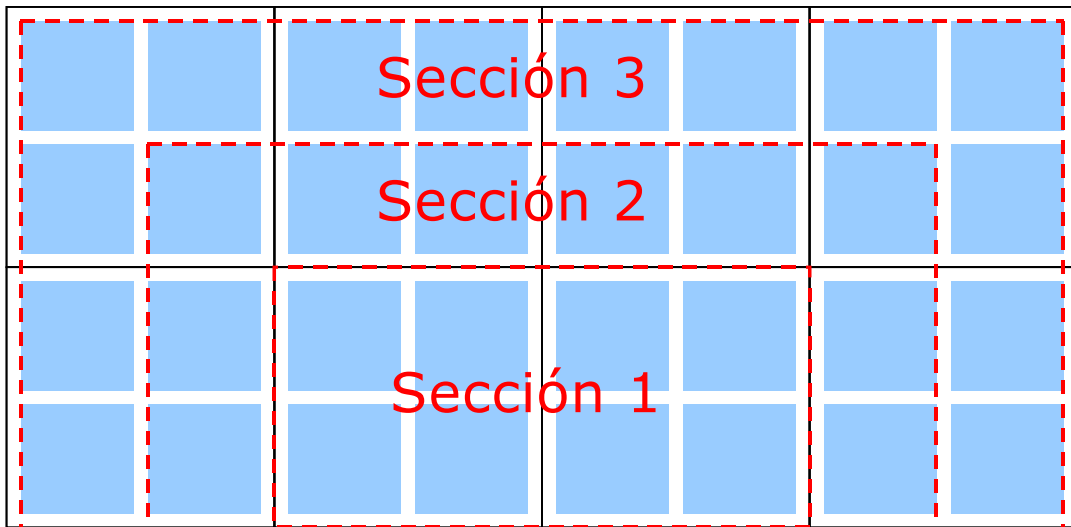


Figura 3.4.- Secciones del modulo de vacío [1]

Cada área de succión de cada sección está conectada a un distribuidor longitudinal de vacío que a su vez va conectado al distribuidor principal por medio de una válvula independiente. Abrir o cerrar cada una de estas válvulas provee de vacío a la sección completa. De tal manera que el gasto total de la bomba, es repartido, abiertas la sección 1, en 8 áreas de succión, abiertas 1 y 2 en 18 cámaras de succión; abiertas la 1, 2 y 3 en las 32 cámaras de succión.

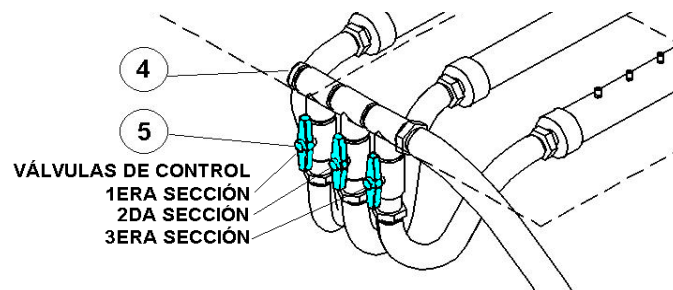


Figura 3.5.- Válvula de control de cada sección [1]

La geometría de la pieza de piel elegida determinará cuáles secciones van a ser habilitadas para trabajar. Para el ejemplo sólo son necesarias las secciones 1 y 2, por lo que se abren las válvulas correspondientes. Sin embargo, la irregular geometría de la piel obliga a que, en lo posible, el operador se ayude con piezas pequeñas de lámina plástica delgada y flexible (PVC laminado por ejemplo) y transparente para cubrir los orificios de las cámaras en operación no abarcadas por la piel. De esa manera se asegura mayor eficiencia en la adhesión por succión de la piel sobre la superficie de trabajo.

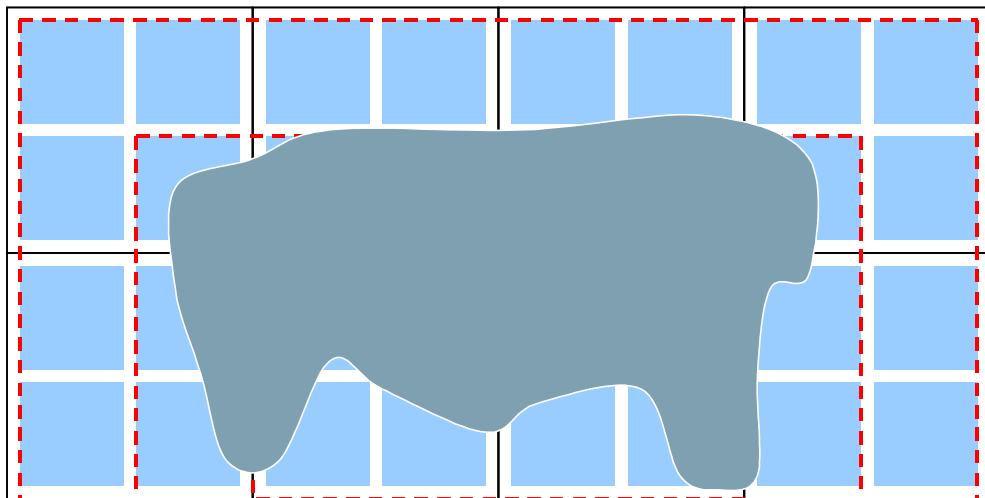


Figura 3.6.- Posicionamiento de la pieza [1]

Definido el caso de estudio se aplicarán los conceptos del método de diseño axiomático para modelarlo, se cubrirá el objetivo principal que es aplicar este método para caracterizar el diseño, se desarrollara en el siguiente capítulo.

# Capítulo IV

## Análisis Módulo de Vacío

“Locura es hacer la misma cosa una y otra vez esperando obtener diferentes resultados”.

**Albert Einstein**

En este capítulo se pondrán en práctica los principios del método de diseño axiomático para modelar y caracterizar el módulo de vacío del proyecto PAP. Para esto, es importante construir y desarrollar su ecuación de diseño a partir de los requerimientos que dan origen el módulo de vacío con el objeto de estudiarlo utilizando los conceptos del diseño axiomático que nos aporten otros puntos de vista e interpretaciones con respecto de diseño original.

#### IV.1.- Obtención de la ecuación de diseño.

Primero se enlistan las funciones que realiza el módulo de vacío:

- Posiciona las piezas de piel, sin movimiento sobre el plano.
- Maneja diferentes tamaños de piel.
- Mantiene una superficie de trabajo plana.

Las restricciones a que está sometido son:

- Mantener un plano de trabajo de 75cm x 75cm.
- Materiales resistentes al medio ambiente.
- La mesa está integrada por 8 módulos.

De estas funciones se desprenden de los requerimientos funcionales necesarios para definir la arquitectura de del sistema (figura 4.1).

FR<sub>1</sub>= Fijación de la piel a la mesa.

FR<sub>2</sub>= Equilibrio de sistema con succión activado.

FR<sub>3</sub>= Manejo de diferentes tamaños de piel y diferentes ángulos de posición de la mesa de trabajo.

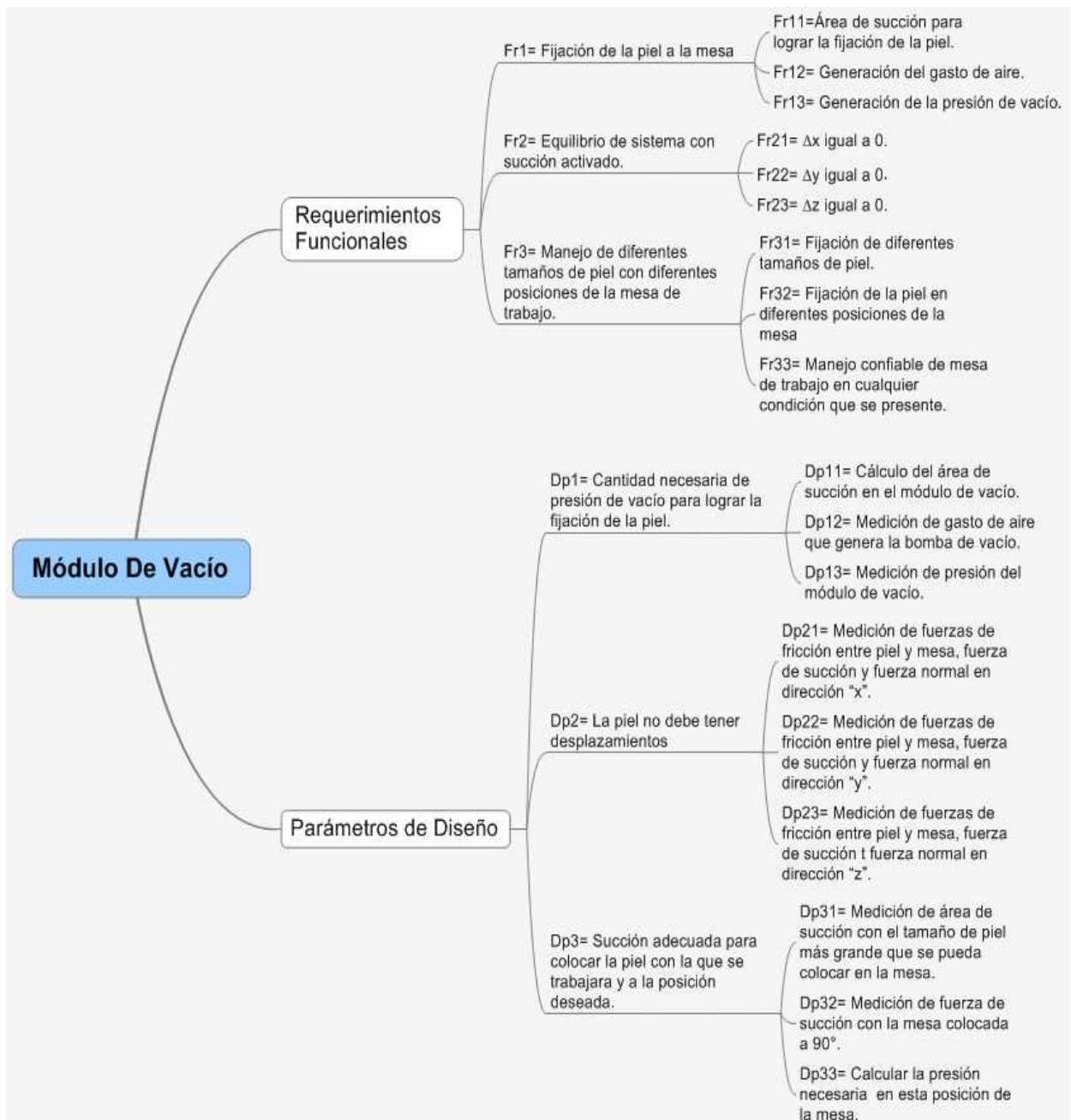


Figura 4.1.- Arquitectura del sistema MÓDULO DE VACÍO.

**IV.2.- Solución 1**

Fr<sub>1</sub>= Fijar la piel a la mesa.

Dp<sub>1</sub>= dispositivo plano activado por presión de vacío para lograr la fijación de la piel.

Generación de requerimientos funcionales y parámetros de diseño para realizarlo (mapeo, ver figura 4.2).

Fr<sub>11</sub>= Área de succión necesaria para que se logre la fijación de la piel.

Fr<sub>12</sub>= Generar gasto de aire.

Fr<sub>13</sub>= Generar presión de vacío.

Dp<sub>11</sub>= Área de succión en el módulo de vacío. (L<sup>2</sup>)

Dp<sub>12</sub>= Gasto de aire que genera la bomba de vacío. (L<sup>3</sup>/t)

Dp<sub>13</sub>= Medición de presión a la entrada del módulo de vacío. (F/ L<sup>2</sup>)

Matriz de diseño según el diseño axiomático.

$$\{Fr_1\} = [A]\{Dp_1\}$$

$$\begin{Bmatrix} Fr_{11} \\ Fr_{12} \\ Fr_{13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1^* & 1 & 0 \\ 1^* & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_{11} \\ Dp_{12} \\ Dp_{13} \end{Bmatrix}$$

1\* =Se refiere a valores máximos (área y presión)

Desarrollando las combinaciones lineales se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$Fr_{11} = Dp_{11}$$

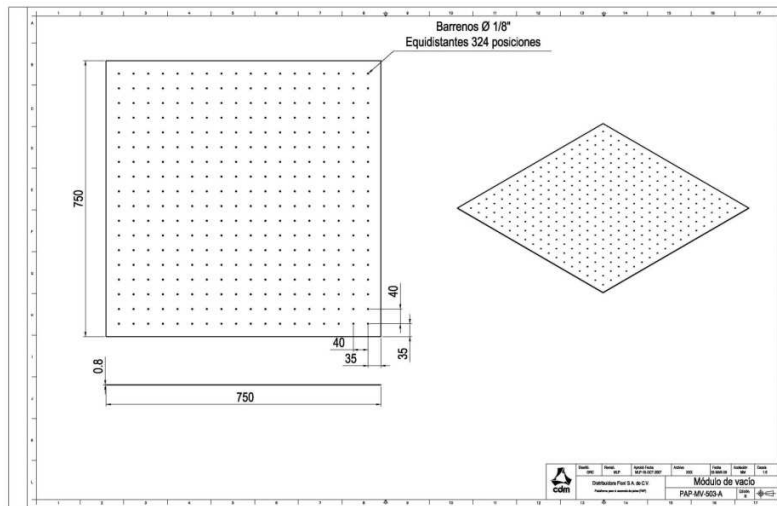
$$Fr_{12} = Dp_{11} + Dp_{12}$$

$$Fr_{13} = Dp_{11} + Dp_{13}$$

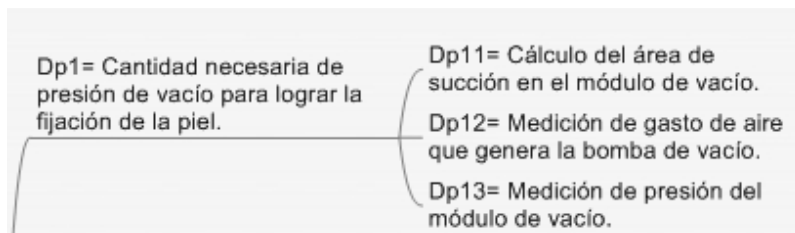
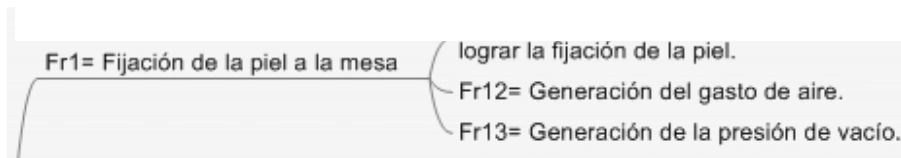
En la ecuación se puede observar la relación entre los requerimientos funcionales y los parámetros de diseño, al analizar la combinación lineal, tenemos la combinación del primer requerimiento funcional con el primer parámetro de diseño de forma independiente.

$$Fr_{11} = Dp_{11}$$

El área de los orificios está definida por el diseño original de la siguiente manera.



Cabe recordar que la mesa está dividida en 8 módulos; cada módulo está compuesto por 4 cámaras y cada una de estas cámaras poseen 81 orificios de succión cada una.



(Figura 4.2) parte de la arquitectura del sistema correspondiente a la solución 1

Realizando cálculos de área:

$$\text{Área} = \left( \frac{0.0792[\text{cm}^2]}{1[\text{orificio}]} \right) * \left( \frac{81[\text{orificios}]}{1[\text{cámara}]} \right) * \left( \frac{4[\text{cámaras}]}{1[\text{módulo}]} \right) * \left( \frac{8[\text{módulo}]}{1[\text{mesa}]} \right)$$

Se obtiene



Área de succión de la mesa = 25.67 [cm<sup>2</sup>/módulo]

La mesa de vacío está compuesto por 8 módulos

Área de succión = (25.67 [cm<sup>2</sup>/módulo])\*(8 [módulos])

Área de succión = **205 [cm<sup>2</sup>]**

En la segunda combinación lineal se encuentra para el segundo requerimiento funcional una relación de dependencia entre el primer y el segundo parámetro de diseño.

$$Fr_{12} = DP_{11} + Dp_{12}$$

Aquí se refiere al gasto de aire necesario para generar vacío en el sistema, hace referencia al gasto de aire aportado por la bomba de vacío en funcionamiento y que es repartido entre el aire que entra (vacío que escapa) por los orificios no utilizados o mal tapados que se resta al gasto total proporcionado por la bomba. La proporción en que interviene el  $DP_{11}$  con respecto al gasto total es una referencia a la eficiencia en este aspecto del sistema.  $DP_{11}$  disminuirá tendiendo a cero cuando no “escape” presión de vacío por los orificios.



Gasto de aire = **10[m<sup>3</sup>/hora]**

La última combinación lineal,  $Fr_{13}$ , nos da como resultado una relación de dependencia entre el primer parámetro de diseño y el último.

$$Fr_{13} = Dp_{11} + Dp_{13}$$

La solución para este requerimiento funcional requiere que se analice de la misma manera que en la solución dada al Fr<sub>12</sub>. Un determinado número de orificios mal cerrados o no utilizados incidirán en la caída de la presión necesaria para mantener la piel fija a la mesa. La irregularidad en el tamaño y geometría de la piel ha de incidir en la cantidad de presión de vacío mínima necesaria para fijarla a la mesa.



Se usa el tamaño de piel más grande que se pueda montar con una masa de 38,880 [gr] pero como si volteáramos la mesa cabeza abajo como una situación muy extrema, ya que esto es sólo un ejercicio.

$$\text{Peso de piel} = (38.880 \text{ [Kg]}) * (9.81 \text{ [m/s}^2\text{)})$$

$$\text{Peso de piel} = 381.4128 \text{ [N]}$$

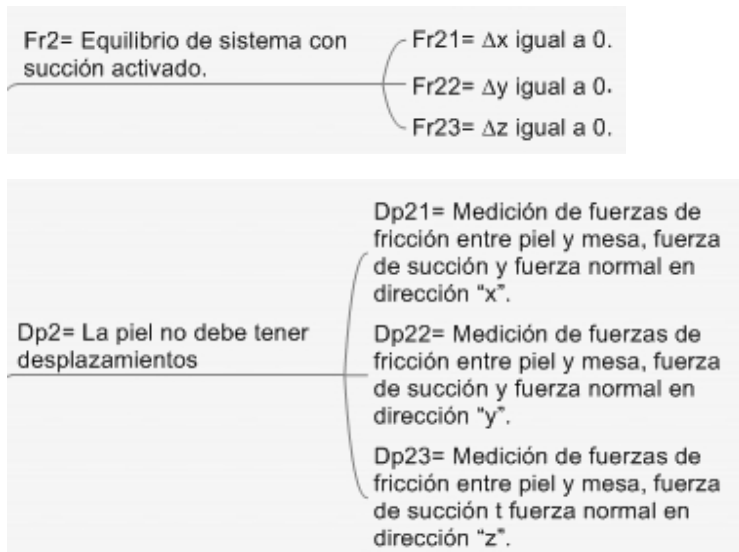
$$\text{Presión de vacío} = (381.4128 \text{ [N]}) / 0.020536 \text{ [m}^2\text{)}$$

$$\text{Presión de vacío} = 18.57 \text{ [KPa]}$$

$$\text{Presión de vacío mínima necesaria para fijar piel} = \mathbf{18 \text{ [KPa]}}$$

Se usa el área de succión que se obtuvo del primer parámetro de diseño, con este y el peso máximo del tramo de piel que cubriría la mesa se obtiene la presión mínima necesaria para fijar la piel a ella.

### IV.3.- Solución 2



(Figura 4.2.- parte de la arquitectura del sistema correspondiente a la solución 2)

$Fr_2$ = Equilibrio de sistema con succión activado.

$Dp_2$ = La piel debe tener desplazamientos “cero” en las tres direcciones.

Generación de requerimientos funcionales y parámetros de diseño.

$Fr_{21} = \Delta x$  igual a 0.

$Fr_{22} = \Delta y$  igual a 0.

$Fr_{23} = \Delta z$  igual a 0.

$Dp_{21}$ = Medición de fuerzas de fricción entre piel y mesa, fuerza de succión y fuerza normal en dirección “x”. (N)

$Dp_{22}$ = Medición de fuerzas de fricción entre piel y mesa, fuerza de succión y fuerza normal en dirección “y”. (N)

$Dp_{23}$ = Medición de fuerzas de fricción entre piel y mesa, fuerza de succión y fuerza normal en dirección “z”. (N)

Matriz de diseño.

$$\{Fr_2\} = [A]\{Dp_2\}$$

Ejemplo 1

$$\begin{Bmatrix} Fr_{21} \\ Fr_{22} \\ Fr_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_{21} \\ Dp_{22} \\ Dp_{23} \end{Bmatrix}$$

Desarrollando las combinaciones lineales se obtiene la siguiente ecuación:

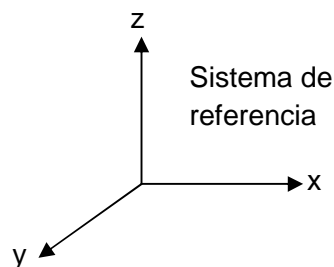
$$Fr_{21} = Dp_{21}$$

$$Fr_{22} = Dp_{22}$$

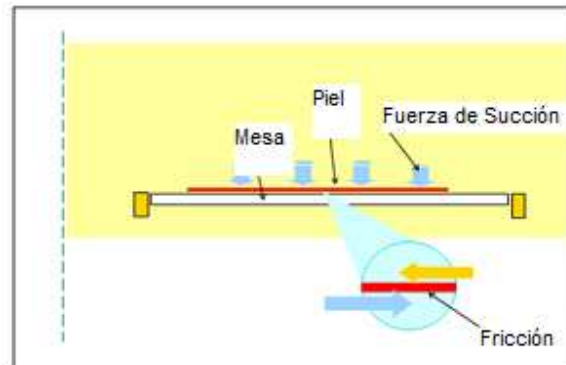
$$Fr_{23} = Dp_{23}$$

Se observa una combinación lineal que nos da como resultado un diseño desacoplado relacionando los requerimientos funcionales con su respectivo parámetro de diseño esta propuesta nos indica una relación de independencia en cada uno de sus combinaciones por lo tanto no son dependientes una de la otra.

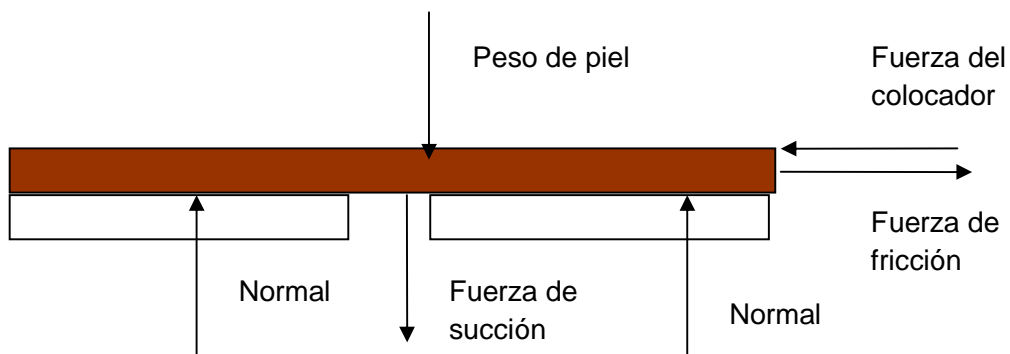
Para poder tener una aproximación del funcionamiento de la mesa es necesario proponer un sistema de referencia y con este calcular el resultado de la suma de fuerzas que queremos estudiar.



Una vez propuesto nuestro sistema de referencia debemos de ubicar la fuerzas que actúan entre la piel y la mesa, para hacer esto se hace un diagrama de cuerpo libre de la mesa y la piel cuando la fuerza de succión esta actuando en la piel.



(figura 4.3.-. Descripción de las fuerzas actuantes sobre el plano de trabajo)



(figura 4.4.-. Diagrama de cuerpo libre de las fuerzas actuantes sobre el plano de trabajo)

Una vez que se propone nuestro diagrama de cuerpo libre es necesario definir las fuerzas que están actuando y poder así realizar nuestra suma de fuerzas en cada uno de nuestros ejes de referencia.

Peso de piel =  $W_{piel} = 381 \text{ [N]}$  (se calcula con la masa máxima de la piel 38.880[kg]).

Fuerza de succión =  $F_s = 381 \text{ [N]}$  (se calcula usando la presión de vacío mínima necesaria de 18.57 [KPa]).

Normal =  $W_{piel} + F_s = 762 \text{ [N]}$

Fuerza de Fricción =  $F_f = \mu_{\text{estático}} * \text{Normal} = 381 \text{ [N]}$  (se usa un coeficiente estático de 0.5 de la relación entre la mesa y la piel)

Fuerza Colocador = ¿? (se refiere a la fuerza que aplica el “colocador” al acomodar la piel en nuestra mesa, con el sistema de succión activado, bajo las características antes propuestas)

Una vez encontrados los valores de las fuerzas que están actuando en nuestro arreglo veremos cómo se comportan en cada parámetro de diseño.

En la primera combinación encontramos una relación de independencia

$$Fr_{21} = Dp_{21}$$

Aquí haremos una sumatoria de fuerzas en el eje “x” para comprobar que habiendo equilibrio entre las fuerzas la piel no se mueve, la sumatoria nos debe de dar cero entonces se cumple nuestro parámetro de diseño.

$$\sum F_x = F_{fx} + F_{cx}$$

$$0 = 381.3544 + F_{cx}$$

$$F_{cx} = -381 \text{ [N]}$$

Esto nos indica que el requerimiento funcional es cubierto mientras no exista una fuerza de 381 [N] jalando en la dirección x que no sobrepase a la fuerza de fricción. Si no lo supera, habrá equilibrio y la piel no se moverá.

En la segunda combinación encontramos también una relación de independencia

$$F_{22} = Dp_{22}$$

Aquí haremos una sumatoria de fuerzas en el eje “y” para comprobar que habiendo equilibrio entre las fuerzas la piel no se mueve, la sumatoria nos debe de dar cero entonces se cumple nuestro parámetro de diseño.

$$\sum F_y = F_{fy} + F_{cy}$$

$$0 = 381.3544 + F_{cy}$$

$$F_{cy} = -381 \text{ [N]}$$

Esto nos indica que para que se cumpla el requerimiento funcional es necesario que la fuerza de este no venza a la fuerza de fricción de 381 [N]. Si no lo sobrepasa habrá equilibrio y la piel no se moverá.

En la tercera combinación encontramos también otra relación de independencia

$$F_{23} = Dp_{23}$$

Aquí haremos una sumatoria de fuerzas en el eje "z" para comprobar que habiendo equilibrio entre las fuerzas la piel no se mueve, la sumatoria nos debe de dar cero entonces se cumple nuestro parámetro de diseño.

$$\sum F_z = W + F_s - N$$

$$0 = 381.4128 + 381.3553 - 762.7088$$

$$0 \approx 0$$

Esto nos indica que hay un equilibrio de fuerzas en el eje por lo que la piel no se moverá en esta dirección. Por otro lado, la piel no se "hunde" sobre la mesa (z *negativa*) pues, se considera ésta como suficientemente rígida, además de la estructura de sostén, para que se cumpla este requerimiento.

Ejemplo 2

$$\begin{Bmatrix} Fr_{21} \\ Fr_{22} \\ Fr_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1^* & 1^* & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_{21} \\ Dp_{22} \\ Dp_{23} \end{Bmatrix}$$

Desarrollando las combinaciones lineales se obtiene la siguiente ecuación:

$$Fr_{21} = Dp_{21}$$

$$Fr_{22} = Dp_{22}$$

$$Fr_{23} = Dp_{21} + Dp_{22} + Dp_{23}$$

El resultado de esta combinación lineal nos da una matriz de forma triangular esto nos indica que el ultimo requerimiento funcional es dependiente de todos los parámetros de diseño que se midieron.

En la primera combinación encontramos una relación de independencia

$$Fr_{21} = Dp_{21}$$

Aquí haremos una sumatoria de fuerzas en el eje "x" para comprobar que habiendo equilibrio entre las fuerzas la piel no se mueve, la sumatoria nos debe de dar cero entonces se cumple nuestro parámetro de diseño.

$$\sum F_x = F_{fx} + F_{cx}$$

$$0 = 381.3544 + F_{cx}$$

$$F_{cx} = \mathbf{-381 [N]}$$

Esto nos indica que para que se cumpla el requerimiento funcional es necesario que la fuerza de este no sobrepase a la fuerza de fricción, si no lo sobrepasa habrá equilibrio y la piel no se moverá.

En la segunda combinación encontramos una relación de independencia

$$F_{22} = Dp_{22}$$



Aquí haremos una sumatoria de fuerzas en el eje “y” para comprobar que habiendo equilibrio entre las fuerzas la piel no se mueve, la sumatoria nos debe de dar cero entonces se cumple nuestro parámetro de diseño.

$$\sum F_y = F_{fy} + F_{cy}$$

$$0 = 318.3544 + F_{cy}$$

$$F_{cy} = \mathbf{-318 [N]}$$

Esto nos indica que para que se cumpla el requerimiento funcional es necesario que la fuerza de este no sobrepase a la fuerza de fricción, si no lo sobrepasa habrá equilibrio y la piel no se moverá.

En la tercera combinación encontramos una relación de dependencia entre el primer, segundo y tercer parámetro de diseño.

$$F_{23} = Dp_{21} + Dp_{22} + Dp_{23}$$

La diferencia con nuestro primer ejemplo es que para poder realizar la suma de fuerzas en dirección “z” es necesario saber que los equilibrios en “x” y “y” sean cero una vez comprobado esto se podrá tener una seguridad de que la piel no se moverá en alguna dirección.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

Aquí haremos una sumatoria de fuerzas en el eje “z” para comprobar que habiendo equilibrio entre las fuerzas la piel no se mueve, la sumatoria nos debe de dar cero entonces se cumple nuestro parámetro de diseño.

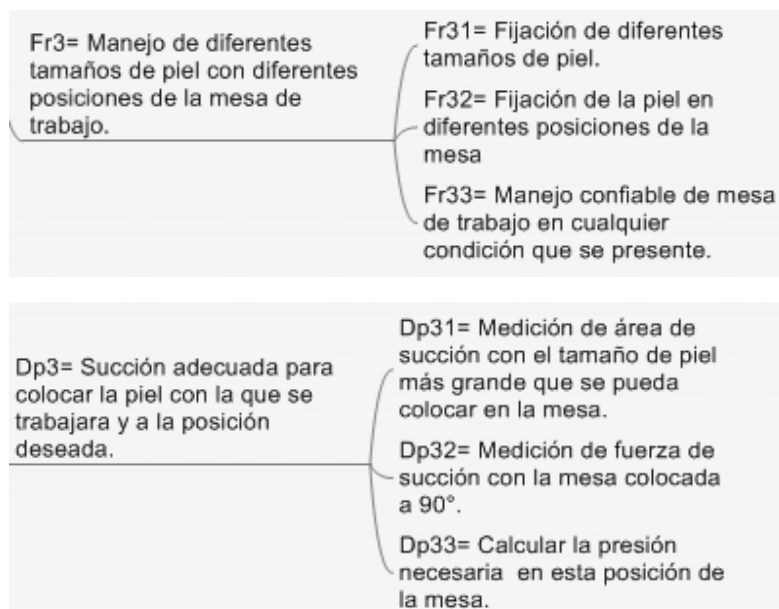
$$\sum F_z = W + F_s - N$$

$$0 = 381.4128 + 381.3553 - 762.7088$$

$$0 \approx 0$$

Como se menciona anteriormente para que se cumpla con nuestro último parámetro de diseño es necesario que se cumplan condiciones de equilibrio en las direcciones “x” y “y”, esto es que no exista desplazamiento de la piel, una vez que se tenga cumplida esta condición de equilibrio se tendrá la seguridad de resolver nuestro tercer parámetro de diseño.

#### IV.4.- Solución 3



(Figura4.4.- Parte de la arquitectura del sistema correspondiente a la solución 3)

Fr<sub>3</sub>= Manejo de diferentes tamaños de piel con diferentes posiciones de la mesa de trabajo.

Dp<sub>3</sub>= Condiciones adecuadas para colocar un tramo de piel cualquiera y en un ángulo de inclinación deseado.

Generación de requerimientos funcionales y parámetros de diseño.

$Fr_{31}$ = Fijación de diferentes tamaños de piel (100 (cm<sup>2</sup>) a 180000 (cm<sup>2</sup>)).

$Fr_{32}$ = Diferentes posiciones de la mesa (0 a 90°).

$Fr_{33}$ = Presión de vacío necesaria para fijar la piel bajo las condiciones de ángulo y tamaño de piel.

$Dp_{31}$ = Área de succión con el tamaño de piel más grande que se pueda colocar en la mesa. (L<sup>2</sup>)

$Dp_{32}$ = Fuerza de succión con la mesa colocada a 90° como condición máxima de trabajo. (N)

$Dp_{33}$ = Presión de vacío necesaria en esta posición de la mesa. (F/L<sup>2</sup>)

Matriz de diseño

$$\{Fr_3\} = [A]\{Dp_3\}$$

$$\begin{Bmatrix} Fr_{31} \\ Fr_{32} \\ Fr_{33} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1^* & 1^* & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_{31} \\ Dp_{32} \\ Dp_{33} \end{Bmatrix}$$

Desarrollando las combinaciones lineales se obtiene la siguiente ecuación.

$$Fr_{31} = Dp_{31}$$

$$Fr_{32} = Dp_{32}$$

$$FR_{33} = Dp_{31} + Dp_{32} + Dp_{33}$$

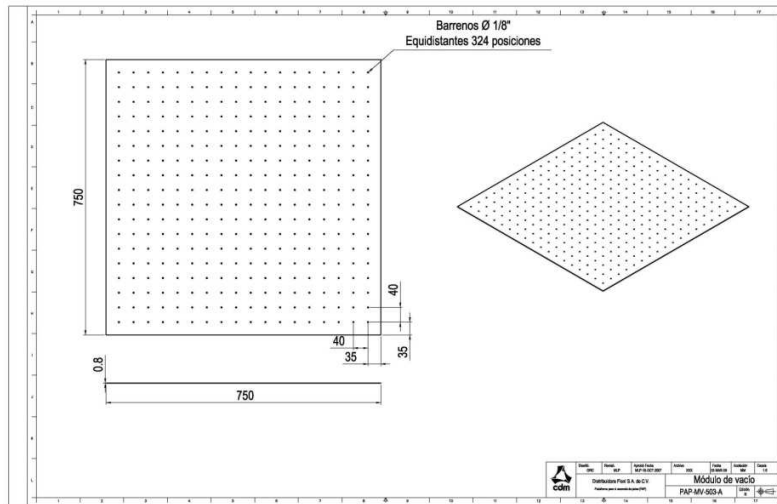
La combinación lineal nos da otro arreglo triangular, pero en esta ocasión para lograr el tercer requerimiento funcional es necesario que se obtengan los parámetros de diseño anteriores para cumplir la función de dependencia que se nos presenta.

En la primera combinación lineal tenemos una relación de independencia

$$Fr_{31} = Dp_{31}$$

Es esta ocasión obtendremos solamente el área de succión de un módulo así que con los datos obtenidos anteriormente se obtiene.

El área de los orificios esta definida por el diseño original de la siguiente manera.



(Figura 4.5.- plano correspondiente a la superficie de trabajo de un módulo)

Realizando cálculos de área:

$$\text{Área} = \left( \frac{0.0792[\text{cm}^2]}{1[\text{orificio}]} \right) * \left( \frac{81[\text{orificios}]}{1[\text{cámara}]} \right) * \left( \frac{4[\text{cámaras}]}{1[\text{módulo}]} \right)$$

Se obtiene

$$\text{Área de succión} = \mathbf{25 [\text{cm}^2/\text{módulo}]}$$

El módulo de vacío esta compuesto por 8 módulos

$$\text{Área de succión1} = (25.67 \text{ [cm}^2\text{/módulo)}) \cdot (8 \text{ [módulos]})$$

$$\text{Área de succión 1} = \mathbf{205 \text{ [cm}^2\text{]}}$$

$$\text{Área de Succión 2} = (25.67 \text{ [cm}^2\text{/módulo)}) \cdot (18 \text{ [módulos]})$$

$$\text{Área de Succión 2} = \mathbf{462 \text{ [cm}^2\text{]}}$$

$$\text{Área de Succión 3} = (25.67 \text{ [cm}^2\text{/módulo)}) \cdot (32 \text{ [módulos]})$$

$$\text{Área de Succión 3} = \mathbf{821 \text{ [cm}^2\text{]}}$$

La segunda combinación lineal nos indica una relación de independencia

$$Fr_{32} = Dp_{32}$$

Tendremos que calcular la fuerza de succión en este módulo a una posición de 90°.

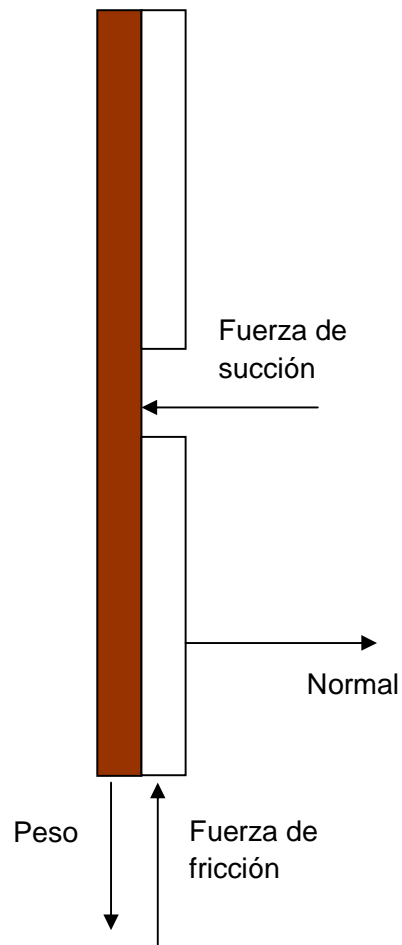
Calcularemos la fuerza de succión necesaria cuando tenemos la piel en esta posición recordando que la sumatoria de las fuerzas debe de dar cero.

$$\sum F_y = W - F_f$$

$$0 = 381.4128 \text{ [N]} - F_f$$

$$F_f = 381.4128 \text{ [N]}$$

$$\mu_{\text{estático}} \cdot \text{Normal} = F_f$$



(figura 4.6.- Diagrama de cuerpo libre para las fuerzas presentes en el plano a 90°)

Substituyendo y despejando N nos da

$$N = 762.8256 \text{ [N]}$$

$$\sum F_x = F_s - N$$

$$0 = F_s - N$$

$$N = F_s$$

$$F_s = \mathbf{762 \text{ [N]}}$$

Obtuvimos la fuerza de succión mínima necesaria para poder fijar el tamaño máximo de la piel en la posición de 90°, esta fuerza es la que tiene que generar la bomba de vacío para poder mantener la piel en esta posición.

La tercera combinación lineal nos da una relación dependiente de parámetros de diseño.

$$Fr_{33} = Dp_{31} + Dp_{32} + Dp_{33}$$

Esta combinación nos indica que es necesario saber los valores de la fuerza de succión en 90° y con el peso máximo de la piel para tener un intervalo de trabajo en el modulo de vacío sabiendo la fuerza calculamos la presión con los valores que tenemos:

$$\text{Presión de vacío necesaria área 3} = (762.8256 \text{ [N]} / 0.08221 \text{ [m}^2\text{)})$$

$$\text{Presión 3} = 9.27 \text{ [KPa]}$$

Redondeando

$$\text{Presión 3} = \mathbf{9 \text{ [KPa]}}$$

$$\text{Presión de vacío necesaria área 2} = (762.85256 \text{ [N]} / 0.046206 \text{ [m}^2\text{)})$$

$$\text{Presión 2} = 16.5 \text{ [KPa]}$$

Redondeando

$$\text{Presión 2} = \mathbf{16 \text{ [KPa]}}$$

$$\text{Presión de vacío necesaria área 1} = (762.85256 \text{ [N]} / 0.020536 \text{ [m}^2\text{)})$$

$$\text{Presión 1} = 37.14$$

Redondeando

$$\text{Presión 1} = \mathbf{37 \text{ [KPa]}}$$

Esta representación nos indica que mientras menos área tengamos en uso más presión de vacío es necesaria para que se sujete la piel en forma vertical, lo que nos da como resultado valor de presión mínimo necesario para el caso de tener la mesa verticalmente y con el área más pequeña en uso.

**IV.5.- Representación de valores de los parámetros de diseño.**

Solución 1

$$\begin{Bmatrix} Fr_{11} \\ Fr_{12} \\ Fr_{13} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1^* & 1 & 0 \\ 1^* & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_{11} \\ Dp_{12} \\ Dp_{13} \end{Bmatrix}$$

$$Fr_{11} = Dp_{11}$$

$$Fr_{12} = Dp_{11} + Dp_{12}$$

$$Fr_{13} = Dp_{11} + Dp_{13}$$

$$Fr_{11} = \mathbf{205 [cm^2]}$$

$$Fr_{12} = mDp_{11} + nDp_{12} \quad (1 \geq m \geq 0, n=1) \quad m \text{ tiende a } 0$$

$$Fr_{12} = \mathbf{10 [m^3/hora]}$$

$$Fr_{13} = mDp_{11} + nDp_{13} \quad (1 \geq m \geq 0, n=1) \quad m \text{ tiende a } 0$$

$$Fr_{13} = \mathbf{18 [KPa]}$$

Aquí está representada la condición de dependencia que se genera en el área de succión, cuando está siendo utilizada al 100% entonces  $m=0$ , quiere decir que no escapa vacío por los orificios (aire).

Solución 2 (Ejemplo 1)

$$\begin{Bmatrix} Fr_{21} \\ Fr_{22} \\ Fr_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_{21} \\ Dp_{22} \\ Dp_{23} \end{Bmatrix}$$

$$Fr_{21} = Dp_{21}$$

$$Fr_{22} = Dp_{22}$$

$$Fr_{23} = Dp_{23}$$

$$Fr_{21} = \mathbf{-381 [N]}$$



$$Fr_{22} = -381 \text{ [N]}$$

$$Fr_{23} = 0 \text{ [N]}$$

En esta representación describe una relación de independencia para cada uno de los elementos, notando que en los primeros dos resultados corresponden a la fuerza del colocador que no debe de sobrepasar este valor recordando que se utilizo el valor de presión mínimo necesario para sujetar la piel.

Solución 2 (Ejemplo2)

$$\begin{Bmatrix} Fr_{21} \\ Fr_{22} \\ Fr_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1^* & 1^* & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_{21} \\ Dp_{22} \\ Dp_{23} \end{Bmatrix}$$

$$Fr_{21} = Dp_{21}$$

$$Fr_{22} = Dp_{22}$$

$$Fr_{23} = Dp_{21} + Dp_{22} + Dp_{23}$$

$$Fr_{21} = -381 \text{ [N]}$$

$$Fr_{22} = -381 \text{ [N]}$$

$$Fr_{23} = mDp_{11} + nDp_{13} + oDp_{23} \quad (1 \geq m \geq 0, 1 \geq n \geq 0, o=1) \quad m \text{ y } n \text{ tienden a } 0$$

$$Fr_{23} = 0 \text{ [N]}$$

Aquí se representa una relación de dependencia en nuestra último requerimiento funcional, significa que cuando se cumpla la relación de equilibrio de fuerzas entonces nuestra  $m=0$  con lo cual podremos cumplir con nuestro último parámetro de diseño.

Solución 3

$$\begin{Bmatrix} Fr_{31} \\ Fr_{31} \\ Fr_{33} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1^* & 1^* & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Dp_{31} \\ Dp_{32} \\ Dp_{33} \end{Bmatrix}$$

$$Fr_{31} = Dp_{31}$$

$$Fr_{32} = Dp_{32}$$

$$FR_{33} = Dp_{31} + Dp_{32} + Dp_{33}$$

$$Fr_{31(\text{Área1})} = \mathbf{205 \text{ [cm}^2\text{]}}$$

$$Fr_{31(\text{Área2})} = \mathbf{462 \text{ [cm}^2\text{]}}$$

$$Fr_{31(\text{Área3})} = \mathbf{821 \text{ [cm}^2\text{]}}$$

$$Fr_{32} = \mathbf{762 \text{ [N]}}$$

$$Fr_{23} = mDp_{11} + nDp_{13} + oDp_{23} \quad (1 \geq m \geq 0, 1 \geq n \geq 0, o=1)$$

$$Fr_{33(\text{Presión1})} = \mathbf{37 \text{ [KPa]}}$$

$$Fr_{33(\text{Presión2})} = \mathbf{16 \text{ [KPa]}}$$

$$Fr_{33(\text{presión3})} = \mathbf{9 \text{ [KPa]}}$$

Este caso de dependencia muestra una relación entre las áreas y el ángulo de colocación para el cálculo de la presión de vacío necesaria, esto quiere decir que se utilizó la posición vertical como ángulo máximo y se tuvo que usar cada valor de área en las que está dividida el plano de trabajo de la mesa PAP. Se calcula las diferentes presiones con la misma piel dando como resultado que mientras menor área se tenga se obtiene una presión de vacío mayor dando como límite el valor de 37 [KPa], mientras más cerca se obtenga el valor de nuestros parámetros m y n tenderán a cero. Aquí se debe de considerar que la separación que se hace de las áreas de trabajo es para que, manteniendo un gasto de aire regular de la bomba, la presión de vacío aumenta y el área de trabajo se reduce, el tamaño de la piel manejada es menor.

# Capítulo V

## Conclusiones

“Creo que en la discusión de los problemas naturales, deberíamos comenzar no con las Escrituras, sino con experimentos y demostraciones”

**Galileo Galilei**

En este último capítulo se darán las conclusiones de la investigación con el objeto de averiguar si se cumplió con el desarrollo de los objetivos así como las aportaciones que nos dejan, también se expondrán las limitaciones en el uso de esta metodología, con sus respectivas recomendaciones para un uso futuro.

### V.1.-Conclusiones

- 1) Después de estudiar la representación de el caso de estudio, finalmente se logró cumplir con nuestro objetivo principal. Aplicamos la metodología de diseño axiomático para representar y analizar el diseño del módulo de vacío del proyecto PAP.
- 2) Se observó que esta metodología obliga a quién la usa, a ordenar toda la información que se genera de tal manera que sea más sencilla la comprensión de todos sus elementos, en forma de una ecuación de diseño que recurre al álgebra lineal y que representa la relación entre lo que se quiere lograr y lo que se hace para lograrlo.
- 3) Un logro importante fue poder transmitir de una manera clara por medio de una representación matricial el proceso de diseño. Esto ayuda a entender todo el proceso aportando información extra como es la relación entre sí de los diferentes parámetros de diseño para el cumplimiento de un requerimiento funcional en particular. Esto da una pauta de lo que se debe hacer para lograr cumplir con las necesidades que se plantearon al principio del proceso de diseño.
- 4) Se espera que la contribución alcanzada, al usar los conceptos del diseño axiomático en el análisis de un caso de diseño, sea un acercamiento a la metodología de diseño axiomático. Esta herramienta metodológica muestra diferentes características a las metodologías utilizadas habitualmente. El resultado implica un uso de nuestros conocimientos de ingeniería combinado al aprovechamiento de la información disponible y utilizada en la solución del caso de diseño.

Al pasar las necesidades del cliente al dominio funcional, se toman como las más importantes aquellas que mejoren el diseño del producto o algún proceso de fabricación, etc., El trabajo de realizar esta jerarquización de esta manera, es que implica tomar decisiones con un solo criterio, el funcional, dejando de lado aspectos como productividad, costo, mercadotecnia, etc., que son considerados como de mayor importancia en otros métodos de diseño.

En los diferentes métodos de diseño, se observan que algunos tienen la característica de conjuntar no solamente las necesidades del cliente, sino también las relaciones entre el cliente y el producto, el entorno, el mercado, función, estructura, etc., conceptos que enriquecen nuestro proceso de diseño.

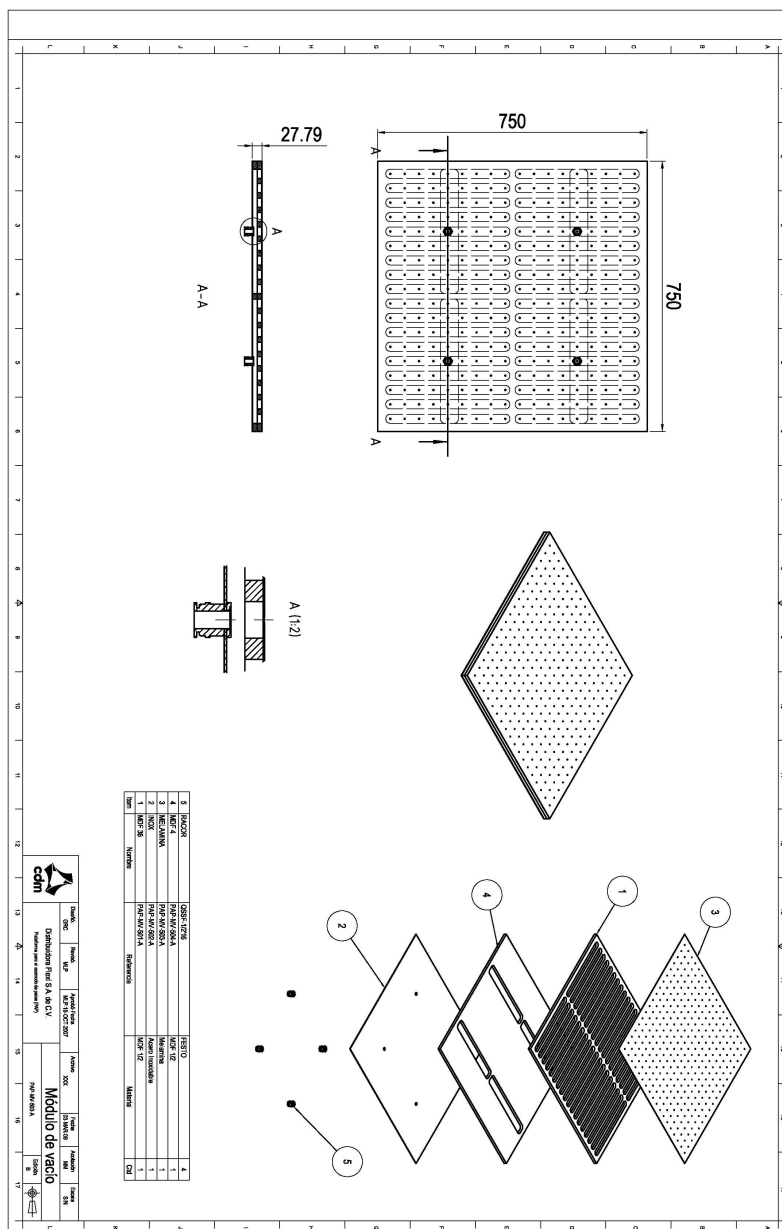
La utilidad del diseño axiomático redunda en que es una herramienta de diseño confiable que nos brinda de manera ordenada la suficiente información, y que desglosada, que nos aporte soluciones sistemáticas a cada necesidad que se tenga del cliente.

### **V.2.- Recomendaciones**

- 1) Se recomienda utilizar otra metodología de diseño como apoyo cuando se use la metodología de diseño axiomático, para que se tenga en consideración una manera de separar la información que tenemos al principio, como los son las necesidades de las restricciones, y así tener una representación con la información adecuada.
- 2) Siempre tomar en cuenta el requerimiento funcional que se quiere cumplir para no desarrollar cosas que no aportan nada a nuestro análisis.
- 3) Se pueden proponer diferentes matrices de diseño, es recomendable experimentar con cada una de estas matrices para que se obtengan diferentes puntos de vista, también funcionan para localizar mejoras o fallas en nuestro producto o proceso, todo con el objetivo de mejorar el producto o proceso final.

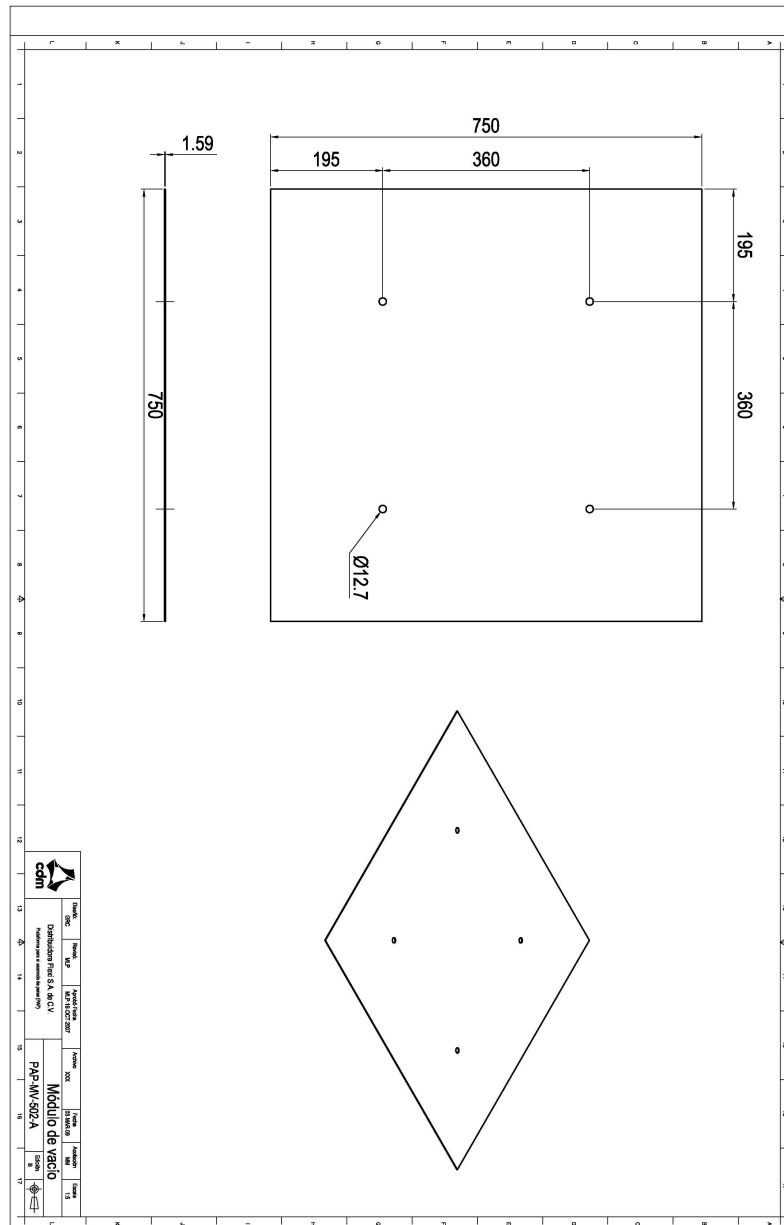
- [1] Dr. Yu Tang Xu, Dr. Marcelo López Parra, Ing. de Diseño: M.D.I. H. Gustavo Rojas Coca, M.I. Alonso Madera Coronel, Ing. Humberto Mancilla Alonso; **Manual de operación y mantenimiento mesa PAP**; UNAM, Abril 2009
- [2] Joseph E. Shigley, Larry D. Mitchell; **Diseño en ingeniería mecánica**; Editorial Mac Graw Hill, 2008
- [3] Bernd Löbach; **Diseño Industrial (Bases para la configuración de los productos industriales)**; Editorial Gustavo Gilli, 1976
- [4] N.F.O. Evbounmwan, S. Sivaloganathan, A. Jebb; **A survey of design philosophies, models, methods and systems**; Review Paper, 1995
- [5] G.B.R. Fielden; **Engineering design**; The Fielden Report, 1963
- [6] J. Luckman; **Developments in design methodology**; Editorial N. Cross, 1984
- [7] V. Caldecote; **The practice of an education for engineering design**; Proc. Instrn. Mech. Engrs., 1963-4
- [8] [http://www.tdr.cecsa.es/TESIS\\_UPC/AVAILABLE/TDX-0628105100401//05Jcb05de16.pdf](http://www.tdr.cecsa.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0628105100401//05Jcb05de16.pdf), fecha de consulta (Ene-Abril 2011)
- [9] Nan Pyo Suh; **Axiomatic Design, advances and applications**; Oxford University Press, 2001
- [10] Nan Pyo Suh; **The principles of design**; Oxford University Press, 1990

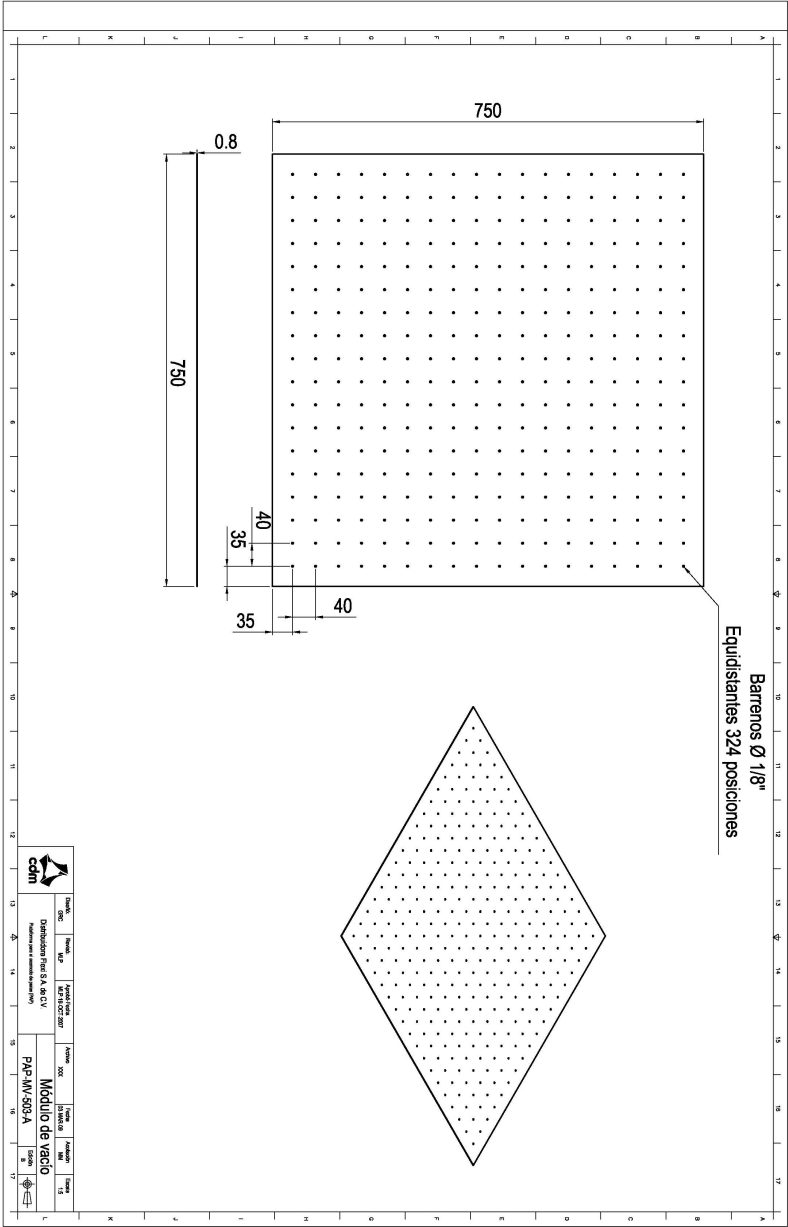
Planos modulo de vacío

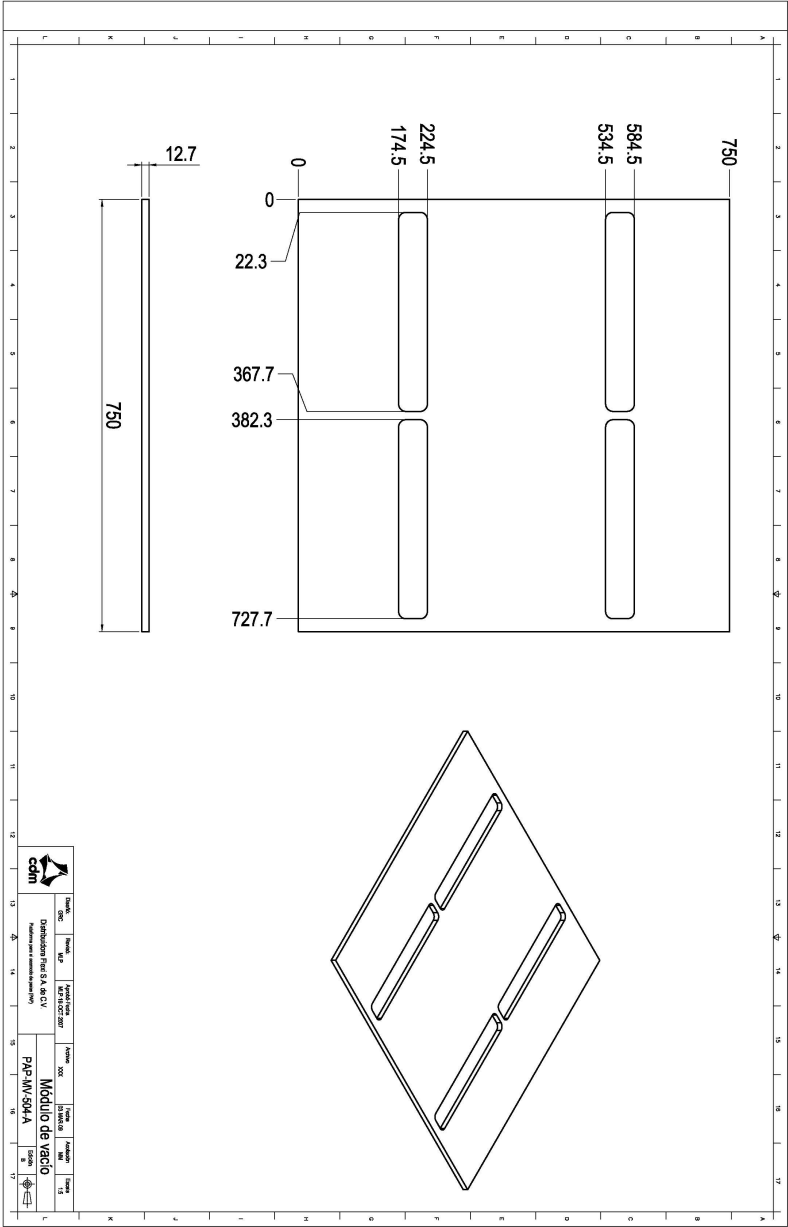


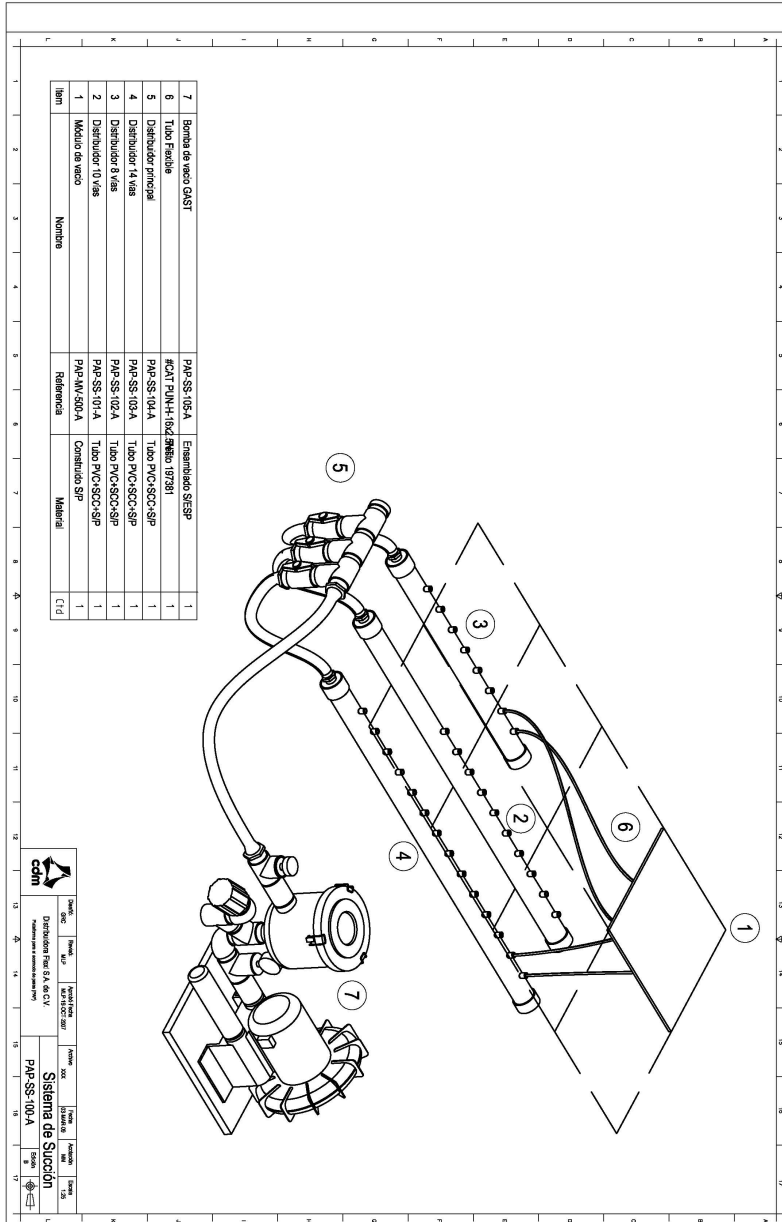














## Tablas de fricción

MATERIAL	$S_{\mu}$	$K_{\mu}$
Madera sobre madera	0.7	0.4
Acero sobre acero	0.15	0.09
Metal sobre cuero	0.6	0.5
Madera sobre cuero	0.5	0.4
Caucho sobre <u>concreto</u> , seco	0.9	0.7
húmedo	0.7	0.57

Se usaron los coeficientes de fricción estática porque no existe movimiento relativo entre la mesa y la piel, si se presentara el caso de movimiento relativo entre la mesa y la piel se tendría que utilizar el coeficiente de fricción dinámico.