



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación

## DISEÑO PARA VARIEDAD Plataformas de diseño

Tesis de Maestría, presentada por:  
Luis Antonio Morales Hernández

Dirigida por:  
Dr. Vicente Borja



México, D. F.

2005

# **DISEÑO PARA VARIEDAD**

## **Plataformas de diseño**



Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación

**Tesis de Maestría**

**Luis Antonio Morales Hernández**

*A Adriana, nunca terminare de agradecerte tu apoyo y compañía en todos éstos años y por ser parte importante en el logro de mis metas profesionales. Gracias por haber sido mi fuente de inspiración en mi deseo de terminar con mi trabajo de Maestría.*

*A Andrea y Arantxa, es mi deseo representar un ejemplo para ustedes y que se sientan orgullosas de mí, espero que esto me ayude a conseguirlo.*

*Quiero agradecer de manera muy especial al Dr. Vicente Borja por haberme asesorado en la realización de este trabajo así como por sus valiosos comentarios que codyuvaron a la conclusión del mismo.*

*A Fläkt México en particular al Ing. Rafael Ortiz, por haberme dado la oportunidad de pertenecer a su equipo de trabajo y permitir la realización del presente estudio: En Fläkt surgió la idea primaria de implementar nuevas metodologías de diseño.*

*El apoyo incondicional y gran amistad de Enrique Hernández fueron muy importantes para no perder el entusiasmo y las ganas de seguir aprendiendo y aportando ideas para la mejora continua.*

# CONTENIDO

	Pág.
<b>1. Introducción</b>	
1.1 Historia	1
1.2 Variedad	2
1.2.1 Variedad espacial	3
1.2.2 Variedad generacional	3
<b>2. Objetivos y alcances</b>	
2.1 Planteamiento del problema	5
2.2 Objetivos	5
2.3 Alcances	6
<b>3. Diseño para variedad</b>	
3.1 Introducción	7
3.2 Diseño para Variedad	8
3.2.1 Índice de Variedad Generacional, GVI	8
3.2.2 Índice de Acoplamiento, CI	9
3.2.3 Metodología DFV	9
<b>4. Metodologías DFV</b>	
4.1 <i>Quality Fuction Deployment</i> , QFD	10
4.1.1 QFD I o QFD fase 1	11
4.1.1.1 Requerimientos del cliente	12
4.1.1.2 Importancia del cliente	12
4.1.1.3 Evaluación de la competencia o Matriz de Planeación, Satisfacción planeada; Factor de mejora Puntos de venta	12
4.1.1.4 Requerimientos técnicos o Métricas de Ingeniería	12
4.1.1.5 Matriz de relación	13
4.1.1.6 Matriz de correlaciones	13
4.1.1.7 Prioridades técnicas	13
4.1.1.8 Valores objetivo	13
4.1.1.9 Evaluación técnica	13
4.1.2 QFD II o QFD fase 2	14
4.2 Índice de Variedad Generacional, GVI	14
4.3 Índice de Acoplamiento, CI	15
4.4 Método de Diseño para Variedad, DFV	16

## **5. Caso práctico: DFV aplicado a un Enfriador Evaporativo**

5.1 Introducción	19
5.1.1 Enfriamiento Evaporativo	19
5.1.2 Partes de un enfriador evaporativo	21
5.1.3 Esquema de desarrollo	22
5.2 QFD I	22
5.3 QFD II	24
5.3.1 Índice de variedad generacional, GVI	35
5.3.2 Índice de acoplamiento, CI	37

## **6. Método DFV**

6.1 Manejo del GVI y CI	44
6.2 Categorización de componentes	45
6.3. Estandarización de componentes	47
6.4. Modularización de componentes	48
6.5 Gráficas	49
6.6 Desarrollo de la arquitectura para la plataforma de diseño.	50
6.6.1 Reducción del GVI y CI	52

## **7. Conclusiones y trabajo futuro**

7.1 Resumen	58
7.1.1 Índice de Variedad Generacional	58
7.1.2 Índice de Acoplamiento	58
7.1.3 Método Diseño para Variedad	58
7.2 Estimación de los beneficios usando DFV	59
7.3 Contribución	60
7.4 Trabajo futuro	60
7.5 Conclusiones	61

<b>Referencias</b>	<b>62</b>
--------------------	-----------

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Historia [1]

Por siglos, la producción se sustentó en conceptos artesanales. Todo era hecho por personas que contaban sólo con los materiales, herramientas y habilidades suficientes. La revolución industrial cambió los viejos sistemas de producción reemplazando las herramientas manuales con maquinaria y la mecanización como instrumentos primarios de la producción.

La producción en masa fue introducida en los años 20 por Henry Ford usando partes intercambiables, máquinas especializadas, procesos enfocados y la división del trabajo. Uno de los principales objetivos de la producción en masa es La Economía de Escala: grandes empresas, grandes rendimientos, disminución de costos. Uno de los preceptos de la producción en masa es producir productos estandarizados para mercados homogéneos.

Los mercados actuales son volátiles, donde los consumidores están cambiando constantemente sus demandas. En los mercados actuales, el consumidor no puede ser ubicado dentro de un grupo homogéneo, esperan ser tratados como individuos con diferentes necesidades. La necesidad de producción en masa no sólo surge para incrementar la variedad de productos sino también para disminuir el tiempo de desarrollo en cual es esencial para sobrevivir.

En un ambiente de competitividad global, intenso y dinámico el desarrollo de nuevos productos y procesos es un punto importante de competencia. Las compañías que se colocan en el mercado más rápida y eficientemente crean una gran influencia competitiva. Las compañías que son lentas para posicionar productos en el mercado están destinadas a ver su posición en el mercado desgastada y financieramente inestable.

Muchas compañías se esfuerzan por una mejor calidad, mejor adaptación a las necesidades del cliente, respuestas rápidas, más diseños innovadores y bajos precios. Nuevos modelos son introducidos en el mercado más frecuentemente aunque se reduzcan los modelos producidos en masa.

El concepto de economía de masa pierde importancia en este nuevo cambio de mercado el cual requiere de tamaños de lote pequeños. Las compañías requieren generalmente de flexibilidad para responder rápidamente los cambios en las demandas de los consumidores.

El nuevo mercado ha introducido el concepto de personalización de masa. Con esto, las compañías están siendo enfocadas con el reto de suministrar al mercado tanta variedad como sea posible con una variedad entre productos tan pequeña como sea posible. Uno de los elementos clave en la personalización de masa es la plataforma de productos.

Una plataforma de productos es el conjunto de elementos, especialmente la tecnología central, implementada en un rango de productos. Una manera de alcanzar la personalización de masa es desarrollando la plataforma del producto cuidadosamente y usar diferentes módulos para dar la variedad del producto. Esto requiere de una configuración lógica de la plataforma y de la familia del producto. En el diseño de configuración se determina de que módulos tendrá el producto, cuales son los componentes de los módulos y las relaciones entre componentes y módulos

## 1.2 Variedad [2]

Existen dos tipos de variedad cuando se desarrolla la arquitectura de un producto:

1. *Variedad con la línea de productos actuales.*
2. *Variedad a través de futuras generaciones del producto.*

Se refiere el primer tipo como **variedad espacial** y como **variedad generacional** el segundo. La variedad a través de las generaciones envuelve los cambios que le ocurren a las familia de productos en el tiempo. Una descripción gráfica es mostrada en la Figura 1.1.

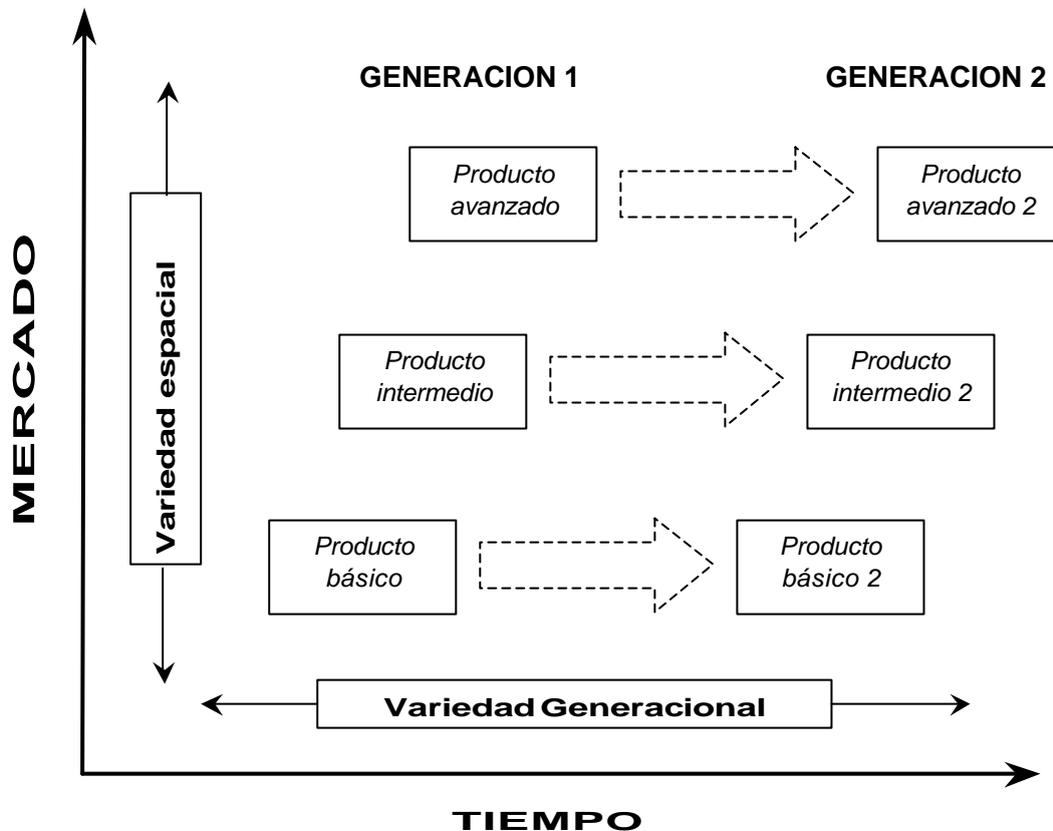


Figura 1.1. Variedad espacial y generacional

### 1.2.1 Variedad espacial

La variedad espacial es definida como la variedad que la compañía ofrece en un punto específico en el tiempo. Se ofrecen múltiples variedades de productos para cumplir con las necesidades de los diferentes segmentos de mercado. Existen dos tipos de segmentación:

1. *Segmentación por características.*
2. *Segmentación por costo.*

La implementación estratégica para un portafolio de productos requiere comprender las necesidades del cliente (segmentación por características) y el precio en ese mercado (segmentación por costo)

### 1.2.2 Variedad generacional

La variedad generacional de un producto es la actualización del producto en el tiempo.

El reconocimiento de los factores de la variedad generacional es crítico en el desarrollo de una arquitectura que minimice los futuros cambios en el diseño y permita usar componentes comunes a través de las generaciones.

La variedad espacial y generacional son importantes para el desarrollo de cualquier producto. Los equipos de diseño se enfocan más en la variedad espacial para satisfacer las necesidades del cliente en la actual generación. Es muy importante que para satisfacer esas necesidades se comprenda cómo el costo y las características determinan la variedad a ofrecer.

## 2. OBJETIVOS Y ALCANCES

### 2.1 Planteamiento del problema

La introducción de nuevas tecnologías, nuevas soluciones, nuevos competidores, necesidades del cliente, etc. provoca que los fabricantes tengan que actualizar sus productos constantemente para tener presencia en el mercado.

Una compañía dedicada a la fabricación de Equipos de Ventilación tiene la necesidad de actualizar una familia de Enfriadores Evaporativos de tal manera que su presencia en el mercado se mantenga cumpliendo con las diferentes necesidades o requerimientos del cliente.

A partir del análisis de los productos actuales y los requerimientos del cliente actual, se establece lo necesario para el desarrollo de la renovada familia de Enfriadores Evaporativos.

### 2.2 Objetivos

- *Analizar, por medio de diversas metodologías, la línea de productos actual de tal manera que exista una referencia para el futuro desarrollo.*
- *Proponer una plataforma de diseño para los productos nuevos de tal manera que al desarrollarse adecuadamente se reduzcan los impactos de cambios en el diseño.*

### **2.3 Alcances**

- *Aplicar las metodologías de Diseño para Variedad a un producto actual y obtener la referencia de partida para un producto nuevo.*
- *Hacer el diseño de configuración y de detalle de la plataforma de diseño así como de los productos derivados de ésta.*

## 3. DISEÑO PARA VARIEDAD

### 3.1 Introducción [1]

Históricamente los productos y sistemas comerciales fueron desarrollados por diseñadores con un solo objetivo en mente: diseñar un producto o sistema para cumplir una serie de funciones específicas.

Desafortunadamente al hacer énfasis en la funcionalidad y operación durante la etapa de diseño las otras etapas del ciclo de vida del producto tales como la manufactura y mantenimiento han sufrido las consecuencias e incurrido en costos de decisiones de diseño analizadas de manera incompleta. Esta táctica de desarrollar el diseño inicial del producto y mandarlo a manufactura para depurar errores del diseño ha sido referido como el método de diseño *Aventar sobre la pared*.

Para eliminar el síndrome de *Aventar sobre la pared*, muchas compañías han adoptado nuevas metodologías de diseño tales como Ingeniería concurrente, ciclo de vida ingenieril unificado y DfX (Diseño para ensamble, manufactura, productibilidad, etc).

Cada una de éstas técnicas, en general, intenta minimizar o eliminar los problemas comúnmente encontrados en las etapas posteriores del ciclo de vida del producto y que son originados en la etapa de diseño. Menos esfuerzo y recursos se gastan si los problemas se localizan y se eliminan en un principio, por ejemplo durante el desarrollo conceptual inicial.

### 3.2 Diseño para Variedad

El Diseño para Variedad, DFV (*Design for Variety*) es una serie de metodologías estructuradas que auxilian a los equipos de diseño a reducir el impacto de la variedad en los costos del ciclo de vida de un producto, es decir, una metodología para desarrollar arquitecturas de plataformas de productos.

La arquitectura de un producto es diseñada para reducir el esfuerzo de ingeniería en futuros rediseños y se define como:

- a).- Elementos funcionales: cuales son las funciones del producto
- b).- El mapeo funcional de los elementos en la estructura física: el arreglo físico del sistema.
- c).-La interfase entre componentes: flujo de señales, material, energía, geometría, etc.

Así entonces, el objetivo principal del método DFV es diseñar arquitecturas que sean robustas a futuros cambios en el diseño y se plantean dos preguntas fundamentales:

¿Cuáles componentes necesitarán cambiarse con el tiempo?. Índice de Variedad Generacional, GVI (*Generational Variety Index*).

¿Qué componentes al cambiar provocan que otros componentes cambien?. Índice de Acoplamiento, CI (*Coupling Index*).

#### 3.2.1 Índice de Variedad Generacional, GVI

Es un indicador de los componentes que tendrán comúnmente cambios a través del tiempo. Formalmente se define como *el indicador de la cantidad de rediseño que requiere un componente para cumplir con los requerimientos de un futuro mercado*.

El GVI se sustenta en la estimación de factores externos, tales como:

- **Requerimientos del cliente.** Nuevas funciones, mejor desempeño, nuevas restricciones, etc.
- **Costo.** Reducción de material, reducción de partes redundantes, uso de tecnología de menor costo.
- **Regulaciones.** Regulaciones gubernamentales, estándares industriales, introducción de productos mejorados por la competencia, etc.

Usualmente los factores externos son medidos en forma de Métricas de Ingeniería, EM (*Engineering Metrics*)

### 3.2.2 Índice de Acoplamiento, CI

Es una medida de acoplamiento entre componentes. Dos elementos se consideran acoplados si el cambio hecho en uno de ellos provoca cambios en otro componente. Formalmente se define como *el indicador de la fuerza de acoplamiento entre los componentes de un producto. En un acoplamiento fuerte entre componentes un cambio en un componente comúnmente requerirá un cambio en otro componente.*

### 3.2.3 Metodología DFV

La Figura 3.1 muestra las etapas del DFV. Básicamente se obtienen los índices GVI y CI para su aplicación. El cálculo del GVI se apoya en las dos primeras etapas del QFD (*Quality Function Deployment*) que a su vez, hace uso del Proceso Analítico de Jerarquías, AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

Así, al hablar de DFV se hace referencia como una serie de metodologías sistematizadas y no sólo un método aislado. En el siguiente capítulo se explica con más detalle cada uno de ellas.

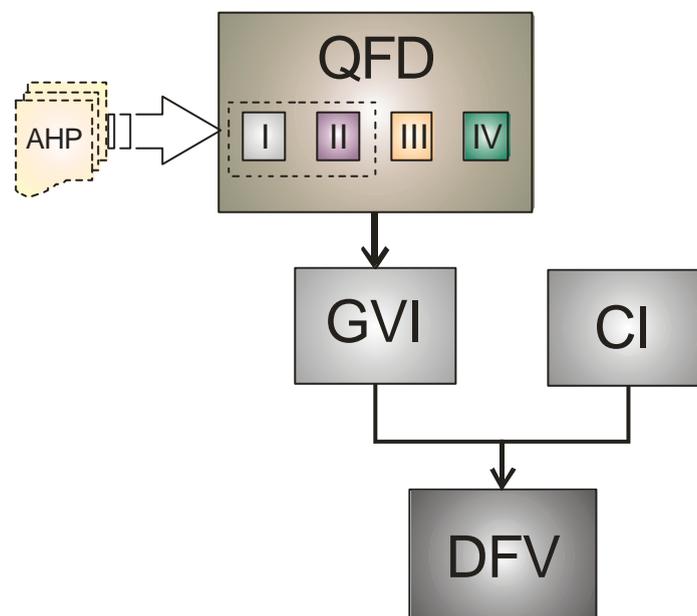


Figura 3.1. Metodologías DFV

## 4. METODOLOGÍAS DFV

### 4.1 *Quality Fuction Deployment*, QFD [3], [4], [5], [6]

El método QFD, *Quality Fuction Deployment* es la base para desarrollar el GVI. El QFD es un método que liga los requerimientos del cliente con los componentes de diseño. Enfoca y coordina los esfuerzos de una organización para diseñar, fabricar y vender productos que el cliente desea adquirir y continuará adquiriendo en el futuro. El fundamento de QFD es que los productos deben ser diseñados para reflejar los deseos y gustos del cliente, entonces los equipos de mercadeo, diseño y manufactura deben trabajar de manera conjunta desde que el producto es concebido para cumplir con esa premisa.

El QFD es una especie de mapa conceptual que establece relaciones entre las funciones de manufactura y satisfacción del cliente por medio de la formación de cuatro matrices que se encuentran ligadas entre sí.

La Figura 4.1 muestra el método QFD en sus cuatro etapas. El beneficio principal de utilizar QFD es la calidad, además permite que la gente piense de manera conjunta y en la dirección correcta: la satisfacción del cliente.

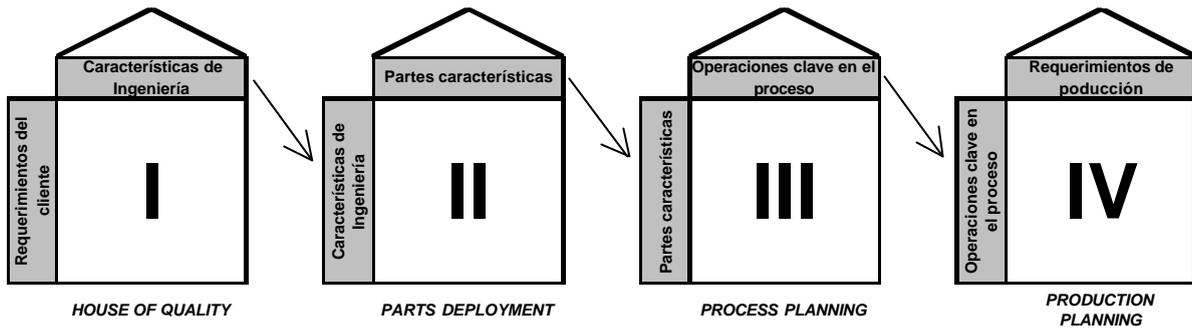


Figura 4.1. Método QFD

4.1.1 QFD I o QFD fase 1 (también conocido como “*House of Quality*”) [2] lista las necesidades del cliente y sus relación a las EM. Conceptos como “compacto”, “ligero” o “barato” son sólo algunas de las necesidades del cliente. Las EM, para las diferentes necesidades son conceptos medibles tales como “peso (kg)”, “volumen (m<sup>3</sup>)” o “costo (\$)”. Éstas son la traducción de los requerimientos del cliente en especificaciones de ingeniería y que pueden expresarse cuantitativamente. La figura 4.2 ilustra las partes de QFD I o *House of Quality*, HQ.

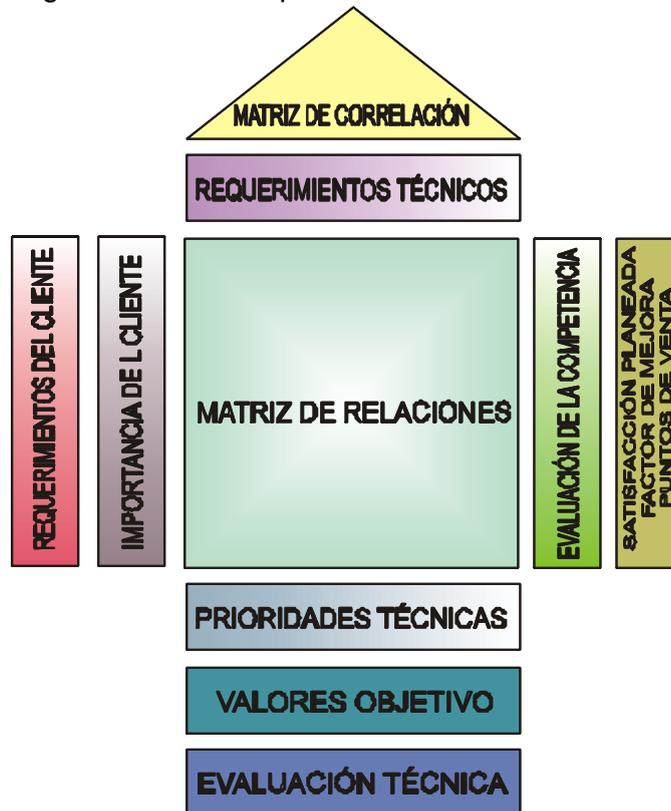


Figura 4.2. QFD I, HQ

**4.1.1.1 Requerimientos del cliente.** Esta es la primera parte y una de las más importantes en la matriz HQ. Aquí se listan los requerimientos del cliente en sus propias palabras (*la voz del cliente*). Esta información es reunida a través de pláticas o encuestas donde se exponen las necesidades, problemas, requerimientos y recomendaciones.

Antes de introducir esta información a la matriz debe ser asociada y estructurada en grupos para un manejo más sencillo.

**4.1.1.2 Importancia del cliente.** Cada uno de los grupos de requerimientos se le debe de dar un “peso”, la jerarquización se puede obtener de diversas formas, por ejemplo, con el Proceso de Analítico de Jerarquías, AHP (*Analytic Hierarchy Process*).

**4.1.1.3 Evaluación de la competencia o Matriz de Planeación.** Se obtiene una medida de satisfacción del cliente con los productos existentes. Se debe preguntar el desempeño de cada uno de los productos existentes en relación a cada uno de los requerimientos.

Otras medidas pueden ser incluidas en esta parte, por ejemplo, **Satisfacción planeada**; califica el desempeño deseado del producto para satisfacer cada requerimiento. **Factor de mejora**; se calcula al restar el marcador del actual producto propio del marcador planeado por ejemplo, el número de puntos de mejora. Ésta diferencia se multiplica por un incremento de mejora (por ejemplo 0.2) y se suma a 1 para dar el factor de mejora. **Puntos de venta**; esta medida se utiliza para darle mayor peso a los requerimientos del cliente que se utilizarán para promocionar el producto.

El peso total de cada requerimiento se obtiene al multiplicar la importancia del cliente por el factor de mejora y por los puntos de venta.

**4.1.1.4 Requerimientos técnicos o Métricas de Ingeniería.** En esta parte se describe el producto en términos de la compañía, también se le llama *Voz de la Compañía*. Se identifican todas las características medibles del producto, de la misma manera que se categorizaron los requerimientos del cliente para interpretar las características del producto.

A menudo se incluye un renglón adicional donde se indica la dirección de cambio en cada una de esas variables el cual es considerado como resultado del mejoramiento del desempeño del producto.

**4.1.1.5 Matriz de relación.** Esta sección es la parte sustancial de la matriz de HQ, el propósito es traducir los requerimientos expresados por el cliente dentro de las características técnicas del producto. Es una matriz de dos dimensiones con celdas que combinan los requerimientos del cliente con los requerimientos técnicos. Es tarea del equipo de diseño identificar las relaciones importantes.

El valor para las relaciones usualmente es una escala de cuatro valores (alto, medio, bajo, nada) que se representan por medio de símbolos y que numéricamente son 9,3,1 y 0.

**4.1.1.6 Matriz de correlaciones.** Es el “techo” de HQ, y se utiliza para identificar las EM que caracterizan al producto y que apoyan o interfieren con otra EM. Se compara uno a uno cada requerimiento con la pregunta ¿El mejoramiento del requerimiento X causará una mejora o deterioro en el requerimiento Y?. Cuando el resultado es la mejora se coloca un signo “+” y un signo “-” cuando es deterioro.

La información obtenida es de importancia porque se pueden identificar las relaciones de mejora que serán de mayores beneficios para el producto así como las relaciones negativas que representan una oportunidad para innovar y desarrollar soluciones alternas.

**4.1.1.7 Prioridades técnicas.** Es la importancia relativa de cada uno de las EM del producto y se calcula con la importancia del cliente y la matriz de relaciones.

**4.1.1.8 Valores objetivo.** Cada uno de los requerimientos que fueron identificados como características importantes del producto pueden ser medidos tanto para el producto propio como para los productos de la competencia. Esto ayuda a identificar la posición relativa de producto existente y establece los niveles objetivo de desempeño que debe alcanzar el nuevo producto.

**4.1.1.9 Evaluación técnica.** La salida de HQ es un conjunto de valores objetivo a cumplir en el nuevo producto. El proceso de construcción de la matriz permite fijar y priorizar los objetivos basados en el conocimiento de las necesidades del cliente, en el desempeño de la competencia y en el desempeño propio.

Este no es necesariamente el fin de QFD. El resultado de esta primera matriz se puede utilizar como la primera de las cuatro etapas que comprende el método, esto permite que “la voz del cliente” conduzca el proceso de desarrollo del producto hacia la manufactura.

**4.1.2 Parts Deployment o QFD II es la segunda etapa en el QFD.** Mapea el resultado del QFD I con los componentes usados en el diseño. Al igual que QFD I tiene Matriz de correlación y Matriz de relaciones donde se utiliza un sistema de evaluación 9/3/1/0 que indican que componente tiene una alta, media, baja o ninguna influencia con las EM, Figura 2.3.



Figura 4.3. QFD II

Se obtiene al final las prioridades en función de los principales componentes utilizados en el diseño.

#### 4.2 Índice de Variedad Generacional, GVI [1]

El propósito del GVI es estimar el esfuerzo de rediseño que se necesitará para que un componente cumpla con futuras EM. El GVI será diferente para diferentes arquitecturas.

En este momento el equipo de diseño deberá usar su experiencia y juicio para estimar el costo del rediseño para cada componente. El costo se representa como un porcentaje del costo original de diseño. El GVI se valora según la Tabla 4.1.

Factor	% costo inicial de rediseño	Descripción
9	> 50	<i>Requiere un rediseño mayor</i>
6	< 50	<i>Requiere un rediseño parcial</i>
3	< 30	<i>Cambios simples y numerosos</i>
1	< 15	<i>Pocos cambios menores</i>
0	-	<i>Sin cambio</i>

Tabla 4.1. Valoración GVI

Un GVI alto significa que el componente tiene altas probabilidades de requerir una cantidad de rediseño mayor para cumplir con las Métricas de Ingeniería en el futuro.

El GVI es importante para comprender que componentes son los más afectados por factores externos (requerimientos del cliente, reducción de costo, regulaciones y estándares industriales, etc.), finalmente se tiene un marco para desarrollar la arquitectura de la plataforma de productos.

#### 4.3 Índice de Acoplamiento, CI [1]

El Índice de Acoplamiento, CI indica la fuerza de acoplamiento entre los componentes de un producto y si al cambiar un componente otro requerirá cambio.

Para generar el CI es necesario conocer la tecnología y arreglo básico del producto. Sin esto sería difícil determinar cómo se acoplan los sistemas, subsistemas y partes.

Con el objeto de tener el mismo grado de complejidad se presentan los principales componentes o subsistemas sin detalle alguno. Cada uno de los bloques o cuadros es un volumen de control el cual recibirá o proporcionará una serie de especificaciones a los demás volúmenes de control. Este flujo de especificaciones se ordena en una matriz en donde las columnas representaran a los elementos o volúmenes de control que proporcionan especificaciones y los renglones representan a los elementos que reciben alguna especificación.

Para cada especificación se pregunta ¿Cuál es la sensibilidad de un componente a un pequeño cambio en la especificación?. Si un pequeño cambio en la especificación requiere cambiar el componente, entonces el componente tiene una alta sensibilidad. Si la especificación requiere un cambio grande para afectar al componente, entonces es una baja sensibilidad. La Tabla 4.2 muestra la valoración para la sensibilidad de especificaciones.

Factor	Descripción
9	<i>Pequeños cambios en la especificación impactan al elemento que recibe (alta sensibilidad)</i>
6	<i>Media - alta sensibilidad</i>
3	<i>Media - baja sensibilidad</i>
1	<i>Grandes cambios en la especificación impactan al elemento que recibe (baja sensibilidad)</i>
0	<i>La especificación no afecta al componente</i>

**Tabla 4.2. Valoración de sensibilidad**

Con esta matriz se derivan dos índices. La suma de las columnas indica la fuerza de la información suministrada de un elemento a otro y se refiere como **Índice de Acoplamiento – Suministrado, CI – S**. La suma de cada renglón es la información que recibe cada elemento por parte de los otros y es referido como **Índice de Acoplamiento – Recibido, CI – R**.

Los índices CI – S y CI – R indican que tan acoplado está un componente, un CI – S alto significa que el componente suministra mucha información a otros componentes y un CI – R indica que el componente recibe gran cantidad de información y que requerirá cambios debido a que otros componentes han cambiado.

Se puede hacer una representación grafica del flujo de especificaciones entre componentes, donde se aprecia la manera que están vinculados los elementos entre sí.

#### 4.4 Método de Diseño para Variedad, DFV [1]

El desarrollo del Índice de Variedad Generacional, GVI y el Índice de Acoplamiento, CI es un parte importante para entender explícitamente los factores externos de cambio y como esos cambios se propagan a través del diseño.

La generación de los índices y su aplicación al desarrollo de la arquitectura constituye el DFV. El método utiliza los índices para enfocarse en las áreas mas críticas en el desarrollo de la arquitectura.

Una vez generado el GVI y CI se ordenan los componentes en base al GVI. Los componentes con mayor GVI serán los componentes que probablemente más cambien a través del tiempo debido a factores externos.

Después de la generación del GVI y CI se está listo para hacer los cambios necesarios a la arquitectura para desarrollar una plataforma de producto más robusta. La complejidad del diseño hace difícil saber dónde empezar por lo que se desarrollan algunas reglas o proposiciones que servirán para saber a qué componentes se deberán enfocar los esfuerzos.

El GVI , CI – R y CI – S se deben categorizar, por ejemplo, en Alto (A) y Bajo (B) Con los tres índices y las dos categorías para cada uno, existen  $2^3 = 8$  combinaciones. Más niveles de categorización por ejemplo, Alto (A), Medio (M) y Bajo (B), darán como resultado  $3^3 = 27$  combinaciones lo que haría más complejo el desarrollo. Para efectos prácticos dos categorías se consideran suficientes. La Tabla 4.3 muestra la tabla de categorización.

GVI	CI-R	CI-S
A	A	A
A	A	B
A	B	A
A	B	B
B	A	A
B	A	B
B	B	A
B	B	B

Tabla 4.3. Categorización de componentes

GVI	Categorización
= 30	Alto (A)
< 30	Bajo (B)

Tabla 4.4. Tabla de Categorización GVI

Es necesario hacer la demarcación entre Alto (A) y Bajo (B). Se califica con un GVI Alto a los componentes que requieran un rediseño mayor (> 50% del esfuerzo original de diseño). Considerando que los elementos que tienen menos de un GVI de 30 sería muy difícil tener cambios sustanciales, aquí es donde precisamente se ubica la demarcación entre la categorización, Tabla 4.4.

De la misma manera debe hacerse una demarcación entre CI alto y bajo. La Ecuación 1 muestra la formulación para encontrar la demarcación.

$$CID = \frac{\sum_{b=1}^m (CI - S)_b}{m} \quad 4.1$$

Donde:

*CID* : Demarcación del Índice de Acoplamiento

*b* : Componente que provee de información

*m* : Número de componentes

Si el CI – R y CI – S de un componente es igual o mayor a CDI entonces tiene una categoría alta y viceversa, Tabla 4.5.

CI	Categorización
= CID	Alto (A)
< CID	Bajo (B)

Tabla 4.5. Tabla de Categorización CI

El próximo paso es determinar los componentes más importantes para enfocar los esfuerzos en ellos y hacer la plataforma más robusta para futuros cambios. A manera de guía para decidir cuáles son los elementos importantes, existen dos consideraciones importantes:

- **Estandarización de componentes.** Los elementos con alto GVI requieren de alto esfuerzo en rediseño para satisfacer las necesidades del cliente por lo que serán los primeros elementos a considerar.
- **Modularización de componentes.** Una vez que se han considerado los componentes para la estandarización, lo que sigue es considerar la modularización de éstos componentes y que aún tengan alto GVI y CI – R. Es común que éstos componentes cambien por lo que el equipo de diseño debe reducir su impacto en otras partes.

Para ambos casos, Estandarización y Modularización es poco común tener GVI y CI iguales a cero, ya que se estaría hablando de un equipo estático sin ningún tipo de interfaces ni flujo de información entre sus componentes, es decir un producto ideal.

En este punto el método DFV ha cubierto la parte descriptiva del diseño, esto ayudará al equipo de diseño a tomar decisiones en cuanto a:

- a) Como arreglar el mapeo entre los componentes físicos y funciones.
- b) Como definir interfaces.

## **5. CASO PRÁCTICO: DFV APLICADO A UN ENFRIADOR EVAPORATIVO**

### **5.1 Introducción**

#### **5.1.1 Enfriamiento Evaporativo**

El enfriamiento evaporativo constituye una manera simple, económica y ambientalmente segura para lograr enfriamiento de confort.

El aire se hace pasar a través de un medio de enfriamiento al cual se le aplica una cortina de agua, evaporando cierta cantidad de ésta; el aire baja de temperatura y aumenta su porcentaje de humedad. La Figura 5.1 muestra esquemáticamente el enfriamiento evaporativo (también conocido como “Lavado de aire”).

Para el proceso de enfriamiento en sí, no se necesita una fuente externa de energía. Se trata en realidad de un proceso adiabático, donde no hay pérdida ni ganancia del calor total: simplemente el calor sensible del aire evapora el agua y se convierte en calor latente de la mezcla resultante.

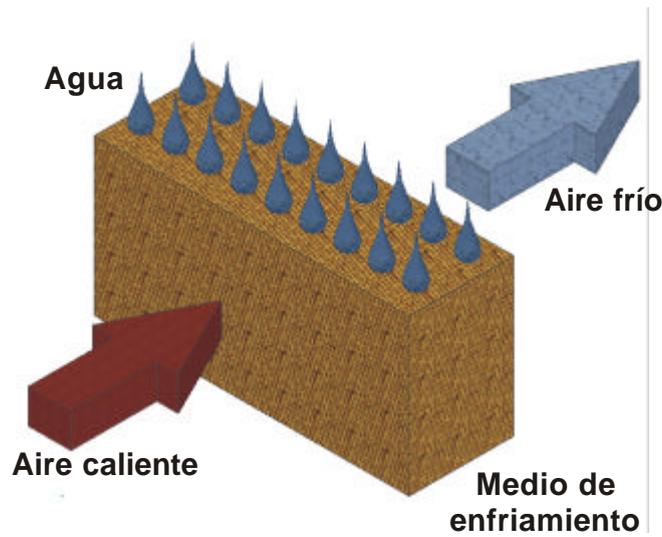


Figura 5.1 Esquema del enfriamiento evaporativo

En una carta Psicrométrica el proceso es prácticamente paralelo a las curvas de temperatura de bulbo húmedo, Figura 5.2.

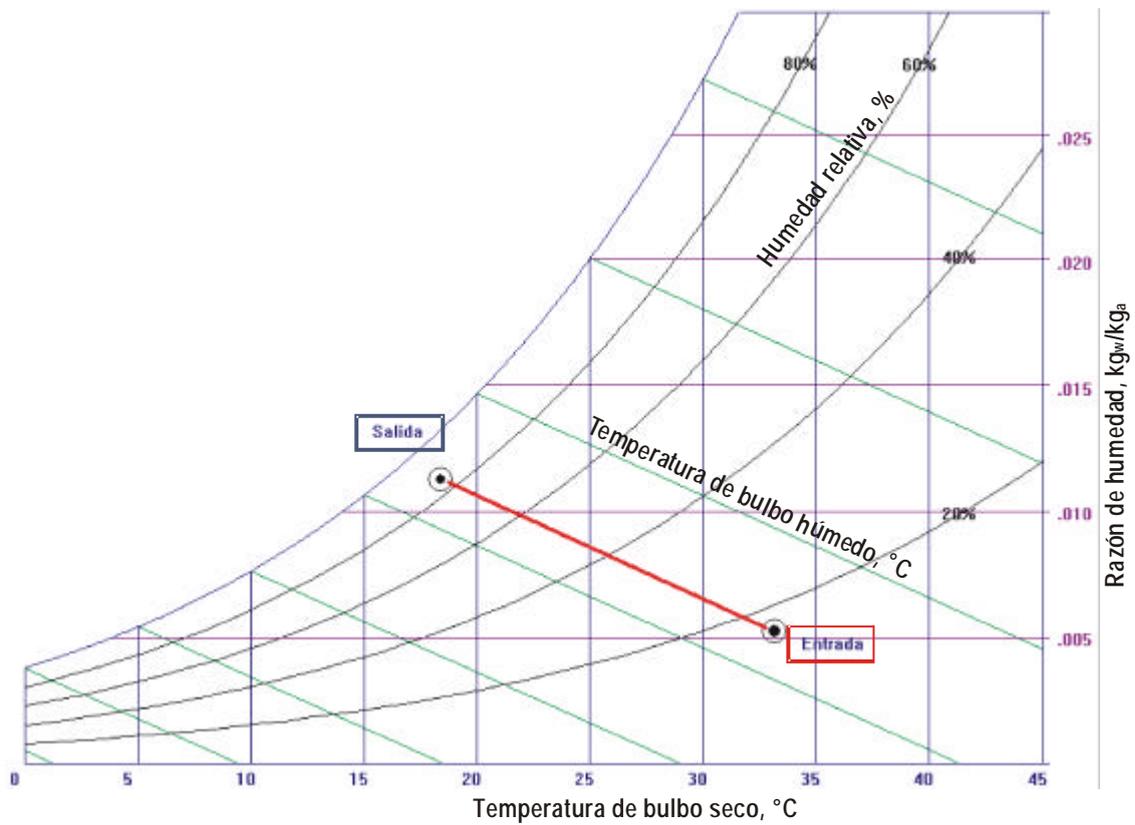
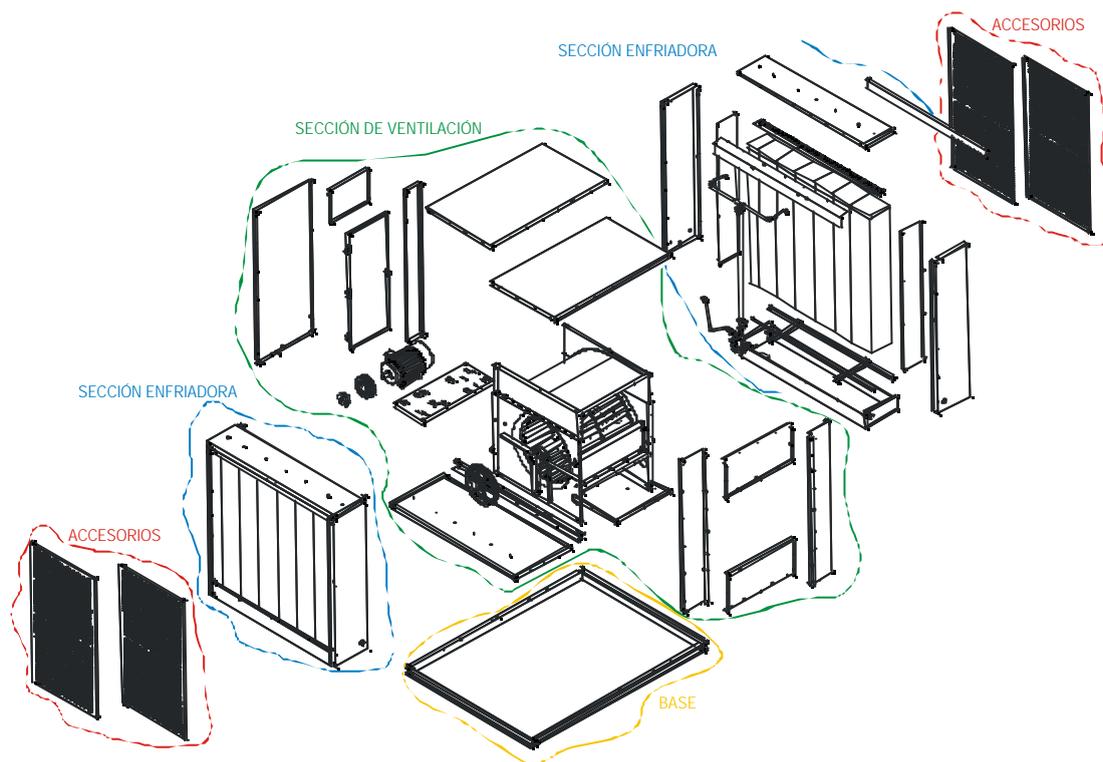


Figura 5.2 Enfriamiento evaporativo en la carta Psicrométrica

El aire tiende a enfriarse hacia la temperatura de bulbo húmedo de la localidad por lo que los mejores resultados para el enfriamiento evaporativo se obtienen en lugares calientes y secos, donde hay poca humedad y la temperatura de bulbo húmedo es baja. No obstante, este principio de enfriamiento ha probado ser eficiente y rentable aun en lugares con alta humedad.

### 5.1.2 Partes de un enfriador evaporativo



**Figura 5.3 Partes principales de un enfriador evaporativo**

En general los enfriadores evaporativos se dividen en cuatro secciones:

**Sección de ventilación**, donde se encuentra el conjunto motriz y el ventilador.

**Sección lavadora**, donde se lleva a cabo el proceso de enfriamiento.

**Accesorios**, pueden ser desde mallas protectoras hasta banco de filtro de alta eficiencia.

**Base**, elemento importante para transporte y colocación del equipo en el lugar de trabajo.

### 5.1.3 Esquema de desarrollo

El esquema del desarrollo paso a paso de las metodologías para aplicar el método DFV se muestra en la Figura 5.4. En las secciones siguientes se describe con detalle cada una de ellas. Se forma un equipo de diseño incluyendo a las áreas involucradas con el desarrollo, logística, manufactura e inspección del equipo con el fin de analizar posibilidades y decidir cuál es la mejor.

Sin estudios de mercadotecnia previos, las evaluaciones y apreciaciones relativas al mercado se sustentaron en el equipo de ventas, considerados el primer enlace con el cliente, ellos son lo que reciben las opiniones y sugerencias para mejorar o cambiar el producto.

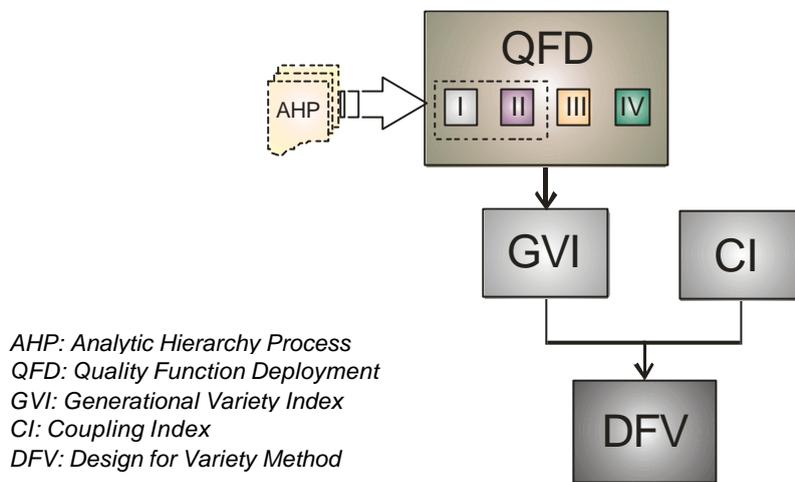
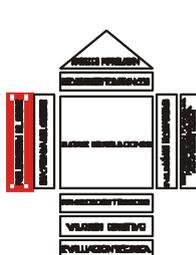


Figura 5.4. Estructura DFV.

### 5.2 QFD I

En cada uno de los conceptos o partes del QFD I se anexa un diagrama del lugar que ocupan en la matriz completa (Figura 4.2) con el objeto de no perder de vista la estructura general del método.

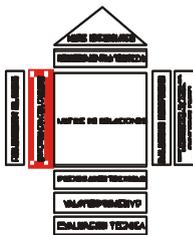


**Requerimientos del cliente.** Sustentada en opiniones de clientes y en la experiencia del equipo de ventas, se elabora una lista de las expectativas para el equipo nuevo. La Tabla 5.1 muestra la lista completa. Cabe mencionar que dicha lista es, de manera general, la respuesta a la pregunta: ¿Qué espera el cliente con respecto al equipo?

Una vez listados se clasifican por características generales y la afinidad entre ellos, Tabla 5.2.

<b>Voz del cliente ¿Qué?</b>	
Que tenga	<b>Accesorios</b>
Que tenga	<b>Ciclos combinados</b>
Que tenga bajo	<b>Costo</b>
Que sea	<b>Equipo Compacto</b>
Que sea	<b>Equipo Ligero</b>
Que sea	<b>Equipo Robusto</b>
Que tenga fácil	<b>Mantenimiento</b>
Que tenga fácil	<b>Montaje</b>
Que tenga mejor	<b>Información del Producto</b>
Que sea	<b>Modular</b>
Que tenga	<b>Rango de Modelos</b>
Que tenga	<b>Sistema Hidráulico Homogéneo</b>
Que tenga bajo	<b>Tiempos de Entrega</b>

Tabla 5 .2. Lista de requerimientos del cliente (agrupados).



**El nivel de importancia** se obtiene con la aplicación del Proceso de Análisis de Jerarquías (AHP, Analytic Hierarchy Process). El proceso consiste en encontrar la importancia relativa de cada uno de los requerimientos haciendo comparaciones en pares, y calificarlos de acuerdo a una escala establecida, la Tabla 5.3. muestra los valores de comparación entre el requerimiento  $i$  y el requerimiento  $j$ , se obtiene un valor  $a_{ij}$ .

¿QUE ESPERA EL CLIENTE?
⇒ Doble etapa
⇒ Simple etapa
⇒ Realmente modular :agregar modulos de filtrado, intercambiables (en proceso de manufactura).
⇒ Equipo compacto (dimensionalmente).
⇒ Equipo ligero (peso).
⇒ Equipo practico (instalacion y mantenimiento).
⇒ Equipo robusto.
⇒ Equipo de facil mantenimiento.
⇒ Equipo con medio enfriador diferente o mas eficiente.
⇒ Reduccion de costos (Sum \$min).
⇒ Equipos con mas ventiladores para potencia.
⇒ Reduccion de los tiempos de entrega.
⇒ Generacion de informacion electronica.
⇒ Manejo simple del CD.
⇒ Ser subensamblabe lo maximo posible. (Manufactura tipo Mecano).
⇒ Cambio de material por lamina galvanizada.
⇒ Equipo perfectamente sellado.
⇒ Medio enfriador sin sales saturado.
⇒ Equipo sin arrastre de agua.
⇒ Equipos sin maclas, con persianas.
⇒ Equipo con seccion de calefaccion.
⇒ Equipo con marco unico para seccion de ventilacion, calefaccion o de enfriamiento.
⇒ Un distribuidor sin problemas de desnivel.
⇒ Equipo con acceso para mantenimiento por el techo en equipos pequeños.
⇒ Material resistente en partes criticas de oxidacion.
⇒ Facilidad para cambiar y montar el motor.
⇒ Espacio suficiente para mantenimiento y tensado de transmision.
⇒ Transmision que permita tensar las bandas.
⇒ Equipo con variador de velocidad como accesorio.
⇒ Calefaccion a fuego directo como accesorio.
⇒ Reduccion del numero de piezas.
⇒ Reduccion del numero de ensambles.
⇒ Tanque embutido sin fugas.
⇒ Distribuidor de PVC.
⇒ Sistema de distribucion homogeneo de PVC blanco (o cobre).
⇒ Refuerzos en el techo de descarga hacia arriba.
⇒ Utilizacion de piezas comerciales (perfiles: cuadrado, angulo,etc).
⇒ Poner drenaje en seccion de ventilacion.
⇒ Conexiones de Dia. 1".
⇒ Localizacion del flotador para evitar interferencias.
⇒ Facil acceso para montaje y desmontaje de paneles.
⇒ Equipo "plug and play".
⇒ Consideracion de motores standar [F3 (143T? 256T), F1 (284? 326T)].
⇒ Elemento enfriador libre de microorganismos.
⇒ Recubrimiento resistente termico (tormotol; como alternativa).
⇒ Pintura durable.
⇒ Instructivos tamaño carta y anexarse en la poliza de garantia.
⇒ Orejas de levante desmontables.
⇒ Instrucciones de manejo en calcomanias.
⇒ Tornilleria de mejor calidad.
⇒ Flotadores industriales de mejor calidad (rotoplas alta y baja presion).
⇒ Piezas mas sencillas.
⇒ Calcomanias con especificaciones de la instalacion hidraulica.
⇒ Bomba protegida electronicamente.
⇒ Bases de facil manejo para montacargas o para isaje.
⇒ Instalacion hidraulica sin armar.
⇒ Rodetes listos para usar.
⇒ Rodete jaula de ardilla.
⇒ Flechas sin maquinado especial (hasta donde sea posible).
⇒ Establecer una segmentacion logica (sin traslapos).
⇒ Menor numero de equipos que cubran mayor rango.
⇒ Equipo eficiente ( caracteristica del producto).
⇒ Equipo con sensores.
⇒ Equipo con control.
⇒ Equipo mas eficiente.

Tabla 5.1. Requerimientos del cliente

Valor	Comparación
1	El requerimiento <i>i</i> es de igual importancia que el requerimiento <i>j</i>
3	El requerimiento <i>i</i> es ligeramente más importante que el requerimiento <i>j</i>
5	El requerimiento <i>i</i> es más importante que el requerimiento <i>j</i>
7	El requerimiento <i>i</i> es mucho más importante que el requerimiento <i>j</i>
9	El requerimiento <i>i</i> es absolutamente más importante que el requerimiento <i>j</i>
2, 4, 6, 8	Valores intermedios

Tabla 5.3. Valor de comparación en parejas.

Obviamente  $a_{ij} = 1$  Si se establece  $a_{ij} = k$  entonces  $a_{ji} = \frac{1}{k}$

La Tabla 5.4 muestra el resultado de la comparación entre requerimientos uno a uno. Esta evaluación se hace con los criterios y experiencia del equipo de diseño.

	Accesorios	Ciclos combinados	Costo	Equipo Compacto	Equipo Ligero	Equipo Robusto	Fácil Mantenimiento	Fácil Montaje	Información del Producto	Modular	Rango de Modelos	Sistema Hidráulico Homogéneo	Tiempos de Entrega
Accesorios	1	5	1/5	3	3	5	1/5	1/5	1	1/3	3	5	1/5
Ciclos combinados	1/5	1	1/7	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	5	1/5
Costo	5	7	1	5	5	5	3	3	5	1/3	1/3	9	1
Equipo Compacto	1/3	3	1/5	1	1	3	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	7	1/5
Equipo Ligero	1/3	3	1/5	1	1	3	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	7	1/5
Equipo Robusto	1/5	3	1/5	1/3	1/3	1	1/7	1/7	1/5	1/7	1/5	7	1/5
Fácil Mantenimiento	5	5	1/3	7	7	7	1	1/3	3	1/3	5	7	1/7
Fácil Montaje	5	5	1/3	7	7	7	3	1	3	1/3	5	7	1/5
Información del Producto	1	5	1/5	5	5	5	1/3	1/3	1	1/3	5	7	1/3
Modular	3	5	3	7	7	7	3	3	3	1	3	9	1/5
Rango de Modelos	1/3	5	3	5	5	5	1/5	1/5	1/5	1/3	1	7	1/3
Sistema Hidráulico Homogéneo	1/5	1/5	1/9	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/7	1/9	1/7	1	1/7
Tiempos de Entrega	5	5	1	5	5	5	7	5	3	5	3	7	1

Tabla 5.4. Análisis de jerarquías.

Ahora se determina el peso promedio de cada requerimiento, éste deberá estar entre 0 y 1 además, la suma de los pesos promedio de todos los requerimientos es 1. Por ejemplo, para (Accesorios, Accesorios) se divide el dato correspondiente entre la suma de los demás datos de la columna, esto es:

$$\frac{1}{\frac{1}{5} + 5 + \frac{1}{3} + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + 5 + 5 + 1 + 3 + \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + 5} = 0.038 \quad (5.1)$$

El peso o porcentaje promedio para los requerimiento aparece en la Tabla 5.5.

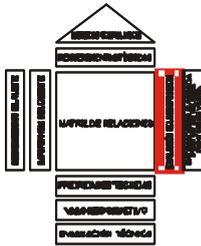
	Accesorios	Ciclos combinados	Costo	Equipo Compacto	Equipo Ligero	Equipo Robusto	Fácil Mantenimiento	Fácil Montaje	Información del Producto	Modular	Rango de Modelos	Sistema Hidráulico Homogéneo	Tiempos de Entrega	Promedio
Accesorios	0.038	0.096	0.020	0.064	0.064	0.093	0.011	0.014	0.050	0.038	0.114	0.059	0.046	5.4%
Ciclos combinados	0.008	0.019	0.014	0.007	0.007	0.006	0.011	0.014	0.010	0.023	0.008	0.059	0.046	1.8%
Costo	0.188	0.134	0.101	0.107	0.107	0.093	0.162	0.217	0.248	0.038	0.013	0.106	0.230	13.4%
Equipo Compacto	0.013	0.057	0.020	0.021	0.021	0.056	0.008	0.010	0.010	0.016	0.008	0.082	0.046	2.8%
Equipo Ligero	0.013	0.057	0.020	0.021	0.021	0.056	0.008	0.010	0.010	0.016	0.008	0.082	0.046	2.8%
Equipo Robusto	0.008	0.057	0.020	0.007	0.007	0.019	0.008	0.010	0.010	0.016	0.008	0.082	0.046	2.3%
Fácil Mantenimiento	0.188	0.096	0.034	0.150	0.150	0.131	0.054	0.024	0.149	0.038	0.190	0.082	0.033	10.1%
Fácil Montaje	0.188	0.096	0.034	0.150	0.150	0.131	0.162	0.072	0.149	0.038	0.190	0.082	0.046	11.4%
Información del Producto	0.038	0.096	0.020	0.107	0.107	0.093	0.018	0.024	0.050	0.038	0.190	0.082	0.077	7.2%
Modular	0.113	0.096	0.302	0.150	0.150	0.131	0.162	0.217	0.149	0.114	0.114	0.106	0.046	14.2%
Rango de Modelos	0.013	0.096	0.302	0.107	0.107	0.093	0.011	0.014	0.010	0.038	0.038	0.082	0.077	7.6%
Sistema Hidráulico Homogéneo	0.008	0.004	0.011	0.003	0.003	0.003	0.008	0.010	0.007	0.013	0.005	0.012	0.033	0.9%
Tiempos de Entrega	0.188	0.096	0.101	0.107	0.107	0.093	0.378	0.361	0.149	0.572	0.114	0.082	0.230	19.8%

Tabla 5.5. Peso promedio de los requerimientos.

Se definen cinco niveles de importancia (1 para lo más importante y 5 para lo menos importante) y se asignan de acuerdo al lugar obtenido de cada uno de los requerimientos, este es, nivel de importancia 1 para los lugares 1, 2 y 3, importancia 2 para los lugares 4, 5 y 6 y así sucesivamente hasta importancia 5 para los lugares 12 y 13. La Tabla 5.6 muestra los requerimientos, su lugar y nivel de importancia.

REQUERIMIENTO	LUGAR	IMPORTANCIA
Accesorios	8	3
Ciclos combinados	12	5
Costo	3	1
Equipo Compacto	9	3
Equipo Ligero	10	4
Equipo Robusto	11	4
Fácil Mantenimiento	5	2
Fácil Montaje	4	2
Información del Producto	7	3
Modular	2	1
Rango de Modelos	6	2
Sistema Hidráulico Homogéneo	13	5
Tiempos de Entrega	1	1

Tabla 5.6. Requerimientos del cliente, lugar y nivel de importancia.

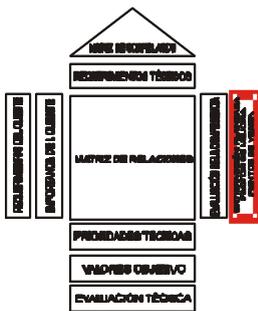


**La evaluación de la competencia** se sustenta en opiniones, criterios y apreciaciones del equipo de ventas. Un estudio mercadotécnico es una herramienta de gran utilidad para tener resultados más precisos.

Se consideran cuatro marcas competidoras *A, B, C y D* por ser las más representativas en el segmento de mercado, además de la marca propia *E*. Se elige una escala del 5 al 1 (muy satisfecho 5 y muy insatisfecho 1) para hacer la evaluación. La Tabla 5.7 muestra el resultado.

REQUERIMIENTO	Marcas competidoras				
	A	B	C	D	E
Accesorios	1	1	1	1	2
Ciclos combinados	1	1	1	1	1
Costo	2	2	2	2	2
Equipo Compacto	1	1	1	1	1
Equipo Ligero	2	2	3	2	3
Equipo Robusto	2	2	2	3	2
Fácil Mantenimiento	3	3	3	3	2
Fácil Montaje	3	3	3	3	2
Información del Producto	3	1	3	3	2
Modular	2	1	2	2	1
Rango de Modelos	3	3	3	2	3
Sistema Hidráulico Homogéneo	3	3	3	3	2
Tiempos de Entrega	4	2	4	2	1

Tabla 5.7. Resultado de la evaluación entre marcas competidoras.



**Aspectos adicionales.** Para complementar la matriz se incluyen conceptos como *Satisfacción planeada, Factor de mejora y Puntos de venta*.

**La satisfacción planeada** es el desempeño deseado del producto para satisfacer cada requerimiento en base a la escala de la evaluación de la competencia.

**El factor de mejora** se calcula al restar la evaluación del actual producto de la compañía E de la satisfacción planeada, ésta diferencia es multiplicada por un incremento de mejora (p. e. 0.2) y se suma a 1.

**Los puntos de venta** se utilizan para darle mayor peso a los requerimientos del cliente que se utilizarán para promocionar el producto. Los valores son el resultado de las opiniones y apreciaciones del equipo de ventas.

**El factor de peso** por requerimiento se obtiene al multiplicar la importancia por el factor de mejora y por el punto de venta correspondiente. Por ejemplo, para el requerimiento de accesorios:

$$FM = 1 + (MP - EV) * 0.2 \quad (5.2)$$

$$i \quad (5.3)$$

Donde:

*FM*: Factor de mejora

*MP*: Mejora planeada

*EV*: Evaluación propia (*E*)

*FP*: Factor de peso

*IM*: Importancia

*PV*: Punto de venta

Sustituyendo,

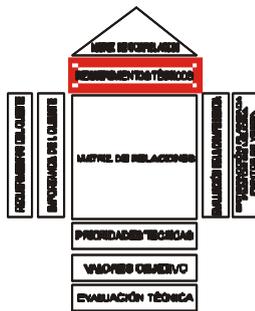
$$FM = 1 + (4 - 2) * 0.2 = 1.4 \quad (5.4)$$

$$i \quad (5.5)$$

La Tabla 5.8 muestra éstos últimos conceptos y sus respectivos valores.

REQUERIMIENTO DEL CLIENTE	Importancia	Evaluación Propia (E)	Mejora planeada	Factor de mejora		Puntos de venta	Factor de peso
				0.2			
Accesorios	3	2	4	1.4	1.35		<b>5.67</b>
Ciclos combinados	5	1	3	1.4	1.36		<b>9.52</b>
Costo	1	2	4	1.4	1.24		<b>1.74</b>
Equipo Compacto	3	1	2	1.2	1.32		<b>4.75</b>
Equipo Ligero	4	3	4	1.2	1.26		<b>6.05</b>
Equipo Robusto	4	2	3	1.2	1.38		<b>6.62</b>
Fácil Mantenimiento	2	2	4	1.4	1.38		<b>3.86</b>
Fácil Montaje	2	2	4	1.4	1.42		<b>3.98</b>
Información del Producto	3	2	4	1.4	1.41		<b>5.92</b>
Modular	1	1	3	1.4	1.37		<b>1.92</b>
Rango de Modelos	2	3	4	1.2	1.43		<b>3.43</b>
Sistema Hidráulico Homogéneo	5	2	3	1.2	1.34		<b>8.04</b>
Tiempos de Entrega	1	1	4	1.6	1.28		<b>2.05</b>

Tabla 5.8. Satisfacción planeada, Factor de mejora, puntos de venta y Factor de peso.

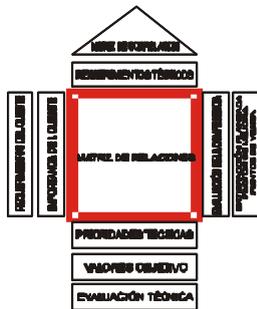


**Requerimientos técnicos o Métricas de Ingeniería, EM.**

Aquí se describe el producto en términos de la compañía. El equipo de diseño identifica todas las características *medibles* relacionadas con los requerimientos del cliente. Se incluye un renglón extra para indicar la dirección de cambio (Y **Incremento**, B **disminución**) de las esas características o variables y que además se consideraría como resultado del mejoramiento en el desempeño, Tabla 5.9.

Dirección de cambio	B	Y	B	Y	Y	B	B	Y	Y	B	B	Y	B	B	B
Característica o variable: Métrica de Ingeniería	# Arreglos Tubería	# de Arreglos Equipo	# de Modelos	# Elementos Informativos	# Piezas comunes	Deflexión máxima	Dimensiones equipo	Eficiencia de operación	Facilidad de Acceso	Peso	Precio	Rango operación	Sensibilidad al cambio	Tiempo desensamble	Tiempo ensamble
Unidad						mm	m3	h		kg	\$			s	s

Tabla 5.9. Métricas de ingeniería y su dirección de cambio como resultado de un posible mejoramiento.



Esta es, sin duda, la parte más importante del análisis. El objetivo de la matriz de relaciones es traducir los requerimientos del cliente dentro de las características técnicas del producto. Es una estructura bidimensional cuyas celdas relacionan cada uno de los requerimientos con las EM del producto. Por ejemplo, ¿que tan significativos los *arreglos de tubería* para cumplir con un *bajo costo*?

Se debe analizar celda por celda y el equipo de diseño decide cuál es el grado de relación entre el requerimiento y la EM mediante una escala de cuatro valores, Tabla 5.10.

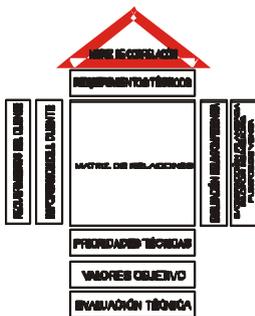
Factor	Descripción
9	Relación marcada
3	Relación media
1	Relación débil
0	Sin relación alguna

Tabla 5.10. Escala de valores para la matriz de relaciones.

La Tabla 5.11 muestra las relaciones entre los requerimientos del cliente y las EM del producto.

Requerimientos técnicos (Métricas de ingeniería)	Requerimientos del cliente														
	# Arreglos Tubería	# de Arreglos Equipo	# de Modelos	# Elementos Informativos	# Piezas comunes	Deflexión máxima	Dimensiones equipo	Eficiencia de operación	Facilidad de Acceso	Peso	Precio	Rango operación	Sensibilidad al cambio	Tiempo desensamble	Tiempo ensamble
	#	#	#	#	#	mm	m3	h		kg	\$			s	s
Accesorios	1	3	3	9	9	3	3	3	3	3	9	3	1	3	1
Ciclos combinados	1	3	9	3	3	1	3	3	3	3	9	3	3	1	1
Costo	3	9	3	1	9	1	1	9		1	9	3	1	3	3
Equipo Compacto	3	3	3		9	3	9	3	3	9	3	3	3	3	3
Equipo Ligero		3	3		3	9	3	3	3	9	1	1	3	3	3
Equipo Robusto		3	1		3	9	3		3	3	3	1	3	3	3
Fácil Mantenimiento	3	3	1	9	9		3		9	1	1	1	3	9	3
Fácil Montaje	3	3	1	3	3	9	9		9	9			3	3	3
Información del Producto	3	9	3	9	3		3				3	3	3	3	
Modular	3	9	3	1	9	3	3	3	3	1	3	1	9	9	9
Rango de Modelos	1	3	3	3	9		3	3		1	3	9	3	3	1
Sistema Hidráulico Homogéneo	9	3	3	1	3			3			3		3	3	3
Tiempos de Entrega	3	3	3		9		1				3				9

Tabla 5.11. Matriz de relaciones.



El triángulo superior o matriz de correlación es utilizada para identificar entre las EM del producto cuáles benefician o perjudican o otras. De igual manera que en la matriz de relaciones de debe comparar por pares, esto es, ¿al mejorar la característica técnica X, ésta beneficia o perjudica a la característica técnica Y?. Aunque se puede evaluar con escalas del tipo Alto / Medio / Bajo usualmente se prefiere usar sólo los símbolos “+” (beneficio), “-” (detrimento) o nada.

La información reunida es de utilidad para saber dónde se puede mejorar el diseño para obtener mayor número de beneficios y para poner atención en los puntos negativos de diseño ya que éstos representan una buena oportunidad para desarrollar soluciones innovadoras que eviten relaciones problemáticas.

La matriz de correlación para el caso de estudio aparece en la Tabla 5.12.

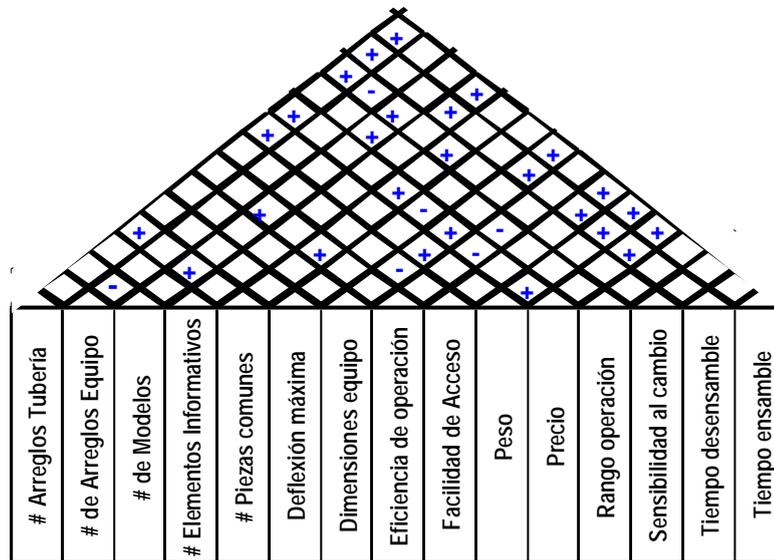
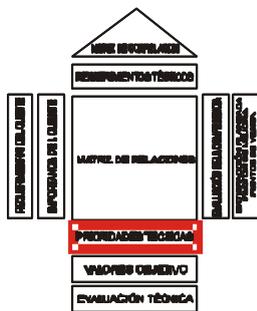


Tabla 5.12. Matriz de correlaciones.



Las **prioridad técnica** es la importancia relativa de cada EM en relación con los requerimientos del cliente. Se calcula con el factor de peso y los valores de la matriz de relaciones de la forma siguiente:

$$PT_i = \sum_{j=1}^n (EM_i * FPC_j) \tag{5.6}$$

Donde:  
 PT: Prioridad técnica.  
 EM: Métrica de ingeniería.  
 FPC: Factor de peso del cliente.

Sustituyendo para la EM # de piezas comunes en (3.6) el resultado es (Tabla 5.13):

$$PT_{\#PiezasComunes} = 9 * 5.67 + 3 * 9.52 + 9 * 1.74 + 9 * 4.75 + 3 * 6.05 + 3 * 6.62 + 9 * 3.86 + 3 * 3.98 + 3 * 5.92 + 9 * 1.92 + 9 * 3.43 + 3 * 8.04 + 9 * 2.05 = 331.17 \tag{5.7}$$

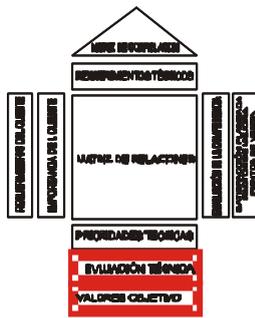
Requerimientos del cliente	Valor de relación # Piezas comunes	Factor de peso
Accesorios	9	5.67
Ciclos combinados	3	9.52
Costo	9	1.74
Equipo Compacto	9	4.75
Equipo Ligero	3	6.05
Equipo Robusto	3	6.62
Fácil Mantenimiento	9	3.86
Fácil Montaje	3	3.98
Información del Producto	3	5.92
Modular	9	1.92
Rango de Modelos	9	3.43
Sistema Hidráulico Homogéneo	3	8.04
Tiempos de Entrega	9	2.05
<b>Prioridad Técnica</b>	<b>331.17</b>	

Tabla 5.13. Prioridad técnica para # de Piezas comunes.

La Tabla 5.14 muestra las prioridades técnicas y porcentajes de cada uno de las EM.

# Arreglos Tubería	163.63	5.41%
# de Arreglos Equipo	248.11	8.21%
# de Modelos	218.84	7.24%
# Elementos Informativos	201.58	6.67%
# Piezas comunes	331.17	10.95%
Deflexión máxima	198.11	6.55%
Dimensiones equipo	211.33	6.99%
Eficiencia de operación	133.76	4.42%
Facilidad de Acceso	174.16	5.76%
Peso	209.38	6.93%
Precio	260.45	8.61%
Rango operación	132.14	4.37%
Sensibilidad al cambio	181.20	5.99%
Tiempo desensamblable	200.16	6.62%
Tiempo ensamble	159.44	5.27%

Tabla 5.14. Prioridades técnicas.



**La evaluación técnica** mide cada una de las características técnicas del producto no sólo de las compañías competidoras si no también de la propia. Con esto se ilustra la posición técnica del producto actual y ayuda a identificar los niveles deseados para el nuevo producto.

La parte final es el establecimiento de objetivos para cada una de las características técnicas del producto. Se pueden priorizar de acuerdo a las necesidades del cliente, al desempeño de la competencia y al desempeño propio.

Dada la restricción de estudios más completos y concisos de *marketing* sólo se presentan las prioridades técnicas. Sin duda el establecimiento de valores objetivo para cada característica que define al producto debe ser de gran utilidad para definir las principales rutas de diseño.

La Figura 5.1 muestra la matriz completa del QFD I o HQ.

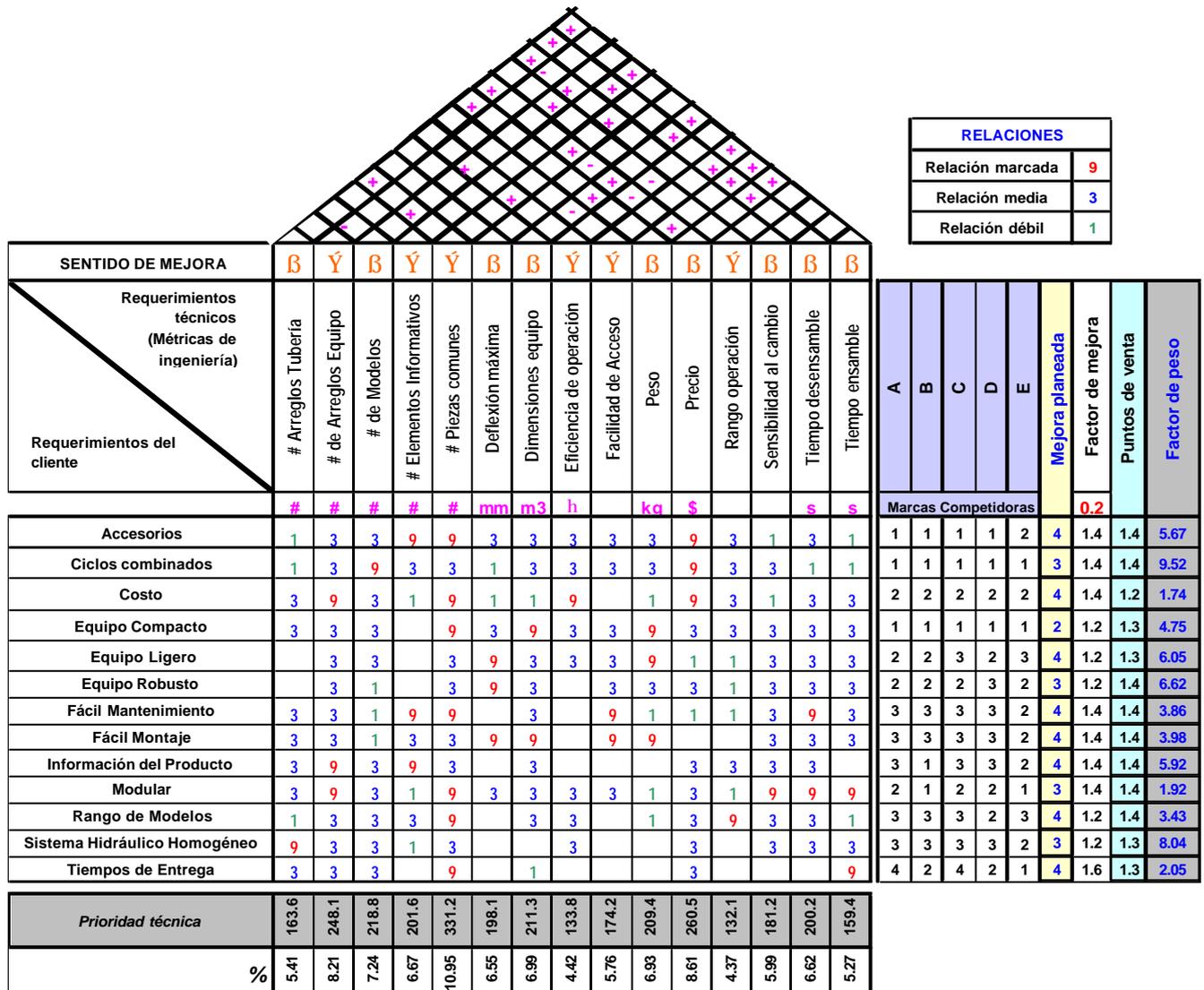


Figura 5.1. QFD I: House of Quality.

### 5.3 QFD II

El DFV II mapea las métricas de ingeniería de QFD I con los componentes usados en el diseño. Se obtienen las prioridades técnicas de los componentes.

El equipo de diseño elige y clasifica, sustentado en su experiencia, cuáles son los elementos principales que influirán en el diseño. Se eligen dos grandes grupos: ventilación y enfriamiento además de un grupo adicional de accesorios.

De la misma manera que DFV I se forma una matriz bidimensional que debe analizarse celda por celda y el equipo de diseño decide cuál es el grado de relación entre la EM y el componente mediante una escala de cuatro valores, Tabla 5.15.

Factor	Descripción
9	Relación marcada
3	Relación media
1	Relación débil
0	Sin relación alguna

Tabla 5.15. Valoración QFD II.

A partir de la prioridad técnica de QFD I se asigna un nivel de importancia del 1 al 5, 1 para lo menos importante y 5 para lo más importante. Con un proceso similar a la prioridad técnica en QFD I se obtienen los componentes prioritarios:

$$PR_i = \sum_{j=n}^{i=1} (Com_i * IMP_j) \quad (5.8)$$

Donde:

*PR*: Prioridad.

*Com*: Valoración Componente.

*IMP*: Importancia surgida del QFD I

Sustituyendo en (3.8) para el componente “Base del gabinete ventilación” el resultado es:

$$PR_{BaseGabVent} = 9*5 + 9*4 + 9*5 + 9*3 + 9*4 + 5*3 + 3*2 + 3*3 + 1*9 = 264 \quad (5.9)$$

La Tabla 5.16 muestra las relaciones entre las EM y los componentes del producto. Con esto se obtienen la influencia de los componentes en el diseño.

Componentes	Métricas de ingeniería	Ventilación					Enfriamiento					Accesorios	Ciclo Calefacción	Ciclo Indirecto			
		Base Gabinete Ventilación	Base Motor	Base Ventilador	Gabinete ventilación	Transmisión	Ventilador	Gabinete Enfriamiento	Base G. Enfriamiento	Tanque	Medio de Enfriamiento				Soporte Medio Enfriamiento	Tubería	Distribuidor
# Arreglos Tubería	2						3	1	3	9	3	9	9	1	3		
# de Arreglos Equipo	5	9	1	1	9		3	9	9	9	3	3	1	3	9	9	9
# de Modelos	4	9	3	3	9		9	9	9	3	3	3	3	3	9	9	9
# Elementos Informativos	3					3	9			3					9	3	3
# Piezas comunes	5	9	3	9	9		9	9	9	9	3	3	3	3	9	9	9
Deflexión máxima	3	9	1	3	9		3	9	9	3	1				3	3	3
Dimensiones equipo	4	9		3	9		3	9	3	3	3		1	3	3	3	3
Eficiencia de operación	1					9	9			3	9		3	3	3	3	3
Facilidad de Acceso	2		3	3	9	3	3	9				3	1	3	3	3	3
Peso	4	9	3	3	9	1	9	9	9	9	3	3	1	1	3	9	9
Precio	5	3	3	1	3	3	3	3	1	3	3	1	3	1	9	9	9
Rango operación	1				1	9	9	1			9				3	9	9
Sensibilidad al cambio	2	3	3	3	9	1	3	9	3	9	3	3	3	3	3	3	3
Tiempo desensamble	3	3	3	3	9	3	9	9	3	9	3	3	3	3	9	9	9
Tiempo ensamble	1	9	3	9	9	3	9	9	9	9	3	3	3	3	9	9	9
<b>Componente prioritario</b>		264	86	130	313	66	261	319	232	261	147	83	96	96	278	297	303
%		8.2	2.7	4.0	9.7	2.0	8.1	9.9	7.2	8.1	4.5	2.6	3.0	3.0	8.6	9.2	9.4

Tabla 5.16. QFD II.

Con éstas dos primeras etapas del método QFD existe una primera aproximación hacia dónde se deben enfocar los esfuerzos de diseño para cumplir con los requerimientos del cliente.

**5.4 Índice de variedad generacional, GVI.**

El GVI es una estimación de los cambios que requiere un componente debido a factores externos (no controlables), cambios en éstos factores provocan cambios en los componentes a través del tiempo. La Tabla 5.17 muestra algunos de los factores externos de cambios generacionales.

<b>Requerimientos del cliente</b>
<i>Cambio en el desempeño (tamaño, figura, peso, etc.)</i>
<i>Cambio en las condiciones ambientales (temperatura, humedad, vibración, etc)</i>
<i>Nuevas funciones, mejoras</i>
<b>Reducción de costos</b>
<i>Reducción materiales</i>
<i>Cambio de materiales</i>
<i>Eliminación de partes redundantes</i>
<i>Reducción del tiempo de ensamble</i>
<i>Uso de tecnología de menor costo</i>
<i>Reducción de tiempo de servicio</i>
<i>Mejoramiento del proceso de manufactura de los componentes</i>
<b>Regulaciones, estándares, etc.</b>
<i>Cambios en regulaciones y/o estándares gubernamentales o de la industria</i>
<i>Introducción de un nuevo producto mejorado (más calidad menos precio)</i>
<i>Partes obsoletas</i>

**Tabla 5.17. Factores externos en los cambios generacionales.**

El propósito de GVI es entonces estimar cuanto rediseño se requiere en un componente para cumplir con las EM en un futuro.

Es una estructura bidimensional cuyas celdas relacionan cada uno de los componentes con las EM del producto. De manera similar al QFD I y II se debe analizar celda por celda y el equipo de diseño estima el costo de rediseño para cumplir con las EM en el futuro.

Para calcular el GVI el equipo de diseño evalúa mediante un sistema de estimación 9/6/3/1 de acuerdo a la Tabla 5.18.

<b>Factor</b>	<b>% costo inicial de rediseño</b>	<b>Descripción</b>
9	> 50	<i>Requiere un rediseño mayor</i>
6	< 50	<i>Requiere un rediseño parcial</i>
3	< 30	<i>Cambios simples y numerosos</i>
1	< 15	<i>Pocos cambios menores</i>
0	-	<i>Sin cambio</i>

**Tabla 5.18. Valoración GVI.**

En la Tabla 5.19 se muestra las estimaciones para cada relación.

Componentes Métricas de ingeniería	Ventilación					Enfriamiento										
	Base Gabinete Ventilación	Base Motor	Base Ventilador	Gabinete ventilación	Transmisión	Ventilador	Gabinete Enfriamiento	Base G. Enfriamiento	Tanque	Medio de Enfriamiento	Soporte Medio Enfriamiento	Tubería	Distribuidor	Accesorios	Ciclo Calefacción	Ciclo Indirecto
# Arreglos Tubería							1		3		1	6	3			6
# de Arreglos Equipo	3		1	6		3	6	3						3	3	3
# de Modelos	6	6	3	9		6	9	6	6	3	3	3	3	6	6	6
# Elementos Informativos														3	1	1
# Piezas comunes	6	6	3	6		6	6	6	3			6	3	6	6	6
Deflexión máxima	3		3	3			3	3	6					3		
Dimensiones equipo	3		3	6		3	6	3	3		3		3	3	3	3
Eficiencia de operación				6	3	6	6		3	6		3	3	6	6	9
Facilidad de Acceso				6			9							6		
Peso	6	3	6	6	1	6	6	6	6		1	1	1	6	6	6
Precio	1	1	1	6	3	3	6	1	3	6	1	1	1	6	6	6
Rango operación				3	6	9	3			6		3	3	3	6	6
Sensibilidad al cambio	3	1	3	3	1	3	3	3	3	1	1	3	1	3	3	3
Tiempo desensamblable	3	3	3	6	3	6	6	3	3		3	3	3	6	6	6
Tiempo ensamble	3	3	3	6	3	6	6	3	3	1	3	3	3	6	6	6
<b>GVI</b>	<b>37</b>	<b>23</b>	<b>29</b>	<b>72</b>	<b>20</b>	<b>57</b>	<b>76</b>	<b>37</b>	<b>42</b>	<b>23</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>27</b>	<b>66</b>	<b>58</b>	<b>67</b>

Tabla 5.19. Matriz GVI.

El GVI para cada componente se calcula sumando su columna correspondiente.

El GVI es una parte importante del método DFV, ya que, al identificar los elementos que son más afectados por factores externos el equipo de diseño tiene ya un marco donde empezar a desarrollar la arquitectura de la plataforma de productos.

### 5.5 Índice de acoplamiento, CI

Así como existen efectos externos que provocan cambios en el diseño existe otra clase de efectos de mayor importancia que provocan el cambio en el diseño. Éstos efectos son creados a partir de la interacción o acoplamiento en el diseño.

El CI es un indicador importante para saber que tanto cambio requiere un componente al cambiar otro. Un diseño *desacoplado* es el cuando un cambio en un parámetro sólo afecta a su correspondiente requerimiento funcional y un diseño *acoplado* es cuando el cambio en un componente requiere el cambio en otro componente.

Es importante comprender el acoplamiento en el diseño para desarrollar arquitecturas robustas para futuros cambios en los requerimientos del cliente.

A través de una arquitectura bien planeada puede reducirse el esfuerzo de rediseño para futuras generaciones.

El acoplamiento es dirigido considerando el flujo de especificaciones entre componentes. Mapeando el flujo de especificaciones en el proceso de diseño, el equipo describe explícitamente las relaciones que acoplan las partes.

El cálculo del CI consta de cinco pasos:

1. Desarrollar un **arreglo básico** del producto.
2. Dibujar un **volumen de control** en cada componente.
3. Listar el **flujo de especificaciones** entre componentes.
4. Construir una **representación gráfica** del flujo de especificaciones.
5. Estimar la **sensibilidad** al cambio de los componentes.
6. Calcular el **Índice de Acoplamiento**.

**Arreglo básico.** Es esta etapa no se ha definido a detalle el arreglo final del equipo pero existe un arreglo básico dónde se aprecian las interfaces, además es un buen momento para influenciar o cambiar el producto para cumplir con diversos objetivos. Dependiendo el grado de complejidad deseado se puede dividir en partes o subsistemas.

**Volumen de control.** Un volumen de control es una frontera alrededor del sistema indicando el flujo hacia adentro y hacia fuera. En este caso el flujo de control se dibuja alrededor de cada componente o subsistema.

La Figura 5.2 muestra el arreglo básico del producto así como los volúmenes de control de los componentes y el flujo dentro y fuera del sistema.

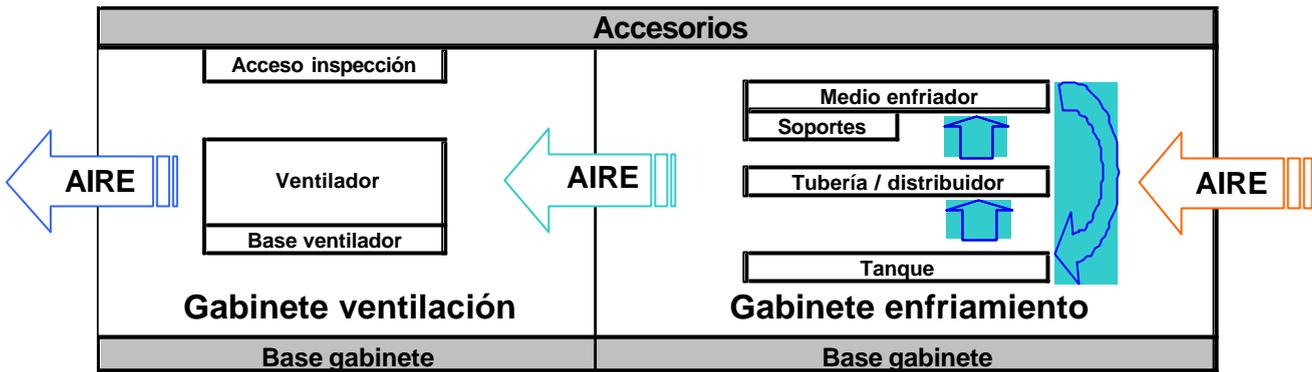


Figura 5.2. Arreglo básico

**Flujo de especificaciones.** Para cada volumen de control se listan las especificaciones que *recibe* y que *suministra* a otros componentes o volúmenes de control. Se construye una matriz donde el renglón superior son los componentes que suministran información y la columna derecha son los componentes que requieren de información. La Tabla 5.20 muestra una parte de la matriz del CI.

Elementos que RECIBEN información	Elementos que SUMINISTRAN información			
	Base Gabinete Ventilación	Base Motor	Base Ventilador	Gabinete ventilación
Base Gabinete Ventilación				Puntos de montaje Peso
Base Motor			Agujeros de montaje	
Base Ventilador		Puntos de montaje Rigidez peso		Agujeros de montaje
Gabinete ventilación	Rigidez Agujeros de montaje		Puntos de montaje Peso	

Tabla 5.20. Matriz CI parcial.

**Representación gráfica.** La visualización gráfica es útil para identificar el flujo de información entre componentes. El flujo de especificaciones no afecta en ningún momento el diseño, es decir, el flujo de información es tal que no importa como sea diseño del componente o del subsistema la información siempre fluirá, Figura 5.3.

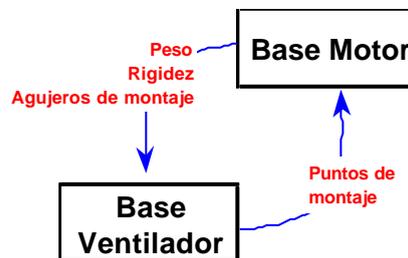


Figura 5.3. Representación gráfica para el flujo de información.

**Estimación de la sensibilidad.** Para cada especificación la pregunta es ¿Cuál es la sensibilidad del componente a un pequeño cambio en la especificación?. Si un cambio pequeño requiere de un cambio en el componente, entonces tiene una alta sensibilidad. Si la especificación requiere un gran cambio para cambiar el componente, entonces tiene una baja sensibilidad. La sensibilidad se evalúa de acuerdo a la Tabla 5.21

Factor	Descripción
9	<i>Alta sensibilidad</i> Pequeños cambios en la especificación requieren de cambios en el componente
6	<i>Media alta sensibilidad</i>
3	<i>Media baja sensibilidad</i>
1	<i>Baja sensibilidad</i> Grandes cambios en la especificación requieren de cambios en el componente
0	<i>La especificación no afecta al componente</i>

Tabla 5.21. Matriz CI parcial.

La Tabla 5.22 muestra la evaluación parcial.

Elementos que RECIBEN información	Elementos que SUMINISTRAN información			
	Base Gabinete Ventilación	Base Motor	Base Ventilador	Gabinete ventilación
Base Gabinete Ventilación				Puntos de montaje 9 Peso 6
Base Motor			Agujeros de montaje 1	
Base Ventilador		Puntos de montaje 1 Rigidez 1 peso 6		Agujeros de montaje 6
Gabinete ventilación	Rigidez 9 Agujeros de montaje 9		Puntos de montaje 6 Peso 3	

Tabla 5.22. Evaluación matriz CI (parcial).

**Cálculo del CI.** De la matriz de acoplamiento se derivan dos índices. La suma de cada columna indica la fuerza de la información cedida por el componente a otros componentes y la suma de cada renglón es la información que recibe cada componente de los demás componentes.

*Índice de acoplamiento – Receptor (CI – R):* Indica la fuerza de las especificaciones que un componente **recibe** de los otros componentes.

*Índice de acoplamiento – Proveedor (CI – S):* Indica la fuerza de las especificaciones que un componente **provee** a los otros componentes.

$$(CI - R)_a = \sum_{b=1}^m TS_{ab} \quad ; \quad \forall a \quad (5.9)$$

$$(CI - S)_b = \sum_{a=1}^m TS_{ab} \quad ; \quad \forall b \quad (5.10)$$

$$TS_{ab} = \sum_{c=1}^m SS_{abc} \quad ; \quad \forall a, b \quad ; \quad a \neq b \quad (5.11)$$

Donde:

*a* = componente recibiendo especificación

*b* = componente proveyendo especificación

*c* = especificación

*m* = número de componentes

*TS* = sensibilidad total del componente a cambios en *b*

Ambos índices indican que tan acoplado está un componente. Un alto CI – S indica que el componente provee mucha información a otros componentes. Si el componente es cambiado estoces es muy probable que provoque cambios en otros componentes. Un CI – R indica una alta probabilidad que requiera cambiar debido a cambios en otros componentes. La representación gráfica completa y el cálculo de los Índices de acoplamiento se muestran en la Figura 5.4 y Figura 5.5.

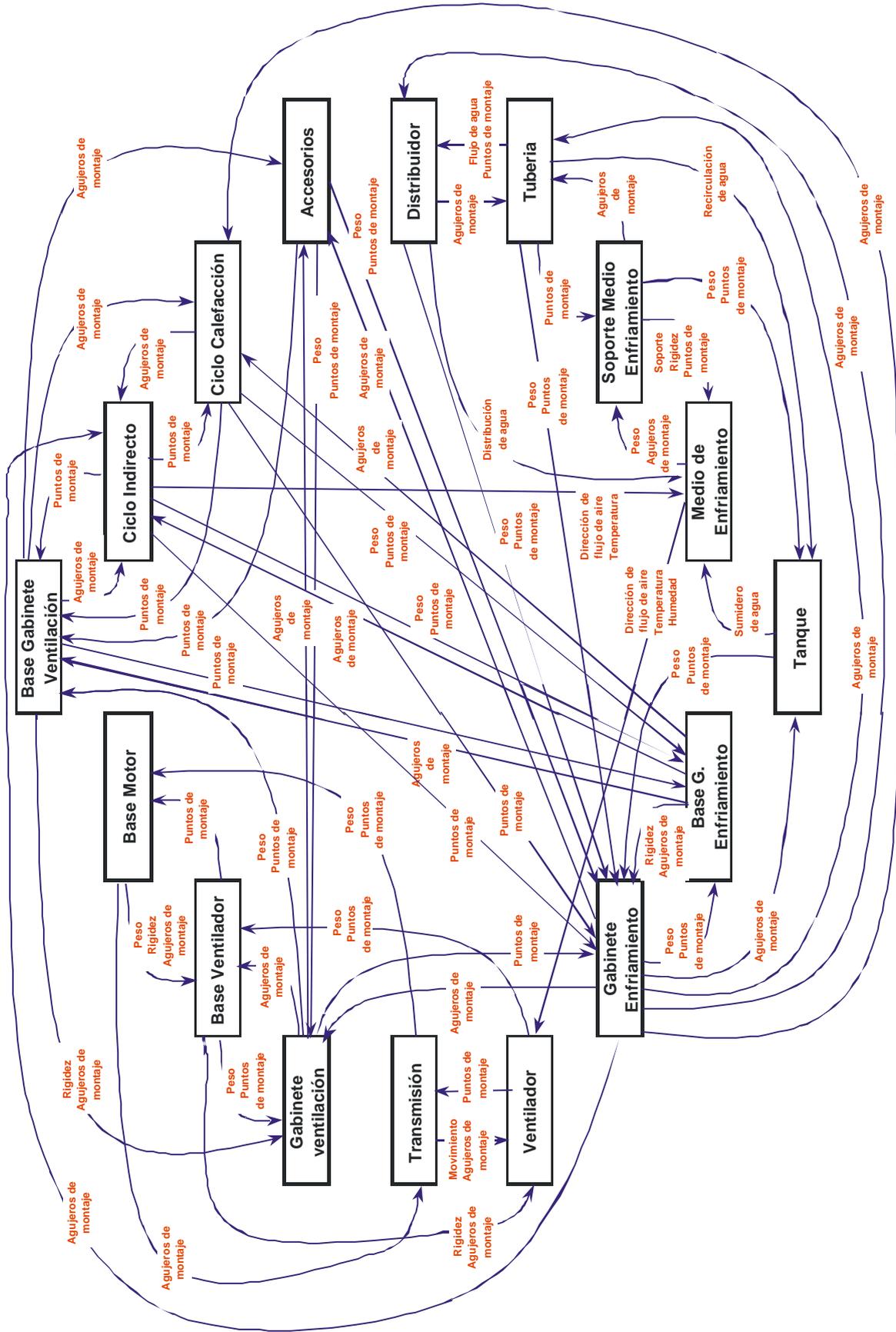


Figura 5.4. Representación gráfica del CI

Elementos que SUMINISTRAN información

Elementos que RECIBEN información	Base Gabinetes Ventilación	Base Motor	Base Ventilador	Gabinete ventilación	Transmisión	Ventilador	Gabinete Entrenamiento	Base G. Entrenamiento	Tasque	Medio de Entrenamiento	Soporte Medio Entrenamiento	Tablero	Distribuidor	Accesorios	Ciclo Colección	Ciclo Indefinido	CR
Base Gabinetes Ventilación				Punto de montaje Piso											Puntos de montaje		11
Base Motor			Apoyos de montaje	Punto de montaje Piso													7
Base Ventilador		Apoyos de montaje Piso		Apoyos de montaje Piso		Piso											28
Gabinete ventilación	Apoyos de montaje		Apoyos de montaje Piso				Apoyos de montaje							Puntos de montaje Piso			45
Transmisión		Apoyos de montaje				Puntos de montaje											6
Ventilador			Rollos Apoyos de montaje			Revolucion Apoyos de montaje				Directorio de Listas anuales Temperatura (anual) Transmisión (anual)						27	
Gabinete Entrenamiento								Puntos de montaje Apoyos de montaje	Puntos de montaje Piso						Puntos de montaje	Puntos de montaje	47
Base G. Entrenamiento	Puntos de montaje						Piso		Piso						Puntos de montaje Piso	Puntos de montaje Piso	35
Tasque																	12
Medio de Entrenamiento													Distribuidor de agua			Temperaturas Directorio de Listas	13
Soporte Medio Entrenamiento									Apoyos de montaje Cuerpo a agua								11
Tablero																	3
Distribuidor																	1
Accesorios																	12
Ciclo Colección	Apoyos de montaje																8
Ciclo Indefinido																	8
CR	22	11	18	21	19	16	40	28	18	14	18	8	7	26	12	17	340

Figura 5.5. Cálculo del CI

## 6. Método DFV

### 6.1 Manejo del GVI y CI

Los índices GVI y CI del producto representan el primer paso en el método DFV, a continuación se ordena el GVI de mayor a menor. Los primeros serán los componentes que tienen mayores posibilidades de cambiar a través del tiempo debido a factores externos.

La Tabla 6.1 muestra el orden del GVI para los componentes del equipo, así como los índices CI – R y CI - S.

Después de la generación de GVI y CI el equipo de diseño está listo para hacer cambios a la arquitectura para desarrollar una plataforma más robusta. La complejidad del proceso de diseño hace difícil saber dónde empezar. Esta etapa desarrolla *heurísticas* para apoyar al equipo para saber en cuáles elementos enfocar sus esfuerzos.

COMPONENTE	GVI	CI-R	CI-S
Gabinete Enfriamiento	76	81	64
Gabinete ventilación	72	51	39
Ciclo Indirecto	67	18	21
Accesorios	66	21	33
Ciclo Calefacción	58	18	21
Ventilador	57	27	18
Tanque	42	16	18
Base Gabinete Ventilación	37	25	28
Base G. Enfriamiento	37	28	25
Tubería	32	5	10
Base Ventilador	29	29	28
Distribuidor	27	7	7
Base Motor	23	13	11
Medio de Enfriamiento	23	18	17
Transmisión	20	6	16
Soporte Medio Enfriamiento	16	16	23

Tabla 6.1. Ordenamiento GVI e índices CI - R y CI - S.

## 6.2 Categorización de componentes.

Es importante recordar el significado de cada uno de los índices. El GVI es un indicador de la cantidad de rediseño requerida para un componente para cumplir con las Métricas de Ingeniería futuras. Cumplir con éstas necesidades es muy importante para el éxito del producto

El índice de acoplamiento – receptor es un indicador de cómo un elemento cambio debido al acoplamiento interno. El índice de acoplamiento – proveedor es un indicador de la fuerza de especificaciones dadas a otros componentes.

Un componente con alto CI – S tiene muchas posibilidades de causar cambios en otros componentes si éste cambia. Reduciendo el CI – S de un componente se desacopla o aísla para no afectar a los demás.

La categorización de índices se hace asignando valor de Alto (A) y Bajo (B). Esto significa que existen 2<sup>3</sup> diferentes categorías de componentes, esto es, Tabla 6.2.

GM	CI-R	CI-S
A	A	A
A	A	B
A	B	A
A	B	B
B	A	A
B	A	B
B	B	A
B	B	B

**Tabla 6.2. Categorización de componentes.**

Ahora se determina el límite entre A y B. Un valor de GVI mayor de 40 se considera que el elemento requiere de un rediseño mayor (>50% del esfuerzo del diseño original), Tabla 6.3. El equipo de diseño puede escoger un valor diferente para esta demarcación dependiendo, en buena parte, a los recursos asignados para la actualización del producto, particularmente se decide por un valor cercano al promedio. De acuerdo con la Tabla 6.1 cerca del 45% de los elementos están por arriba de 40

GVI	Categorización
= 40	Alto (A)
< 40	Bajo (B)

**Tabla 6.3. Categorización GVI.**

Para el CI se toma una aproximación relativa. La demarcación entre A y B del CI es calculado como el promedio de los CI de los elementos,

$$CID = \frac{\sum_{b=1}^m (CI - S)_b}{m} \quad (6.1)$$

Donde:

$b$  = componente proveedor de información

$m$  = número de componentes

Si el CI – R o CI – S son iguales o mayores al CID entonces se califican como Alto (A) y si son menores entonces la calificación es Bajo (B), Tabla 6.4.

CI	Categorización
= CID	Alto (A)
< CID	Bajo (B)

**Tabla 6.4. Categorización CI.**

El cálculo del CID es 26 para el equipo y según la Tabla 6.1 cerca del 45% de los elementos están por arriba; la categorización completa de los elementos se presenta en la Tabla 6.5.

	GVI	CI-R	CI-S
Gabinete Enfriamiento	A	A	A
Gabinete ventilación	A	A	A
Ciclo Indirecto	A	B	B
Accesorios	A	B	A
Ciclo Calefacción	A	B	B
Ventilador	A	A	B
Tanque	A	B	B
Base Gabinete Ventilación	B	B	A
Base G. Enfriamiento	B	A	B
Tubería	B	B	B
Base Ventilador	B	A	A
Distribuidor	B	B	B
Base Motor	B	B	B
Medio de Enfriamiento	B	B	B
Transmisión	B	B	B
Soporte Medio Enfriamiento	B	B	B

Tabla 6.5. Categorización de componentes.

El siguiente paso es determinar cual categorización de componente es la más importante para enfocar los esfuerzos y hacer el producto más robusto para futuros cambios. El producto ideal tiene un GVI = 0 esto significa que el producto no necesita cambios para cumplir con los requerimientos futuros lo que no es muy común porque sería un producto estático.

Una arquitectura donde la mayor parte de los elementos tiene un GVI alto definitivamente necesita cambiar. El primer objetivo en el desarrollo de la arquitectura es reducir algunos de éstos GVI. Para tal caso existen algunos criterios que ayudan a tomar decisiones.

### 6.3. Estandarización de componentes.

Lo más importante para reducir los esfuerzos de rediseño es estandarizar los componentes a través de las generaciones. Como los componentes con GVI alto necesitan los mayores esfuerzos de rediseño debido a las necesidades del cliente, éstos son los componentes que hay que considerar.

Los elementos con GVI alto generalmente tienen mucho mayor impacto que los elementos con CI – R alto por lo que hay que considerarlos primero. Otra consideración para estandarizar éstos componentes son los que proveen de mucha información, CI - S alto. Finalmente la información recibida de otros componentes, CI – R, debe ser reducida a cero. Como es más fácil generalmente reducir el CI – R a cero de los componentes con bajo CI – R que los que tienen alto CI – R entonces se deben enfocar los esfuerzos a los elementos con bajo CI – R.

El orden sugerido para la estandarización de componentes se muestra en la Tabla 6.6.

Orden	GVI	CI-R	CI-S
1	A	B	A
2	A	A	A
3	A	B	B
4	A	A	B
5	B	B	A
6	B	A	A
7	B	B	B
8	B	A	B

Tabla 6.6. Orden para estandarización.

#### 6.4. Modularización de componentes.

Mientras que la estandarización de los componentes a través de las generaciones es el método ideal para reducir el esfuerzo de rediseño, no siempre es posible estandarizarlos. La completa estandarización no es posible si uno de los componentes debe cambiar para cumplir con los requerimientos del cliente. Después que los elementos han sido considerados para estandarización lo siguiente es considerar la modularización de los elementos que aún tengan alto GVI o CI – R. La modularización significa que los componentes cambien con poco o nada de impacto sobre otros componentes. Ésta modularización se logra reduciendo el CI – S de los componentes.

La reducción del CI – S a cero previene que los cambios en un componente se propaguen a los demás componentes y permite que el elemento sea actualizado sin requerir esfuerzo de rediseño extra. El orden para la modularización es similar al orden para estandarización, la diferencia es la consideración del CI – R alto. Como los elementos con bajo CI – S son más fáciles de reducir a cero son los primeros a considerar.

El orden para la modularización de componentes se muestra en la Tabla 6.7.

Orden	GVI	CI-R	CI-S
1	A	A	B
2	A	A	A
3	A	B	B
4	A	B	A
5	B	A	B
6	B	A	A
7	B	B	B
8	B	B	A

Tabla 6.7. Orden para modularización.

El proceso es iterativo, en cuanto se reduce el CI – S de los componentes el CI – R también cambia. Esto requiere que se actualicen los índices después de cualquier cambio en la arquitectura.

Ambos criterios, estandarización y modularización, ayudan a considerar los elementos en donde se deben enfocar los esfuerzos pero son sólo una guía, pueden existir otras razones que pueden ser usadas y que el equipo de diseño las decide.

### 6.5 Gráficas

Las gráficas son de mucha utilidad para comprender y explicar el proceso DVF. La Figura 6.1 muestra el CI – R vs. GVI del equipo. Se agregan a la gráfica la línea de demarcación entre Alto y Bajo GVI y CI.

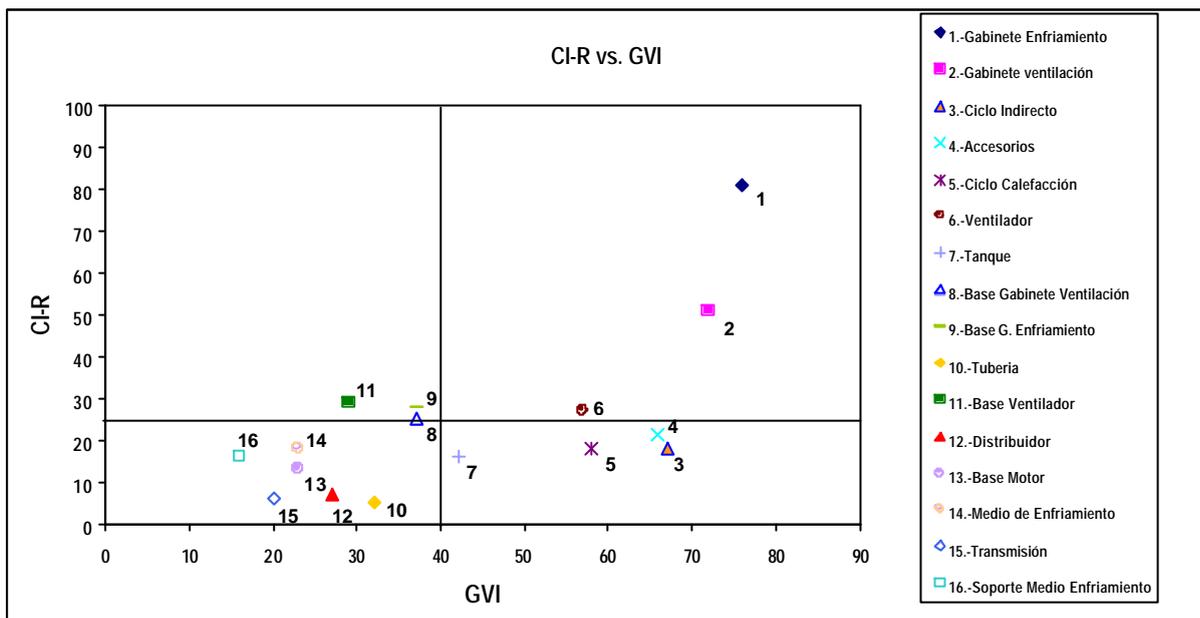


Figura 6.1. CI – R vs. GVI

Las burbujas que se agregan en la Figura 6.2 representan el CI – S. Una burbuja grande indica gran cantidad de información transferida a los demás componentes del diseño, es decir, cómo se propaga hacia los demás componentes cierto cambio.

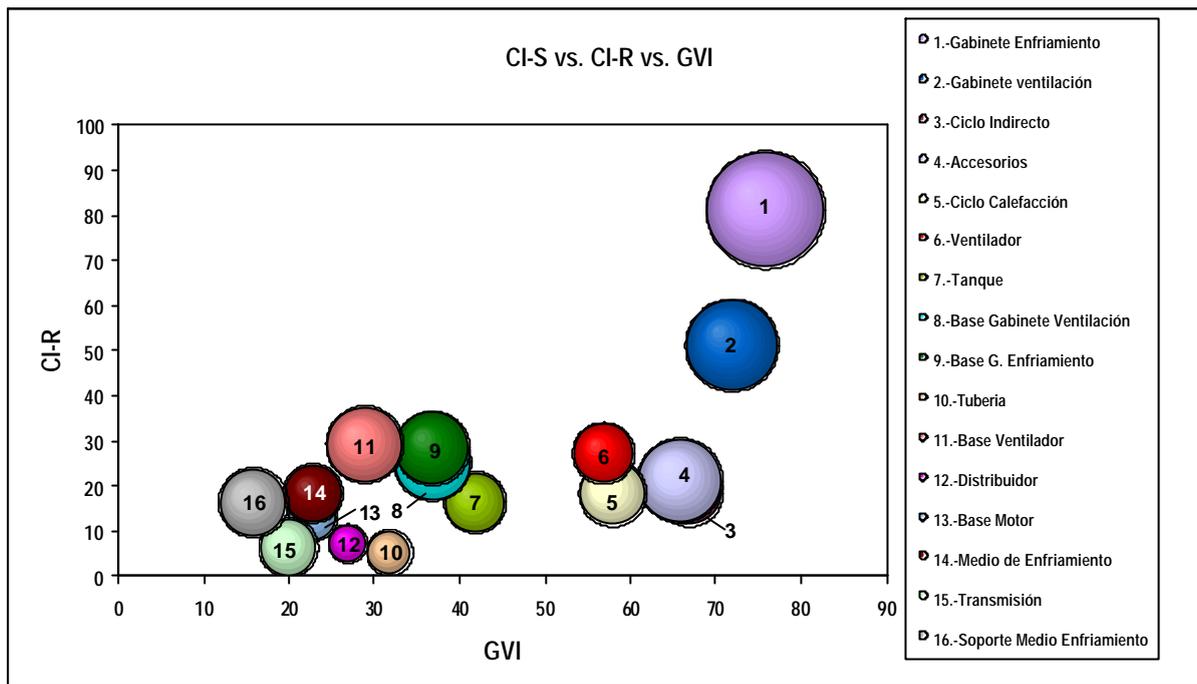


Figura 6.2. CI – R vs. GVI

### 6.6 Desarrollo de la arquitectura para la plataforma de diseño.

En este punto el método DVF ha cubierto las medidas descriptivas del diseño. Su aplicación permite la mejora en la arquitectura de producto y a tomar decisiones en cuanto a:

- Como re-arreglar el mapeo entre los componentes físicos y las funciones
- Como definir interfaces.

A manera de resumen se agrupan los resultados obtenidos hasta ahora para analizar y planear la siguiente etapa, Tabla 6.8.

	AHP	QFD I	QFD II	GVI	Estandarización	Modularización
Nivel	Análisis de jerarquías	House of Quality	Parts Deployment	Índice de Variedad Generacional	Índice de Acoplamiento	
1	Tiempos de Entrega	# Piezas comunes	Gabinete Enfriamiento	Gabinete Enfriamiento	Accesorios	Ventilador
2	Modular	Precio	Gabinete ventilación	Gabinete ventilación	Base Gabinete Ventilación	Base G. Enfriamiento
3	Costo	# de Arreglos Equipo	Ciclo Indirecto	Ciclo Indirecto	Gabinete Enfriamiento	Gabinete Enfriamiento
4	Fácil Montaje	# de Modelos	Ciclo Calefacción	Accesorios	Gabinete ventilación	Gabinete ventilación
5	Fácil Mantenimiento	Dimensiones equipo	Accesorios	Ciclo Calefacción	Ciclo Indirecto	Ciclo Indirecto
6	Rango de Modelos	Peso	Base Gabinete Ventilación	Ventilador	Ciclo Calefacción	Ciclo Calefacción
7	Información del Producto	# Elementos Informativos	Ventilador	Tanque	Tanque	Tanque
8	Accesorios	Tiempo desensamble	Tanque	Base Gabinete Ventilación	Tubería	Tubería
9	Equipo Compacto	Deflexión máxima	Base G. Enfriamiento	Base G. Enfriamiento	Ventilador	Accesorios
10	Equipo Ligero	Sensibilidad al cambio	Medio de Enfriamiento	Tubería	Base G. Enfriamiento	Base Gabinete Ventilación
11	Equipo Robusto	Facilidad de Acceso	Base Ventilador	Base Ventilador	Base Ventilador	Base Ventilador
12	Ciclos combinados	# Arreglos Tubería	Tubería	Distribuidor	Distribuidor	Distribuidor
13	Sistema Hidráulico Homogéneo	Tiempo ensamble	Distribuidor	Base Motor	Base Motor	Base Motor
14		Eficiencia de operación	Base Motor	Medio de Enfriamiento	Medio de Enfriamiento	Medio de Enfriamiento
15		Rango operación	Soporte Medio Enfriamiento	Transmisión	Transmisión	Transmisión
16			Transmisión	Soporte Medio Enfriamiento	Soporte Medio Enfriamiento	Soporte Medio Enfriamiento

Tabla 6.8. Tabla resumen

### 6.6.1 Reducción del GVI y CI.

Para reducir el GVI del producto se necesita considerar el método para determinar el índice. El GVI se calcula a partir de las estimaciones del costo de rediseño para cumplir con las futuras necesidades del cliente a partir de la *arquitectura actual* del producto.

El equipo de diseño debe inspeccionar la matriz GVI para determinar cuales se pueden reducir. Existen dos criterios para reducir el GVI:

1. Quitar algunas métricas de ingeniería / especificaciones de componentes modificando el mapeo de componentes.
2. Reducir la sensibilidad de los componentes a los cambios en las especificaciones:
  - ✓ *Reduciendo el acoplamiento interno entre componentes.*
  - ✓ *Incrementando la magnitud de la especificación, diseñar el elemento para absorber grandes cambios en las especificaciones. Algunas veces es llamado "sobrediseño."*

La manera de cómo reducir el CI es similar al GVI, quitar componentes / especificaciones de componentes o reduciendo su sensibilidad

En este punto se hace un re arreglo de componentes y re definen sus interfaces para obtener una arquitectura diferente y así entonces calcular nuevamente el GVI y CI.

Los cambios en la nueva arquitectura se concentran en la modificación de interfaces entre elementos, ya que, la mecánica del proceso no se modifica, Figura. 5.2. Partiendo de la Figura 6.3 donde se muestran los valores de la Tabla 6.8 pero de manera gráfica para seguir más a detalle como es el nivel importancia de todos los elementos.

Se analizan los componentes en las primeras posiciones de cada etapa para decidir los primeros cambios, en este momento se hacen algunas distinciones entre elementos, es decir, se hacen *primarios* aquellos elementos que sean considerados dentro de la arquitectura *central* mientras que los *secundarios* son los que se consideran fuera de la arquitectura *central*, esto sólo con el objeto de establecer un punto de partida con los elementos principales.

La arquitectura primaria se considera que esta conformada por los elementos con importancia promedio mayor de 8:, es decir, en donde se concentra gran cantidad de información de acoplamiento: *gabinete de enfriamiento, gabinete de ventilación, ciclo indirecto, ciclo de calefacción, accesorios, base gabinete ventilación, ventilador, tanque y base gabinete de enfriamiento.*

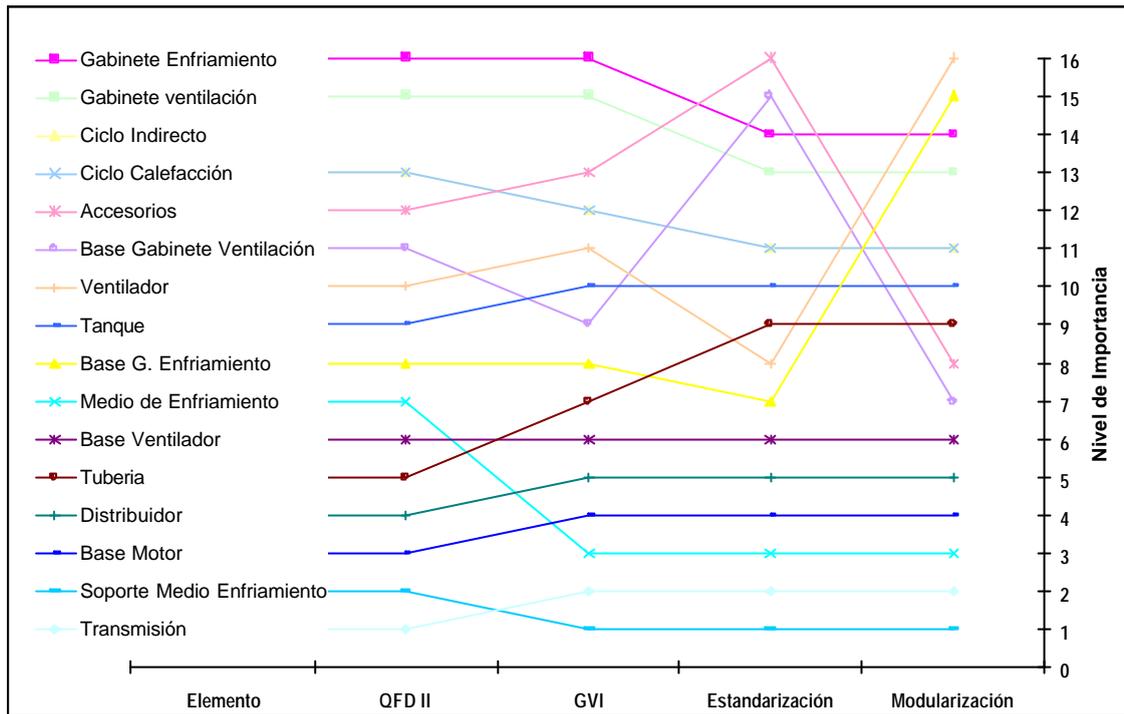


Figura 6.3. Gráfica resumen

Entonces, los elementos de importancia menor a 7 se consideran dentro de la arquitectura secundaria: medio de enfriamiento, base ventilador, tubería, distribuidor, base motor, soporte medio enfriamiento y transmisión.

Dentro de la arquitectura *primaria* elementos tales como el ciclo indirecto, ciclo de calefacción, accesorios y tanque son elementos con funciones específicas o adicionales al proceso de enfriamiento evaporativo, por lo que los elementos: gabinete de enfriamiento, gabinete de ventilación, base gabinete ventilación, ventilador y base gabinete de enfriamiento se establecen como los elementos primordiales para iniciar el cambio.

Es importante señalar que el ventilador se considera un sistema independiente y, prácticamente sería tema para un análisis posterior. Por lo pronto en este estudio no se considera más que un elemento sin cambio interno, en este sentido entonces se enfocan los esfuerzos a los elementos restantes de la arquitectura primaria: gabinete de enfriamiento, gabinete de ventilación, base gabinete ventilación y base gabinete de enfriamiento.

Establecidas las prioridades se plantea una arquitectura diferente que cumpla con los requerimientos iniciales.

La Figura 6.4 muestra el diagrama de flujo modificado, la idea principal es partir de una estructura central que sirva para dar rigidez y soporte, por ejemplo, a los gabinetes.

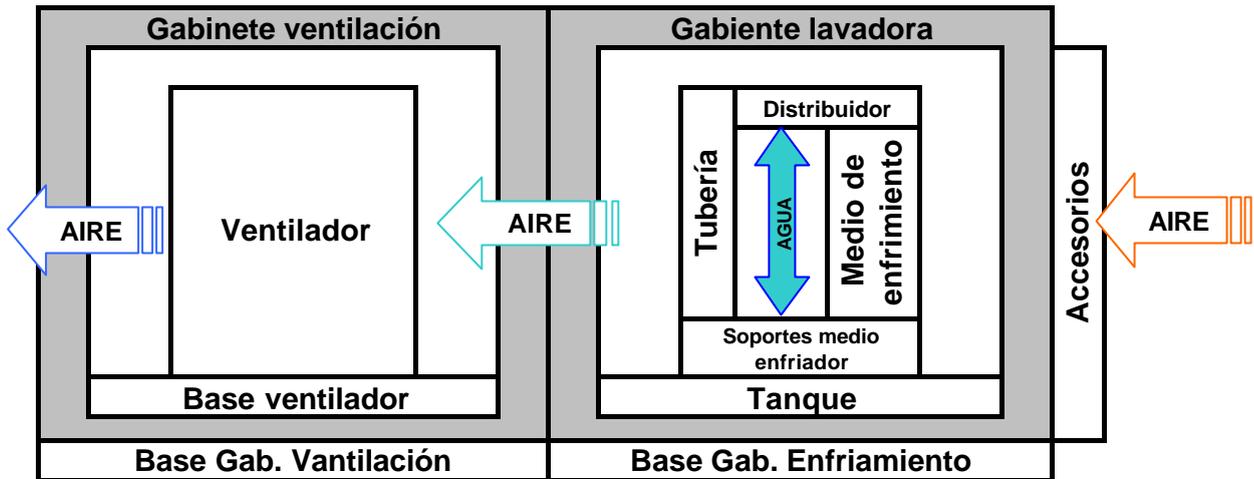


Figura 6.4. Diagrama de flujo modificado

Nótese el hecho que las interfaces fueron redefinidas de tal forma que no se tiene flujo de información más que la necesaria entre componentes. Con el nuevo arreglo, Figura 6.5, se reduce el GVI, Figura 6.6.

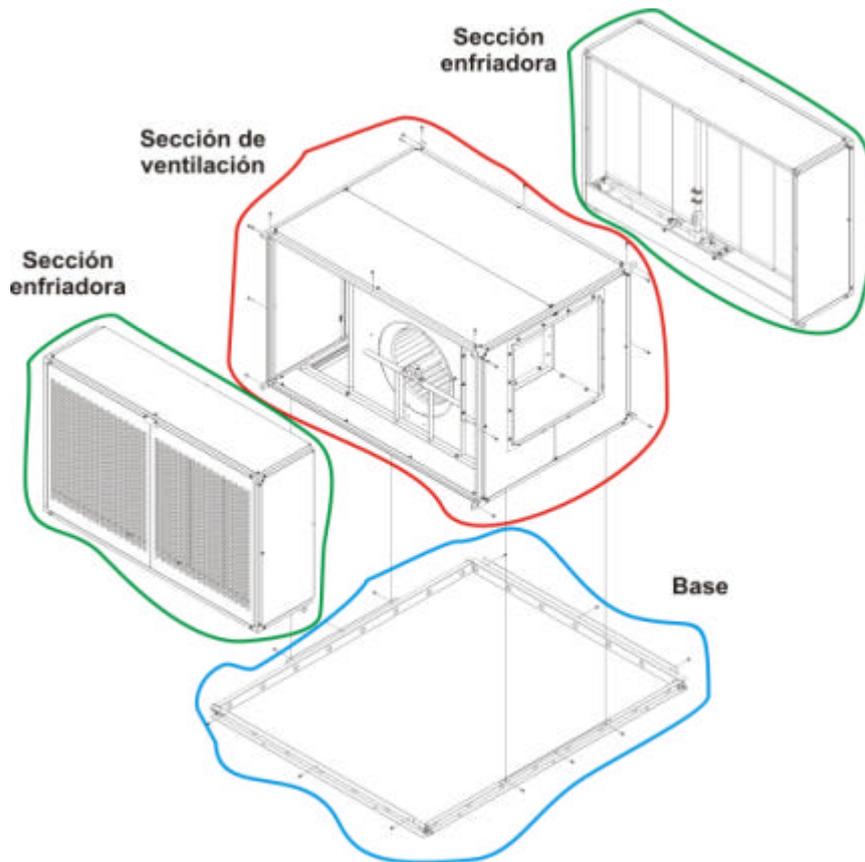


Figura 6.5. Arreglo modificado

	Ventilación					Enfriamiento					Base G. Enfriamiento	Accesorios	Ciclo Calefacción	Ciclo Indirecto	
	Base Motor	Base Ventilador	Gabinete ventilación	Transmisión	Ventilador	Gabinete Enfriamiento	Tanque	Medio de Enfriamiento	SopORTE Medio Enfriamiento	Tubería					Distribuidor
# Arreglos Tubería										3	1				6
# de Arreglos Equipo			3		3	3							3	3	3
# de Modelos		1	1		6	1	3	3		1	1		6	6	6
# Elementos Informativos													3	1	1
# Piezas comunes			1		6	1	3						6	6	6
Deflexión máxima		1				1						1	3		
Dimensiones equipo					3								3	3	3
Eficiencia de operación				3	6		3	6					6	6	9
Facilidad de Acceso			1			1							6		
Peso	1	1	1	1	6	1			1			1	6	6	6
Precio			1	3	3	1	3	6	1				6	6	6
Rango operación			1	6	9			6					3	6	6
Sensibilidad al cambio				1	3		3	1		1			3	3	3
Tiempo desensamble	1	3	1	3	6	1	3		1	1	1		6	6	6
Tiempo ensamble		1	1	3	6	1	3	1	1	1	1	1	6	6	6
<b>GVI</b>	<b>2</b>	<b>7</b>	<b>11</b>	<b>20</b>	<b>57</b>	<b>11</b>	<b>21</b>	<b>23</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>66</b>	<b>58</b>	<b>67</b>

Figura 6.6. Matriz GVI después de la reducción.

Nótese que existen elementos que no cambian con respecto al análisis inicial ya que no se considero cambio alguno de ellos en el rearrreglo de la unidad.

El CI es recalculado, la representación gráfica es mostrada en la Figura 6.7 y la matriz CI reducida en la Figura 6.8

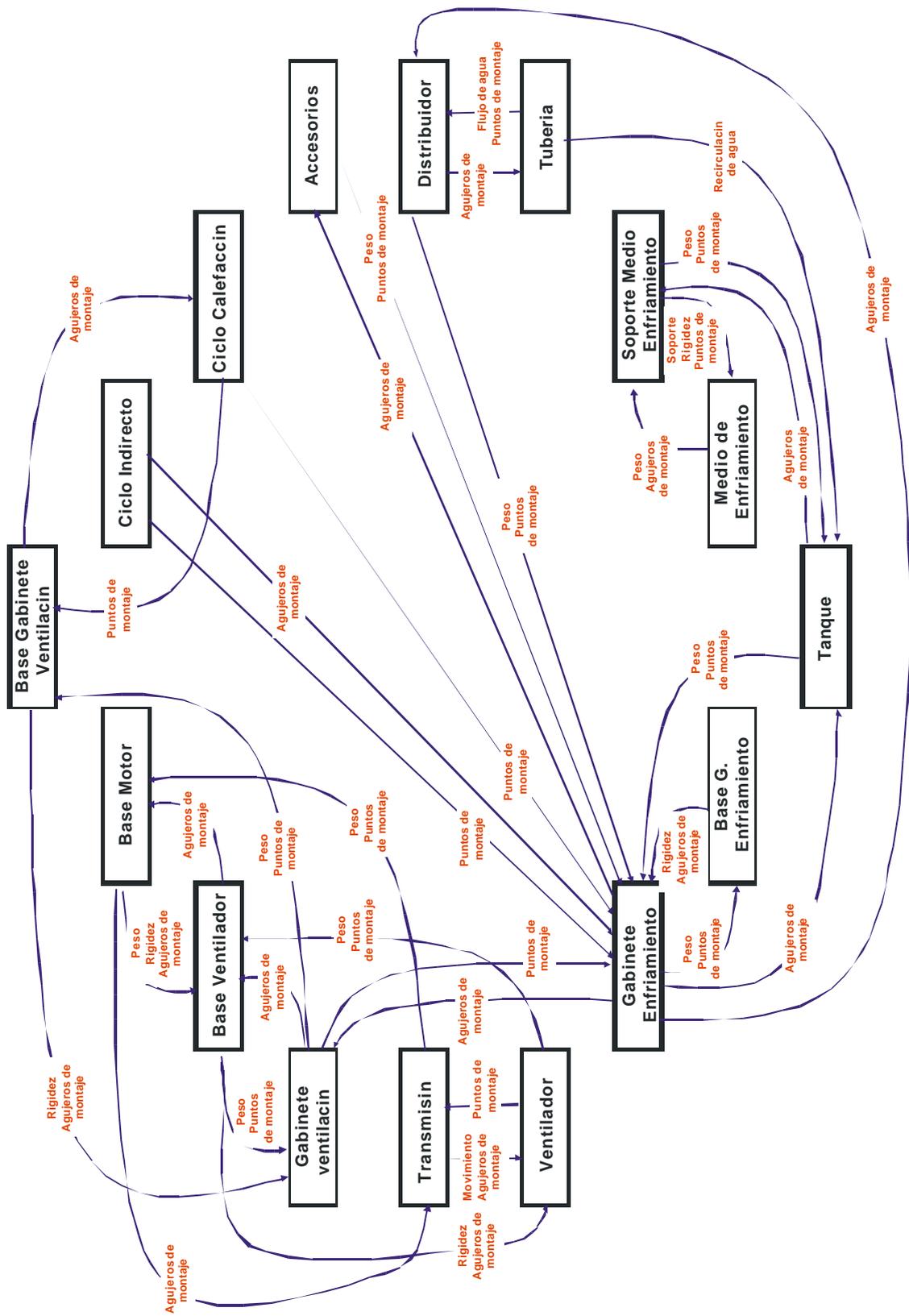


Figura 6.7.. Representación gráfica del CI (modificado)

Elementos que SUMINISTRAN información

Elementos que RECIBEN información	Base Unidad de Información	Base Motor	Base Ventilador	Cableado ventilador	Transmisión	Ventilador	Cóctete Enfriamiento	Serie U Enfriamiento	Tanque	Medio de Enfriamiento	Sistema Medio Enfriamiento	Tubería	Distribuidor	Accesorios	Ciclo de Calibración	Ciclo Inicial	C-R
Base Gabinete Ventilación				Base													11
Base Motor			Ajuste de motor	Base													7
Base Ventilador		Ajuste de motor		Ajuste de motor													20
Cóctete ventilador			Ajuste de motor														31
Transmisión		Ajuste de motor															6
Ventilador			Ajuste de motor														21
Cableado Enfriamiento				Punto de conexión													82
Base G. Enfriamiento																	16
Tanque																	15
Medio de Enfriamiento																	15
Sistema Medio Enfriamiento																	11
Tubería																	3
Distribuidor																	1
Accesorios																	8
Ciclo Calibración																	6
Ciclo Inicial																	6
C-R																	302

Figura 6.8. Cálculo del CI (modificado)

## 7. Conclusiones y trabajo futuro

### 7.1 Resumen

#### 7.1.1 Índice de Variedad Generacional, GVI

El Índice de Variedad Generacional hace un mapeo de cómo se requieren cambios en las futuras generaciones del producto debido a los factores externos. El GVI indica la prioridad para diseñar los componentes que se verán más afectados por esos factores externos.

#### 7.1.2 Índice de Acoplamiento, CI

El Índice de Acoplamiento indica la fuerza con la que los componentes de un producto están relacionados. Además indica cómo las especificaciones fluyen entre componentes y la fuerza de ese flujo. Esta es una parte crítica para hacer un producto robusto para los cambios futuros.

#### 7.1.3 Método Diseño para variedad, DFV

El propósito de desarrollar una arquitectura de plataforma de productos es reducir la cantidad de rediseño para futuros cambios. El método DFV ofrece una metodología estructurada para hacer una arquitectura del producto receptiva a los cambios y a la variedad.

La aplicación de las metodologías a un enfriador evaporativo da como resultado la reducción de los índices generacional y de acoplamiento. Ésta reducción fue lograda por medio de la estandarización del gabinete de enfriamiento y de ventilación.

## 7.2 Estimación de los beneficios usando DFV.

La tabla 7.1 muestra los ahorros potenciales derivados de la aplicación de las metodologías DFV. Se comparan los costos de rediseño estimados para un diseño sin consideraciones de plataforma de productos contra un diseño usando DFV.

Para esta comparación se hacen dos consideraciones importantes:

1. El diseño que no hace uso del método DFV podrían optimizar individualmente cada generación sin considerar cambios futuros. En cualquier proyecto de diseño, aún cuando se utilice una metodología estructurada, los diseñadores tienen mínimo o nulo conocimiento de los futuros cambios
2. El esfuerzo inicial de diseño es el mismo cuando se utiliza el método DFV y cuando no se utiliza.

Es probable que el esfuerzo inicial de diseño usando el método DFV sea mayor debido al análisis extra por considerar las opciones para reducir el GVI y CI. Además dependiendo de las soluciones seleccionadas los costos de herramientas pueden ser mayores.

Indice	Producto sin Plataforma de diseño	Diseño usando el método DFV
<i>GVI</i>	682	361
<i>CI</i>	342	262
<i>Esfuerzo inicial de diseño</i>	100	100
<b>Esfuerzo de rediseño</b>		
<i>Devido a factores externos (GVI)</i>	83.00%	6.00%
<i>Devido a cambios (CI)</i>	16.00%	1.00%
<b><i>Esfuerzo total de rediseño</i></b>	<b>98.00%</b>	<b>7.00%</b>

Tabla 7.1. Ahorros potenciales, DFV.

Los ahorros potenciales descritos son una estimación, sólo indican el potencial de una Plataforma de Productos bien planeada. Por supuesto dichos ahorros potenciales dependerán de diversos factores incluyendo el costo de herramientas, consideraciones previas en la arquitectura del producto, incertidumbres en cuanto al cambio de necesidades del cliente, etc.

### 7.3 Contribución

Existen numerosos artículos en la literatura que resaltan la importancia de reducir los ciclos de desarrollo de productos para el éxito de una compañía. Hay también investigaciones sobre métodos para optimizar la Variedad Espacial y maneras de reducir su complejidad. Otras investigaciones se enfocan en métodos para estimar los requerimientos futuros del cliente y la medición geométrica del acoplamiento de un producto, pero no existen métodos detallados que apoyen a los equipos de diseño a desarrollar plataformas robustas de productos.

La contribución más importante del presente trabajo es el desarrollo detallado de una serie de metodologías que contribuyen al desarrollo de plataformas robustas de productos. La aplicación de las metodologías a un producto de Ventilación es mostrada en los capítulos previos y demuestra su utilidad al crear una arquitectura que requiere de mínimos cambios para futuras generaciones.

### 7.4 Trabajo futuro

Así como fue descrito en la sección 6.6.1 el conjunto de metodologías puede ser utilizado para el desarrollo de subsistemas que son parte de una sistema mayor. La aplicación del método a cada uno de los subsistemas contribuye a optimizar el flujo de información entre ellos.

Así como para el análisis de un sistema mayor las entradas de información fueron los requerimientos del cliente *externo* para el análisis de cada subsistema deben considerarse los requerimientos del cliente *interno*, es decir, el cliente que forma parte de la organización y que sus funciones están precedidas por otro cliente *interno*. No debe de olvidarse que la aplicación de las metodologías es válida para cualquier nivel de componentes que forman parte del diseño.

Es decisión del equipo de diseño decir hasta donde se debe de profundizar en el análisis. El presente análisis representa una herramienta para desarrollarla con los subsistemas que están presentes en el equipo de ventilación y con otros productos de ventilación con grandes posibilidad de mejora inclusive es posible utilizarlo en otras especialidades de la Ingeniería.

La traducción de las metodologías en reducción de costo y aumento de ganancias sólo dependerá de llevar a cabo los resultados propuestos y seguir la aplicación para cada subsistema que forman parte del conjunto analizado.

## 7.5 Conclusiones

Los expertos listan los atributos que debe tener un método sistemático de diseño, éste debe:

1. Poder aplicarse a varios tipos de actividad de diseño.
2. Fomentar la iniciativa y el entendimiento.
3. Ser compatible con los conceptos, métodos y conclusiones de otras disciplinas.
4. No depender de la casualidad.
5. Facilitar la aplicación de las soluciones conocidas a tareas relacionadas.
6. Ser compatible con manejo electrónico de datos.
7. Ser fácil de enseñar y aprender.
8. Reflejar el pensamiento moderno de manejo de la Ciencia y Tecnología: reducir carga de trabajo, ahorrar tiempo, preveer errores humanos y ayudar a mantener intereses activos.

En el presente trabajo puede comprobarse que el método DFV es aplicable en cualquier tipo de actividad de diseño (1). Fomenta la comprensión e iniciativa para reducir el GVI y CI (2).

El método es compatible con otras metodologías utilizadas: QFD, AHP, etc. (3). El método no depende de la casualidad. Se reduce al mínimo la dependencia de la casualidad porque son necesarios principios físicos tales como volúmenes de control y flujos de señales, materiales, energía, etc. (4).

La facilitación de soluciones conocidas es utilizada en las diferentes etapas del método (5), además puede hacerse de manera automática y más rápida al introducirse en un programa computacional (6). El método es fácil de comprender y enseñar que en un período de tiempo relativamente pequeño se pueden obtener buenos resultados.

Finalmente aplicando el método se reduce la carga de trabajo y se ahorra tiempo en los rediseños (7).

El método es una herramienta que ayuda a desarrollar productos con una plataforma robusta. Mientras exista la oportunidad de aplicarlo el método por sí solo demostrará su utilidad y en esa medida contribuirá al desarrollo, y especialización de la compañía.

## NOMENCLATURA

DFx	Diseño para ensamble, manufactura, productibilidad, etc.
DFV	Diseño para Variedad
GVI	Índice de Variedad Generacional
CI	índice de Acoplamiento
EM	Métricas de Ingeniería
QFD	Quality Funtion Deployment
AHP	Proceso Analítico de Jerarquías
QFD I	Quality Function Deployment fase 1
QFD II	Quality Function Deployment fase 2
HQ	House of Quality
CI – S	Índice de Acoplamiento – Suministrado
CI – R	Índice de Acoplamiento – Recibido
CID	Demarcación del Índice de Acoplamiento
FM	Factor de mejora
MP	Mejora planeada
EV	Evaluación propia (E)
FP	Factor de peso
IM	Importancia
PV	Punto de venta
PT	Prioridad técnica.
FPC	Factor de peso del cliente
PR	Prioridad.
Com	Valoración Componente
IMP	Importancia surgida del QFD I
a	componente recibiendo especificación
b	componente proveyendo especificación
c	especificación
m	número de componentes
TS	sensibilidad total del componente a cambios en b
CID	Demarcación del Índice de Acoplamiento
b	componente proveedor de información
m	número de componentes