

# HERRAMIENTAS DE GESTIÓN DE CALIDAD APLICADAS AL DISEÑO DE UNA RECUPERADORA DE RODILLOS DE ACERO\*

## QUALITY MANAGEMENT TOOLS APPLIED IN THE DESIGN OF A STEEL-ROLL RECUPERATOR

**Eduardo Wladimir Arriagada Carrasco<sup>1</sup>, Hernaldo Reinoso Alarcón<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Informática, Facultad de Ingeniería, Universidad de Católica de la Santísima Concepción, Concepción, Chile.

<sup>2</sup>Profesor Asociado, Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción. Concepción, Chile.

### RESUMEN

En este trabajo se presentan métodos y herramientas de diseño desde la perspectiva de la gestión de la calidad, particularmente la aplicación del despliegue de la función de la calidad para el diseño conceptual de una recuperadora de rodillos de acero, complementados con técnicas y herramientas de creatividad, análisis modal de fallo y efecto, entre otros. Para esto se formó un equipo de trabajo con el departamento de maestranza de la Compañía Siderúrgica Huachipato, el que se involucró en todo el proceso de diseño, determinándose las necesidades y características apoyadas de técnicas de creatividad y resultando dos diseños preliminares. Este último se seleccionó a través de método de convergencia controlada. A este diseño se le aplicó el análisis modal de falla y efecto para identificar y reducir los riesgos de falla que podrían ocurrir en el prototipo y así modificar las partes involucradas. Luego se procedió a aplicar la segunda matriz del despliegue de la función de la calidad definiendo las partes que conforman finalmente el diseño conceptual de la máquina recuperadora de rodillos de acero.

**Palabras Clave:** Análisis modal de fallo y efecto, despliegue de la función de la calidad, método de convergencia, técnicas de creatividad.

### ABSTRACT

The present work researches methods and designing tools as seen from the perspective of quality management, in particular the applicability of quality function deployment for the conceptual design of a steel-roll recuperator. Complementary tools such as creativity techniques, Failure mode and effects analysis among others are employed as well. A work team from Siderugica Huachipato Maintenance Department was involved in the designing process which first of all determined the product specifications and characteristics and through the use of creativity techniques conceived two preliminary designs. Ultimately the most viable design was determined through the convergence method. This design was then submitted to the Failure mode and effects analysis method to identify and reduce failure risks and in so doing modify faulty parts. The team then proceeded to the second quality function deployment matrix for the purpose of determining the final design of a steel-roll recuperator.

**Keywords:** Failure mode and effects analysis; quality function deployment; convergence method; creativity techniques.

\*El presente trabajo ha sido presentado a la Escuela de Graduados de la Universidad de Concepción, en el programa de Magíster en Ingeniería Industrial.

Autor para correspondencia: : hreinoso@udec.cl

Recibido: 25.03.2009 Aceptado: 28.08.2009

## INTRODUCCION

El diseño de un producto es un proceso que se inicia desde la dirección, aplicando herramientas que permitan desarrollar un producto satisfaciendo las demandas de los clientes. Estas estrategias integran el marketing junto al diseño, como un óptimo en la búsqueda del desarrollo de productos, cumpliendo con las especificaciones y necesidades del cliente, y siendo el marketing el que provee los datos para el diseñador (James, 1997).

El proceso de diseño y desarrollo de producto también se puede definir como el conjunto de procedimientos que están asociados a las tres primeras etapas del ciclo de vida de un producto, así como al resto de las etapas, orientados bajo un enfoque estratégico por eficiencia en costes, innovación, etc. (Aguayo, 2003)

Aguayo (2003), clasifica estos productos como: productos por arrastre de mercado, productos por empuje tecnológico, productos desarrollados con tecnología de plataforma, productos intensivos en requerimientos de procesos y productos personalizados.

Estos productos siguen el modelo general de diseño a través de las siguientes etapas.

- Generación de la idea
- Desarrollo preliminar del concepto
- Desarrollo del producto/proceso.
- Producción a escala.
- Introducción en el mercado.
- Evaluación del mercado.

Estas etapas, al ser aplicadas, pueden reducir o aumentar los costos de diseño cuando el plan y herramientas seleccionadas son las adecuadas o las erróneas, respectivamente. El concepto de un producto permite identificar lo que realmente quiere el cliente. Por tanto, el objetivo principal de este trabajo es aplicar métodos y herramientas de calidad, que respondan de forma objetiva a un concepto de producto que pueda ser comprendida por el cliente y facilitar la detección de demandas que debe cumplir el diseño conceptual de un producto. Por esta razón, el despliegue de la función de calidad y herramientas de creatividad van a permitir aplicar calidad desde el inicio, hasta definir objetivamente el diseño conceptual de una recuperadora de rodillos.

### **Gestión de calidad en el diseño**

Las prácticas de la calidad son aplicadas tanto en el diseño como en todo su proceso, como la manufactura y venta de un producto. Un producto de calidad debe ser económico, útil y siempre satisfactorio para el consumidor. Ishikawa (1995) plantea como práctica de calidad a la producción de artículos que satisfagan los requerimientos de los consumidores, haciendo hincapié en la orientación del consumidor. La calidad no sólo se enfoca a un producto, sino a factores más amplios, ya que un producto, por muy buena calidad que tenga, no será satisfactorio para el consumidor si el precio es excesivo.

Distintos autores como Juran (1995), Ishikawa (1995), Crosby (1999), han aportado a la calidad desde la etapa de diseño hasta sus controles con variadas técnicas, sosteniendo que la calidad parte en el diseño.

## **Algunos modelos de diseño**

El diseño industrial propone variados métodos y herramientas que permiten seguir un plan de diseño de un producto, como herramientas llamadas design for, que caracteriza técnicas de diseño como:

- Diseño para la confiabilidad.
- Diseño para la seguridad.
- Diseño para el reciclaje.
- Diseño para la reutilización.
- Diseño para el ensamblado.
- Diseño para el medio ambiente.

Estas herramientas mencionadas por Aguayo (2003) integran un conjunto de técnicas que permiten resolver el diseño. Algunas de ellas son el análisis modal de falla y efecto, análisis de criticidad de los modos y efectos, análisis de árbol de falla e ingeniería de fiabilidad.

Los modelos de diseño pueden ser descriptivos o prescriptivos. Los modelos descriptivos permiten identificar las fases del diseño, facilitando la integración de métodos o herramientas en el proceso de diseño y desarrollo de productos. Los modelos prescriptivos, además de identificar cada etapa del diseño, permiten desarrollar cada una de las fases.

El apoyo de técnicas de creatividad, a base de la identificación de las necesidades o demandas del cliente, permiten dar solución a lo exigido en un diseño. El despliegue de la función de la calidad permite identificar las demandas del cliente y, al mismo tiempo, las características que debe poseer para resolver todas sus demandas. El despliegue de la función de la calidad se inicia en la fase de la planificación del producto, desarrollo de partes y subsistemas, planificación del proceso y planificación de la producción.

El despliegue de la función de la calidad es un método para desarrollar una calidad de diseño dirigida a la satisfacción del consumidor, y luego traducir la demanda en objetivos de diseño junto a elementos de control de la calidad para ser empleados en todos los pasos de la fase de producción.

En el proceso de planificación de diseño de un producto se hace necesario identificar posibles fallas y efectos que podrían ocurrir en un prototipo antes de ser fabricado. Para este caso es necesario aplicar métodos que permitan identificar estos fallos y efectos en el proceso de la planificación, siendo este método llamado Análisis modal de falla y efecto. Este método, desarrollado por el ejército de Estados Unidos en 1949, se utilizó como un procedimiento de operación, siendo adaptado por otras áreas. El término de diseño de productos de falla supone un componente o sistema que no satisface o no funciona de acuerdo con las especificaciones (Alcaide, 2004).

## **METODOLOGIA**

### **Ámbito**

Este trabajo se ha desarrollado en el Departamento de Maestranza y Talleres de la Compañía Siderúrgica Huachipato, con un equipo formado por dos jefes de taller, tres soldadores, dos torneros (Total = siete personas).

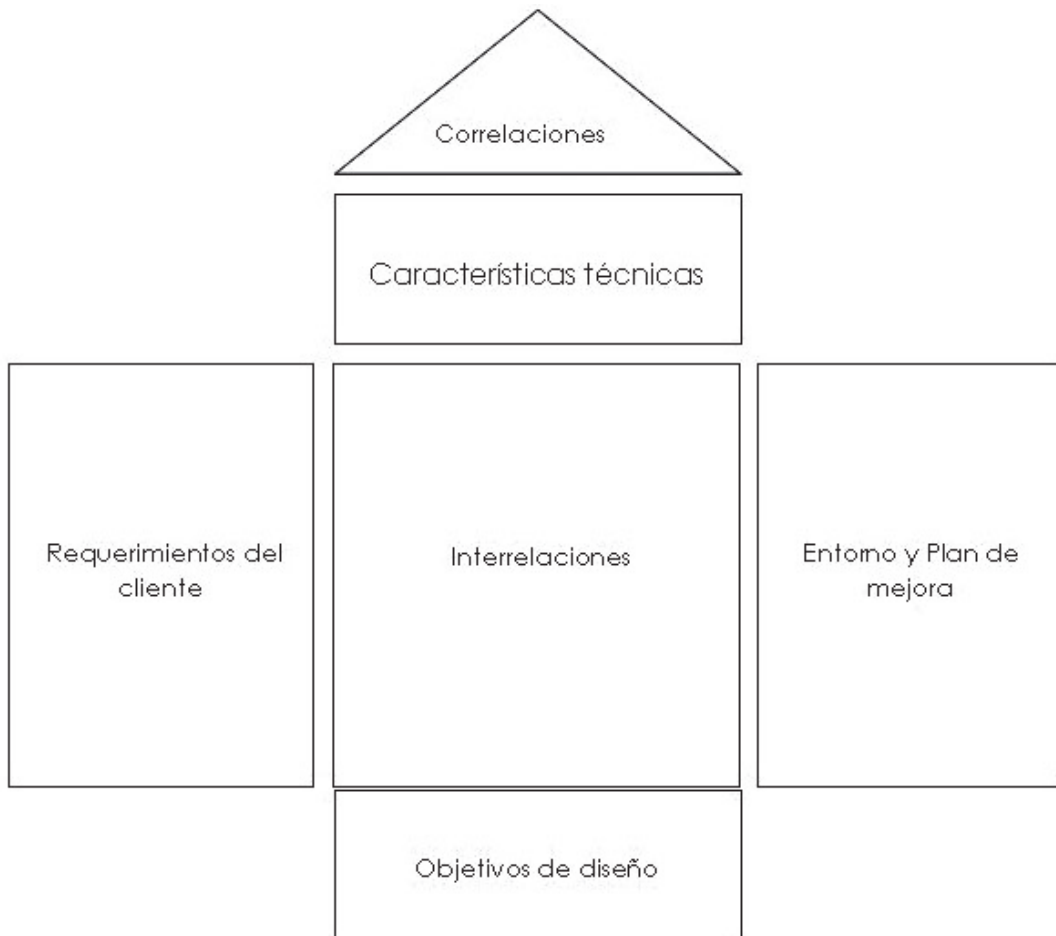
**Diseño**

Estudio cualitativo basado en el despliegue de la función de la calidad para identificar las demandas y requerimientos. Técnicas de creatividad para ligar de forma análoga productos buscados a través de catálogos de tiendas, Internet, etc, y luego combinarlo en base a sus características. Enseguida se procede a aplicar el método de convergencia controlada para elegir la factibilidad de los modelos propuestos. A su vez, se aplica el análisis modal de falla y efecto para identificar posibles riesgos de fallas que podrían ocurrir en el prototipo y mejorarlos a través de acciones correctoras. Con la segunda matriz de la calidad se identifican las partes del diseño generada en base a las características, para finalmente validar el diseño conceptual de la máquina recuperadora de rodillos de acero.

**Instrumento.**

Tormenta de ideas; de acuerdo a la experiencia del equipo formado, se transcriben en una hoja las ideas, demandas y comentarios.

**Procedimiento del plan del diseño de la recuperadora.**



**Figura 1:** Casa de calidad de necesidades y características  
**Fuente:** Elaboración propia, adaptada de Alcaide (2004)

Para evaluar el entorno y plan de mejora se debe cuantificar cada requerimiento.

**Tasa de importancia (TI):** se atribuye una ponderación de 1 a 5 (de menos a más) a cada demanda. Los pesos atribuidos deben cubrir por lo menos un rango entre 3 y 5 (no caer en la tentación de colocar 5 a todas). Puede utilizarse información proveniente de encuestas a clientes, personal de ventas, personal de marketing.

**Situación actual (SA):** se califica entre 1 y 5 la situación de la compañía con respecto a cada demanda. Al igual que en el caso anterior, las calificaciones deben tener una cierta variabilidad. En este caso acostumbra a imponerse que el rango sea el de al menos 2 unidades (Ej.: entre 1 y 3 ó entre 2 y 4,...). También puede utilizarse información proveniente de encuestas a clientes y del personal de marketing y/o ventas, así como información de distribuidores, análisis de revistas especializadas (si existen), reclamaciones, etc.

**Plan de la organización (PL):** valorar de 1 a 5 la situación en que se desearía estar para cada una de las demandas. Para establecer el plan de la organización es necesario comparar la situación actual con la tasa de importancia asignada a las demandas y la situación de la competencia. Por supuesto, hay que tener en cuenta el plan estratégico y otros planes de la organización, así como considerar las informaciones, si se tienen, de los planes de la competencia.

**Tasa de mejora (TM):** se calcula dividiendo el plan de la organización (PL) por la situación actual (SA). Es decir:  $TM=PL/SA$ .

**Importancia de las ventas (IV):** se trata de atribuir un peso a cada demanda del cliente, según lo importante que resulta satisfacerla para aumentar las ventas (1.5 muy importante; 1.2 relativamente importante; 1 irrelevante o casi irrelevante)

**Peso absoluto de cada demanda:** se calcula multiplicando la tasa de importancia (TI) por la tasa de mejora (TM) y por la importancia en las ventas (IV). Es decir:  $\text{Peso absoluto}=TI \times TM \times IV$ .

**Peso solicitado (peso relativo):** se calcula convirtiendo el peso absoluto en porcentaje. (Dividir cada peso absoluto por la suma de valores absolutos y multiplicar por 100).

### **Interrelación.**

Se coloca un valor que relaciona la necesidad con las características.

0: No hay relación entre la necesidad y la característica.

1: relación débil.

3: relación media.

9: relación alta.

### **Correlaciones entre características técnicas**

Se identifican características que mejoran o empeoran a otras. Cuando una característica mejora a otra se coloca un signo +, y si la empeora un signo -.

### **Objetivos de diseño.**

Permite identificar las características técnicas que más se relacionan con las demandas generadas por el equipo.

**Técnicas de creatividad.**

Para la aplicación de estas técnicas, es necesario tener productos referentes que cumplan con las características técnicas. Para esto se realizó una búsqueda por catálogos y proveedores a través de tiendas e Internet, de productos que cumplen con las características técnicas identificadas, realizándose luego una combinación de productos.

**Evaluación y selección del diseño.**

Utilizando el método de convergencia controlada se realizó una lista de observaciones, involucrando costos, facilidad, etc, para evaluar los modelos resultantes de la combinación. A estos modelos se asignó un signo +, cuando es factible y un signo -, cuando es menos factible de desarrollar. Al final de este procedimiento se suman los signo (Ejemplo + + - + + = +), seleccionando al modelo que más signos positivos tenga.

**Diseño del modelo seleccionado.**

El modelo seleccionado se dibuja generando un concepto general del producto buscado, para luego ser analizado definitivamente.

**Análisis preventivo de diseño conceptual.**

El análisis modal de falla y efecto identificará las partes necesarias para mejorar el modelo general. Para esto se procedió a desarrollar una planilla que permite identificar la parte del diseño, su función, el modo de fallo, el efecto que puede tener si es que falla, la causa de la falla, la probabilidad de detectar la falla y la acción correctora para eliminar el error que provoca la falla. En estos casos se deben rediseñar las partes que conforman la máquina.

ANALISIS MODAL DE FALLO Y EFECTO													
PRODUCTO:			Equipo :										
Función	Modo de Fallo	Efecto	Causa	Detección	F	G	D	IPR	Acciones correctoras	F	G	D	IPR

**Figura 2:** Planilla para aplicar el análisis modal de fallo y efecto  
**Fuente:** Elaboración propia, adaptada de Alcaide (2004).

**Producto:** Se coloca la parte que se analizará.

**Equipo:** Nombre del equipo o responsable del análisis.

**Función:** Es la función que cumple el producto o parte de un equipo.

**Modo de fallo:** Un posible fallo que podría ocurrir en la parte o el equipo.

**Efecto:** El efecto que podría ocurrir si ocurre el fallo.

**Causa:** Es la causa que correría si ocurre el fallo.

**Detección:** La forma de detectar el fallo.

**F:** Indicador según la probabilidad de fallo

**G:** Indicador según la probabilidad de gravedad del fallo

**D:** Indicador según la probabilidad de detección del fallo

**IPR:** Índice de prioridad de riesgo. ( $F \cdot G \cdot D$ )

**Acción correctora.** Acción a tomar para corregir el índice de prioridad de riesgo.

Criterio	G	Criterio	F
Ínfima	1	Muy escasa	1
Escasa	2-3	Escasa	2-3
Baja	4-5	Moderada	4-5
Moderada	6-7	Frecuente	6-7
Elevada	8-9	Elevada	8-9
Muy elevada	10	Muy elevada	10

**IPR = F\*D\*G**

IPR <100 No requiere acción correctora.

IPR >100 requiere acción correctora

**Figura 3:** Tablas de criterios.

**Fuente:** Elaboración propia, adaptada de Alcaide (2004).

Las tablas de la figura 3 muestran el índice de cada criterio, para el caso de falla, gravedad de la falla, y detección de la falla. El índice de prioridad de riesgo va a definir cuándo aplicar una acción correctora. Si el índice es mayor a 100 se debe realizar alguna acción que corrija el diseño propuesto, y volver a realizar la planilla mostrada en la figura 2 para volver a calcular el índice de prioridad de riesgo. Si este índice es menor a 100, se puede decir que la parte o producto no necesita acción correctora.

### Partes y piezas.

Para definir las partes que conforman la recuperadora se aplicó la segunda matriz del despliegue de la función de la calidad.

## RESULTADOS

La tabla 1 muestra el grado de importancia que tiene cada demanda en su categoría. El mayor peso solicitado es de 30,1% (extracción de humo). Para cada categoría se identifican según su orden de importancia: Comodidad Fácil de usar con un 8%. Higiene y seguridad extracción de humo con un 30,1%, Tecnología indicador de operación y fin de proceso con un 12%

**Tabla 1:** Tabla de importancia según su categorización.

		TASA DE IMPORTANCIA	SITUACIÓN ACTUAL	PLAN DE LA ORGANIZACIÓN	TASA DE MEJORA	IMPORTANCIA EN EL PROCESO	PESO ABSOLUTO DE CADA DEMANDA	PESO SOLICITADO	OREDEN DE IMPORTANCIA
<b>DEMANDAS</b>									
COMODIDAD	Fácil de usar	5	3	5	1,67	1,2	10,02	8%	<b>1</b>
	Espacio de trabajo	3	2	5	2,5	1	7,5	6%	<b>2</b>
HIGIENE Y SEGURIDAD	Extracción de Humos y Residuos.	5	1	5	5	1,5	37,5	30,1%	<b>1</b>
	Buena Iluminación	3	1	2	2	1	6	4,8%	<b>4</b>
	Buena Ventilación	4	1	2	2	1,5	12	9,6%	<b>2</b>
	Sujeción de Rodillos	5	3	4	1,33	1,2	7,98	6,4%	<b>3</b>
TECNOLOGIA	Control en ancho y avance del cordón	5	3	5	1,67	1,5	12,52	10,0%	<b>2</b>
	Fácil Mantención	2	1	3	3	1,2	7,2	5,8%	<b>4</b>
	Temperatura al Rodillo	3	1	2	2	1,5	9	7,2%	<b>3</b>
	Indicador de Operación y Finalización del Proceso.	4	2	5	2,5	1,5	15	12%	<b>1</b>

**Fuente:** Elaboración Propia.

La figura 4 muestra la primera matriz desplegando las demandas y características generadas por el equipo. Al analizar la matriz, nos muestra una base funcional de la máquina de la recuperadora de rodillos, siendo la más fuerte la automatización con un 16%.

La correlación entre características se discutió con el equipo, generando una relación negativa entre la dimensión de la máquina, el lugar de instalación y partes segmentadas, ya que el diseño depende de esas restricciones.



La característica que muestra más correlación con las otras es la automatización, ya que es posible regular velocidad, temperatura, posicionamiento del cabezal, y puede ser segmentada en el sentido de pensar en una tarjeta electrónica.

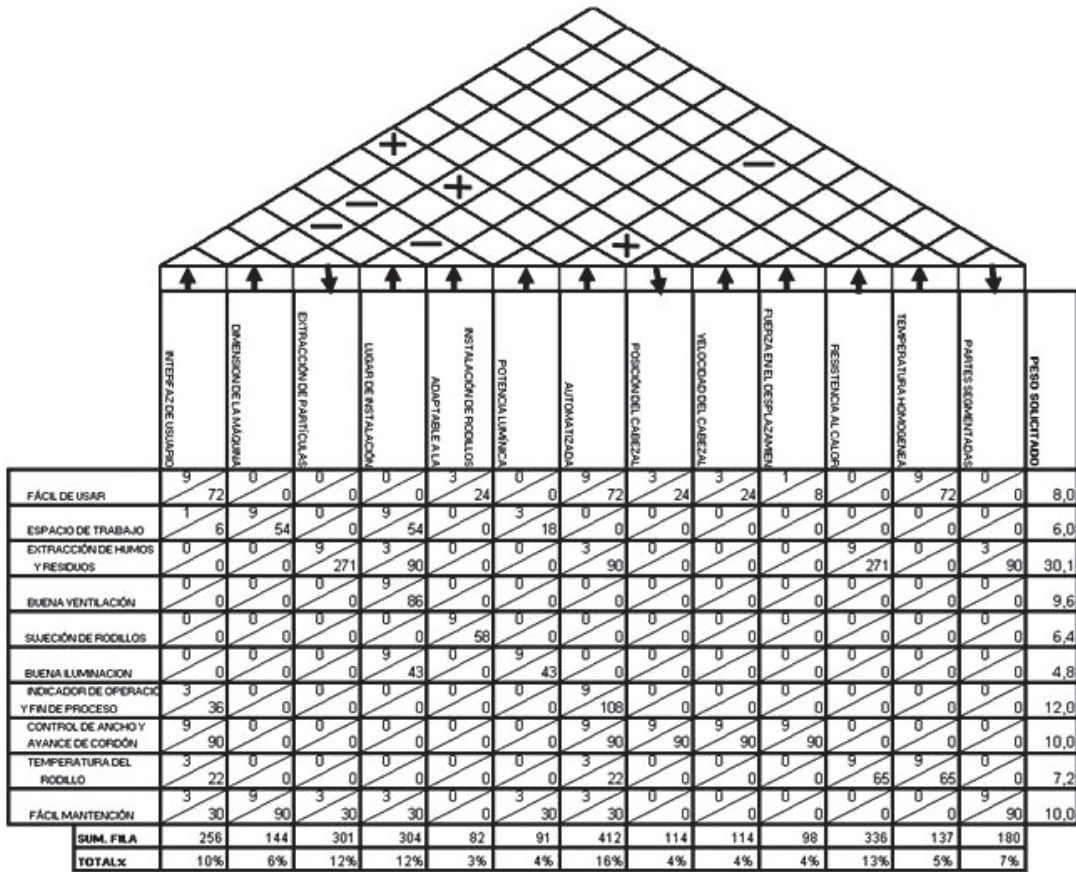


Figura 4: Primera matriz de calidad desarrollada.  
Fuente: Elaboración Propia.

La información recopilada de distintos productos se asemeja a lo menos a una característica, siendo estos productos combinados físicamente (Figura 5). El resultado de esta combinación muestra dos modelos preliminares que fueron evaluados con el método de convergencia controlada, dando como resultado con un valor de 9 el modelo elegido.

	Interfaz de usuario	Dimensiones de la máquina	Extracción de partículas	Lugar de instalación	Adaptable a la instalación de rodillos	Potencia Luminica	Automatizada	Posición del cabezal	Velocidad del cabezal	Fuerza en el desplazamiento	Resistencia al calor	Temperatura Homogénea	Partes segmentadas
Plastificadora								X	X	X	X		X
Impresora	X						X	X	X				X
Torno		X		X	X		X			X	X		X
Taladro													X
Quemadores											X	X	X
Extractor de Humo			X										X

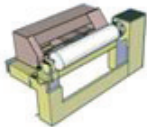

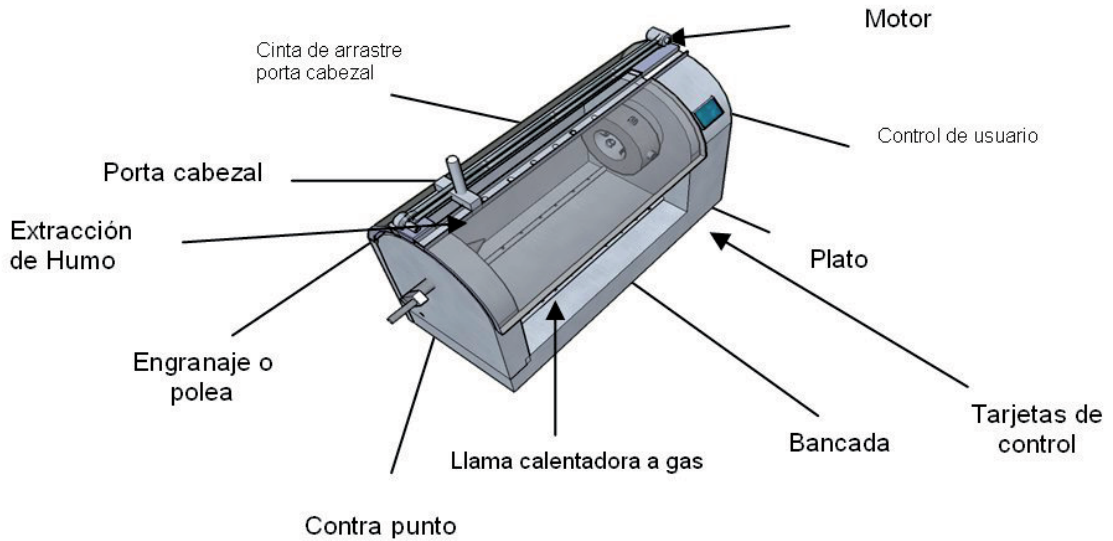
		
Control Avance	-	+
Flexibilidad en el control	-	+
Fácil de fundir	-	+
Fácil de controlar	-	+
Flexibilidad en el proceso	-	+
Mantenimiento	-	+
Fácil de diseñar	-	+
Mayor ahorro en Costo	-	+
Más fácil tecnológicamente	-	+
Mayor Capacidad	+	-
Ahorro de energía	-	+
$\Sigma+$	1	10
$\Sigma-$	10	1
Total	-9	9

Figura 5: Combinación y selección de modelo.  
Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 6 se muestra un diseño preliminar de la recuperadora de rodillos. La generación de un prototipo sin realizar un análisis de funcionamiento de este modelo puede generar fallas, aumentando los costos y tiempo de diseño.



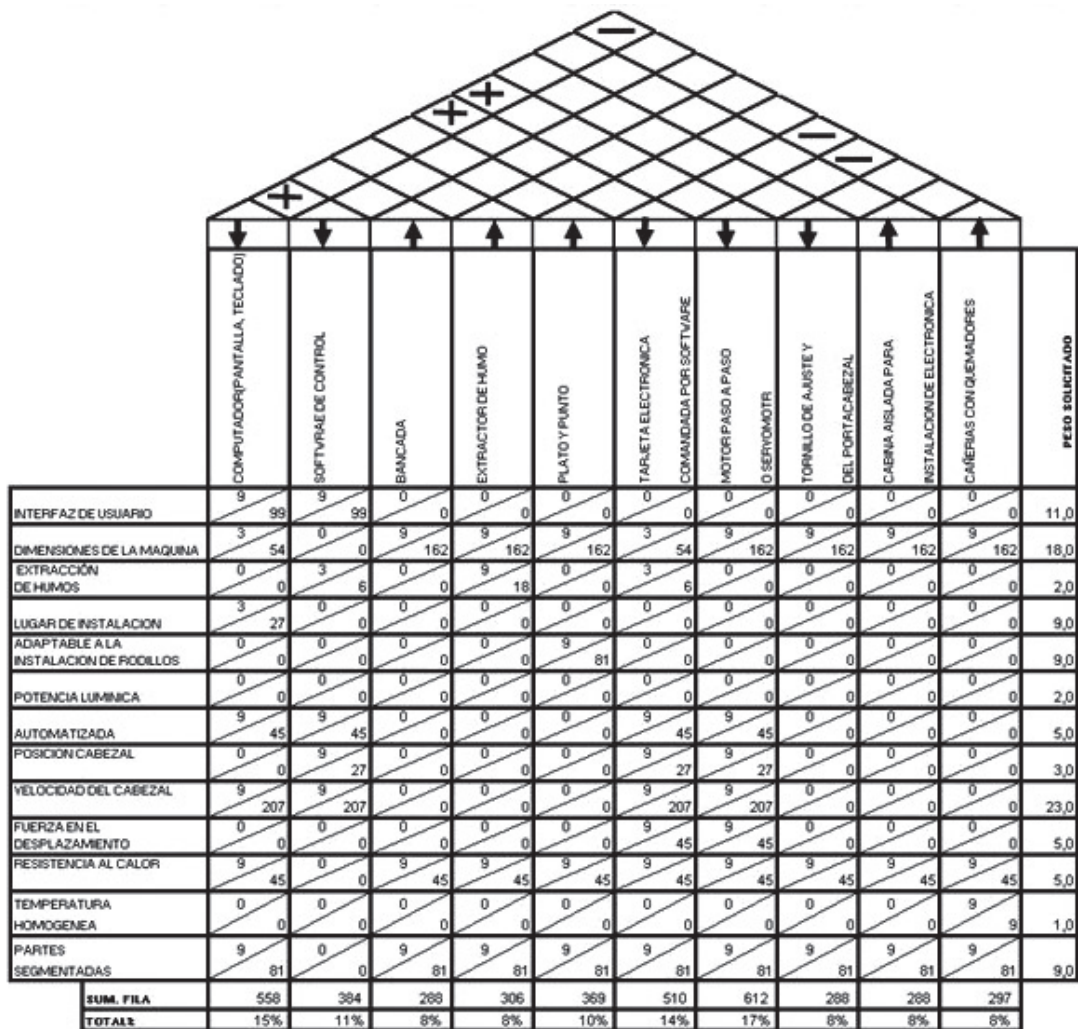
**Figura 6:** Diseño preliminar  
**Fuente:** Elaboración Propia

El resultado de la aplicación del análisis modal de falla y efecto se ve en la figura 7. Las partes analizadas muestran un índice menor a 100, ya que fueron determinadas sus acciones correctoras para ser integradas y modificadas en el diseño preliminar.

PRIORIDAD	PARTES	IPR	ACCIÓN CORECTORA
1	MOTOR SISTEMA DE ARRASTRE	50	Motor paso a paso o servomotor
2	EXTRACTORES DE HUMO	50	Aumentar diámetros de cañerías y perforaciones
3	CALENTADOR A GAS	30	Electro-válvula de Seguridad
4	PORTACABEZAL	15	Ajustable y con guías en la base
5	CINTA DE ARRASTRE Y POLEAS	10	Sprocket y cadena
6	PLATO	9	Sin acción correctora

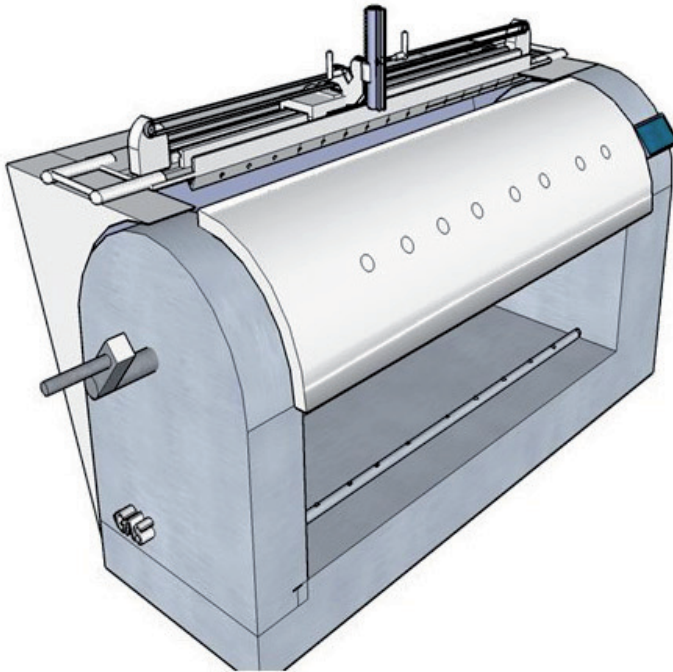
**Figura 7:** Análisis modal de fallo y efecto.  
**Fuente:** Elaboración Propia

A través de la segunda matriz de calidad se indican las posibles partes que debería llevar el prototipo, generando el diseño conceptual de una recuperadora de rodillos de acero. La parte más importante que involucra el diseño es la selección del motor con un 17%, seguido con el computador y la tarjeta electrónica. El computador presenta una correlación positiva con el software de control, junto a la tarjeta y el motor. La correlación negativa mostrada en la figura identifica las partes electrónicas como las afectadas en el proceso por la temperatura de la máquina, tomando como precaución el aislamiento del sistema. (Figura 8)



**Figura 8:** Segunda matriz de la calidad  
**Fuente:** Elaboración Propia.

Finalmente, en la figura 9, se muestra el diseño conceptual generado a través del despliegue de la función de la calidad en sus dos etapas, junto a herramientas de creatividad y análisis de posibles fallas, para la construcción de su prototipo. El diseño conceptual es un estudio preliminar del diseño de ingeniería integrando todas las demandas y características generadas por el equipo. A su vez, el diseño conceptual de este producto asegura la calidad desde el inicio.



**Figura 9:** Segunda matriz de la calidad  
**Fuente:** Elaboración Propia

## CONCLUSIONES

De acuerdo a lo presentado en este trabajo, existen diversos modelos, técnicas y herramientas que permiten resolver un diseño de un producto aplicando calidad en todo su planificación. Estas herramientas permiten dar una solución objetiva plasmando calidad en la solución final del diseño conceptual. Estas herramientas permiten flexibilizar su uso, dependiendo del tipo de producto o servicio que involucren a una propuesta de mejoramiento, tanto en el diseño o rediseño de un producto, al igual que en un servicio. No obstante, las herramientas aplicadas y propuestas no necesariamente pueden coincidir en un equipo, ya que existen variados métodos de diseño, que dentro de este marco hacen necesaria la formación de un equipo experto, como son los métodos Taguchi. Este método no solo permite identificar características de un diseño. Además, optimiza las soluciones de diseño.

En base a los resultados obtenidos de este estudio, permitió aplicar herramientas de calidad, logrando el objetivo, que es el diseño conceptual de una máquina recuperadora de rodillos basado en un procedimiento combinado de herramientas con las etapas desarrolladas.

La metodología aplicada genera un proceso adaptativo del despliegue de la calidad, junto a herramientas que las complementan al ser un producto por empuje tecnológico.

## REFERENCIAS

- **Alcaide, J. (2004).** *Diseño de productos, métodos y técnicas.* Editorial Alfaomega.
- **Aguayo, F.(2003).** *Metodologías del Diseño Industrial: Un enfoque desde la Ingeniería Concurrente.* Editorial Alfaomega.
- **Crosby Philip, B. (1999).** *La calidad no cuesta: El arte de cerciorarse de la calidad.* Editorial México: Compañía Editorial Continental.
- **Ishikawa, K. (1995).** *¿Qué es el control de la calidad?.* Editorial Barcelona: Norma.
- **James, P. (1997).** *Gestión de la Calidad Total. Un Texto Introductorio .*Editorial Pretince Hall.
- **Juran, J. (1995).** *Análisis y Planeación de la Calidad.* Editorial McGraw-Hill.