



**UNIVERSIDADE
DE VIGO**

Tesis Doctoral

**Metodología para la generación y selección
de alternativas de diseño considerando
múltiples factores de un modo holístico**

Opta al grado de Doctor por la Universidad de Vigo

Autor: Alberto Comesaña Campos

**Directores: Prof. Dr. José Benito Bouza Rodríguez
Prof. Dr. Manuel Pérez Vázquez**

**Departamento de Diseño en la Ingeniería
Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería**

Vigo, Julio 2013



Tesis Doctoral

Metodología para la generación y selección de alternativas de diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Memoria presentada por Alberto Comesaña Campos para optar al grado de Doctor por la Universidad de Vigo

Autor:

Visto y Place de los Directores:

Fdo.: Alberto Comesaña Campos

Fdo.: Prof. Dr. José Benito Bouza Rodríguez

Fdo.: Prof. Dr. Manuel Pérez Vázquez

Visto y Place del Tutor

Fdo.: Prof. Dr. Paulino Alegre Fidalgo

Departamento de Diseño en la Ingeniería

Área de Expresión Gráfica en la Ingeniería

Vigo, Julio 2013



Metodología para la generación y selección de alternativas de
diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Alberto Comesaña Campos

**INFORME DEL CODIRECTOR DE LA
TESIS DOCTORAL DE
D. ALBERTO COMESAÑA CAMPOS**

D. José Benito Bouza Rodríguez, profesor titular de universidad del Departamento de Diseño en la Ingeniería de la Universidad de Vigo, actuando en calidad de codirector de la tesis doctoral realizada por el doctorando D. Alberto Comesaña Campos con el título “*Metodología para la generación y selección de alternativas de diseño considerando múltiples factores de un modo holístico*” en el departamento de Diseño en la Ingeniería de la Universidad de Vigo, HACE CONSTAR:

1. Que D. Alberto Comesaña Campos ha realizado la citada tesis bajo mi codirección.

2. Que doy mi consentimiento para proceder al depósito de la citada tesis e iniciar los trámites conducentes a su lectura y defensa pública en la Universidad de Vigo.

Lo que firma en Vigo, a 25 de junio de 2013, para que surta los efectos oportunos donde fuese necesaria su presentación.

Fdo. Prof. Dr. José Benito Bouza Rodríguez
Codirector de la Tesis Doctoral

Departamento de Diseño en la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Industrial
Universidad de Vigo



Metodología para la generación y selección de alternativas de
diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Alberto Comesaña Campos

INFORME DEL CODIRECTOR DE LA TESIS DOCTORAL DE D. ALBERTO COMESAÑA CAMPOS

D. Manuel Pérez Vázquez, profesor titular de universidad del Departamento de Diseño en la Ingeniería de la Universidad de Vigo, actuando en calidad de codirector de la tesis doctoral realizada por el doctorando D. Alberto Comesaña Campos con el título *“Metodología para la generación y selección de alternativas de diseño considerando múltiples factores de un modo holístico”* en el departamento de Diseño en la Ingeniería de la Universidad de Vigo, HACE CONSTAR:

1. Que D. Alberto Comesaña Campos ha realizado la citada tesis bajo mi codirección.

2. Que doy mi consentimiento para proceder al depósito de la citada tesis e iniciar los trámites conducentes a su lectura y defensa pública en la Universidad de Vigo.

Lo que firma en Vigo, a 25 de junio de 2013, para que surta los efectos oportunos donde fuese necesaria su presentación.

Fdo. Prof. Dr. Manuel Pérez Vázquez
Codirector de la Tesis Doctoral

Departamento de Diseño en la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Industrial
Universidad de Vigo



Metodología para la generación y selección de alternativas de
diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Alberto Comesaña Campos

**INFORME DEL TUTOR DE LA
TESIS DOCTORAL DE
D. ALBERTO COMESAÑA CAMPOS**

D. Paulino Alegre Fidalgo, profesor ayudante doctor del Departamento de Diseño en la Ingeniería de la Universidad de Vigo, actuando en calidad de tutor de la tesis doctoral realizada por el doctorando D. Alberto Comesaña Campos con el título *“Metodología para la generación y selección de alternativas de diseño considerando múltiples factores de un modo holístico”* en el departamento de Diseño en la Ingeniería de la Universidad de Vigo, HACE CONSTAR:

1. Que D. Alberto Comesaña Campos ha realizado la citada tesis siendo yo su tutor.
2. Que doy mi consentimiento para proceder al depósito de la citada tesis e iniciar los trámites conducentes a su lectura y defensa pública en la Universidad de Vigo.

Lo que firma en Vigo, a 25 de junio de 2013, para que surta los efectos oportunos donde fuese necesaria su presentación.

Fdo. Prof. Dr. Paulino Alegre Fidalgo
Tutor de la Tesis Doctoral

Departamento de Diseño en la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Industrial
Universidad de Vigo

“Pero el viento no sabe de murallas”

Juan Mollá

Agradecimientos

Es el final de un camino, la meta donde acaba el tiempo compartido con esta mesa desde donde escribo y con los cristales de las ventanas que han traído la luz a todas las letras que ahora caben. Es un final, y el final siempre vence. Aunque se esconda en la espesura de horas repletas de preguntas y en respuestas perseguidas hasta el amanecer. No es una derrota amarga, sin embargo, aunque tampoco es feliz. Una parte de mí se detiene aquí mismo, se para y adormece, se queda y me ve marchar. Por eso, antes de continuar caminando, de seguir buscando dónde aprender sin tener que olvidar nada, justo antes de empezar, hoy más que nunca, desde mi refugio, tengo que despedirme de mí y cincelar mi epitafio.

Esta tesis, todo este esfuerzo condensado en decenas de miles de palabras, compone la sinfonía de recortes de lo que fui durante una aventura, comenzada ya hace algunos años, que me ha llevado al encuentro de lo prodigioso. La fragilidad de la calma, lo extraño del mérito, el sonrojo ante el conocimiento, la magnitud del silencio, la inquebrantable calidez de los brazos que me han sostenido, la constelación de personas extraordinarias que he descubierto y más, mucho más. Únicamente resta, humildemente, dar las gracias e intentar ser mejor para, al menos, llegar a ser bueno.

Desde aquí, quiero reconocer y agradecer profundamente, al Prof. José Benito Bouza Rodríguez, la inconmensurable ayuda que siempre me ha ofrecido. Con él he compartido infinitud de momentos, de conversaciones, de dudas, de decepciones y de esperanzas. No sólo esta tesis es fruto de su talento y perseverancia sino que yo mismo le debo todo cuanto sé y lo poco que he sido capaz de serle útil. Quizá el tiempo me llevé a olvidar lo que dejo aquí; lo que nunca olvidaré es quien me enseñó a llegar. Profesor, mi deuda con usted es enorme casi tan grande como mi gratitud, admiración y respeto.

Esta parte de mí que se queda dormida me ha hecho crecer y volver a ver. Muchos me han ayudado a ver más lejos. El Prof. Manuel Pérez Vázquez al que le debo una claridad parda y hermosa, pues él me llevó a encontrarla cuando ya no veía nada. El Prof. Luis González Piñeiro que me mostró mi reflejo y me enseñó a respetarlo y creer en él aunque todo a mí alrededor sean ruinas. El Prof. Juan José Guirado Fernández que me deslumbró con su geometría y el Prof. Paulino Alegre Fidalgo que me abrió los ojos a lo que no alcanzaba a mirar. A todos ellos, muchísimas gracias, por su tiempo, por sus palabras, por su cercanía. Desde esta atalaya donde me despido, profesores, tengan todo mi respeto y gratitud.

La despedida que ahora despliego, réquiem por esa parte que no puede vivir más, nunca habría sido posible sin el bálsamo que me curaba las heridas. En el camino, he tropezado en ocasiones, me he caído, incluso me he dañado quedándome en el suelo hasta que me recogían unas manos, siempre las mismas, a veces con otras caras. Caras

reconocibles a las que no se presta atención ni se asedia con cariño por ser justo asideros de vida. La vergüenza me ocultó las ocasiones, hoy escribe el que se queda.

A mi Padre; Rogelio, le debo mi nombre, lo que soy, lo que fui y lo que seré durante el tiempo que viva. Todo lo que hay en mí que es bueno, honesto, generoso, justo y sincero le pertenece, viene y depende de él. Nunca podré mostrarle todo lo que significa porque eso trasciende lo que sé hacer. Me conformo con seguir pronunciando su nombre. Gracias, Papá.

A mi Madre, María del Carmen, que ha conducido mis días desde el momento que me los dio. Si puedo querer es por ella, si siento cariño, si siento pena, si soy capaz de sentir y no me he convertido ya en ausencia es por su inagotable capacidad de amar. Sencillamente es y está, y con eso tranquiliza mi vida, la sosiega y la arropa. Jamás llegaría a ser sin ella, me volvería un condicional si no estuviese a mi lado. Te quiero mucho, Mamá.

A mi hermano Adrián, cuya brillantez, sólo comparable con todas sus sonrisas, ha escrito la primavera de esta tesis. El camina ahora por senderos que yo ya he recorrido, dando esplendor a mis roídos pasos, y pronto comenzará a alcanzar todas sus metas. Llegará hasta donde su imaginación quiera y yo, estaré abajo, igual que ahora, aplaudiéndole. Salud y suerte, compañero.

A mi hermana María, tan azotada por el viento, indefensa de sí misma, que cobija al secreto de nuestra familiar alegría. Sé que nunca he conocido bien tu idioma pero ya sabes encontrarme si tienes frío.

A mis difuntos abuelos, Cándido y Nicandra, con ellos tengo una deuda que no puedo ya pagar. Con mi abuelo descansa aquel trozo de mí que compartía con él partidos y juegos. Eso he perdido, me faltan varios pedazos. De mi abuela recuerdo un momento imborrable lleno de dignidad y valentía, en una despedida como ésta pero infinitamente más significativa. Descansen en paz.

A mi familia, en fin, ofrezco más que este sencillo reconocimiento y gratitud, les entrego lo que queda de mí para lo que necesiten, si quieren subir, o quieren bajar, o desean escuchar o incluso caminar despacio a mi lado. Sea lo que sea, contad conmigo.

Y, ya, al fin, quiero hablarte a ti, Yade, directamente, entre tú y yo. Eres quien camina y comparte su futuro conmigo y me habla en plural y me comprende a pesar de todos mis errores. Juntos, creamos una familia nueva, aún pequeñita, pero una familia que hemos inventado y protegemos del asedio de las dudas. Mi próxima meta, y te hablo desde ésta que alcanzo hoy, es nuestra familia, aunque esta vez estaré contigo de la mano. Tú luz guía.

Vencido, sincero en mi gratitud, lento se ha acercado el propio fin de mi despedida. En la memoria viven nombres, situaciones, instantes y sensaciones que dejó aquí al lado, sin letras que vestir. Y, como comenzaba, me quedo yo, al menos en parte, contento y tranquilo de haber llegado hasta aquí, acompañado de recuerdos y dibujando sin cincel el epitafio en esta piedra inconsistente. Cuando, después de todo, vuelva la vista atrás, me encontraré con esta tesis y estas palabras e igual que el amor de Balzac podré reconocerme allí y repetirme: "Es él. Él, amigo mío. ¡Eres tú!"

Resumen

En todo proyecto de diseño, la etapa inicial, en la cual se generarán y seleccionarán las diferentes alternativas y conceptos de diseño, conlleva un proceso de toma de decisiones que condicionará el resto de etapas posteriores. Durante esta etapa inicial se aplican diferentes métodos y técnicas para generar y seleccionar la mejor alternativa, empleando, generalmente, diferentes criterios de valoración para determinar el grado en el que cada alternativa satisface los requerimientos establecidos del diseño.

El objetivo de esta tesis consiste en el desarrollo teórico y práctico de una metodología de generación, evaluación y selección de alternativas de diseño que, además de garantizar el cumplimiento de los requerimientos, considera de un modo holístico los diferentes aspectos y factores que afectan al diseño.

Asimismo, la metodología desarrolla una técnica de evaluación propia basada en modelos que representan los paradigmas de comportamiento social en grupos de decisión, como aquellos involucrados en el desarrollo y consecución de un proyecto de diseño.

En el diseño en la ingeniería y, concretamente, dentro de los métodos de generación y selección de alternativas, el hecho de tratar el proceso de diseño considerando de modo integral todos los factores, incluso aquellos más subjetivos, implicados en el desarrollo y consecución del mismo, supone una novedad y abre una nueva línea de trabajo y de investigación, avanzando hacia técnicas de selección más fiables.



Metodología para la generación y selección de alternativas de diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Alberto Comesaña Campos

Para todo ello, en esta tesis se plantea un estudio comparativo de las principales técnicas de evaluación y selección de alternativas con el objetivo de detectar sus carencias y así desarrollar la nueva metodología para mejorar, de modo considerable, las actuales. Este desarrollo implica la elaboración de una técnica que permita evaluar alternativas tanto valorando el grado de cumplimiento de los requerimientos como considerando todos aquellos aspectos y factores, objetivos y subjetivos, que pueden afectar al diseño. Esta última característica es la principal diferencia de la metodología propuesta con respecto a las otras existentes.



Metodología para la generación y selección de alternativas de diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Alberto Comesaña Campos

Abstract

On a design project, the initial stage, where the different alternatives and design concepts will be generated and selected, involves a decision-making process that will determine the rest of later stages. During this initial stage different methods and techniques are applied to generate and select the best alternative, using generally different evaluation criteria to determine the degree in which each alternative fulfils the established requirements of the design.

The purpose of this thesis is the theoretical and practical development of a methodology for generation, evaluation and selection of design alternatives that, in addition to guaranteeing the fulfilment of the requirements, takes into account the different aspects and factors which affect the design in a holistic way.

Also, the methodology develops an evaluation technique based on the models that represent the social behaviour paradigms in decision groups, like those involved in the development and attainment of a design project.

In the design field, and specifically bearing in mind the methods for generation and selection of alternatives, the fact of treating the design process considering, in an integral way, all the factors, even those more subjective, which are implied in the development and attainment of the design process, supposes an innovation and opens a new field of work and investigation, advancing towards more trustworthy selection techniques.



Metodología para la generación y selección de alternativas de
diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Alberto Comesaña Campos

For this, in this thesis it is contemplated a comparative study of the principal techniques of evaluation and selection of alternatives with the purpose to detect its lacks and then to develop the new methodology that improves, in a considerable way, the current ones. This development implies the making of a technique that allows evaluating alternatives in either considering the degree of compliance of the requirements or considering all those objective and subjective aspects and factors which can affect the design. This latter feature is the main difference of the proposed methodology with respect to existing ones.



Índice

Agradecimientos	vii
Resumen	ix
Abstract	xi
Índice	xiii
CAPÍTULO I	17
1. Introducción	18
1.1. Antecedentes y motivación	18
1.2. Ámbito de aplicación	20
1.3. Objetivos	21
1.4. Organización de la tesis.....	24
CAPÍTULO II	27
2. Marco teórico	28
2.1. Concepción general.....	28
2.2. Trabajos relacionados	35
2.2.1. Métodos de Selección de Alternativas	35
2.2.2. Design for X (DFX).....	38
2.2.3. Resolución de conflictos entre perspectivas	40
2.3. El Holismo metodológico.....	41
2.3.1. Hacia el Holismo Metodológico	43
2.3.2. El Holismo Metodológico.....	44



Metodología para la generación y selección de alternativas de
diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Alberto Comesaña Campos

2.3.3. Concepciones holísticas en el campo del diseño.....	47
2.3.4. El modo holístico de la nueva técnica	48
CAPÍTULO III.....	50
3. Fundamentos de la nueva técnica	51
3.1. Redes neuronales y Aprendizaje Hebbiano	52
3.2. Red discreta, red continua y red cuantificada	59
3.3. Regla de aprendizaje de Hebb	60
3.4. El porqué de la elección de las redes de Hopfield.....	61
CAPÍTULO IV	63
4. Modelo de representación neuronal de la técnica propuesta	64
4.1. El modelo espacial de la red	70
CAPÍTULO V	73
5. La técnica de evaluación propuesta	74
5.1. Identificación de participantes y parámetros.....	77
5.2. Etapas del proceso.....	82
Etapa 1: Planteamiento del problema	82
Etapa 2: Asignación inicial de pesos globales por el coordinador	82
Etapa 3: Reparto de tarjetas	83
Etapa 4: Proposición de pesos globales por parte de las perspectivas/expertos.....	84
Etapa 5: Reasignación de pesos iniciales	87
Etapa 6: Proposición de soluciones por las perspectivas/expertos	88
Etapa 7: Intercambio y circulación de tarjetas	88

Etapa 8: Valoración de las soluciones por parte de las perspectivas	88
Etapa 9: Análisis de los resultados en las redes	89
9.1) <i>Valoración por solución y perspectiva en las redes locales</i>	90
9.2) <i>Valoración de las soluciones en la red global</i>	92
Etapa 10: Valoración del resultado global y puesta en marcha de nuevos ciclos	94
<i>Cálculo de los nuevos pesos</i>	95
 CAPÍTULO VI	 102
 6. Ejemplo práctico: Rediseño de un soporte metálico	 103
6.1. Identificación de participantes y parámetros	105
6.2. Resumen de la aplicación de la técnica	108
6.3. Análisis de las contribuciones de las perspectivas/expertos	116
6.3.1. <i>Contribución de las perspectivas/expertos en la solución final</i>	122
6.3.2. <i>Influencia de las perspectivas/expertos en la resolución de conflictos durante el proceso</i>	122
 CAPÍTULO VII	 127
 7. Estudio comparativo de la nueva técnica	 128
7.1. Consideraciones acerca de las múltiples perspectivas	128
7.2. Comparación de la técnica con otras relevantes	129
7.2.1. <i>Comparativa con métodos de selección de alternativas</i>	129
7.2.2. <i>Comparativa con trabajos que manejan conflictos entre perspectivas</i>	130
 CAPÍTULO VIII	 136
 8. Evaluación de la nueva técnica	 137



Metodología para la generación y selección de alternativas de
diseño considerando múltiples factores de un modo holístico

Alberto Comesaña Campos

CAPÍTULO IX	141
9. Conclusiones	142
9.1. Líneas de trabajo futuras	144
CAPÍTULO X	147
10. Bibliografía	148
ANEXO I	163
Anexo I. Las cinco perspectivas seleccionadas	164
ANEXO II	181
Anexo II. Ejemplo práctico extendido: Rediseño de un soporte metálico	182
1- Identificación de participantes y parámetros.....	184
2 - La aplicación del método	187

*“Quiero despertar la más alta
desconfianza contra mí: hablo
solamente de cosas vividas y no
invento acontecimientos imaginarios”*

Friedrich Nietzsche

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

El diseño de un producto implica un proceso en el que se combinan diferentes aspectos para obtener como resultado, de la forma más eficiente posible, un producto final óptimo y adecuado. El equipo encargado del diseño debe interactuar con los diferentes grupos de interés presentes a lo largo del ciclo de vida del producto y, en función de toda la información que recojan y de la que dispongan, decidir y completar el proceso de diseño del mismo. Se trata, en esencia, de un proceso de toma de decisiones que abarca desde la generación de soluciones, o alternativas de diseño, hasta la posterior evaluación de las mismas según diferentes criterios.

1.1. Antecedentes y motivación

Entendido el proceso de diseño como una sucesión de decisiones, es necesario establecer mecanismos que sean capaces de gestionarlo de la mejor forma posible. En el propio campo del diseño existe una gran diversidad de enfoques que, partiendo de diferentes fundamentos y premisas, se han ido desarrollando para intentar satisfacer esta necesidad. Así, en general, para controlar y valorar todo ese proceso se emplean

diferentes metodologías y técnicas de generación y selección que ayudan al equipo de diseño mediante la comparación de alternativas a través de diferentes mecanismos de evaluación, asociados a criterios o escalas previamente seleccionados. Sin embargo, muy pocas de estas metodologías y técnicas contemplan la gran influencia que posee la forma particular de pensar y actuar a la hora de llevar a cabo todo proceso de evaluación. Cada miembro del equipo del diseño, en función de la metodología escogida y del entorno y la disciplina donde se formó, considerará implícitamente uno o varios factores del proyecto de diseño desde un punto de vista o perspectiva acorde a su formación particular. De este modo, todas las decisiones que afectarán al diseño del producto serán enfocadas sobre estos factores y puntos de vista particulares. Surge, en este punto, este concepto de perspectiva aplicado al campo del diseño con esta primera acepción de punto de vista que, en un momento dado, puede determinar una decisión. No es común que algo de naturaleza tan generalista y ambigua sea considerado dentro de este campo de investigación, y de la propia gestión de sus decisiones, que busca, por norma habitual, apoyarse en métodos concretos y determinados. Pero diseñar trasciende el determinismo y alcanzar el éxito implica consideraciones mayores que una sencilla sucesión de pasos, por lo que se debe buscar una integración de ellos sin perder, eso sí, la simplicidad y eficiencia.

Con todo esto, el diseño final será, desde la anterior consideración, el resultado de fusionar todas estas perspectivas particulares, resolviendo los conflictos entre ellas y logrando la concordancia entre todas estas decisiones particulares. Este es un enfoque novedoso dentro del campo del diseño y aunque el desarrollo de metodologías y

técnicas de selección y evaluación de alternativas de diseño esté ya constituido como una línea de investigación consolidada, desarrollar una nueva propuesta bajo este enfoque supone un avance. Podemos plantear, entonces, una nueva metodología de diseño que integre perspectivas, evitando focalizar el diseño en aspectos concretos del mismo, y así establecer una técnica de evaluación que permita controlar todos los diferentes factores presentes en el proceso de desarrollo de un producto; logrando con ello, implícitamente, reducir la complejidad, el coste y la duración del proceso de diseño y, en general, del desarrollo del producto. Esta integración supone más una concepción que una característica, partiendo del supuesto de que la suma o concatenación de pasos, decisiones o enfoques no asegura, por sí sola, un diseño óptimo. Hay que considerar la integración de todo ello para lograr una concepción holística del propio diseño como un todo mayor que la suma de esas partes.

1.2. Ámbito de aplicación

Los procesos de diseño y, en general, todo proceso de desarrollo de un producto, contiene métodos, técnicas y procedimientos que pretenden, en todo momento, optimizar y facilitar ese proceso con el objetivo primordial de garantizar, en el mayor porcentaje posible, el éxito del producto final. Toda industria en la que se desarrollen nuevos productos o servicios demandará metodologías que ayuden a mejorar tiempos y costes e incrementen el rendimiento global del proceso. Es comúnmente aceptado que entre el 60% y el 80% de los costes de un producto se producen en las primeras etapas

del proceso de diseño (Duffy *et al.* 1993, Augustine *et al.* 2010) por lo que contar con técnicas que lo controlen eficazmente supone una necesidad en el diseño industrial.

La técnica desarrollada en esta tesis se relaciona con el propio diseño industrial y aporta una novedosa alternativa a los métodos y técnicas habituales, buscando con ello la reducción de tiempos y costes. Es, por esta razón, que la nueva técnica podría aplicarse en cualquier industria que diseñe y desarrolle nuevos productos o rediseñe los existentes, por lo tanto el espectro cubre amplios sectores de la industria: desde la automovilística a la aeronáutica, pasando por la metalúrgica o la electrónica. Esta nueva técnica posee una gran versatilidad para adaptarse a diferentes escenarios debido, entre otras cosas, al uso que hace de las perspectivas y a su capacidad para resolver conflictos entre ellas.

1.3. Objetivos

En virtud de lo expuesto hasta el momento y buscando resolver las deficiencias ya mencionadas anteriormente, a continuación se describen el objetivo principal y los objetivos específicos, necesarios para su consecución, de este trabajo.

El objetivo principal de esta tesis es el desarrollo de una novedosa técnica de evaluación que permita tomar decisiones adecuadas para así generar, evaluar y seleccionar alternativas de diseño considerando, de la mejor manera posible, todos los factores y perspectivas que afectan al diseño. Además, debe buscar un equilibrio entre estas perspectivas en relación a los objetivos e intereses del proceso de diseño y

resolviendo, desde una concepción holística, los conflictos que puedan surgir durante el proceso.

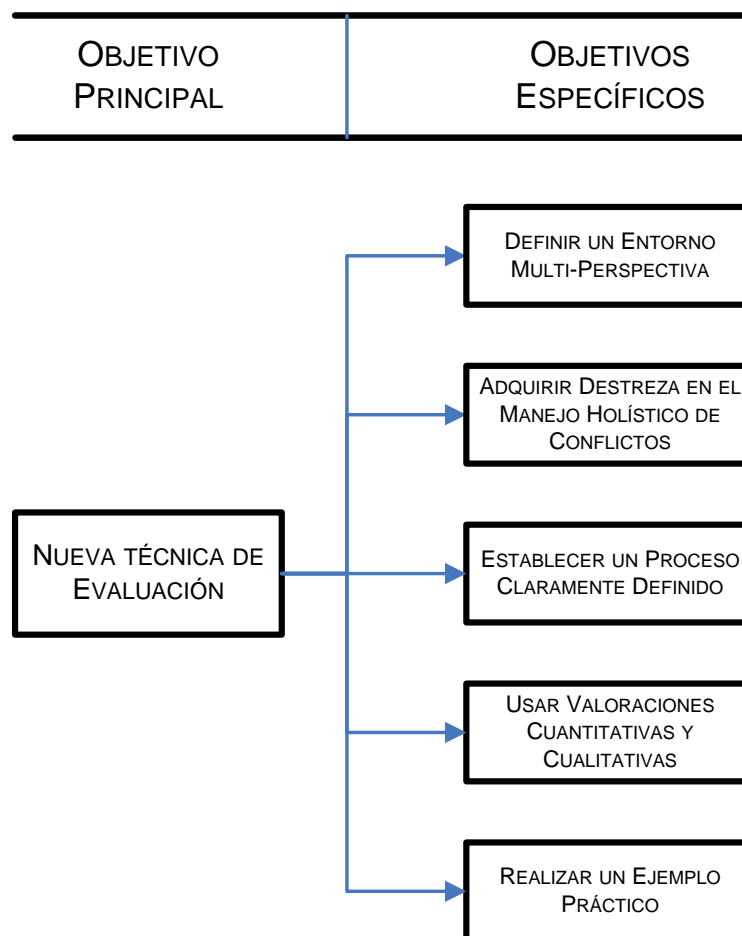
Para lograr este objetivo principal se han planteado y desarrollado los siguientes objetivos específicos:

- Definir un entorno multi-perspectiva: La nueva técnica se encuadra dentro de un marco de perspectivas múltiples representado mediante redes neuronales simultáneas y las propias neuronas que se relacionan e interactúan entre sí.
- Adquirir destreza en el manejo holístico de conflictos: Al considerar de forma integral todas las perspectivas la nueva técnica plantea el uso de un sistema que simula un comportamiento neuronal para caracterizar la interacción de las perspectivas y así poder resolver sus discrepancias en función de diferentes parámetros recogidos en su propia interacción.
- Establecer un proceso claramente definido: Aun considerando el carácter integral, la técnica debe desarrollarse mediante un claro y determinado proceso de múltiples etapas, que facilite su implementación en cualquier proceso de diseño y su propia ejecución sea asequible, en línea con los métodos y técnicas que más se emplean en la actualidad. Para ello, para una primera implementación, se plantea una técnica experimental que representa el comportamiento neuronal a través de sistema de tarjetas combinado con un software de cálculo.
- Lograr el uso de valoraciones cuantitativas y cualitativas: La nueva técnica debe permitir y procesar las valoraciones a las diferentes alternativas, bien sean estas cuantitativas, basadas, por ejemplo, en escalas de calificación, o bien, cualitativas,

por ejemplo, empleando los calificadores habituales del lenguaje común (bueno, malo, regular, etc...).

- Realizar un ejemplo práctico: A través del rediseño de un soporte metálico se aplica la nueva técnica de modo práctico, reflejando todos los parámetros relacionados con la interacción de las distintas perspectivas y ejecutando el proceso en etapas definido anteriormente.

A continuación se muestra un esquema con la distribución de objetivos y contribuciones.



Esquema donde se indican el objetivo principal y las contribuciones del presente trabajo.

1.4. Organización de la tesis

La exposición de la memoria de la tesis comprende diez capítulos y dos anexos que complementan el texto. La exposición de cada uno de ellos se ha organizado de la siguiente manera:

- Capítulo I. *Introducción*: Se trata de la parte preliminar del trabajo donde se exponen las razones y objetivos del mismo.
- Capítulo II. *Marco teórico*: En esta parte se expone un estudio de los principales métodos de generación, selección y evaluación de alternativas, así como, de aquellos específicos que manejan el concepto de perspectiva y resuelven conflictos. Se definen, igualmente, estos términos dentro del mundo del diseño. Además, aborda los fundamentos filosóficos del holismo metodológico y su empleo en el desarrollo científico.
- Capítulo III. *Fundamentos de la nueva técnica*: Aquí, comienza la exposición de las bases teóricas de la nueva técnica, sus orígenes, utilidad y aplicabilidad al campo del diseño. Se describen las redes neuronales; sus fundamentos, funciones y aplicaciones así como la forma de simular su comportamiento y su aprendizaje: la regla de Hebb.
- Capítulo IV. *Modelo de representación neuronal de la técnica propuesta*: En esta parte se describe cómo la nueva técnica se adapta a los desarrollos teóricos expuestos en el Capítulo III, mostrando su disposición espacial basada en redes neuronales simultáneas.

- Capítulo V. *La técnica de evaluación propuesta*: Se describe, paso a paso, y de forma pormenorizada, el desarrollo completo de los fundamentos de la nueva técnica, a través de la definición y desarrollo completo de una técnica experimental. Esta primera implementación busca representar el comportamiento neuronal y los principios básicos de la nueva técnica, por lo tanto incluye desde las ecuaciones que gestionan su evolución hasta la representación de los mecanismos neuronales que la gestionan, pasando por el significado de los diferentes parámetros y paradigmas de comportamiento e interacción social que posee.
- Capítulo VI. *Ejemplo práctico: Rediseño de un soporte metálico*: Se expone una aplicación práctica de la nueva técnica a través del rediseño de un soporte metálico de los usados en cajas y armarios de distribución eléctrica. Al finalizar, se analizan los resultados obtenidos, tanto desde el punto de vista técnico como de la evolución de los diferentes parámetros relacionados con el comportamiento e interacción social del grupo de diseño, explicando el significado de los mismos según los resultados del proceso de diseño.
- Capítulo VII. *Estudio comparativo de la nueva técnica*: Confrontando la nueva técnica con otras técnicas similares, tanto en el manejo de perspectivas como en la resolución de conflictos, se realiza un estudio para compararlas y determinar su diferente aplicabilidad.
- Capítulo VIII. *Evaluación de la nueva técnica*: En esta parte se lleva a cabo una evaluación objetiva de la nueva técnica, destacando sus virtudes y enfocando sus

carencias. Se señalan diferentes aspectos críticos de la misma y se estima su futura evolución e impacto sobre los resultados.

- Capítulo IX. *Conclusiones*: En esta parte final se analiza el alcance de los objetivos obtenidos en el desarrollo y aplicación de la nueva técnica y se analizan los resultados en función de los nuevos parámetros derivados del ejemplo. Además se establecen las previsiones de evolución y mejora de la misma, señalando líneas de trabajo futuras.
- Capítulo X. *Bibliografía*: Contiene las referencias bibliográficas de la memoria, ordenadas alfabéticamente.
- Anexo I. *Las cinco perspectivas seleccionadas*: En este anexo, se explican con más detalle cada una de las cinco perspectivas que intervienen en el ejemplo práctico del Capítulo VI.
- Anexo II. *Ejemplo práctico extendido: Rediseño de un soporte metálico*: En el último anexo, se ha desarrollado con detalle todos y cada uno de los aspectos de la aplicación práctica expuesta en el Capítulo VI.

“He recibido vuestro telegrama, mi querido Cremieux; jamás me encontraré en vuestro camino más que para amaros, para ayudaros y para aplaudiros. Sois uno de los fundadores de la República de 1848; sois unos de los fundadores de la República de 1870, y sois mi amigo. Entre Cremieux y Victor Hugo yo voto por Cremieux”

Victor Hugo

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. Marco teórico

2.1. Concepción general

Para el desarrollo de esta nueva metodología, debemos plantear y desarrollar una nueva técnica que permita tomar las decisiones adecuadas teniendo en cuenta todos los factores y perspectivas que afectan un diseño de una manera óptima, buscando un equilibrio entre todos ellos en función de los objetivos e intereses de un proyecto de diseño concreto.

Este tipo de técnicas se encuentran en la documentación y literatura de la metodología de diseño englobadas bajo la denominación de *Diseño Basado en Decisiones* (Mistree *et al.* 1993, Mistree y Allen 1997, Hazelrigg 1998, Thurston 1999, Allen B. 2000, Callaghan y Lewis 2000, Marston *et al.* 2000) y aportan mecanismos para la selección de la mejor opción entre varias alternativas, ya que consideran el diseño como un proceso de toma de decisiones que pretende maximizar el valor del producto diseñado. En virtud de ello, el desarrollo de productos puede separarse en dos grandes etapas: una donde se

generan e identifican alternativas y otra etapa posterior donde se selecciona la mejor alternativa u opción.

Para la generación de alternativas existen métodos muy conocidos, como *Brainstorming* (Osborn 1963), *Método 6-3-5* (Wright 1998), *Tablas Morfológicas (Morphological charts)* (Pahl y Beitz 1996), *TRIZ* (Altshuller 1988), *Realización de Modelos y Esbozos (Sketching/Model Making)* (Cross 1994) y *Búsqueda de Datos y Conocimiento (Database/Knowledge-base Searching)* (Nebendahl 1988). Asimismo, también existen varios métodos para la selección de alternativas en diseño (López-Mesa y Bylund 2011), tales como el *Análisis de Utilidad (Utility Analysis)* (Pahl y Beitz 1984, Thurston 1990, Thurston *et al.* 1991, Reddy y Mistree 1992), *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process)* (Saaty 1990, Marsh *et al.* 1993), *Matrices de Decisión de Pugh (Pugh's Design Matrix)* (Pugh 1981, 1991), *Desarrollo de la Función de Calidad (Quality Function Deployment)* (Harr *et al.* 1993, Clausing 1994), *Axiomas de Suh (Suh's Design Axioms)* (Suh 1990), *Optimización Multi-criterio (Multi-criteria Optimization)* (Ebadian *et al.* 2008, Bhamare *et al.* 2009, Behzadian *et al.* 2012, Macharis *et al.* 2012), *Análisis de Sensibilidad (Sensitivity Analysis)* (Takai e Ishii 2004), *Óptimos de Pareto (Pareto Optimality Concept)* (Mattson y Messac 2003), *Algoritmos genéticos (Genetic Algorithms)* (Buonanno y Mavris 2004) y *Lógica Borrosa (Fuzzy Logic)* (Thurston y Carnahan 1992). Es de destacar la especial importancia que adquieren estos métodos cuando son aplicados en las primeras etapas del proceso del diseño para generar y seleccionar conceptos (King y Sivaloganathan 1999, Okudan y Tauhid 2008, Murphy *et al.* 2011). Es importante que, inicialmente, sean seleccionados los mejores

conceptos, ya que esto condiciona las etapas posteriores del diseño. Está bastante reconocido que aproximadamente entre el 60-80% del coste de un diseño se determina en esta fase inicial (Nevins y Whitney 1989, Ullman 1992, Duffy *et al.* 1993, Augustine *et al.* 2010).

No obstante, la mayoría de estos métodos de selección se centran básicamente en evaluar alternativas/conceptos en función del grado de cumplimiento de unos requerimientos determinados y según unos criterios preestablecidos, resolviendo de esta manera los conflictos que puedan existir entre distintos requerimientos. Cuando en un diseño intervienen expertos de áreas de conocimiento distintas es frecuente que se produzcan *conflictos* entre ellos debido a las distintas maneras de percibir y ver la realidad que tiene cada uno, por ejemplo, debido a sus diferentes *perspectivas*.

¿Qué es un conflicto?

Un conflicto es un desacuerdo entre partes (expertos,...) sobre las tareas y asuntos que se están llevando a cabo, lo que ocurre cuando hay opiniones e ideas opuestas o incompatibles (Lam *et al.* 2007).

¿Qué es una perspectiva?

Una perspectiva es el contexto específico e individual con el que un experto percibe, piensa, decide y actúa (Cowan *et al.* 1999, 2006).

Este tipo de conflictos es una consecuencia de la distinta formación que ha adquirido cada experto en su entorno y que, al tener que juntarse para cooperar en un proyecto común, produce discrepancias y roces. Estos roces pueden estar causados por varios motivos, por ejemplo, unas veces son debidos a que los expertos utilizan lenguajes distintos, ya que tienden a utilizar la jerga de su área y en consecuencia les cuesta más comunicarse entre ellos. Otras veces porque al provenir de áreas y formaciones distintas les cuesta compenetrarse e integrarse entre ellos. Este problema se acentúa más cuando se trata de diseños complejos, ya que las disparidades entre los distintos expertos que participan son mayores.

Este problema ha sido bastante abordado en otras disciplinas distintas del diseño como en ingeniería de software (Easterbrook 1991, 1994, Liu *et al.* 2006), pero en el diseño en la ingeniería ha sido escasamente tratado. Sólo unos pocos trabajos (Cowan *et al.* 1999, 2006, Lam *et al.* 2007) han abordado este problema en el diseño.

Cowan *et al.* se basan en la *teoría de los sistemas vivientes (living systems theory)* para, esencialmente, crear un lenguaje simbólico común con el que modelan perspectivas, facilitando así la comunicación entre el equipo de diseño, formado por gente de distintas disciplinas. Este modelo lo aplican en el diseño de sistemas de ingeniería complejos.

El uso de un lenguaje común desarrollado específicamente para situaciones concretas posee limitaciones, ya que, entre otras cosas, es diferente del lenguaje normal que los expertos están acostumbrados a emplear y además les es desconocido (Easterbrook 1991). Asimismo, aunque Cowan *et al.* describen un método general, no

aportan un proceso de etapas múltiples para manejar los conflictos entre perspectivas. El método tampoco permite hacer valoraciones cuantitativas, sólo permite cualitativas.

Lam *et al.* (2007) analizan conflictos entre perspectivas en el desarrollo de nuevos productos, identificando cinco estilos de manejo de conflictos y encuentran que los *estilos cooperativos -cooperative styles (integrating and obliging)-* son efectivos en la resolución de conflictos y los estilos no cooperativos *-uncooperative styles (dominating and avoiding)-* son ineficaces, mientras que el de *compromiso (compromising)* es una aproximación neutral.

Lam *et al.* describen un proceso general con recomendaciones del mismo estilo, sin embargo, no aportan ni describen ningún tipo de proceso en etapas para manejar conflictos, por lo que no es un método que se pueda aplicar directamente. Además, sólo considera dos tipos de perspectivas: clientes y proveedores, y no permite hacer valoraciones cuantitativas, sólo cualitativas.

Trabajos en otras disciplinas (Easterbrook 1991, 1994) también avalan la importancia de facilitar la comunicación y fomentar la colaboración entre los miembros de un equipo como base fundamental para la resolución de conflictos entre perspectivas. Estos trabajos son útiles como guías generales pero las técnicas que ofrecen no se pueden aplicar en el campo del diseño, ya que no están pensadas para este campo. La Tabla 1 muestra un resumen de los métodos citados que permiten el manejo de conflictos entre perspectivas.

Por otro lado, otras técnicas tales como el *Design for Manufacture and Assembly (DFMA)* (Andreasen *et al.* 1988, Boothroyd *et al.* 2002), *Design for Quality (DFQ)*, *Design*

for Security (DFS), etc... incluidas dentro de la denominación general “*Design for X*” (*DFX*) (Huang 1996) también puede considerarse que manejan perspectivas. En función de la técnica escogida, consideran un factor (*X*), sobre el que se centran todas las decisiones que afectan al diseño. Estas técnicas *DFX* consideran perspectivas indirecta y tácitamente (Cowan *et al.* 1999, Holt y Barnes 2010), al considerarse el factor (*X*) sobre el que se centran las decisiones una perspectiva en sí mismo. Sin embargo, las perspectivas no son tratadas directa y formalmente; cada *DFX* sólo considera una, lo que se traduce en una falta de visión del conjunto de factores que afectan al diseño. Asimismo tampoco contemplan el manejo de conflictos entre múltiples perspectivas.

	OTROS TRABAJOS QUE MANEJAN CONFLICTOS ENTRE PERSPECTIVAS		
	Cowan <i>et al.</i> (1999, 2006)	Lam <i>et al.</i> (2007)	Easterbrook (1991, 1994) en otro campo-
Facilidad de uso	Media	Media	Media
Método sistemático (pasos claramente definidos)	Se aporta un método general	Se aporta un método general	Se aporta un método general
Fundamentos de la técnica de manejo de conflictos entre perspectivas	<i>Living systems theory</i>	Opiniones de expertos en fabricación y revisión de la literatura relacionada	Negociación apoyada en software y estudio de la adquisición de conocimiento
Uso de un lenguaje común	Sí, basado en <i>Living systems theory</i>	No, aunque se señala que debe existir una comunicación fluida	No, aunque se señala que deben realizarse esfuerzos para lograr una buena comunicación
Facilitar la comunicación entre los expertos	Sí, a través del uso de un lenguaje común	Sí, como una recomendación general	Sí, a través de un proceso de negociación y aprendizaje mutuo
Fomento de la integración y cooperación en el equipo	Sí, como una recomendación general	Sí, como una recomendación general	Sí, a través de un proceso de negociación basada en software y el empleo del ordenador
Tipos de perspectivas	Clasificadas en: conocimiento, espacio y tiempo	Principalmente clasificadas en clientes y proveedores	Varias y heterogéneas
Tipos de evaluaciones (cualitativas/cuantitativas)	Cualitativas, usando un método gráfico	Cualitativas	Cualitativas empleando un método gráfico apoyado en software
Identificación y selección de requerimientos por las perspectivas/expertos	No, los requerimientos son definidos al comienzo	Sí, no obstante se prioriza las necesidades de los clientes	Sí, a través de los procesos de negociación y colaboración conjunta
Posibilidad de generar nuevas alternativas	Sí	No contemplada	Sí
Identificación de incompatibilidades entre alternativas	Sí	Sí, indirectamente	Sí
Resolución de conflictos entre requerimientos	Sí, indirectamente	Sí, indirectamente	Sí
Resolución de conflictos entre perspectivas	Sí	Sí	Sí

Tabla 1. Resumen de las principales características de otros métodos y técnicas que manejan conflictos entre perspectivas.

2.2. Trabajos relacionados

2.2.1. Métodos de Selección de Alternativas

A la hora de decidir cuál es la mejor alternativa de diseño, existen diferentes métodos que ayudan y guían en esta decisión. A continuación pasaremos a describir brevemente los más representativos:

- *Matriz de Decisión de Pugh (Pugh's Design Matrix)* (Pugh 1981, 1991): Método iterativo que emplea una matriz donde se enfrentan alternativas frente a criterios, comparando cada alternativa con una de referencia “*datum*” que se actualiza en cada iteración. La matriz se expande con nuevas alternativas y se contrae, eliminando las peores, hasta converger en la mejor alternativa.
- *Análisis de Utilidad (Utility Analysis)* (Pahl y Beitz 1984, Thurston 1990, Thurston *et al.* 1991, Reddy y Mistree 1992): Básicamente, se realizan valoraciones cuantitativas sobre el grado en que cada alternativa cumple unos requerimientos. Para ello se emplea una correspondencia, conocida como *función de utilidad (utility function)*, entre unas valoraciones cualitativas de ese grado de cumplimiento y una asignación numérica.
- *Proceso Analítico Jerárquico (Analytic Hierarchy Process)* (Saaty 1990, Marsh *et al.* 1993): Se parte de una disposición en jerarquías, situando en el nivel más alto el objetivo general a alcanzar, seguido de los criterios a verificar para conseguirlo y, finalmente, en el nivel más bajo, las distintas alternativas. Realizando

comparaciones por pares (*pairwise comparisons*) de los criterios se determina su importancia relativa para después comparar cada criterio frente a cada alternativa, determinando así la alternativa que cumple mejor con los criterios.

- *Desarrollo de la Función de Calidad (Quality Function Deployment)* (Clausing 1994, Harr *et al.* 1993): Es un método gráfico, basado en una matriz conocida como *casa de la calidad (House of Quality)*. Enfrentando alternativas y requerimientos, se determina el grado en el que cada alternativa satisface dichos requerimientos, empleando una valoración basada en una función de utilidad. En la parte superior de la matriz se determina la compatibilidad entre alternativas.
- *Axiomas de Diseño de Suh (Suh's Design Axioms)* (Suh 1990): Estableciendo una relación entre el *dominio funcional (functional requirements)* y el *dominio físico* (parámetros de diseño que satisfacen esos requerimientos) de cada alternativa, determina que la mejor alternativa será aquella en la que cada parámetro satisface un solo requerimiento (*independence axiom*) y la cantidad de información para lograrlo sea menor (*information axiom*).
- *Análisis de Sensibilidad (Sensitivity Analysis)* (Takai e Ishii 2004): El análisis de sensibilidad engloba una serie de procedimientos estadísticos que evalúan cómo las variaciones en los datos de entrada afectan a los resultados finales. Por lo tanto se emplea para determinar aquella alternativa que presenta mayor probabilidad de cumplir unos determinados requerimientos ante variaciones en las condiciones de valoración del cumplimiento de esos mismos requerimientos.

- *Óptimos de Pareto (Pareto Optimality Concept)* (Mattson y Messac 2003): Se basan en aplicar técnicas de optimización multi-objetivo para obtener el conjunto de todas las soluciones *Pareto óptimas*, que formarán la frontera de *s-Pareto*. En función, entre otras cosas, de la situación de la frontera de *s-Pareto* con respecto a una región de interés, calculada en función de unas preferencias determinadas, se determinará la mejor alternativa.
- *Algoritmos genéticos (Genetic Algorithms)* (Buonanno y Mavris 2004): Se fundamentan en las teorías evolutivas de Darwin, empleando operadores genéticos inspirados en los modelos de la evolución natural. De este modo, las diferentes alternativas forman una población que se relaciona y va evolucionando según las leyes naturales de selección, cruce y mutación, para converger, en futuras generaciones de alternativas, en la mejor solución.
- *Lógica Borrosa (Fuzzy Logic)* (Thurston y Carnahan 1992): Esta técnica se fundamenta en seleccionar alternativas valorándolas según el grado de cumplimiento de diferentes requerimientos, mediante el empleo de calificadores del lenguaje común como “muy alto”, “alto”, “bajo”, etc... Estas valoraciones son representadas como grados de verdad dentro de un intervalo (0 = totalmente falso, 1 = totalmente cierto), conocido como *conjunto fuzzy (fuzzy set)*.

Estos métodos de selección permiten resolver conflictos que puedan existir entre distintos requerimientos, pero no están pensados para resolver conflictos entre perspectivas.

2.2.2. *Design for X (DFX)*

Las metodologías de *Diseño para el Ensamblaje (Design for Assembly, DFA)* (Andreasen *et al.* 1988, Boothroyd y Dewhurst 1989, Dalglish *et al.* 2000), su integración con la manufactura a través del *Diseño para la Fabricación y Ensamblaje (Design for Manufacture and Assembly, DFMA)* (Boothroyd *et al.* 2002), *Design-for-Assembly-based Product Redesign Approach (DBPRA)* (Hsu y Lin 1998), y otras como *Design for Quality (DFQ)*, *Design for Security (DFS)*, *Design for Environment (DFE)*, *Design for Recycling (DFRec)*, etc... se incluyen dentro de la denominación general "*Design for X*" (*DFX*) (Huang 1996). En función de la metodología escogida, se considerará un factor (*X*), sobre el cual se centraran todas las decisiones que afectarán al diseño (Yazdani y Holmes 1999). En la Figura 1 se representa un esquema de las principales etapas de un método basado en *DFX*.

Las metodologías "*Design for X*" consideran indirecta y tácitamente perspectivas (Cowan *et al.* 1999), ya que el factor *X* donde se centran todas las decisiones, se puede considerar una perspectiva. No obstante, no tratan directa y formalmente perspectivas, cada *DFX* sólo considera una, por lo que no tiene una visión del conjunto, y no están pensados para resolver conflictos entre múltiples perspectivas.

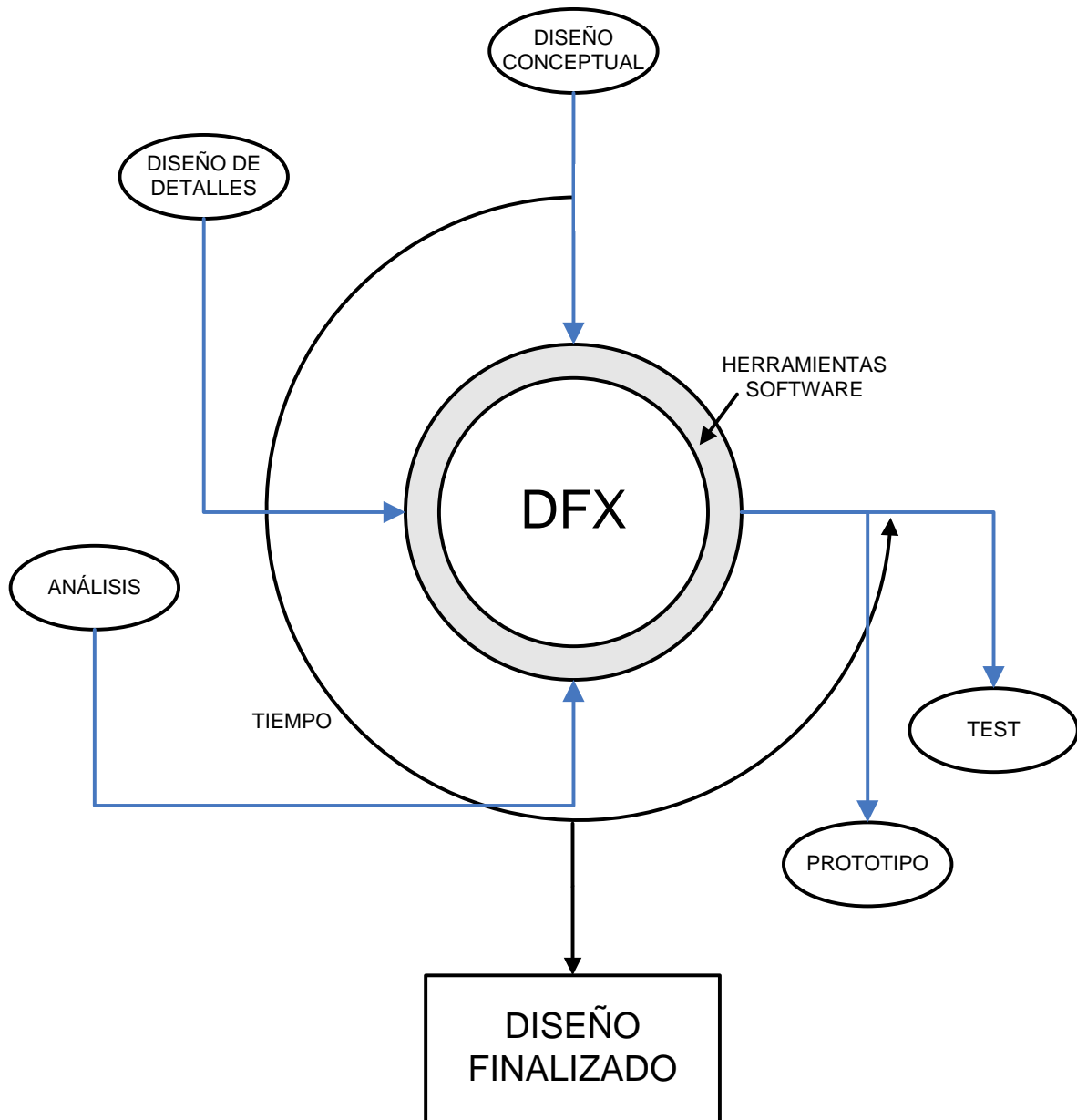


Figura 1. Etapas principales en los métodos basados en los diferentes *Design for X* (DFX).

2.2.3. Resolución de conflictos entre perspectivas

Como ya se ha mencionado, cuando hablamos de perspectiva nos referimos al proceso cognitivo humano según el cual se percibe, procesa y representa la información recibida para crear un conocimiento personal aplicable. Dentro del diseño en la ingeniería, esta información proviene del diseño y de los requerimientos que debe cumplir el mismo. Por lo tanto, en el proceso de diseño, los distintos expertos, a través de cada una de sus perspectivas, toman decisiones para garantizar la satisfacción de los requerimientos. Y, puesto que, la satisfacción de un requerimiento puede abordarse desde diferentes perspectivas, los expertos deben trabajar de modo colaborativo, sintetizando sus perspectivas individuales, para buscar una solución consensuada. Con todo ello, habitualmente, se generan discrepancias y conflictos entre las perspectivas de cada experto, debido a los componentes sociales de la colaboración (lenguaje, roles de dominio, educación, conocimiento, etc...). En los últimos años, han aparecido técnicas que manejan estos conflictos:

- *Living Systems Theory* (Cowan *et al.* 2006): Cada experto, desde su propia perspectiva, crea modelos funcionales que satisfacen los distintos requerimientos, basándose en la estructura jerárquica de los seres vivos y en los modelos de los *sistemas vivientes (living Systems)* (Miller 1995). Para evitar los conflictos entre perspectivas se emplea un lenguaje común y un esquema de representación que debe ser usado por todos los expertos del equipo de diseño. Además, cada perspectiva, representada por su modelo funcional, puede variarse, transformarse o agregarse, en función del resto y del trabajo colaborativo de los expertos.

- *Managing conflict in collaborative new product development* (Lam et al. 2007): Para resolver conflictos entre perspectivas se identifican cinco estilos diferentes, en función de la atención prestada a las opiniones propias y ajenas a la hora de satisfacer los requerimientos. Estos estilos son: *Integrating (high concern for self and others)*, *Avoiding (high concern for self and others)*, *Obliging (high concern for self and others)*, *Dominating (high concern for self and others)*, y *Compromising (high concern for self and others)*. Puesto que los estilos cooperativos son más efectivos (Rahim 2001), se concluye que *Integrating* y *Obliging* son los más efectivos a la hora de resolver conflictos.
- Otros: Fuera de la disciplina del diseño, dentro de la ingeniería de software, Easterbrook (1991), por ejemplo, no desarrolla un lenguaje común debido a los problemas que esto puede ocasionar, tales como la dificultad en la interpretación y el desconocimiento de ese lenguaje por parte de los expertos. Para resolver los conflictos entre perspectivas plantea un proceso, basado en métodos colaborativos, en los que prima la educación y la negociación, resaltando la comunicación entre expertos como clave.

2.3. El Holismo metodológico

En la definición de la nueva técnica se emplea el término holístico. Esta acepción deriva de un concepto filosófico mayor conocido como holismo del que, a continuación, haremos una breve reseña. En la indagación acerca de los orígenes del holismo, de la lectura de W.K.C. Guthrie (Guthrie 1973) se infiere que la primera concepción holística

aparece en la obra de Parménides. De la dualidad del pensamiento griego entre el Monismo: Toda doctrina según la cual hay una sola realidad y el Pluralismo: Toda doctrina según la cual hay más de una realidad o tipo de realidad se suele enseñar, erróneamente, que el monismo es reduccionista y el pluralismo antireduccionista. Esta afirmación no es del todo cierta pues tan sólo se da en las concepciones monistas y pluralistas más claras. Es Parménides, al que, curiosamente, se le suele calificar de monista, el que rompe con el monismo de la tradición filosófica jonia y plantea dudas racionales (*aporías*), describiendo a su vez un holismo en el que no caben tanto monismo como pluralismos convencionales. Parménides es el nexo de unión entre una cosmovisión y la otra, es decir, con la irrupción de Parménides en la filosofía griega se producirá un cambio de paradigma en el que la concepción de la realidad, de un modo inaudito, se desdoblará pasando de una visión simple a otra compleja. Representa, entonces, el tránsito del monismo al pluralismo, que luego será reconocible en figuras como Leucipo o Demócrito, pluralistas reconocidos y representantes del Atomismo. No en vano en el S. XIX el atomismo lógico, precursor del futuro reduccionismo y contrario a la concepción del holismo metodológico, toma su nombre de esta antigua concepción griega.

Así, si realmente existe un principio en el que dé comienzo la reflexión acerca del holismo, y la aparición, tanto de sus detractores como de sus defensores, este principio está en Parménides. De hecho citando a su poema podemos extraer las siguientes afirmaciones (Guthrie 1993):

“(Fragmento 8, vv. 1-21) Sólo una vía queda de que hablar, a saber, que “Es”. En esta vía hay signos abundantes de que [lo que es], puesto que existe, es inengendrado e imperecedero, total, único, inmóvil [e inmutable] y sin fin. No fue en el pasado, ni deberá ser aún, puesto que ahora es, todo a la vez, uno y continuo.”

“(Fragmento 8, vv. 22-25) No es divisible, puesto que es todo por igual. No existe más plenamente en una dirección, lo que impediría su cohesión, ni más débilmente en otra, sino que todo está lleno de lo que es. Por tanto, es un todo continuo, pues lo que es está en contacto con lo que es.”

De este modo, *“El Todo, lo Uno, Único, Inmutable, Inmóvil e Indivisible”* se perfila claramente como la primera concepción de holismo metafísico. Para Parménides, no debe existir la concepción de un orden natural, ya que este mismo orden supondría la clasificación y disposición de varias unidades y, en definitiva, *la realidad es un todo único y continuo*.

2.3.1. Hacia el Holismo Metodológico

Desde la concepción metafísica del holismo hecha por Parménides esta concepción del todo único y continuo evolucionó hacia su descripción metodológica. En la amplia y secular tradición escolástica se concibe el germen de lo que luego se transformará en el holismo metodológico más representativo, el de Pierre Duhem. La clásica aspiración de los escolásticos de unificarlo todo, de ahí los grandes compendios del saber (las *summas*), posibilitan el método holístico, ahora bien, siempre bajo la dirección y

vigilancia constante de la teología como “sumo grado” de todas las ciencias. Valga como ejemplo esta traducción del latín de un párrafo de la obra de Salcedo e Iturrioz (1953):

“Por otro lado, todavía nos queda resolver la cuestión de la unidad de la ciencia, de si, ciertamente todas las ciencias se pueden reducir a una única ciencia en sentido propio. Pues, en sentido amplio, es evidente que todas [las ciencias] poseen bajo diversos aspectos una referencia o a la lógica, o a la moral, o a la metafísica. Ahora bien, si nos expresamos en un sentido más estricto, negando las evidencias superficiales, debemos decir que todas la ciencias tienen un mismo primer objeto [que es el objeto] formal y se manifiesta en el principio de no contradicción. Sin embargo, no tiene todas el mismo principio material, y evidentemente, por el solo hecho de que [el objeto natural] sea exigido [y necesario] para lograr una mejor unión [entre las ciencias], no es algo que dependa de otra ciencia, la cual posea todos los principios materiales [de las demás ciencias].”

2.3.2. El Holismo Metodológico

Pierre Duhem (Duhem 2003) es el autor más representativo del holismo metodológico, podríamos incluso decir que esta propia concepción surge formalmente de él. Su obra “*La théorie physique*” es amplia pero está algo desactualizada dado que es anterior a la irrupción en física de Albert Einstein. No obstante, la concepción del holismo no se ve mermada por esta causa, y, en este sentido, su obra sigue plenamente vigente.

En esta obra existen numerosas referencias, citas y ejemplos que tratan de argumentar *la incapacidad de las partes para explicar el todo de forma separada*. Valgan como ejemplo, las siguientes:

“En un pasaje de la Suma teológica (I, 32), Santo Tomás insiste con mayor claridad aún en la incapacidad del método físico para dar una explicación cierta - Se puede explicar una cosa de dos maneras diferentes. La primera consiste en probar de forma suficiente cierto principio; así la cosmología da una razón suficiente para probar que el movimiento del cielo es uniforme. El segundo procedimiento no aporta ninguna razón que pruebe de manera suficiente el principio; pero, habiendo propuesto el principio con anterioridad, se muestra que sus consecuencias concuerdan con los hechos”. (Duhem 2003, Pág. 50)

“Fresnel tampoco considera que el objetivo de la teoría sea la explicación metafísica de las apariencias sensibles [...] - No es inútil reunir los hechos bajo un mismo punto de vista, vinculándolos a un reducido número de principios generales. Es el medio para comprender mejor las leyes, y creo que esa clase de esfuerzos pueden contribuir tanto como las propias observaciones, al avance de la ciencia- A. Fresnel, Ouvres complètes, Tomo I, pág. 480”. (Duhem 2003, Pág. 64)

“A mediados del siglo XIX, las teorías hipotéticas, las que se consideran explicaciones más o menos probables de los fenómenos, se multiplicaron de forma extraordinaria. El ruido de sus disputas y el estrépito de sus caídas cansaron a los físicos, y poco a poco les recondujeron a las sanas doctrinas que Newton había expresado con tanta convicción. Reanudando la tradición interrumpida, Ernst Mach (Die Gestalten der Flüssigkeit, 1872) definió la física teórica como una representación abstracta y condensada de los fenómenos naturales, y G. Kirschhoff (Vorlesungen über mathematische Physik; Mechanik, 1874) asignó a la mecánica el objetivo de –describir de la forma más

simple y completa posible los movimientos que se producen en la naturaleza-. (Duhem 2003, Pág. 66)

“[...] muchos investigadores por los que sentimos una gran admiración fueron más modestos y más clarividentes: reconocieron que la teoría física no era una explicación sino que vieron en ella una representación simplificada y ordenada , que agrupaba las leyes según una clasificación cada vez más perfecta y cada vez más natural. (Duhem 2003, Pág. 67)

“Intentar separar cada una de las hipótesis de la física teórica de las otras suposiciones en las que se basa esta ciencia, a fin de someterla aisladamente al control de la observación, es perseguir una quimera, ya que la realización y la interpretación de cualquier experimento de física implican la adhesión a todo un conjunto de proposiciones teóricas. El único control experimental de la teoría física que no es ilógico es el que consiste en comparar todo el sistema de la teoría física con todo el conjunto de las leyes experimentales, y en juzgar si éste está representado por aquél de una manera simplificada. (Duhem 2003, Pág. 263)

Con esta obra, se sientan pues, los principios del holismo metodológico, principalmente a través de la conclusión que se puede derivar de los ejemplos: el todo trasciende a las partes, y éstas son incapaces de explicar ese mismo todo de forma separada. Es una concepción interesante y fácilmente extrapolable a otras disciplinas y entornos.

En un el libro de Andrés Rivadulla (Rivadulla 1986), por ejemplo, se extiende este concepto holístico hacia la discusión de sí “el lenguaje teórico” (en contraposición con el

lenguaje observacional son o no necesarios para el progreso de la ciencia. Desde un punto de vista holístico, el propio lenguaje teórico y sus términos constituyen un idioma vehicular y cohesionador, por lo tanto, unificador de la ciencia e indispensables igualmente.

2.3.3. Concepciones holísticas en el campo del diseño

El diseño industrial cuenta con movimientos y escuelas de pensamiento diversos (Pérez 1994) desde el periodo de su gestación (*Arts and Crafts*) hasta las grandes escuelas de diseño del siglo XX como el Constructivismo (1917-1927), la *Bauhaus* (1919-1933) y la *Hochschule für Gestaltung* (1953-1968). Esta última es conocida por acercar la corriente psicológica de la forma (psicología de la *Gestalt*) (Hothersall 1984) cuyo principal axioma “*El todo es más que la suma de sus partes*” es, habitualmente, empleado como resumen de sus fundamentos y que, sin duda, enlaza con la concepción holística que, hasta el momento, se ha ido desarrollando.

La *Hochschule für Gestaltung* creada en Alemania en 1953 como una prolongación de la *Bauhaus* con el objetivo de buscar la “*forma honesta*” para mejorar las ventas en contraposición al *Styling* y su “*Estética Industrial*” preconizado por Loewy en Estados Unidos. Sin embargo el término *Gestalt* (*forma*), dentro del entorno del diseño, se asocia a la psicología homónima y a la repercusión que sus fundamentos tuvieron en los diseños industriales. La psicología de la *Gestalt* o de la forma fue fundada por M. Wertheimer y desarrollada posteriormente por W. Koehler y K. Kofka. Wertheimer concluía que no se trataba de que se sobreañadiesen nuevas cualidades de forma a las

partes componentes, sino que al constituirse una forma sus elementos se integran en el todo. El todo está formado por las partes más las relaciones que se establezcan entre ellas, es, por lo tanto, algo más que la suma de sus partes (Pérez 1994). Por esta razón el concepto de totalidad es de un orden superior a las partes de las que está constituida. Así, el todo debe construirse a partir de sus elementos de forma natural, rechazando la obtención de las partes a partir de un análisis del todo, que deformaría la realidad. Con esto, la psicología de la *Gestalt* enlaza con las filosofías holísticas desde concepciones, en principio, diferentes proviniendo sus fuentes de la tradición filosófica alemana del siglo XIX y de autores como Kant, Ehrenfels o Husserl. Ya el mismo Ehrenfels, en su obra "*Über Gestaltqualitäten*" ("*Sobre las cualidades de la forma*") afirmaba que las formas dentro del espacio y el tiempo no están compuestas de cualidades sensoriales elementales, sino que constituyen una cualidad nueva (Pérez 1994).

2.3.4. El modo holístico de la nueva técnica

Referenciado el término cabe preguntarse cómo adaptar su definición y alcance a la teoría del diseño y más concretamente a esta nueva técnica que se presenta. Si transcendemos a la idea imperante en los métodos y técnicas habituales podemos llegar a la conclusión que el mejor diseño será aquel que se pueda obtener cuando a él se llegue a través de una visión generalizada del mismo, considerado como un todo, como un objetivo unificador. Este objetivo, a su vez, está constituido por la suma de diferentes decisiones intermedias, de diferentes conflictos que se han resuelto, de diferentes criterios que se han aplicado y, en general, de un número determinado de aspectos,

factores, requerimientos, perspectivas, etc..., es decir, partes. Pero, esta suma no explica ni satisface, necesariamente el todo final, es decir, el diseño. Más allá, incluso, aun en el caso que procure aunar el mayor número de “partes”, con más detalle, con más precisión, incluso en ese caso, seguimos sin poder afirmar que el diseño será la consecuencia de esas “partes”. Un buen diseño puede, sin duda, ser el fruto de la aplicación pormenorizada de cualquiera de las técnicas anteriormente expuestas pero también podría ser el resultado de cualquier otra circunstancia ajena a cualquier metodología. Es, precisamente, esta incertidumbre en el éxito del diseño lo que hace complicado encontrar una técnica que obtenga siempre buenos resultados, por ello, el esfuerzo de esta nueva técnica es ofrecer una visión holística a la hora de procesar y conducir un proceso de generación, selección y evaluación de alternativa de diseño. No habrá pues, en principio, factores determinantes o perspectivas más importantes, los puntos de vista, las perspectivas, los factores que diseñen, por ende, los expertos, los diseñadores, deben adquirir una visión generalizada, trascendiendo su formación y el apoyo mismo de su conocimiento particular con el objetivo de pensar y decidir en el mejor diseño como todo único y continuo.

“¿Dónde está la utilidad de nuestras utilidades?

Volvamos a la verdad: vanidad de vanidades.”

Antonio Machado

CAPÍTULO III

FUNDAMENTOS DE LA NUEVA

TÉCNICA

3. Fundamentos de la nueva técnica

El desarrollo de esta nueva técnica de evaluación se ha inspirado en el modo que poseen las neuronas para interactuar entre sí en el cerebro y se ha basado en la regla de aprendizaje de Hebb para redes neuronales. La regla de Hebb (Hebb 1949), a su vez basada en observar cómo las neuronas biológicas refuerzan sus conexiones entre si cuando comparte su estado, prima implícitamente la afinidad y la correlación en el sentido literal de su significado. Por lo tanto la técnica desarrollada resultante mide los grados de compenetración, integración y cooperación de cada participante en su equipo, primando y fomentando un estilo cooperativo para la resolución de conflictos entre perspectivas.

Las redes neuronales y el aprendizaje hebbiano ya se han aplicado a otros campos de la ingeniería tales como la fabricación, la optimización de procesos de control y producción (Huang y Zhang 1994, West *et al.* 2000, Malavé y Ramachandran 1991, Liang y Zolfaghari 1999, Smith *et al.* 1996, Ming y Mak 2000, Soleymanpour *et al.* 2002),

e incluso al diseño pero en aspectos muy concretos de éste (Chang 2001, Lai *et al.* 2005, Zha 2005, Su y Li 2007); sin embargo, en este trabajo, se ha intentado adaptar y aplicar toda esta filosofía y conocimiento al campo del diseño mediante una nueva técnica de evaluación.

3.1. Redes neuronales y Aprendizaje Hebbiano

Las redes neuronales artificiales (Artificial Neural Networks (ANN)) están basadas en la manera en que operan las neuronas biológicas en el cerebro, aunque hoy en día aún no las igualan, lo que supone que las redes biológicas forman un sistema mucho más sofisticado que las artificiales. Así, una ANN se vale de una organización similar a la del sistema nervioso de los animales, en el cual un sistema de conexión de neuronas procura la obtención de un estímulo ante una información recibida (Haykin 1999). Este tipo de representaciones abundan en la ingeniería de software como alternativa a los paradigmas convencionales de programación, y tratan de que el sistema posea capacidad de aprendizaje y procesamiento cognitivo. Las redes neuronales están formadas por un conjunto de neuronas artificiales interconectadas. Las unidades de proceso o neuronas se encuentran en una capa de entrada donde reciben la información y mediante una serie de funciones matemáticas se construye la respuesta (Haykin 1999). Las neuronas reciben la información, a modo de señales, de otras neuronas a través de las conexiones de la red, denominadas conexiones sinápticas, caracterizadas por su peso. La magnitud de este peso representa la fuerza y la eficacia con la cual la señal de salida de una neurona es transmitida a otra. Realmente la verdadera

inteligencia de la red reside en las conexiones de la propia red y las neuronas representan únicamente los puntos de recogida de información. La capacidad de aprendizaje de la propia red está ligada a las variaciones en los pesos sinápticos, administradas mediante diferentes reglas. Básicamente, las neuronas de la red se encuentran distribuidas en diferentes capas de neuronas, de manera que las neuronas de una capa están conectadas con las neuronas de la capa siguiente, a las que pueden enviar información. La arquitectura más usada en la actualidad de una red neuronal consistiría en:

- Una primera capa de entrada, que recibe información del exterior.
- Una serie de capas medias, encargadas de realizar el trabajo de la red.
- Una capa de salidas, que proporciona el resultado del trabajo de la red al exterior.

La Figura 2 muestra el diagrama básico de una red neural artificial señalando las capas que la componen.

En la técnica desarrollada se ha empleado una representación que referencia a un tipo específico de red neuronal, más concretamente a una red con topología recurrente, completamente conectada y autoasociativa que recibe el nombre de red de Hopfield (Hopfield 1982) en honor a su creador, John Joseph Hopfield. Este tipo de redes son similares a las topologías monocapa (Brown y Rothery, 1993) con la característica de que presentan conectividad total entre las diferentes neuronas. Aunque una red de Hopfield es monocapa, en esta analogía establecemos una disposición en la que la red presenta tres capas como los modelos usuales de representación, pero con la salvedad de que las neuronas en la capa principal (la capa media), presentan conexiones de salida

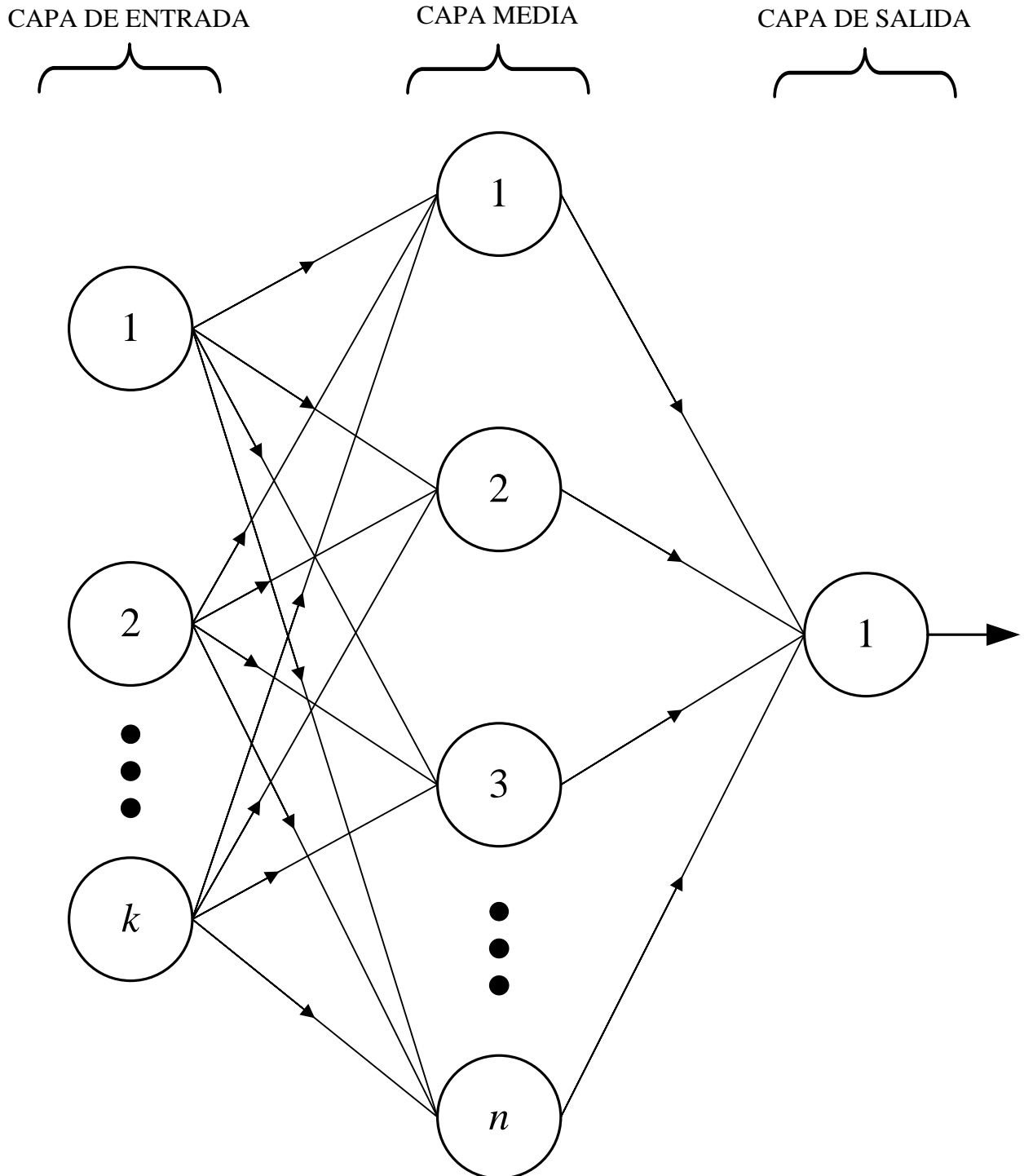


Figura 2. Diagrama general de una Red Neuronal Artificial.

hacia otras neuronas de esa misma capa. Esta diferencia equivale a que las neuronas de la capa media no procesan la información, hasta que alcancen un denominado estado de equilibrio (punto de equilibrio) en el cual los estados de las neuronas de la capa media ya no se vuelven a modificar (estado estable). Es decir, la capa media no procesa la información, en forma de patrón de activación o regla de evolución, hasta que alcance un denominado estado de equilibrio en el cual el patrón de activación de la capa media se mantiene estable y los estados de las neuronas de la capa media no cambian. Se generaría así un “recuerdo”, es decir, un patrón almacenado e invariable, fijos en la dinámica de la red aunque en ésta se siga aplicando la regla de evaluación.

Existen diferentes puntos de equilibrio en función de las diferentes combinaciones de activación / inactivación de las neuronas de la capa media. Además, a los estados de activación con una elevada probabilidad de alcanzar uno de los puntos de equilibrio se les denomina áreas de atracción. Debido a estas características, las redes de Hopfield se emplean como un modelo sencillo para explicar las asociaciones de ideas y recuerdos en las redes de neuronas. De este modo una idea parcial sería un estado de activación que formaría parte del área de atracción de una idea general, que a su vez constituiría el punto de equilibrio del área de atracción. Al introducir la idea parcial en la red, es posible alcanzar la idea general, es decir, el equilibrio. A su vez, como las áreas de atracción indican sólo una probabilidad (generalmente diferente de 1), se puede explicar también la incertidumbre que se produce en las asociaciones: una idea parcial, a pesar de tener alta probabilidad de desembocar en la idea general, puede desembocar también

en otras ideas diferentes que actúen a su vez como nuevos puntos de equilibrio. El modelo de red de Hopfield usado y adaptado se puede observar en la Figura 3.

Las redes de Hopfield

Las redes de Hopfield son redes cuyo objetivo principal es alcanzar soluciones (cuasi) óptimas a problemas que exigen tomar en consideración un gran número de demandas simultáneas. Partiendo de estados inestables o dinámicos intentan alcanzar estados estables donde la mayoría de las demandas sean satisfechas a la vez. Sus principales características son:

- a) La red está totalmente conectada, es recurrente y autoasociativa.
- b) La conexión es total excepto de una neurona sobre sí misma.
- c) Dado cualquier estado inicial deben converger hacia un estado estable.
- d) Los pesos de las conexiones son precalculados y prealmacenados mediante la regla de Hebb (Hebb 1949, 2002).
- e) Los pesos asociados a las conexiones entre pares de neuronas son simétricos, lo que significa que el peso de la conexión de una neurona i con otra neurona j es de igual valor que el de la conexión de la neurona j con la neurona i .
- f) Las iteraciones convergen hacia una solución que minimiza una función de energía de la red.
- g) La retroalimentación tiene la función de propiciar que los estados se puedan actualizar iterativamente. La red es recurrente.

h) Funciones de activación booleana de umbral (cada unidad puede tomar dos estados, 0 o 1, dependiendo de si la estimulación total recibida supera determinado umbral) (McCulloch y Pitts 1943).

Ante la presentación de un estímulo nuevo se obtendrá una configuración inicial más o menos parecida a alguno de los estímulos almacenados, el sistema evolucionará hasta caer en una configuración estable que representa el recuerdo asociado a ese estímulo, de ahí su carácter autoasociativo.

Para almacenar dicho recuerdo se ha de lograr que la presentación del patrón de entrada lleve a la red a alcanzar un punto fijo. Este aprendizaje depende de la interrelación de los patrones que se desea memorizar, aplicando para ello el desarrollo de la regla de Hebb (Hebb 1949). Si la configuración inicial discrepa mucho de los recuerdos almacenados podemos alcanzar algún mínimo que no se corresponde a ningún recuerdo almacenado, recuperando en ese caso una información espuria, o podríamos no alcanzar ningún mínimo, quedando el sistema inestable.

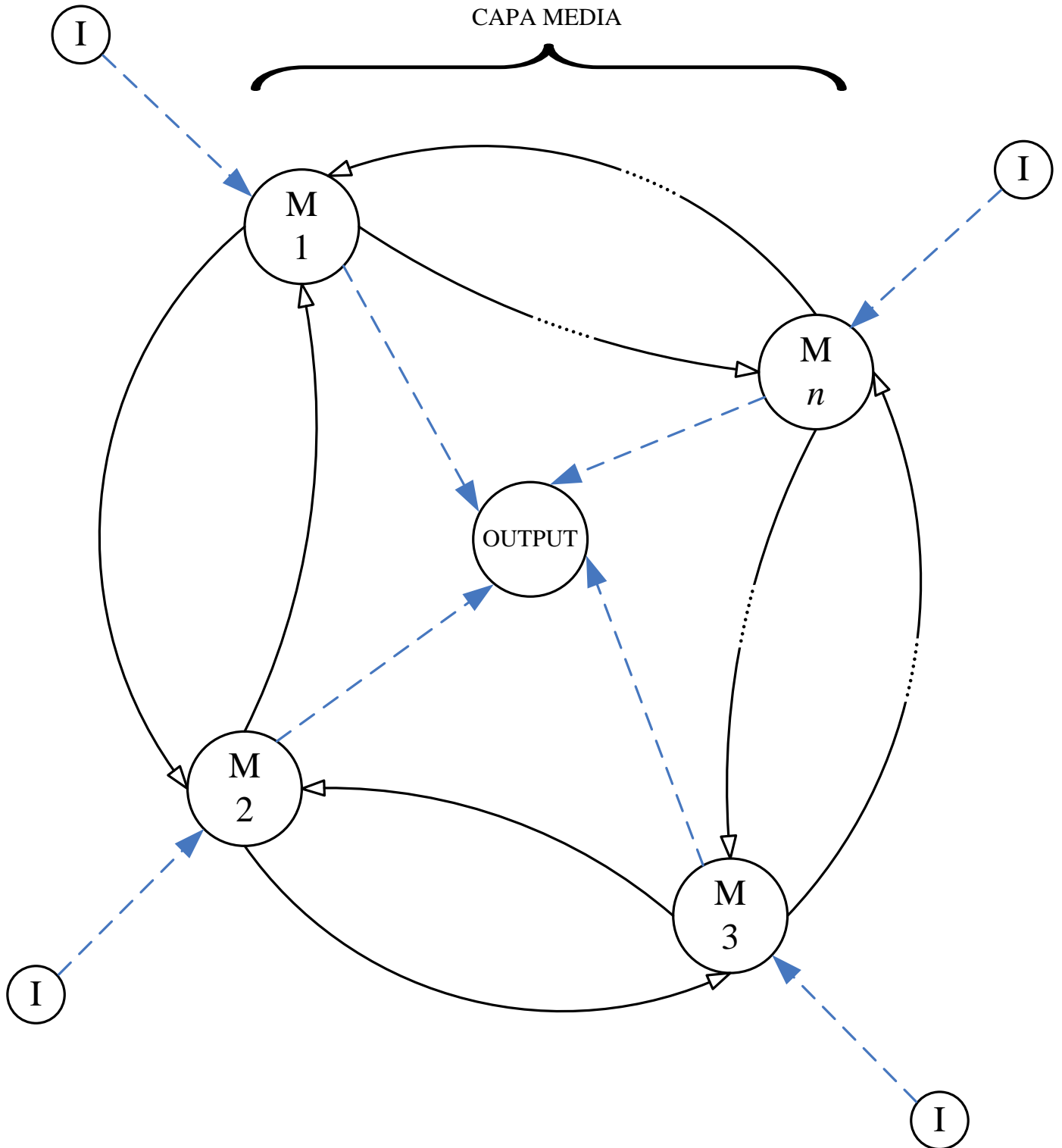


Figura 3. Diagrama de la red de Hopfield.

3.2. Red discreta, red continua y red cuantificada

Dentro de las redes de Hopfield, existen básicamente, dos modelos diferenciados en función de los valores de los estados de sus neuronas en la red. Si estos valores son binarios o bipolares, hablaremos de redes discretas, mientras que, si son valores continuos dentro de unos rangos determinados, hablaremos de redes continuas (Hopfield 1984, Hopfield y Tank 1985).

- Red discreta de Hopfield. Es la más conocida. Definida por Hopfield (Hopfield 1982), es una red que trabaja con valores discretos que sean binarios o bipolares (0/1 o -1/1) y su función de activación es de tipo escalón.
- Red continua de Hopfield. Es el resultado de posteriores trabajos, fue definida por Hopfield (Hopfield 1984, Hopfield y Tank 1985). A diferencia de la red discreta, las neuronas de la red continua toman valores continuos y reales pertenecientes a los rangos $[0,1]$ o $[-1,1]$. Su función de activación es de tipo sigmoide, dependiendo su expresión final del rango de valores seleccionados.

Por sus características, las redes de Hopfield poseen una gran utilidad en la resolución de problemas de optimización combinatoria, especialmente aquellos cuyos valores sean binarios (problemas 0-1 combinatorios). Sin embargo, para la resolución de problemas combinatorios con valores enteros, tanto las redes discretas como las continuas, tienen que emplear métodos de programación compleja (Takeda y Goodman 1986). En estos métodos, por ejemplo, cada variable entera se representa mediante un conjunto de neuronas binarias o continuas, ocasionando que la resolución del problema implique un aumento tanto del número de neuronas como del consumo de recursos. Debido a esto y

para corregir esos inconvenientes, en los últimos años se ha desarrollado un nuevo modelo de red de Hopfield, denominada red cuantificada (Matsuda 1993, 1999) (*quantized Hopfield nets*), basada en que cada una de sus neuronas, llamadas *quantized neurons*, puede tomar cualquier valor cuantificado (por ejemplo un número entero), en lugar de valores binarios o continuos. El estado de las *quantized neurons* puede adoptar cualquier conjunto de valores, discretos o continuos, dependiendo del número de cuantificación (*number of quantization*) (Matsuda 1993, 1999, 2000, Bousoño-Calzón y Salcedo-Sanz 2004). Así, una red cuantificada, si su número de cuantificación (*number of quantization*) es dos, es análoga a una red discreta binaria (0-1), y si ese número es infinito, a una red continua. Por todo ello, una de las ventajas de este tipo de redes radica en que el estado de sus neuronas puede adoptar más de dos valores (redes binarias) sin que estos valores sean continuos (redes continuas). Por ejemplo, si el número de cuantificación fuese tres, el estado de la neurona podría adoptar tres valores discretos distintos.

3.3. Regla de aprendizaje de Hebb

Para lograr resultados, la red debe aprender, es decir, reajustar sus pesos sinápticos. Este aprendizaje depende de la interrelación de los patrones que se quiera memorizar aplicando para ello la regla de Hebb (Hebb 1949, 2002). Se suele conocer con ese nombre por su similitud con la hipótesis hecha por Hebb en 1949 acerca de la manera en que las fuerzas sinápticas en el cerebro cambian como respuesta a la experiencia (estímulos externos). Hebb observó que las conexiones sinápticas entre dos neuronas se

reforzaban si ambas neuronas eran activadas simultáneamente, debilitándose en caso contrario. Así, coincidencias entre las actividades de entrada y de salida en dos neuronas conectadas incrementarían el peso de esta conexión. Estos postulados derivaron en una regla de aprendizaje, denominada aprendizaje hebbiano que describe una manera de reajustar el peso de una conexión sináptica en función de la correlación de los valores de las neuronas que conecta. De este modo, si los valores o estados de dos neuronas conectadas son los mismos se reforzará su peso sináptico. Si son diferentes, el peso se debilitará.

Esta idea intuitiva se puede implementar computacionalmente de varias maneras, por ejemplo, en el caso de neuronas que tomen valores de 1 y -1, el cambio de este peso será proporcional al producto de los estados de ambas neuronas, por lo que, el peso se verá incrementado cuando los estados de ambas sean iguales 1 o -1 ($1 \cdot 1 = 1$, $-1 \cdot -1 = 1$), y se verá disminuido cuando los estados sean distintos ($1 \cdot -1 = -1$, $-1 \cdot 1 = -1$).

Este tipo de aprendizaje se denomina no supervisado, pues reajusta los pesos de las conexiones sinápticas sin la necesidad de introducir valores de entrada estipulados. Es la propia dinámica de la red la que reajusta los pesos en función de su grado de aprendizaje y los recuerdos en su memoria.

3.4. El porqué de la elección de las redes de Hopfield

La elección de las redes de Hopfield para gobernar el proceso de la nueva técnica no es aleatoria, sino que responde a una de sus principales cualidades. Estas redes son capaces de reconstruir información inconexa a partir de sus propios recuerdos (Hopfield 1982,

1984, Stiefvater *et al.* 1993, Coombest y Taylor 1994) Imaginemos eso mismo aplicado al mundo del diseño. En un sistema de toma de decisiones montado sobre una plataforma gestionada por una red autoasociativa de Hopfield, ante la necesidad de obtener una solución de diseño, en el sistema introduciríamos una serie de informaciones totalmente heterogéneas e independientes entre sí que constituirían la representación de los múltiples factores que intervienen en los procesos del diseño clásico. La red sería capaz de aunar todas estas informaciones y obtener a partir de su propia memoria una serie de soluciones estables, es decir, recuerdos estables que aseguran el éxito en el diseño. Por ello contar con un modelo robusto del sistema de red neuronal en el mundo del diseño resultaría realmente interesante, pues la red aprendería en cada nuevo proyecto, reduciendo las posibilidades de un impacto negativo en los diseños.

*“Todo lo que llevo dentro
está ahí fuera”*

Gerardo Diego

CAPÍTULO IV

MODELO DE REPRESENTACIÓN NEURONAL DE LA NUEVA TÉCNICA

4. Modelo de representación neuronal de la técnica propuesta

El desarrollo de la nueva técnica de evaluación se inspira en la arquitectura de las redes de Hopfield cuantificadas basándose, a su vez, en la regla de aprendizaje de Hebb. No se utilizan todas las características y aspectos de las redes neuronales, sino sólo aquellos que son más factibles de aplicar al diseño, como su capacidad para gestionar el proceso de evaluación y selección de alternativas.

En el modelo de representación de la técnica propuesta, las neuronas de la red van a estar materializadas por perspectivas y nodos. Las perspectivas, a su vez, se representarán mediante expertos en una materia o área de conocimiento específica. Las N perspectivas/expertos elegidas recogen y agrupan diferentes factores y tendencias de diseño. La distribución de capas en la red es la siguiente, estableciendo analogías con la red de Hopfield de la Figura 3:

- Capa de Entrada: Es la formada por los nodos de entrada que introducen la información en la red.
- Capa Media: Constituida por las N perspectivas/expertos y sus respectivos N nodos de gestión ($N=5$ en la Figura 4). Es la capa principal, por lo que tal y como enuncian las redes de Hopfield, en esta capa se debe alcanzar un estado de equilibrio antes de llegar a una decisión final en el diseño.
- Capa de Salida: Donde el nodo de salida recibe la información de los nodos de gestión y se toma la decisión final en el diseño.

La Figura 4 establece la analogía esencial de la técnica propuesta con una forma en red neuronal recurrente tipo Hopfield (Hopfield 1982) donde los enrutamientos son unidireccionales, cuando se encuentra una solución, o bidireccionales, cuando se busca una solución, dentro de un marco gestionado por las perspectivas/expertos y sus correspondientes nodos de gestión.

La capa de entrada, recoge la información que proviene del proceso, sistema y entorno de actuación mediante los nodos de entrada de información que la transmiten inmediatamente hacia la capa media. No hay por qué alcanzar un equilibrio en la capa de entrada pues su labor es únicamente recibir y enviar los datos. La comunicación entre las perspectivas/expertos es necesaria pues la información que se toma puede derivarse a través de las diferentes perspectivas, al ser el diseño una actividad indeterminada y en la que la afectación de factores no resulta medible. Cuando se desarrolla un proyecto de diseño, escoger los medios y maneras de recopilar la información constituye un punto

importante del mismo. En la técnica propuesta se sientan estos medios y maneras en torno de las N nodos de entrada de información ya comentados.

La capa media es la capa principal, donde se realiza la mayor parte del procesado, en ella se encuentran las cinco perspectivas/expertos con sus correspondientes nodos de gestión. Cada uno de los nodos mantiene una sola conexión con la capa de salida pero presenta conectividad total con todos los demás nodos de la capa media, lo que posibilita la comunicación entre ellos. Estos nodos son concentraciones de información a modo de base de datos físicas donde se procesa, evalúa y almacena la información proveniente del desarrollo y discusión del diseño, es decir, el proceso iterativo de toma de decisiones por parte de las N perspectivas/expertos. A lo largo del proceso neuronal, cada perspectiva/experto de la capa media se comunica con las demás a través de su nodo de gestión. El nodo realiza la función de gestionar el flujo de información, sin embargo, es la perspectiva/experto quien se encarga de valorar la información entrante y saliente de su nodo de gestión. El proceso neuronal se transforma en una confrontación y asociación sucesiva de ideas provenientes de cada una de las perspectivas/expertos y referidas a la solución buscada para el problema planteado inicialmente desde la capa de entrada. Este problema será analizado por cada perspectiva, que tomará decisiones y propondrá soluciones. Cada perspectiva, pues, generará un conjunto de datos heterogéneos que derivará hacia los nodos de gestión. Todavía esos datos no han sido procesados, será la conectividad total de los nodos la que posibilite el procesamiento en red de la información. La información se transmite entre los nodos en función del tipo de red Hopfield que se emplee. En este caso, se debería

emplear una red de Hopfield cuantificada debido a la complejidad de la información a procesar en la red. Los datos podrían adquirir varios valores enteros.

A través de estos nodos de gestión las soluciones planteadas por cada perspectiva son evaluadas en la red y reinterpretadas en el ciclo neuronal. Todo genera un nuevo conjunto de datos, reflejado en cada nodo de gestión. Este conjunto de datos, ya procesado, si debe alcanzar un equilibrio para avanzar hacia la capa de salida donde tendrá lugar la última etapa de diseño de detalles y, consecuentemente, el resultado final. Como hemos reseñado acerca de las redes de Hopfield, existirán diferentes estados de activación representados en áreas de atracción que recogerán a aquellos estados cuya probabilidad de desembocar en puntos de equilibrio sea mayor. Los estados de activación de la capa media se basarán en la experiencia. Es decir, los datos de partida, análogos a las ideas parciales, podrán alcanzar un concepto idóneo de diseño o idea general siguiendo el símil, mediante la interacción de los nodos de gestión de la capa media. La evolución de esta interacción se gestiona con algoritmos de aprendizaje de tipo hebbiano.

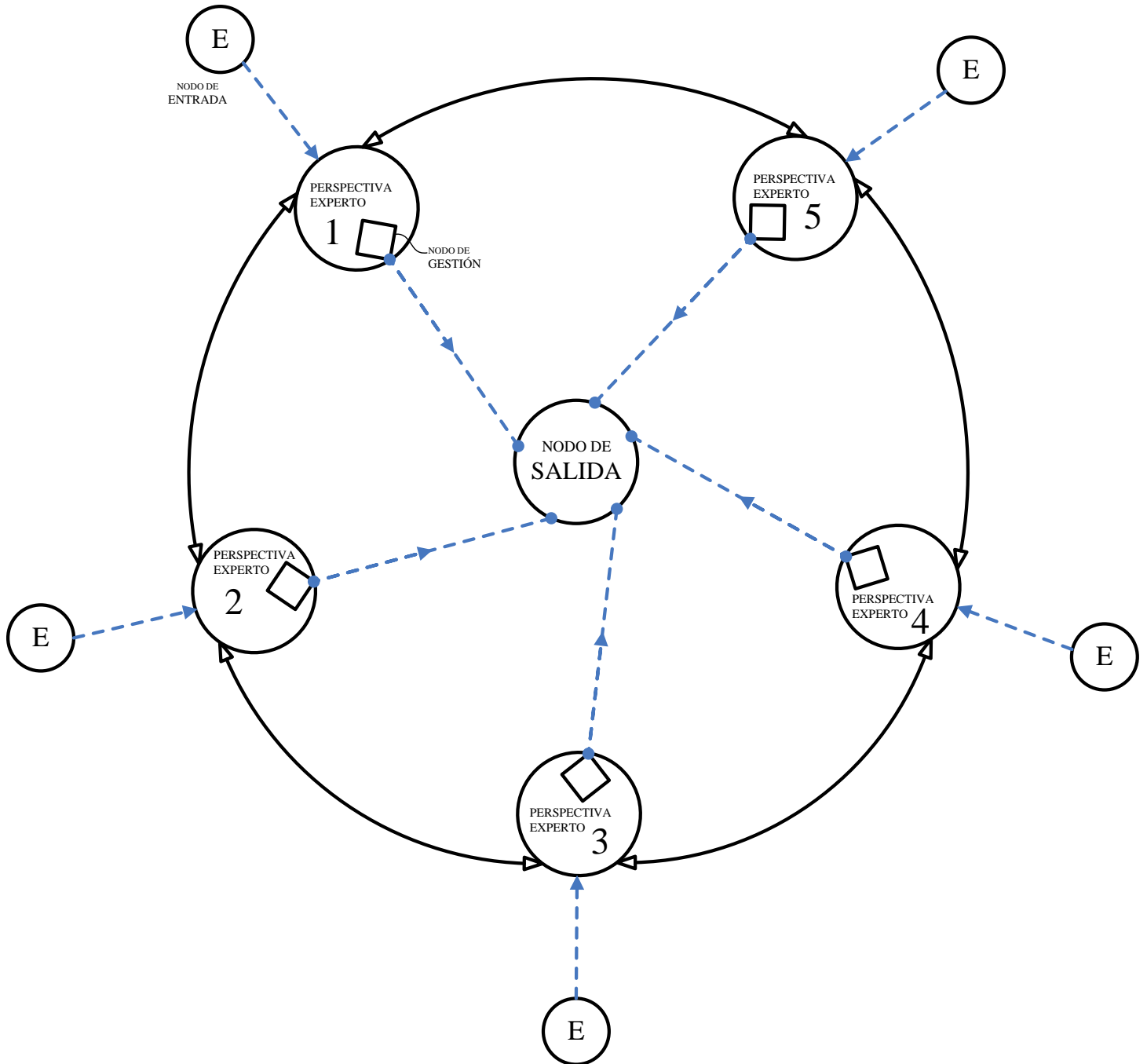


Figura 4. Diagrama de la técnica propuesta en su representación como red neuronal, donde se observan las analogías con las redes recurrentes de Hopfield.

Los estados o valores de los nodos de gestión son modificados por parte de los participantes del diseño, en este caso cada una de las perspectivas/expertos, que en virtud de la experiencia acumulada y contrastando esa experiencia con los datos almacenados, integran en el nodo una actualización cíclica de los datos que afecta al conjunto de nodos de gestión y generan evoluciones implícitas hacia el estado de equilibrio. Este proceso posee memoria y capacidad de aprendizaje además de un marcado carácter autoasociativo, pues en cada ciclo, los nodos de gestión acumulan información, y esta información puede ser empleada por cada perspectiva para actualizar los datos del nodo basándose en los resultados anteriores. La capa media mediante los nodos de gestión aporta la memoria de procesos, variaciones y consecuencias de los aportes, giros y modificaciones en los diseños, fundada en un sistema de bases de datos participativo. La red con esta memoria física presente es capaz de aprender afinando las directrices de actuación que aporta el experto (o grupo de expertos) mediante decisiones básicamente booleanas. La evolución del diseño no cesa nunca, y reacciona con anteriores versiones de sí mismo para lograr una combinación final, en el momento en el cual la capa media alcance su estado de equilibrio y se transmita hacia la capa de salida. Además, los nodos quedarán activados, lo que significa que una vez fijado un diseño, el estado de equilibrio de la capa se mantiene y la realimentación del sistema se consuma, abriendo la posibilidad de la inclusión de futuras alteraciones durante el ciclo de vida del producto.

4.1. El modelo espacial de la red

Por razones didácticas, hasta ahora se ha presentado el esquema más simple de la técnica propuesta basado en una única red neuronal de Hopfield. Sin embargo, el desarrollo completo de la metodología requiere el empleo de varias redes de Hopfield simultáneas debido a las propias características de sus perspectivas que les permiten desempeñar diferentes funciones. Hay que notar, que cada perspectiva/experto posee dos modos diferenciados de interactuar con la red. Uno, es su capacidad para aportar propuestas al problema, el otro su capacidad para evaluar las otras propuestas al mismo problema realizadas por las otras perspectivas/expertos. Así pues ante un problema dado, cada perspectiva/experto propondría una posible solución que sería transmitida desde su nodo de gestión a los nodos de las otras perspectivas.

Por lo que, en primer lugar hay que constituir N redes locales simultáneas de evaluación donde se evaluarían las propuestas de cada perspectiva/experto. El resultado de estas N redes locales se transmitiría de nuevo a cada uno de los N nodos de gestión de partida, que pasan entonces a formar parte de una red global de decisión donde se procesaría la solución final. La sinergia de las diferentes redes neuronales desarrolla una red de redes, la red global de decisión, cuyo procesado determina la solución final. Esta solución es la combinación de los resultados generados por las perspectivas/expertos desempeñando diferentes funciones en diferentes momentos y en redes también diferentes.

En la Figura 5 se muestra la disposición espacial de la técnica propuesta basada en varias redes neuronales simultáneas, donde se puede observar como una

perspectiva/experto va alternando su pertenencia a las diferentes redes de evaluación y a la red global de decisión, variando únicamente su función. El modelo neuronal de la técnica se basa en esta capacidad de las perspectivas/expertos para adaptarse a distintas redes de Hopfield. Cada perspectiva actúa como una neurona que pertenece simultáneamente a redes diferentes con funciones diferentes, pero todas ellas gobernadas por un proceso global que las relaciona y complementa. Cada red, local o global, mantiene las propiedades de las redes de Hopfield y su labor es independiente de la variación de las funciones de cada perspectiva/experto.

Para un buen funcionamiento de la técnica es necesario utilizar este modelo espacial de redes de Hopfield. Debido a sus características y al carácter heterogéneo de la información que debe tratar resulta difícil adaptar la metodología propuesta a una disposición con una única red. En los apartados 5 y 6 se podrá observar con mayor detalle esta disposición espacial, cuando se describa el método a través del ejemplo práctico.

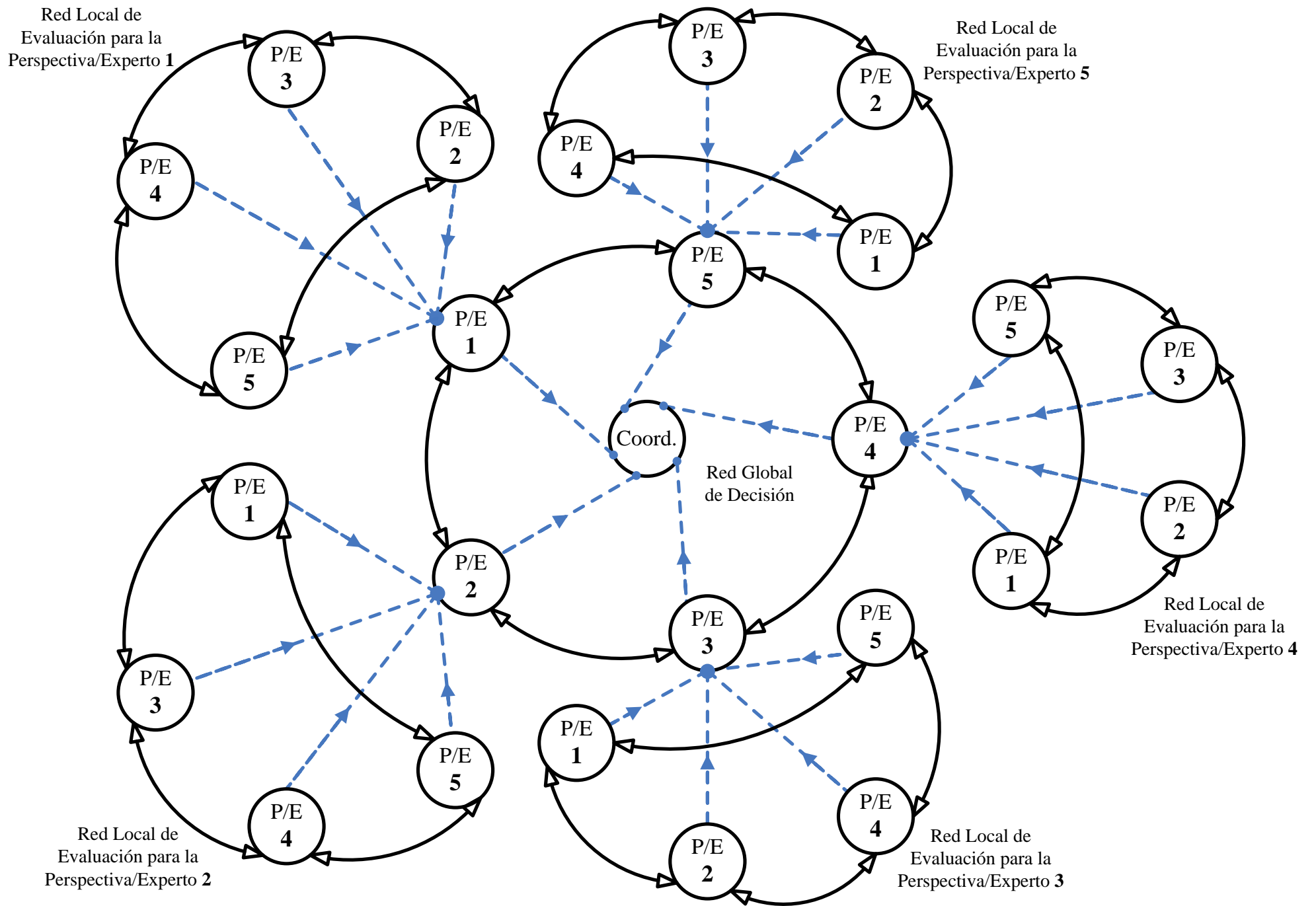


Figura 5. Disposición especial de la técnica propuesta basada en varias redes neuronales simultáneas, donde P/E i = Perspectiva/Experto i, y Coord = Coordinador (como neurona de salida).

*“La filosofía cortará las alas de un
ángel, conquistará todo los misterios
con la regla y la línea, vaciará el aire
encantado y la mina llena de
gnomos... Destejará un arco iris.”*

John Keats

CAPÍTULO V

LA TÉCNICA DE EVALUACIÓN PROPUESTA

5. La técnica de evaluación propuesta

Para la primera realización práctica de la técnica propuesta, la teórica inteligencia artificial del modelo de realización mostrado ha sido sustituida por una técnica experimental que intenta representar el comportamiento de la red a través de un sistema de tarjetas combinado con un software de cálculo. Los resultados, aunque no serán tan rápidos y efectivos como los que se podrán obtener con una implementación computacional completa de la nueva técnica, aportan suficiente información sobre los avances y mejoras inherentes a la aplicación de la técnica.

El sistema de tarjetas empleado en el ejemplo posee analogías con el sistema explicado por Ilse van Kesteren *et al.* (2007, 2008) en un reciente artículo en el que se propone un sistema de tarjetas de información para evaluar la selección de materiales en proyectos de diseño y, también, por el sistema usado por Vidal *et al.* (2004) en métodos de resolución creativa de problemas dentro de grupos de diseño.

Las tarjetas actuarán como conexiones neuronales y enlazarán las diferentes perspectivas, sirviendo como soporte al flujo de información. Para el procesamiento de toda esta información se ha programado una hoja de cálculo (Microsoft Excel®). La técnica experimental procura establecer paralelismos con el desarrollo propuesto. Intenta minimizar los errores favoreciendo la comunicación y formación de las distintas redes de Hopfield, soporte de conocimiento de la nueva técnica. Esta técnica está formada por perspectivas/expertos que se comunican entre sí y realizan diferentes funciones. Estas funciones son dos: proponer y evaluar. Una perspectiva/experto propone cuando, ante el planteamiento de un problema en la red, el experto busca y describe una posible solución al mismo. Por otra parte, una perspectiva/experto evalúa cuando califica las propuestas que realiza otra al problema que corresponde resolver en la red a la que pertenecen. Por eso, ante el planteamiento de un problema a resolver en la red, los expertos comenzarían proponiendo soluciones, para luego ir calificando cada una de ellas, excepto las propuestas por ellos mismos.

Las propuestas de las perspectivas/expertos forman la base con la que comenzará el procesado en la red. La solución final del problema se determinará con una combinación de dos procesos, uno en el que cada propuesta es evaluada y otro en el que interactúan las propuestas una vez evaluadas. Se divide entonces la resolución del problema, y, por lo tanto, las redes de Hopfield encargadas de servir de soporte también se dividen en dos tipos: un tipo de redes locales de evaluación donde las propuestas de cada perspectiva/experto son evaluadas por las demás, y una red global de decisión en la que todas las perspectivas/expertos, con sus propuestas ya evaluadas, determinan la

solución final al problema, como la combinación más óptima de sus soluciones particulares propuestas. Cada perspectiva/experto forma parte de esta red global, pero también de sucesivas redes locales, cuyos resultados, serán los estados finales de cada experto en la mencionada red global. Para la técnica experimental, se ha simulado una red global asociada a las redes locales de cada experto de manera que se alternan las funciones que posee cada perspectiva/experto (proponer y evaluar), en etapas y tiempos distintos. Mientras que en la técnica propuesta, la constitución de nuevas redes se hacía de modo simultáneo, en la técnica experimental que ahora proponemos, ésta se hará de modo secuencial, respetando todas las demás características. Con ello, conseguimos igualmente las capacidades inherentes a toda red de Hopfield, como la recurrencia, la conectividad total y el carácter asociativo. Otras características reflejadas en los apartados de teoría no se consideran en esta primera implementación. Se procura mostrar mediante la técnica experimental, el sentido físico de las redes de Hopfield y su enorme utilidad para la implementación de la nueva técnica. No se muestra todavía el funcionamiento definitivo de una técnica basada en redes de Hopfield, procurando trazar sólo los patrones de comportamiento, funcionalidad, estructura y resultados mediante el empleo de unos recursos sencillos.

De esta manera las neuronas que en las redes de Hopfield realizaban labores de proposición y evaluación se han sustituido, en la técnica experimental, por expertos en el tema que representa a la perspectiva correspondiente. Las conexiones sinápticas y el flujo de información se recogen en este caso mediante el empleo de unas tarjetas debidamente diseñadas, y la gestión y control de la red la realiza el gestor del sistema, en

este caso, un coordinador. El coordinador desempeña además la labor de una neurona, en este caso como la única neurona en la capa de salida de la red global de decisión, donde su función es recoger la salida del proceso. Esta salida son los resultados del proceso, y, el coordinador es el encargado de analizarlos y valorarlos en último término. Además, esta solución proviene de un sistema que obliga a la información a revisarse, que no establece soluciones puntuales o intermedias sino soluciones globales, y que posee capacidad de aprendizaje en cuanto las distintas iteraciones acumulan experiencia en la red, experiencia que pasa a formar parte del conocimiento del experto, y, por lo tanto de la red en la que se incluye.

Pasemos entonces a la exposición de la técnica experimental. La técnica es un proceso secuencial (ver Figura 6) en el que se desarrollan diferentes ciclos de propuestas y evaluación de las mismas. A su vez, cada ciclo está compuesto por una serie de etapas secuenciadas. En cada ciclo habrá una iteración entre las diferentes perspectivas/expertos, lo que generará una solución por ciclo. De la valoración de esta solución, según una función de umbral apropiada, dependerá la puesta en marcha de un nuevo ciclo de iteraciones.

5.1. Identificación de participantes y parámetros

Antes de comenzar el proceso quedarán determinadas todas las perspectivas/expertos que participan en la técnica experimental además de sus funciones y responsabilidades. Estos participantes escogidos para el ejemplo práctico elegido, con sus respectivos índices identificativos, serán:

1. Diseño Centrado en el Usuario.
2. Reducción de Partes.
3. Minimización de Tiempos.
4. Integración de Innovaciones.
5. Creación de entornos Do-it.

Cada uno de estos cinco expertos representa a una neurona involucrada en el sistema de redes de Hopfield que componen la nueva técnica, por lo que tendrá funciones de procesado en el sistema. Estas funciones establecidas eran las de proponer y evaluar soluciones. Además, al actuar como neuronas, poseerán todas las características inherentes a este tipo de entidades dentro de una red neuronal estando conectadas entre sí, lo que se logra en la técnica experimental a través del uso de tarjetas.

Tienen asociado a cada conexión, un peso relativo (W_{ij}), que representa la afinidad y correlación que existe entre las perspectivas/expertos i y j . Además, las perspectivas poseen dos estados diferenciados: un estado local en las redes locales de evaluación (l_i) y un estado global en la red global de decisión (s_j). Por lo que los estados de las perspectivas/expertos varían en función de la red a la que pertenezcan en cada instante. Así, si un experto pertenece a una red local de evaluación, sus estados pueden ser tres: A_p (Aceptar Propuesta) que significa aprobar la propuesta que el experto evaluado realiza, M_p (Modificar Propuesta) para proponer al experto evaluado que rectifique su propuesta y R_p (Rechazar Propuesta) para anular la propuesta del experto evaluado. Si pertenece a la red global de decisión, su estado es similar, pero con matices distintos, pues en esta red es donde se valora la solución. Sus estados serían: A_s

(Aceptada Solución) cuando las perspectivas/expertos hayan aceptado la solución, M_s (Modificar Solución) cuando el resultado de la red de evaluación sea la de proponer la modificación de la solución y R_s (Rechazada Solución), si la solución ha sido rechazada. Inicialmente todas las neuronas estarían en los estados M_p y M_s , respectivamente.

El coordinador, en su labor de actuar como la única neurona en la capa de salida de la red global, poseerá un estado global (S_G) en la red global de decisión, que se actualizará según valores de umbral que se verán más adelante.

En el caso de las redes de la técnica presentada cobra relevancia también el concepto de peso global (W_{Gi}) asociado a cada neurona, y que mide la importancia que cada una de las perspectivas/expertos posee en la red global ante el problema en estudio, o lo que es equivalente su peso respecto del coordinador, como neurona de salida (ver Sección 4).

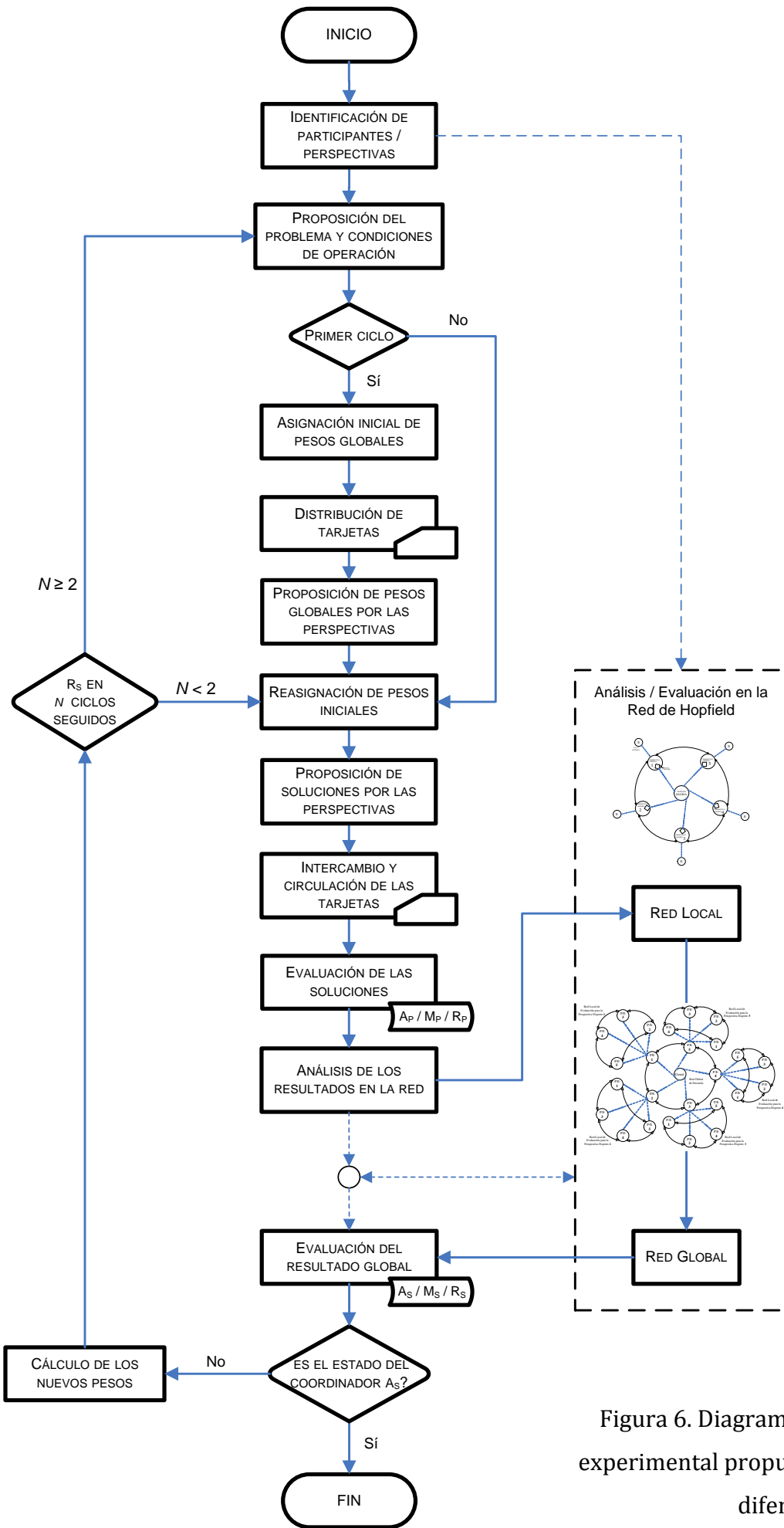


Figura 6. Diagrama del proceso de la técnica experimental propuesta, donde se muestran sus diferentes etapas.

Lista de notación

w_{ij} peso relativo entre las perspectivas/expertos i y j

w_{Gi} peso global de la perspectiva/experto i ante el problema expuesto, o peso entre el experto i y el coordinador

l_i estado local de la perspectiva/experto i en una red local de evaluación

s_i estado global de la perspectiva/experto i en la red global de decisión

s_G estado global del coordinador en la capa de salida de la red global de decisión

e_i resultado de las evaluaciones que recibe la perspectiva/experto i en la red local de evaluación

r_G resultado global obtenido en la red global de decisión

N número de perspectivas/expertos participantes, que coincide también con el número de redes locales

A_p, M_p, R_p aceptar propuesta, modificar propuesta, rechazar propuesta (en red local de evaluación)

A_s, M_s, R_s aceptada solución, modificar solución, rechazada solución (en red global de decisión)

Una explicación pormenorizada de cada una de las perspectivas/expertos se ha realizado en el Anexo I.

5.2. Etapas del proceso

A continuación describiremos cada etapa del proceso. Las etapas iniciales (1-5) sólo se realizarán una única vez, al comienzo del proceso.

Como apoyo al coordinador para el cálculo de valores en las etapas que lo requieren, se ha utilizado la hoja de cálculo programada (Microsoft Excel®).

Etapa 1: Planteamiento del problema

Inicialmente el coordinador plantea el problema que pretende resolver en la red. Este problema será descrito con todo detalle y recogerá toda la información relevante del diseño o rediseño. El problema quedará reflejado en una tarjeta de información, denominada Tarjeta del Problema.

Todos los participantes son informados que la técnica presentada va a medir los grados de compenetración e integración de cada participante en el equipo, por lo que para que sus propuestas tengan peso e influencia en la solución final deben esforzarse en cooperar y facilitar que la jerga de su área de conocimiento sea entendida por los otros participantes, y a su vez tratar de entender la jerga de los otros expertos.

Etapa 2: Asignación inicial de pesos globales por el coordinador

Los pesos globales (W_{Gi}) representan la importancia que cada una de las perspectivas/expertos posee en la red global de decisión ante el problema expuesto. Miden, pues, la influencia y relevancia de las valoraciones de cada perspectiva/experto ante el problema planteado. Su valor corresponde al peso que cada una de las

perspectivas/expertos posee respecto del coordinador, ya que éste también actúa como una neurona en la capa de salida, la que recibe el resultado. La asignación inicial de estos pesos globales la realiza el coordinador ($w_{Gi}^{\text{coordinador}}$), que en función de su experiencia en el tema, el problema a resolver y sus conocimientos, asigna los valores de estos pesos globales.

Etapas 3: Reparto de tarjetas

Al principio de la técnica experimental se reparten una serie de tarjetas, todas incluidas en carpetas, que serán particulares y personalizadas para cada perspectiva, representadas en este caso por una serie de expertos. Habrá tantas carpetas como perspectivas/expertos. Cada carpeta contendrá:

- Tarjeta del Problema – Tarjeta que contiene la exposición del problema que se pretende resolver.
- Tarjeta de Propuestas – Tarjeta en la que cada perspectiva/experto expone su solución al problema presentado. En esta tarjeta, las perspectivas/expertos también escribirán sus valoraciones acerca de la solución planteada en la tarjeta.
- Tarjeta supletoria – Tarjeta empleada ante las necesidades de espacio suplementario que necesiten las perspectivas/expertos en sus anotaciones.

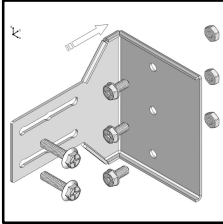
Se reparten 5 carpetas, una por cada perspectiva/experto. En cada carpeta, la única tarjeta cubierta será la Tarjeta del Problema donde aparece reflejado el problema a resolver en todo detalle (Figura 7). Esta tarjeta es meramente informativa y no puede ser modificada por ninguna perspectiva/experto, solamente por el coordinador. La

Tarjeta de Propuestas contiene un resumen del problema además de los pesos globales que las perspectivas/expertos poseen en la red global de decisión (Figura 8). En esta tarjeta es donde cada perspectiva/experto anota su solución, solución que posteriormente será evaluada, por el resto de las perspectivas/expertos, mediante anotaciones en esta misma tarjeta.

Etapa 4: Proposición de pesos globales por parte de las perspectivas/expertos

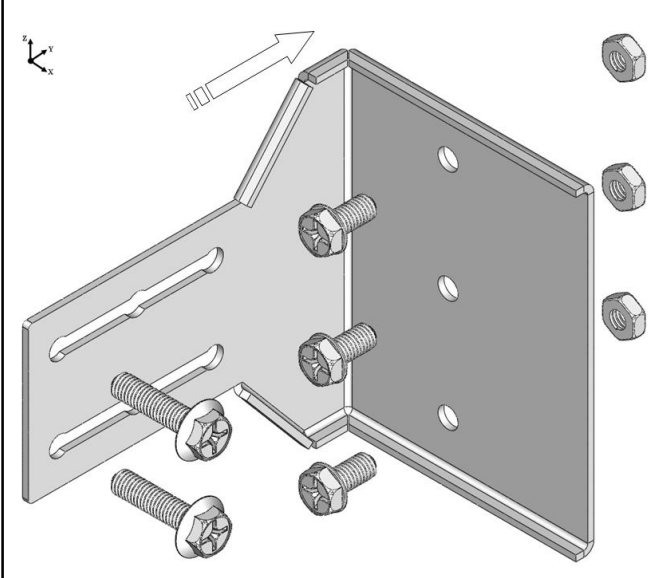
Las perspectivas/expertos tienen la posibilidad inicialmente de proponer su peso global ($w_{Gi}^{\text{perspectiva}}$), en contraposición con aquel que el coordinador les ha asignado. Este peso global propuesto permite al coordinador tener en cuenta la opinión que cada perspectiva tiene sobre la importancia que sus propios conocimientos y experiencia puede tener en la búsqueda de una solución al problema expuesto. Este peso también se tendrá en cuenta por parte del coordinador a la hora de realizar las evaluaciones. Sólo se permitirá una asignación inicial por problema a resolver.

TARJETA DEL PROBLEMA



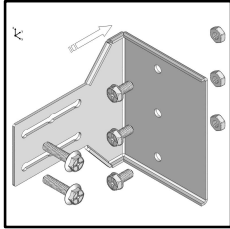
Breve Descripción del Problema: _____

Descripción del Problema: _____



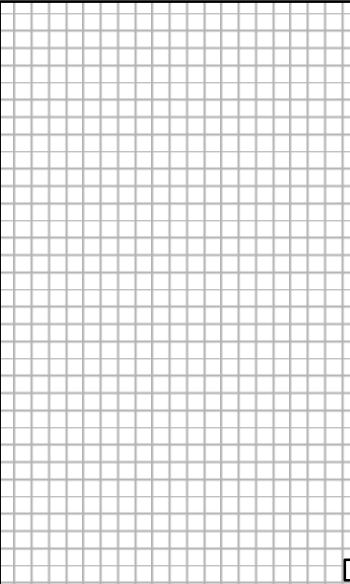
Descripción Técnica:

Figura 7. Ejemplo de Tarjeta del Problema con las diferentes zonas donde el coordinador describe la naturaleza del problema a resolver.



Descripción del Problema: _____

Soluciones Propuestas: _____



Peso Asignado:	Peso Propuesto:	Estado Global:	A_s	Aceptada Solución	M_s	Modificar Solución	R_s	Rechazada Solución
----------------	-----------------	----------------	----------------------	-------------------	----------------------	--------------------	----------------------	--------------------

Reducción de Partes →

A_p <small>Aceptar</small>	M_p <small>Modificar</small>	_____
R_p <small>Rechazar</small>		_____

Minimización de Tiempos →

A_p <small>Aceptar</small>	M_p <small>Modificar</small>	_____
R_p <small>Rechazar</small>		_____

Integración de Innovaciones →

A_p <small>Aceptar</small>	M_p <small>Modificar</small>	_____
R_p <small>Rechazar</small>		_____

Entornos Do-it →

A_p <small>Aceptar</small>	M_p <small>Modificar</small>	_____
R_p <small>Rechazar</small>		_____

Figura 8. Ejemplo de Tarjeta de Propuestas donde la perspectiva/experto evaluada es Diseño Centrado en el Usuario y las perspectivas/expertos evaluadoras son Reducción de Partes, Minimización de Tiempos, Integración de Innovaciones y Entornos Do-it. Cuando una perspectiva/experto necesita más espacio para sus comentarios debe marcar la casilla (☐→) y continuar en una Tarjeta Supletoria.

Etapa 5: Reasignación de pesos iniciales

Los pesos globales iniciales que se van a utilizar serán combinación de los asignados por el coordinador y los propuestos por cada perspectiva. De esta manera el peso global de cada perspectiva a utilizar en el primer ciclo se calcula como:

$$w_{Gi}^{\text{primero}} = \nu \cdot w_{Gi}^{\text{coordinador}} + \nu \cdot w_{Gi}^{\text{perspectiva}} \quad (1)$$

donde, $w_{Gi}^{\text{coordinador}}$ es el peso global asignado por el coordinador a la perspectiva i al comienzo del proceso y $w_{Gi}^{\text{perspectiva}}$ es el peso global propuesto por la perspectiva i para sí mismo. Los coeficientes ν y ν son factores de ponderación, los cuales permiten controlar la influencia de cada término en la determinación del peso global inicial. La suma de estos factores debe ser uno are ($\nu + \nu = 1$), y los valores usados en este ejemplo fueron: $\nu = 0.7$ y $\nu = 0.3$. Estos valores fueron asignados basándose en la experiencia e investigación.

Este valor, w_{Gi}^{primero} , será el que tome el coordinador como referencia para los cálculos que se realicen durante el primer ciclo.

Los pesos relativos iniciales para utilizar en el primer ciclo se asignarán de la siguiente manera:

$$w_{ij}^{\text{primero}} = \frac{w_{Gi}^{\text{primero}} + w_{Gj}^{\text{primero}}}{2} \quad (2)$$

Esta ecuación sólo se utiliza en el primer ciclo debido a que al comienzo del proceso los datos disponibles son limitados; para los ciclos posteriores se utilizará la ecuación (11), más significativa, para estimar los pesos relativos.

Al igual que en el caso de los pesos globales, estos pesos relativos, w_{ij}^{primero} , serán los que se tomen como referencia para los cálculos que se realicen durante el primer ciclo.

Etapas 6: Proposición de soluciones por las perspectivas/expertos

Analizado el problema, cada perspectiva/experto plantea una solución, que expone y anota en la zona que le corresponde dentro de su tarjeta de propuestas (Figura 8).

Etapas 7: Intercambio y circulación de tarjetas

Una vez todas las perspectivas/expertos han anotado sus soluciones al problema propuesto, las tarjetas se intercambian y circulan entre las perspectivas/expertos siguiendo un orden determinado por el coordinador.

Etapas 8: Valoración de las soluciones por parte de las perspectivas

Puesto que todas y cada una de las perspectivas/expertos ya han proporcionado sus propias soluciones, ahora en esta etapa, las perspectivas/expertos se encargarán de evaluar las soluciones propuestas por las otras perspectivas. Reciben las tarjetas con la solución que cada una de las otras perspectivas ha propuesto y evalúan dicha solución realizando las anotaciones oportunas en esa misma tarjeta. Todas las perspectivas/expertos pasan entonces a formar parte de redes de Hopfield locales, no de

modo simultáneo, sino de modo alternativo. Puesto que el ejemplo escogido lo forman cinco perspectivas/expertos, se formaran cinco redes locales de evaluación donde cada una de las perspectivas/expertos es evaluada por las otras (ver diagrama de la Figura 5).

Las evaluaciones y anotaciones se harán en la Tarjeta de Propuestas. Las perspectivas/expertos encargadas de evaluar una solución, es decir, todos los participantes excepto aquel que ha propuesto la solución, valoran esa propuesta y la califican, anotando donde corresponda (ver Figura 8). Las valoraciones serán de A_p (Aceptar Propuesta) y tendrá una puntuación equivalente de 1 punto, M_p (Modificar Propuesta) y valdrá 0 puntos y R_p (Rechazar Propuesta) y valdrá -1 punto (ver Apartado 5.1).

Estas puntuaciones representan los estados locales (l_i) que adopta cada perspectiva que evalúa (está en la capa media) en las redes locales a las que pertenece alternativamente. En la red que es evaluada (está en la capa de salida), el estado de la perspectiva se determinará en la etapa posterior teniendo en cuenta el resultado de la red local que la evalúa y tendrá relevancia en la red global de decisión.

Etapas 9: Análisis de los resultados en las redes

Cuando todas las soluciones han sido valoradas, el coordinador recoge las tarjetas del primer ciclo. Con la información presente en dichas tarjetas, el coordinador calcula utilizando la hoja de cálculo programada (Microsoft Excel®) una serie de valores, tales como:

9.1) Valoración por solución y perspectiva en las redes locales

En cada red local de evaluación se genera un resultado que va a determinar el estado de la perspectiva/experto evaluada en ella, ya que esta perspectiva actúa como la única neurona de la capa de salida en la red local (ver Figura 4). Estos resultados se calculan mediante la siguiente función:

$$e_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N \left(\frac{w_{Gj} + w_{ij}}{2} \right) \cdot l_j \quad (3)$$

donde e_i es el resultado de la red local de evaluación correspondiente a la perspectiva i ; l_j es el estado local de las perspectivas evaluadoras, que puede ser A_p (1), M_p (0) o R_p (-1). En esta función se utiliza como peso de la conexión para la evaluación, la media aritmética del peso global de la perspectiva/experto j (w_{Gj}) y el peso relativo entre las perspectivas/expertos i y j (w_{ij}). N es el número de perspectivas/expertos, que en este caso práctico son 5.

Para la determinación del estado de la perspectiva/experto evaluada se emplea la regla de evaluación mediante la función de umbral siguiente:

$$S_i \begin{cases} A_s \quad (1) & \text{si} & e_i \geq \theta_i^{\text{aceptar}} \\ M_s \quad (0) & \text{si} & \theta_i^{\text{modificar}} \leq e_i < \theta_i^{\text{aceptar}} \\ R_s \quad (-1) & \text{si} & e_i < \theta_i^{\text{modificar}} \end{cases} \quad (4)$$

Este estado resultante (s_i) pasa a ser el estado global de la perspectiva evaluada i en la red global de decisión, ya que el resultado de la red local pasa a ser una entrada en la red global.

Los dos valores de umbral $\theta_i^{\text{aceptar}}$ y $\theta_i^{\text{modificar}}$ se definen como:

$$\theta_i^{\text{aceptar}} = \alpha \cdot e_i^{\text{maximo}} \quad (5)$$

$$\theta_i^{\text{modificar}} = \sigma \cdot e_i^{\text{maximo}} \quad (6)$$

donde e_i^{maximo} representa el valor máximo de la función e_i (3), que se obtiene cuando los estados (l_j) de todas las perspectivas evaluadoras tienen la puntuación equivalente máxima de 1 punto (A_p - Aceptar Propuesta). Este valor reflejaría el total acuerdo en la aceptación de las propuestas de la perspectiva/experto i .

Los coeficientes α y σ son parámetros para determinar el grado de exigencia para aceptar o modificar (no para rechazar) las soluciones propuestas respectivamente, y los valores usados en este ejemplo fueron: $\alpha = 0.75$ y $\sigma = -0.25$. Estos valores fueron asignados basándose en la experiencia e investigación. Valores mayores que éstos significa un mayor nivel de exigencia para que las soluciones propuestas sean aceptadas, y viceversa, valores menores significa una mayor relajación en cuanto a los niveles de exigencia.

Notar que el valor mínimo $e_i^{\text{minimo}} = -e_i^{\text{maximo}}$ y los valores de e_i varían en el intercalo $[e_i^{\text{minimo}}, e_i^{\text{maximo}}]$, los umbrales $\theta_i^{\text{aceptar}}$ y $\theta_i^{\text{modificar}}$, obtenidos con estos valores de α y σ , representan aproximadamente entre el 88% y el 38% de este intervalo respectivamente, por lo que el valor asignado a α (0.75) es un valor bastante exigente. Estos umbrales dependen de cada ciclo y perspectiva.

Al final de esta etapa, cada perspectiva posee un estado global en la red de decisión. Estos nuevos estados que adquieren las perspectivas en la red global, también tienen asociado una puntuación a cada uno de ellos. Esta puntuación coincide con la asignada en los estados de evaluación, y es la que sigue: para el estado A_s (Aceptada Solución) una puntuación de 1 punto, para el estado M_s (Modificar Solución) una puntuación de 0 puntos y para el estado R_s (Rechazada Solución) una puntuación de -1 punto. Estos estados con sus puntuaciones equivalentes se tendrán en cuenta por parte del coordinador para la determinación del resultado final en una etapa posterior.

9.2) Valoración de las soluciones en la red global

En la red global de decisión se valoran todas las soluciones. Para ello se tendrá en cuenta la importancia global de cada perspectiva en la red, o lo que es lo mismo, el peso global de cada perspectiva respecto del coordinador. Para determinar el resultado global de la red de decisión se emplea la siguiente expresión:

$$r_G = \sum_{i=1}^N w_{Gi} S_i \quad (7)$$

donde r_G es el resultado global, que es el más importante para el coordinador; w_{Gi} es el peso global de las perspectivas, y s_i es el estado de las perspectivas en la red global.

Para este cálculo se utiliza la puntuación descrita anteriormente que se asocia a cada uno de los estados de las perspectivas en la red global.

El resultado r_G puntúa la combinación de soluciones aportadas por cada perspectiva. Este valor va a determinar el estado global del coordinador (s_G), que actúa como la única neurona de la capa de salida en la red global, utilizando la siguiente regla de evaluación:

$$s_G \begin{cases} A_s & \text{if } r_G \geq \psi_G^{\text{aceptar}} \\ M_s & \text{if } \psi_G^{\text{modificar}} \leq r_G < \psi_G^{\text{aceptar}} \\ R_s & \text{if } r_G < \psi_G^{\text{modificar}} \end{cases} \quad (8)$$

Los dos valores de umbral ψ_G^{aceptar} y $\psi_G^{\text{modificar}}$ se definen como:

$$\psi_G^{\text{aceptar}} = \alpha \cdot r_G^{\text{maximo}} \quad (9)$$

$$\psi_G^{\text{modificar}} = \sigma \cdot r_G^{\text{maximo}} \quad (10)$$

donde r_G^{maximo} representa el valor máximo de la función r_G (7), que se obtiene cuando los estados (s_i) de todas las perspectivas en la red global tienen la puntuación equivalente máxima de 1 punto (As - Aceptada Solución).

Los coeficientes α y σ son parámetros análogos a los de las Ecuaciones (5) y (6) y sirven para determinar el grado de exigencia para aceptar o modificar (no para rechazar) las soluciones propuestas respectivamente. Los valores escogidos, en este caso, fueron: $\alpha = 0.75$ y $\sigma = -0.25$.

Igual que en el caso anterior, notar que el valor mínimo $r_G^{\text{minimo}} = -r_G^{\text{maximo}}$ y como los valores de r_G varían en el intervalo $[r_G^{\text{minimo}}, r_G^{\text{maximo}}]$, los umbrales ψ_G^{aceptar} y $\psi_G^{\text{modificar}}$ obtenidos con estos valores de α y σ , representan aproximadamente entre el 88% y el 38% de este intervalo, respectivamente. Estos umbrales dependen de cada ciclo.

Etapa 10: Valoración del resultado global y puesta en marcha de nuevos ciclos

El estado del coordinador (s_G) equivale a su estado de opinión como consecuencia de la información que recibió a través de las tarjetas sobre las soluciones planteadas al diseño o rediseño. Así, si el estado del coordinador es As (Aceptada Solución), se aceptan las soluciones planteadas por las perspectivas, y finaliza el proceso.

Pero, si su estado resultante es Ms (Modificar Solución) o Rs (Rechazada Solución), se vuelve a repetir parte del proceso, desde la etapa 6 a la etapa 10, dando lugar a nuevos ciclos, hasta que el estado global del coordinador sea As.

Si en dos ciclos consecutivos el coordinador adquiere el estado de Rs, entonces debe reajustar el problema inicial, teniendo en cuenta los comentarios y la información en las tarjetas. Esta información puede provocar que se replantee la exposición del mismo, que se rectifique o incluso que se anulen algunas partes del planteamiento inicial. Todo ello se recoge en una nueva Tarjeta del Problema.

Antes de comenzar un nuevo ciclo, los pesos globales y relativos de las perspectivas/expertos se recalculan y actualizan utilizando fórmulas que tienen en cuenta la nueva información disponible de los ciclos precedentes.

Cálculo de los nuevos pesos

Para la estimación de los nuevos pesos relativos, se tienen en cuenta datos de todas las redes locales (n), mediante la siguiente fórmula:

$$w_{ij}^{\text{nuevo}} = \tau w_{ij}^{\text{anterior}} + \varepsilon \frac{1}{N+2} \left(\sum_{n=1}^N (1 - |l_i^n - l_j^n|) + 2(l_i^j + l_j^i)^{j,i \text{ evaluado}} \right) \quad (11)$$

donde,

$\sum_{n=1}^N (1 - |l_i^n - l_j^n|)$ es una implementación de la regla de aprendizaje de Hebb (Hebb, 1949, 2002) para nuestro caso particular, es decir, la técnica



propuesta; l_i^n y l_j^n son los estados en las distintas redes locales n de las perspectivas/expertos i y j respectivamente, cuando en la red n los dos realizan tareas de evaluación y ninguno de los dos es evaluado. Cuando dos perspectivas están en el mismo estado, es decir, concluyen la misma valoración ante una solución planteada por otra perspectiva, cada término individual vale 1 ($1-0=1$), incrementándose su peso relativo, debido a que aumenta la correlación entre ellos, de acuerdo con la regla de Hebb; por el contrario si dan valoraciones opuestas, cada término individual vale -1 disminuyendo su peso relativo. Hay 3 redes con estas condiciones, por lo que lo máximo que puede valer este sumatorio es 3, para el caso de máxima afinidad entre las perspectivas/expertos.

$(l_i^j + l_j^i)^{j,i \text{ evaluado}}$ es la suma de los estados de las perspectivas i y j respectivamente, en las redes locales donde j e i son evaluadas. Así, l_i^j es el estado de la perspectiva i cuando está valorando a la perspectiva j , y l_j^i es el estado de la perspectiva j cuando está valorando a la perspectiva i . En este caso, cuando una perspectiva da una buena valoración a la solución planteada por la otra perspectiva, el peso relativo entre ellas se incrementa, debido a que aumenta la afinidad entre ellas, por el contrario si da una mala valoración su peso relativo se disminuye. Se ha multiplicado por 2 para dar más peso a este término, con lo que lo máximo que puede valer es 4, para el caso de máxima afinidad entre las perspectivas/expertos.

Los coeficientes τ y ε son factores de ponderación, que permiten fijar la influencia de cada término en el cálculo de los nuevos pesos relativos. Su suma debe ser uno ($\tau + \varepsilon = 1$), y los valores utilizados fueron: $\tau=0.5$ y $\varepsilon=0.5$. Estos valores fueron asignados basándose en la experiencia e investigación. Un valor menor de τ y mayor de ε que los seleccionados implica asignarle más influencia a las afinidades entre perspectivas frente a los pesos asignados inicialmente, para el cálculo de los nuevos pesos relativos, lo que conlleva que a medida que avancen los ciclos los pesos asignados inicialmente quedan rápidamente diluidos, y viceversa, un valor mayor de τ y menor de ε significa asignarle más influencia a los pesos asignados/fijados inicialmente frente a las afinidades entre perspectivas.

Como consecuencia de lo anterior, w_{ij}^{nuevo} representa la afinidad y correlación entre la perspectiva i y la perspectiva j , teniendo en cuenta información obtenida en todos los ciclos precedentes.

Notar que $w_{ij} = w_{ji}$, debido a que en las redes de Hopfield los pesos relativos son simétricos.

Para la estimación de los nuevos pesos globales se utiliza la siguiente fórmula:

$$w_{Gi}^{\text{nuevo}} = \eta w_{Gi}^{\text{anterior}} + \mu s_i + \rho \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N w_{ij}^{\text{nuevo}}}{N-1} \quad (12)$$

El tercer término del lado derecho de esta ecuación es la media de todos los pesos relativos de la perspectiva/experto i y está relacionado con sus afinidades con el resto de expertos como se acaba de decir. En el segundo término, S_i es el estado global de la perspectiva i , que está directamente relacionado con las valoraciones que recibió su propuesta por el resto de las perspectivas y por lo tanto también está relacionado con sus afinidades con el resto de participantes.

Por lo tanto, la suma del segundo y tercer término representa la variación en cada ciclo de la compenetración entre la perspectiva/experto i y el resto de las perspectivas participantes, esto es, representa una medida de la variación de la integración de esta perspectiva/experto en el equipo. Si un experto está muy integrado con el resto, incrementará su peso global en caso contrario lo disminuirá.

Los coeficientes η , μ y ρ son factores de ponderación, que permiten fijar la influencia de cada término en el cálculo de los nuevos pesos globales. Su suma debe ser uno ($\eta + \mu + \rho = 1$), y los valores utilizados fueron: $\eta = 0.5$, $\mu = 0.1$ y $\rho = 0.4$

Estos valores fueron asignados basándose en la experiencia e investigación. Un valor menor de η y mayores de μ y ρ que los seleccionados significa asignarle más influencia a la compenetración e integración de un experto en el equipo frente al peso asignado inicialmente, para el cálculo de su nuevo peso global, lo que conlleva que a medida que avancen los ciclos el peso asignado inicialmente queda rápidamente diluido, y viceversa, un valor mayor de η y menores de μ y ρ significa asignarle más influencia al peso global asignado/fijado inicialmente frente a la compenetración e integración del experto en el equipo.

Así pues, en función de lo anterior, a medida que avanzan los ciclos y especialmente en los últimos, w_{Gi}^{nuevo} representa la compenetración e integración entre la perspectiva/experto i y el resto de las perspectivas/expertos participantes, considerando la información obtenida en todos los ciclos precedentes.

Para evitar tener que trabajar con pesos negativos y utilizar valores que faciliten el manejo de las ecuaciones, en el caso poco frecuente de que algunos pesos relativos sean negativos, se determina el menor de éstos (w_{kl}^{minimo}) y se hace la siguiente transformación lineal:

$$w'_{ij} = w_{ij} + |w_{kl}^{\text{minimo}}| \quad (13)$$

Del mismo modo que si algunos pesos globales son negativos, también poco frecuente, se hace la transformación:

$$w'_{Gi} = w_{Gi} + |w_{Gk}^{\text{minimo}}| \quad (14)$$

donde w_{Gk}^{minimo} es el menor de los pesos globales negativos.

Opcionalmente, y aunque no es necesario para que la técnica presentada funcione, los pesos globales pueden ser normalizados para facilitar su comparación entre los distintos ciclos. Para ello se utiliza la siguiente fórmula, que es una de las más utilizadas en la literatura para normalizar pesos.

$$w_{Gi}^{\text{normalizado}} = \frac{w'_{Gi}}{\sum_{j=1}^N w'_{Gj}} \quad (15)$$

donde $w_{Gi}^{\text{normalizado}}$ representa el porcentaje del peso global de la perspectiva i con respecto a la suma de todos los pesos globales. El incremento o decremento de los pesos globales absolutos (w'_{Gi}), depende mucho del valor asignado al coeficiente η , mientras que la variación de estos pesos globales normalizados es independiente de este coeficiente, y nos permiten ver con una mayor claridad el cambio de la importancia relativa de una perspectiva/experto con respecto a las demás.

Obsérvese que en el primer ciclo, los pesos fijados por el coordinador tienen mucha importancia, pero si en este primer ciclo no se consigue una solución satisfactoria, a partir del segundo ciclo es el aprendizaje de la red quién va ir variando los pesos de las perspectivas/expertos hasta que se alcance una solución satisfactoria.

Una selección de estos parámetros también se refleja en las nuevas tarjetas que se incluyen en cada una de las carpetas que se asignaron por perspectiva/experto. En el segundo ciclo y posteriores, se reparten las carpetas donde cada perspectiva/experto

puede observar las valoraciones que en el ciclo anterior le han realizado las demás perspectivas/expertos, pues todas las tarjetas involucradas en un ciclo se mantienen en los posteriores. Los nuevos planteamientos del problema, así como la reasignación de pesos relativos y globales se reflejan en las nuevas tarjetas que se reparten para el nuevo ciclo que comienza.

Esta concurrencia cíclica hasta obtener unos resultados satisfactorios es un proceso clásico de aprendizaje hebbiano, con la particularidad de que, en este caso práctico, inicialmente los pesos son propuestos por el coordinador, y será la propia red quien los vaya adaptando hasta conseguir un resultado satisfactorio.

*“La práctica debe siempre ser
edificada sobre la buena teoría”*

Leonardo da Vinci

CAPÍTULO VI

EJEMPLO PRÁCTICO: REDISEÑO DE UN SOPORTE METÁLICO

6. Ejemplo práctico: Rediseño de un soporte metálico

La aplicación de la nueva técnica se mostrará a través de un ejemplo práctico consistente en el rediseño de los soportes usados para fijar los raíles estándar en los armarios de distribución eléctrica. Estos raíles, a su vez, son usados para sujetar la aparamenta eléctrica.

Los armarios metálicos, ampliamente empleados en diferentes sectores de la industria y la vida cotidiana, presentan numerosas variantes en los tipos y métodos de las sujeciones que utilizan para fijar las baldas, estantes o barras que contengan. Esto, es de peculiar incidencia en las envolventes para armarios de distribución eléctrica, donde se observan una variedad sustancial de soportes que anclan la barra estándar, de colocación del diferente utillaje eléctrico, a la estructura. De la revisión de los catálogos y productos de las principales marcas, tales como Legrand®, General Electric®, Hager®, Siemens® y otras, encontramos una amplia variedad de diseños y formas en una pieza, que, a pesar de constituirse como factor común en todos ellos y realizar una idéntica

función, refleja la heterogeneidad de un mercado competitivo. Los fabricantes no están preocupados por la falta de un patrón común. De hecho, en la mayoría de los casos no existen esfuerzos comunes por parte de estos fabricantes para crear soluciones que supongan estándares en su campo de aplicación, primando los intereses económicos particulares sobre los intereses funcionales. Según recientes encuestas que hemos realizado en empresas relacionadas, son los usuarios, esta vez personificados en los montadores, quienes se deben adaptar a la gran variedad de sistemas propuestos no intercambiables entre sí, y, en la mayoría de las ocasiones, ni siquiera permutables dentro de una misma marca. Si bien, este caso, cobra relevancia dentro del sector eléctrico, una somera revisión de los diferentes armarios metálicos que habitualmente se encuentran en el día a día, corroborará las conclusiones, que, en este caso, y desde la particularidad hasta la universalidad, de un modo tan concreto expone la industria y tecnología de las envolventes de distribución eléctrica.

Esta es la razón por la cual en este ejemplo, el rediseño toma como referencia los soportes metálicos clásicos de barras normalizadas utilizados en los armarios de distribución eléctrica, catalogados por los principales fabricantes. Estos soportes se sujetan en unas barras verticales estructurales, habitualmente a través de tornillos y tuercas, y, junto con las barras normalizadas, forman los chasis de los armarios eléctricos (ver Figura 9).

La nueva técnica de evaluación proporciona los pasos necesarios para obtener un nuevo rediseño que mediante la modificación de su modo de ensamblaje, de su sistema

de funcionamiento y de su entorno de montaje, permitirá solucionar los problemas detectados.

La técnica experimental se aplicará a continuación de modo análogo al descrito anteriormente (ver Capítulo 5), realizando los ciclos necesarios hasta encontrar la solución más óptima en el rediseño. Para facilitar la lectura, en este apartado no se ha considerado incluir todos los datos relativos al proceso iterativo que figuraron en las Tarjetas de Propuestas, reflejando únicamente un resumen de los datos y comentarios más relevantes. En el Anexo II, sin embargo, se ha incluido el ejemplo práctico extendido incluyendo todos los datos, comentarios y valoraciones realizados por las perspectivas/expertos a lo largo de los ciclos.

6.1. Identificación de participantes y parámetros

Los participantes en el rediseño son expertos en cada una de las cinco perspectivas escogidas. En la Tabla 2 se puede ver una breve descripción de estas perspectivas, las cuales son (incluyendo una traducción al inglés):

- 1 - Diseño Centrado en el Usuario (*User-centred design*).
- 2 - Reducción de Partes (*Reduction of parts*).
- 3 - Minimización de Tiempos (*Minimization of times*).
- 4 - Adaptación e Integración de Innovaciones (*Adaptation and integration of innovations*).
- 5 - Creación de Entornos Do-it (*Creation of Do-it environments*).

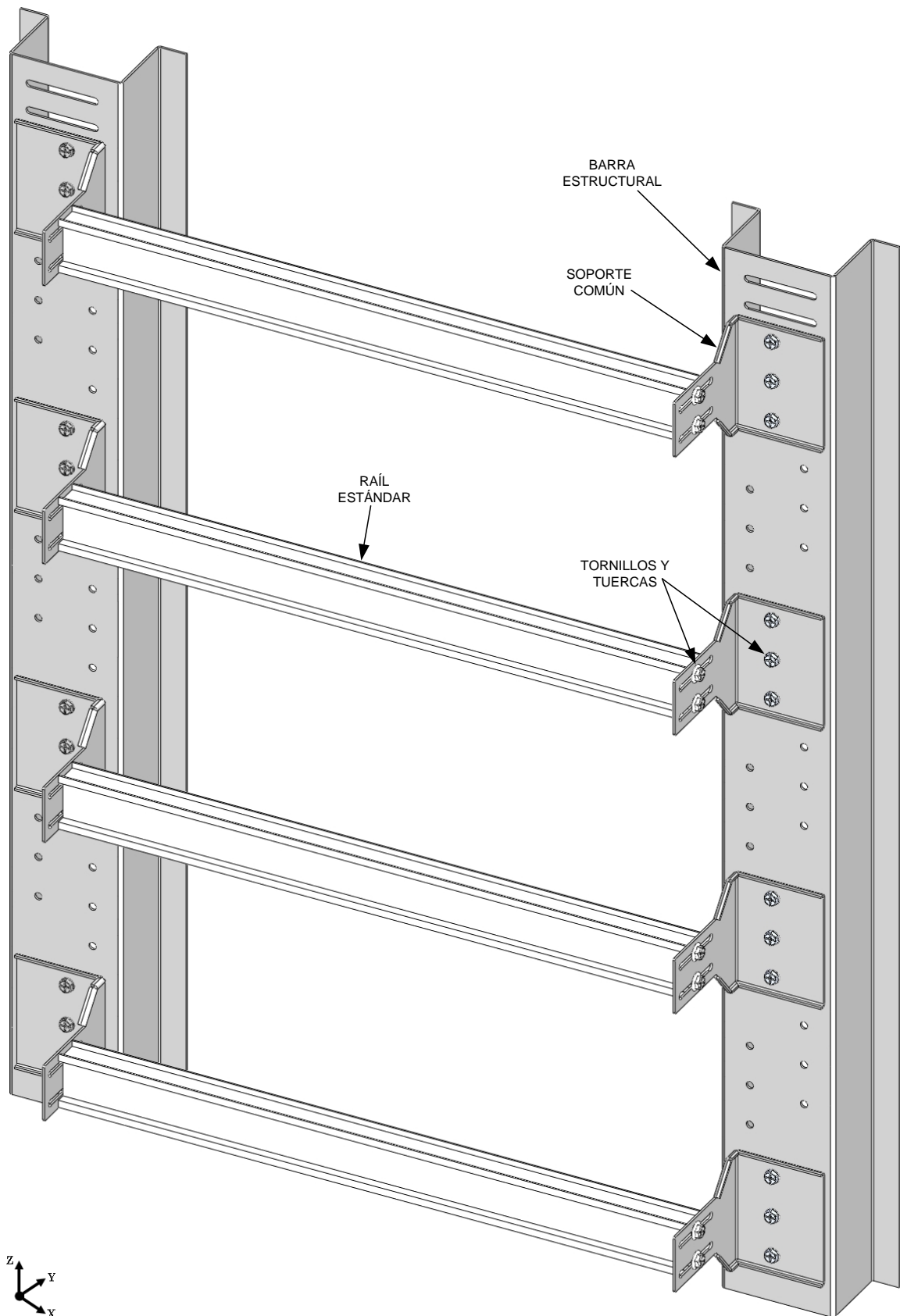


Figura 9. Chasis de un armario eléctrico convencional. La figura muestra sus principales componente: Las barras estructurales, los raíles DIN estándar y los soportes comunes sujetos por tornillos y tuercas.

1 - Diseño Centrado en el Usuario

Esta perspectiva/experto se responsabiliza de todos aquellos aspectos del diseño relacionados con las aportaciones y experiencia de los operarios profesionales montadores de cuadros, y que buscan la simplificación de operaciones y el aumento de eficacia y rendimiento en el montaje.

2 - Reducción de las partes

Esta perspectiva/experto se encarga, en general, de las consideraciones de diseño derivadas del análisis DFA y DFMA, enfocadas hacia la supresión e integración de partes y la reducción de costes en la manufactura y el ensamblaje.

3 - Minimización de tiempos

Esta perspectiva/experto también se apoya, en parte, en las metodologías DFA, enfocándose en todos aquellos aspectos que implican una reducción de tiempos en el proceso global de elaboración y montaje de las piezas.

4 - Adaptación e integración de las innovaciones

Esta perspectiva/experto considera que los diseños no deben ser resultados finales inamovibles sino que deben poseer capacidad suficiente para adaptarse a los cambios o mejoras que puedan surgir debido al avance de la técnica. Según estos principios, al diseñar hay que valorar las posibles consecuencias de aplicar soluciones demasiado restrictivas que impidan al diseño final converger hacia estados de empatía técnica.

5 - Creación de entornos Do-it

Esta perspectiva/experto aporta en sus valoraciones la visión que tendrían los usuarios comunes, no profesionales del tema, acerca de los diseños planteados. Procura que estas soluciones sean sencillas, seguras y fáciles de realizar, con el fin de que también puedan ser llevadas a cabo en el lugar del funcionamiento final del armario eléctrico, por personal ajeno al propio fabricante, como podrían ser los operarios de las empresas clientes. Además, también procura obtener productos finales que transmitan accesibilidad con una apariencia y uso amigables.

Tabla 2. Descripción de las perspectivas/expertos participantes.

Para facilitar la comprensión y seguimiento de los parámetros, cada una de las perspectivas/expertos se identifica con el índice que le corresponde en la lista anterior y que coincide con su exposición en el desarrollo del apartado. Cada una de las perspectivas/expertos lleva asociado un estado local (l_i), un estado global (s_i), un peso global (w_{Gi}) y un peso relativo (w_{ij}). Los valores de los estados de evaluación eran tres: A_p , M_p , R_p , mientras que los estados de decisión eran, igualmente, tres: A_s , M_s , R_s . Toda la información relativa a los parámetros y su significado está reflejada en mayor detalle y extensión en el apartado 5.1.1.

Además, en el Anexo I se expone, con más detalle, el enfoque de cada una de las perspectivas/expertos, atendiendo a su formación y campo de estudio.

6.2. Resumen de la aplicación de la técnica

La técnica fue aplicada de forma análoga a la forma en la que está descrita en la sección 5, llevando a cabo los ciclos necesarios hasta obtener la mejor solución para el rediseño planteado.

Debido a la extensión que supondría contar en detalle todos los ciclos y etapas de la aplicación de la nueva técnica, un resumen de los aspectos y etapas más importantes durante su aplicación es descrito a continuación.

En el primer ciclo, etapa 1, el coordinador propuso el problema. Se realizó un análisis representativo de los soportes de diferentes marcas, realizando encuestas a los usuarios de los mismos los cuales, en este caso, son profesionales encargados del montaje de cuadros eléctricos. Gracias a este análisis y al estudio de analogías y

comparativas morfológicas se detectaron un conjunto de problemas que debían ser resueltos por el rediseño. Toda esta información la reflejó el coordinador en la Tarjeta del Problema que fue incluida en cada una de las cinco carpetas que se repartieron a las perspectivas/expertos. Además se adjuntó una representación de un soporte metálico clásico (Figura 10), objeto del rediseño, para mayor claridad en las exposiciones. Este soporte consta de dos aletas que forman 90° entre ellas. La aleta anterior, más estrecha, se usa para la sujeción de las barras normalizadas, mientras que la aleta posterior, de mayor anchura, se encarga de la propia sujeción del soporte. Esta sujeción se logra a través de tres tornillos, con sus respectivas tuercas independientes, que sujetarán el soporte a la barra vertical estructural del armario eléctrico.

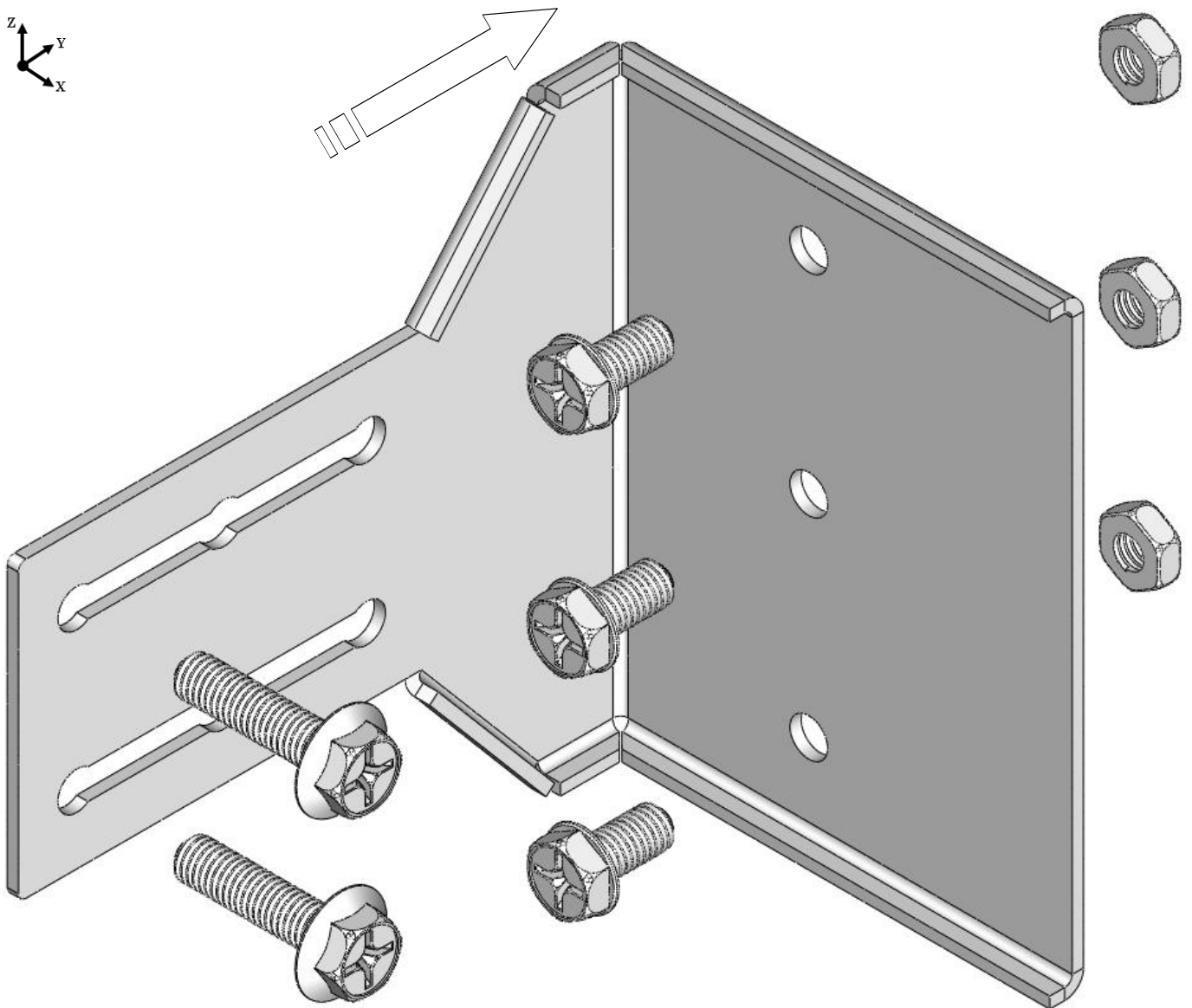


Figura 10. Diseño del soporte metálico común. La flecha, en esta figura, indica la dirección de inserción en el armario eléctrico. En este soporte, la colocación y fijación se logra empleando tres tornillos, con sus respectivas tuercas independientes, que fijan el soporte a las barras estructurales. Dos tornillos fijan los raíles estándar el propio soporte (ver también la Figura 9).

Las perspectivas plantearon las soluciones iniciales al problema planteado, en la etapa 6 del primer ciclo, y las escribieron en sus tarjetas de propuestas respectivas. La Tabla 3 muestra un resumen de las mismas.

1 – Diseño Centrado en el Usuario

Desde el punto de vista de esta perspectiva/experto las soluciones al problema del soporte clásico (Figura 10) pasan por considerar un sistema que emplee el mínimo número de piezas adicionales para el anclaje. Con el fin de facilitar su montaje, esta perspectiva/experto propuso la modificación de la base del soporte para colocar en ella una combinación de dos lengüetas y un tornillo. Las lengüetas estarían ambas situadas en dirección transversal respecto del soporte y orientadas en el mismo sentido facilitando su posicionamiento y colocación. Estarían en la cara posterior de la base, partiendo de unos cortes y encajando, por deslizamiento, en unas aperturas que presenta la barra vertical estructural. El tornillo evita el retroceso en la dirección transversal, asegurando el anclaje y se situaría entre ambas lengüetas, equidistante. Se prescinde de la tuerca, pues se mecanizaría un agujero roscado previamente en la propia barra vertical sobre la que se ancla el soporte.

Además, todas las operaciones de montaje deben resultar cómodas y sencillas, garantizando la visibilidad y accesibilidad en la disposición del soporte en el montaje. Del mismo modo se deben emplear el número mínimo de operaciones, herramientas y cambios de utillaje. Esto permitirá facilitar el montaje en serie y el trabajo en el propio taller por parte de los operarios, posibilitando montar los soportes con mayor eficacia y menores esfuerzos.

2 – Reducción de Partes

Los planteamientos de esta perspectiva/experto contemplan la eliminación de todas las piezas auxiliares posibles además de la integración de todos los elementos de sujeción sin perder funcionalidad, formando un único conjunto integrado, previo al montaje final. Para las piezas auxiliares integrantes del soporte clásico, sobre todo los tornillos y tuercas encargados de la sujeción, propuso su sustitución por una combinación de dos lengüetas colocadas en dirección transversal respecto del soporte, orientadas en el mismo sentido, y una pestaña semielástica integrada en la base del soporte y colocada en la misma dirección, y sentido contrario al de las lengüetas. Las lengüetas se formarían a partir de unos cortes hechos en la propia base del soporte y encajarían en unos huecos que, a tal efecto, presenta la barra vertical estructural. La pestaña evitaría el retroceso en la dirección transversal, encajando en los huecos correspondientes de la barra vertical. La formación de la pestaña semielástica se realizaría a través de un proceso de fabricación adecuado, eliminando la necesidad de cualquier pieza auxiliar y reduciendo las partes del conjunto a la vez que se garantiza la estabilidad y robustez del mismo.

3 – Minimización de Tiempos

Según esta perspectiva/experto se deberían emplear elementos que evitasen el uso de tornillos y tuercas, en cuanto estos necesitan demasiado tiempo de operación en el proceso de montaje. Propuso la eliminación de los mismos y su sustitución por un sistema de clip, mediante el empleo de tres pinzas metálicas y elásticas colocadas mediante presión, entre el soporte y la barra vertical estructural a través de unas ranuras presentes tanto en el soporte como en la propia barra vertical. Por otra parte recomendó que todos los mecanismos de sujeción deberían emplear las mínimas operaciones de montaje posibles. Sugirió que las soluciones al rediseño deberían ser sencillas y fácilmente aplicables, por lo que defendió el posible uso de propuestas basadas en la modificación de la propia geometría del soporte. También realizó el análisis de sensibilidad para detectar aquellas operaciones que provocaban más demoras en el proceso de fabricación y ensamblaje.

4 – Integración de Innovaciones

Las proposiciones de esta perspectiva/experto fueron las de dotar al rediseño de las características apropiadas para que pudiese admitir cambios en los sistemas de sujeción del soporte con el fin de adaptarse a innovaciones o mejoras que puedan surgir posteriormente. Propuso el empleo de marcas, a modo de plantilla, en la base del soporte, que facilitasen un mecanizado para que éste pudiese ser empleado con diferentes elementos de sujeción, resultando más versátil y reutilizable. Estas cualidades permitirían aumentar el uso y funcionalidad del soporte, pudiendo ser colocado en diferentes armarios de diferentes fabricantes. Con todo ello, el soporte podría alcanzar un estado de empatía técnica con el operario montador, pudiéndose adaptar a sus modos y necesidades.

5 – Creación de entornos Do-it

Esta perspectiva/experto propuso sustituir la combinación de tornillos y tuercas por un sistema de ganchos y bridas. En la base del soporte se conformarían cuatro ganchos colocados en cada una de sus esquinas, en dirección transversal respecto del soporte, y que encajarían en unas ranuras presentes en las barras verticales estructurales. Para evitar posibles movimientos de retroceso, en la dirección transversal, del soporte, en su centro se colocaría una brida plástica, de colocación y apriete manual, aprovechando los huecos de los tornillos. Recomendó que el soporte pudiese ser montado empleando únicamente una sola herramienta; herramienta que a su vez debería ser la misma que la empleada en el montaje de todas las partes del armario eléctrico. La disposición y forma del soporte debería permitir una buena accesibilidad y visibilidad, para facilitar el montaje en el propio lugar de funcionamiento del armario eléctrico por parte, incluso de personal que no sean montadores profesionales de armarios eléctricos como los operarios de las empresas cliente donde, finalmente, se colocarán y utilizarán los armarios. Además, todas las soluciones deberían tratarse posteriormente para evitar zonas peligrosas o dañinas en su manipulación, redondeando esquinas, limando y puliendo para conseguir acabados superficiales que favorezcan su estética.

Tabla 3. Resumen de las propuestas de los expertos en el primer ciclo.

En la etapa 8, Cada vez que una perspectiva/experto recibía la tarjeta de propuestas de otra, procedía a la evaluación de la solución presente en ella. Estas evaluaciones que podían ser de A_p (Acepta Propuesta), M_p (Modifica Propuesta) y R_p (Rechaza Propuesta), se escribían en la propia tarjeta de propuestas y luego se pasaban a otra perspectiva/experto. El proceso de valoración concluía cuando cada una de las perspectivas/expertos había valorado a todas las demás.

Al final del primer ciclo, El estado R_s del coordinador sugiere una modificación de las soluciones y la necesidad de la puesta en marcha de un nuevo ciclo.

En el segundo ciclo, el coordinador describió el problema inicial de una forma similar. Los expertos propusieron nuevas soluciones teniendo en cuenta las evaluaciones y comentarios que recibieron sus propuestas en el ciclo anterior. Al final de este ciclo, el estado global del coordinador también determinó la necesidad de un nuevo ciclo de propuestas. Sin embargo, el proceso, en este segundo ciclo arrojó ya unos resultados parciales derivados de la aplicación de las soluciones propuestas hasta el momento, especialmente por el experto 1, cuya solución fue la mejor valorada en este ciclo. Aunque el resultado de la red no es estable, y no ha alcanzado un valor de convergencia, el coordinador, como receptor de las soluciones, puede estimar oportuno representar las mejores soluciones planteadas.

La figura 11 muestra estas soluciones en un modelo virtual del soporte. El coordinador, en este caso, estimó la representación como ayuda en el planteamiento de los ciclos próximos. En el tercer ciclo, los expertos volvieron a proponer nuevas soluciones teniendo en cuenta las evaluaciones y comentarios que recibieron sus

propuestas en los ciclos anteriores. Finalmente, al final de este ciclo, el estado global del coordinador determinó que el conjunto de soluciones es óptimo y debe ser aceptado. El sistema no aconsejó nuevos ciclos en cuanto ha obtenido una convergencia óptima de los resultados. El coordinador dio por finalizado el proceso, y recogió todas las soluciones planteadas para elaborar un modelo del soporte que integre los planteamientos finales mejor valorados de las perspectivas/expertos.

Estos planteamientos para la sujeción son la evolución de las soluciones de base geométrica apuntadas por las perspectivas/expertos en diferentes ciclos, siendo las propuestas de los expertos 2 y 1, que a su vez consideran/incorporan muchos de los comentarios del experto 5 a las sucesivas propuestas, las que más han influido, respectivamente, en la solución final adoptada. La propuesta del experto 2 fue la mejor valorada en este último ciclo, ya que recibió de todos “Aceptar Propuesta” (ver Tabla 4). El coordinador elaboró una representación del soporte final resultante, tal y como se puede ver en la Figura 12.

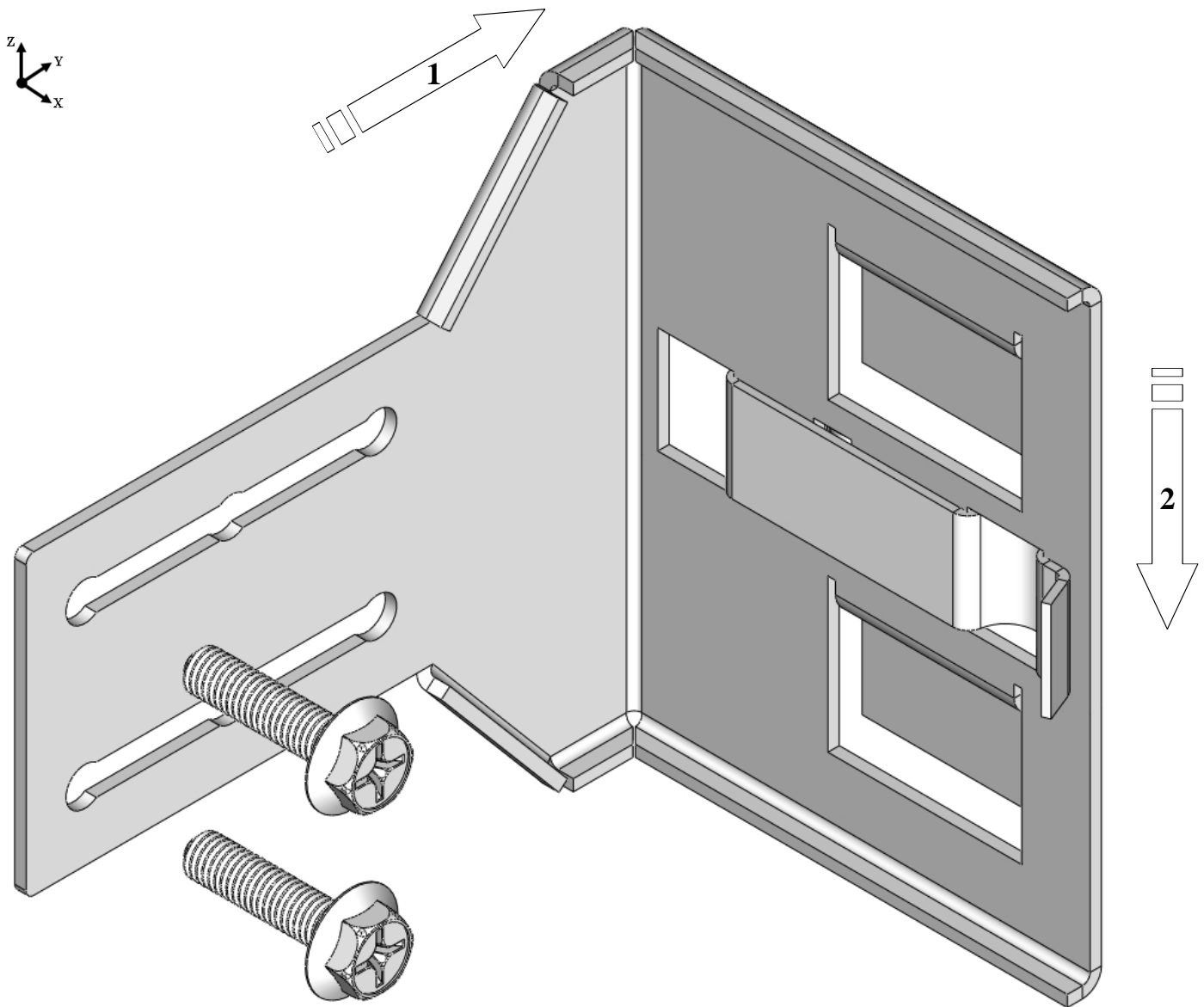


Figura 11. Mejoras en el soporte derivadas de la eliminación de los tres tornillos y la introducción de una cinta metálica flexible que facilita el montaje y manejo. La flecha, en esta figura, indica la dirección de inserción dentro del armario eléctrico.

La sujeción de este soporte se logra a través de una combinación de tres lengüetas, una mayor, colocada en dirección longitudinal, y otras dos, menores, colocadas en dirección transversal respecto del soporte. Estas lengüetas menores se sitúan a ambos lados de la lengüeta mayor, enfrentadas entre sí. El soporte encaja, a través de las lengüetas, en unos agujeros en forma de C que, a tal efecto, posee la barra vertical estructural. Con esta solución, se facilita su montaje debido a que el soporte no necesita sistemas adicionales de fijación para evitar el retroceso, ya que, por la disposición de los elementos, es la propia barra normalizada la que lo impide. Además un único tipo de soporte, se puede usar a ambos lados del armario.

La Tabla 4 muestra un resumen de los valores de los parámetros principales (evaluaciones, pesos globales, compenetración e integración en el equipo, afinidad hebbiana, etc.) durante los tres ciclos que fueron necesarios para alcanzar una solución óptima durante la aplicación de la técnica propuesta al rediseño del soporte.

6.3. Análisis de las contribuciones de las perspectivas/expertos

La tabla de la Figura 13 muestra los pesos globales normalizados de las cinco perspectivas/expertos en los tres ciclos. Estos pesos normalizados representan la importancia relativa de un experto con respecto a los demás dentro de cada ciclo (su suma es 1), por lo que facilita su comparación. Los pesos del primer ciclo fueron asignados principalmente por el coordinador y en parte por los expertos, pero a partir del segundo ciclo en adelante es la propia técnica la que va ajustando los pesos en

función de la compenetración e integración de cada experto en el equipo. En esta tabla se puede observar como el experto 1 baja un poco en el ciclo 2 y sube en el ciclo 3 (hasta una importancia del 33,1%), el experto 2 sube en el ciclo 2 (hasta 38,2%) y baja en el tres, pero mantiene un buen nivel (27,3%), el experto 3 baja su peso relativo, manteniendo un nivel aceptable (15,7%), y el experto 5 sube bastante (hasta un 23,9%) quedando de tercero en importancia. Mientras que el experto 4 baja hasta llegar a una importancia relativa nula (0%). Ver también el gráfico de la Figura 13.

Además, en la tabla de la Figura 14 se puede observar directamente los valores íntegros de los términos que representan la compenetración e integración de un experto en el equipo en la Ecuación (12) de los pesos globales, sin tener en cuenta explícitamente los pesos asignados inicialmente ni las transformaciones, lo que nos da una medida directa de su variación. En esta tabla se puede observar que los expertos 1 y 2 son los que más incrementan su compenetración e integración (0,077 y 0,061), el experto 5 también tiene un incremento considerable (0,055), mientras que el experto 4 disminuye considerablemente su compenetración (-0,160). Nótese que tanto en la anterior tabla como en ésta, los valores son los que afectan al ciclo correspondiente, pero están calculados con datos de los ciclos precedentes.

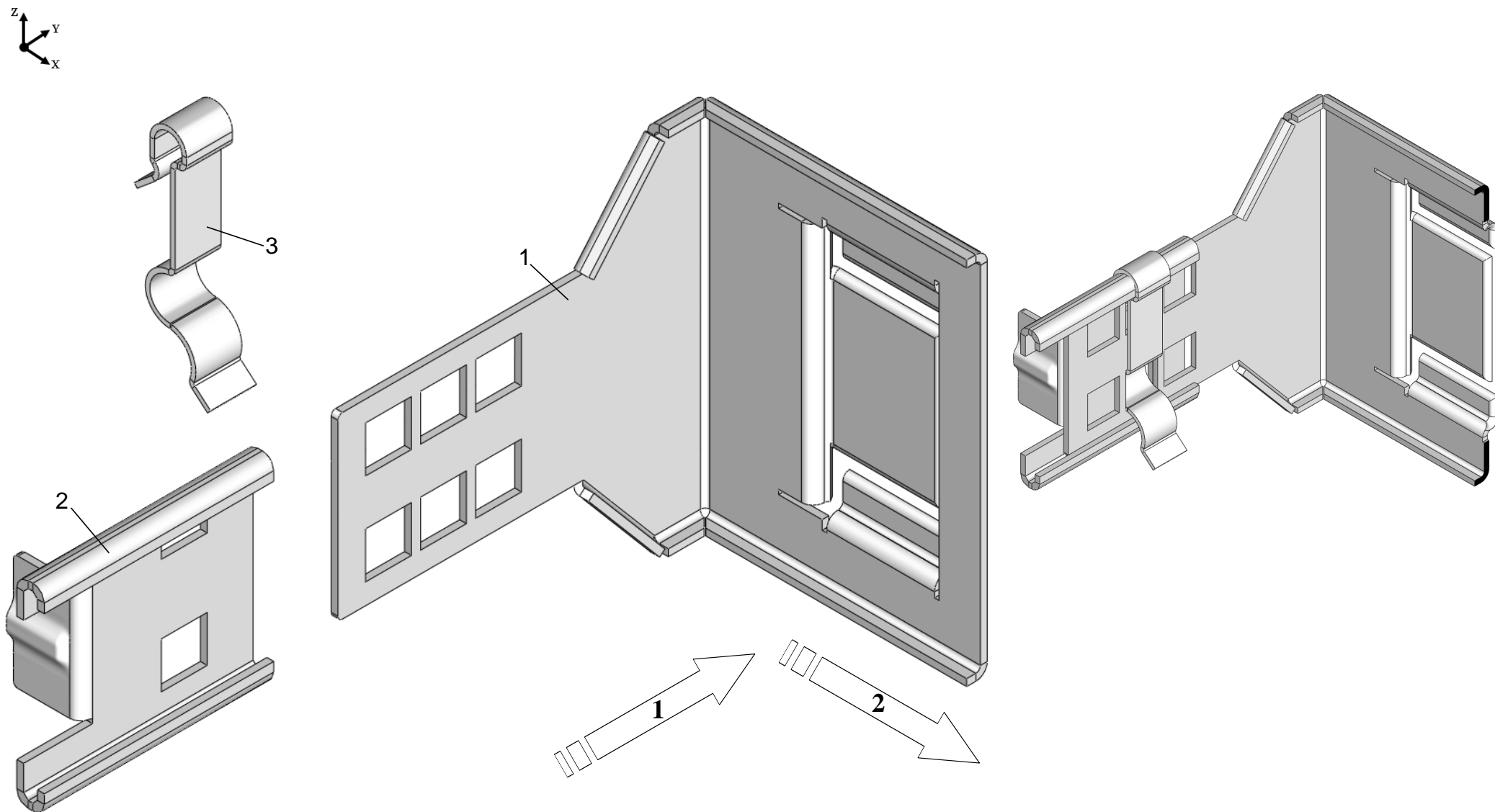


Figura 12. Diseño final del soporte tras su rediseño mediante la nueva técnica propuesta. El ensamblaje final incluye el propio soporte (1), una pieza para fijar el raíl estándar (2), y una cinta metálica elástica (3). Las flechas, en esta figura, indican las direcciones de inserción del soporte (1) en el armario eléctrico. La figura de la izquierda muestra una vista explosionada mientras la figura más pequeña de la derecha representa una vista de sección del soporte donde se puede observar la forma de las tres lengüetas.

PERSPECTIVA EVALUADA i	PERSPECTIVAS EVALUADORAS j	EVALUACIONES									PESOS GLOBALES			PESOS GLOBALES NORMALIZADOS			COMPENETRACIÓN E INTEGRACIÓN EN EL EQUIPO				PESOS RELATIVOS			AFINIDAD HEBBIANA			AFINIDAD COMÚN										
		CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3			W_{Gi}			$W_{Gi}^{\text{normalizado}}$			$\mu S_i + \rho \frac{\sum_{i=1}^N W_{ij}^{mimo}}{N-1}$				W_{ij}			$\sum_{i,j \text{ no evaluado}} (1 - I_i^m - I_j^m)$			$(I_i^j + I_j^i)_{i,j \text{ evaluado}}$										
		I_j	S_i	S_G	I_j	S_i	S_G	I_j	S_i	S_G	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	VARIACIÓN TOTAL	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3								
PERSPECTIVA 1	PERSPECTIVA 2	Rp (-1)	Rs (-1)	RECHAZAR SOLUCIONES	Mp (0)	Ms (0)	MODIFICAR SOLUCIONES	Mp (0)	As (1)	ACEPTAR SOLUCIONES	0,33	0,18	0,26	0,28	0,27	0,33	-	-0,05	0,13	0,08	0,34	0,28	0,21	-	1	1	-	-1	0								
	PERSPECTIVA 3	Mp (0)			Mp (0)			Ms (0)			Ap (1)	As (1)	0,30	0,26	0,22	0,30	0,38	0,27	-	0,01	0,05	0,06	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1						
	PERSPECTIVA 4	Rp (-1)			Mp (0)			Ms (0)			Ap (1)	As (1)	0,22	0,15	0,12	0,22	0,22	0,16	-	-0,05	0,01	-0,04	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1						
	PERSPECTIVA 5	Mp (0)			Mp (0)			Ms (0)			Ap (1)	As (1)	0,18	0,05	0,24	-	-1	3	-	-1	0	0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0							
PERSPECTIVA 2	PERSPECTIVA 1	Mp (0)	Ms (0)		RECHAZAR SOLUCIONES	Mp (0)		Ms (0)	MODIFICAR SOLUCIONES		Ap (1)	As (1)	ACEPTAR SOLUCIONES	0,35	0,26	0,22	0,30	0,38	0,27	-	0,01	0,05	0,06	0,34	0,28	0,21	-	1	1	-	-1	0					
	PERSPECTIVA 3	Mp (0)				Mp (0)					Ms (0)			Ap (1)	As (1)	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1	0,22	0,15	0,00	-	0	1	-	-1	-1				
	PERSPECTIVA 4	Rp (-1)				Mp (0)					Ms (0)			Ap (1)	As (1)	0,22	0,15	0,12	0,22	0,22	0,16	-	-0,05	0,01	-0,04	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1			
	PERSPECTIVA 5	Mp (0)				Mp (0)					Ms (0)			Ap (1)	As (1)	0,18	0,05	0,24	-	-1	3	-	-1	0	0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0				
PERSPECTIVA 3	PERSPECTIVA 1	Mp (0)	Rs (-1)			RECHAZAR SOLUCIONES		Mp (0)			Rs (-1)	MODIFICAR SOLUCIONES		Ap (1)	As (1)	ACEPTAR SOLUCIONES	0,26	0,15	0,12	0,22	0,22	0,16	-	-0,05	0,01	-0,04	0,30	0,54	0,41	-	3	2	-	0	0		
	PERSPECTIVA 2	Rp (-1)						Mp (0)						Rs (-1)			Ap (1)	As (1)	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1	
	PERSPECTIVA 4	Mp (0)						Mp (0)						Rs (-1)			Ap (1)	As (1)	0,22	0,15	0,12	0,22	0,22	0,16	-	-0,05	0,01	-0,04	0,18	0,05	0,24	-	-1	3	-	-1	0
	PERSPECTIVA 5	Mp (0)						Mp (0)						Rs (-1)			Ap (1)	As (1)	0,18	0,05	0,24	-	-1	3	-	-1	0	0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0	
PERSPECTIVA 4	PERSPECTIVA 1	Rp (-1)	Rs (-1)	RECHAZAR SOLUCIONES			Mp (0)	Rs (-1)		MODIFICAR SOLUCIONES	Mp (0)			Ms (0)	ACEPTAR SOLUCIONES		0,10	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	-	-0,12	-0,04	-0,16	0,22	0,00	0,14	-	0	2	-	-2	0		
	PERSPECTIVA 2	Mp (0)					Mp (0)				Rs (-1)						Ms (0)	0,22	0,15	0,00	-	0	1	-	-1	-1	0,22	0,15	0,00	-	0	1	-	-1	-1		
	PERSPECTIVA 3	Rp (-1)					Mp (0)				Rs (-1)						Ms (0)	0,18	0,05	0,24	-	-1	3	-	-1	0	0,18	0,05	0,24	-	-1	3	-	-1	0		
	PERSPECTIVA 5	Rp (-1)					Mp (0)				Rs (-1)						Ms (0)	0,12	0,31	0,23	-	1	1	-	0	0	0,12	0,31	0,23	-	1	1	-	0	0		
PERSPECTIVA 5	PERSPECTIVA 1	Rp (-1)	Rs (-1)		RECHAZAR SOLUCIONES		Mp (0)	Ms (0)	MODIFICAR SOLUCIONES		Ap (1)		Ms (0)	ACEPTAR SOLUCIONES			0,13	0,08	0,19	0,11	0,12	0,24	-	-0,05	0,11	0,05	0,23	0,36	0,54	-	3	3	-	-1	1		
	PERSPECTIVA 2	Rp (-1)					Mp (0)				Ms (0)						Ms (0)	0,24	0,15	0,08	-	0	0	-	-1	-1	0,24	0,15	0,08	-	0	0	-	-1	0		
	PERSPECTIVA 3	Rp (-1)					Mp (0)				Ms (0)						Ms (0)	0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0	0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0		
	PERSPECTIVA 4	Ap (1)					Mp (0)				Ms (0)						Ms (0)	0,12	0,31	0,23	-	1	1	-	0	0	0,12	0,31	0,23	-	1	1	-	0	0		

I_j	S_i / S_G
Ap = Aceptar Propuesta	As = Aceptada Solución
Mp = Modificar Propuesta	Ms = Modificar Solución
Rp = Rechazar Propuesta	Rs = Rechazada Solución

Tabla 4. Resumen de los valores que han tomado los principales parámetros a lo largo de la aplicación práctica de la técnica propuesta en el rediseño del soporte metálico.

GRÁFICOS

TABLA

PESOS GLOBALES NORMALIZADOS			
	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3
EXPERTO 1	0.283	0.273	0.331
EXPERTO 2	0.296	0.382	0.273
EXPERTO 3	0.223	0.223	0.157
EXPERTO 4	0.086	0	0
EXPERTO 5	0.112	0.122	0.239

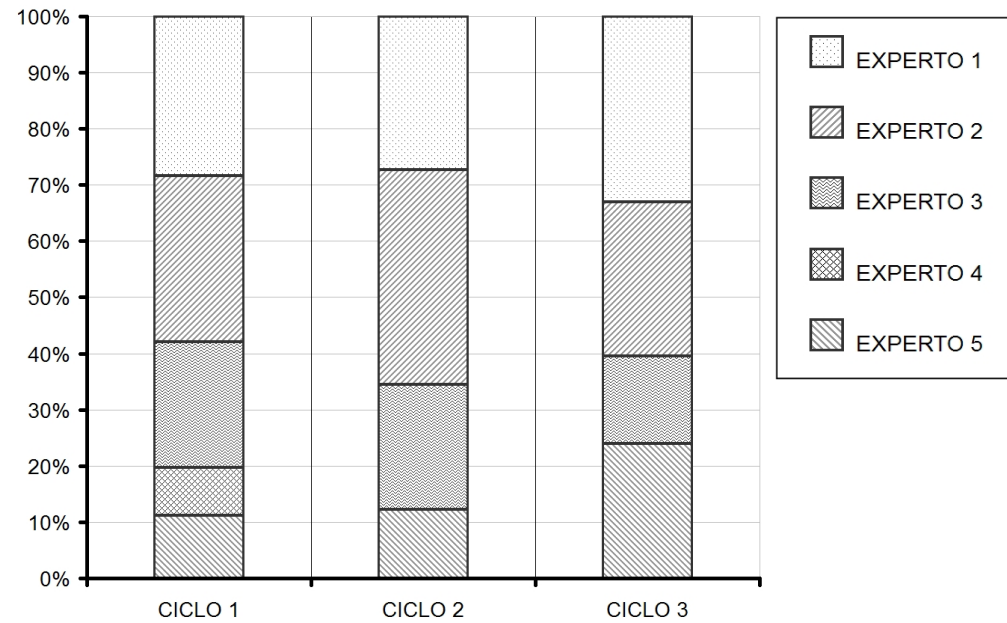
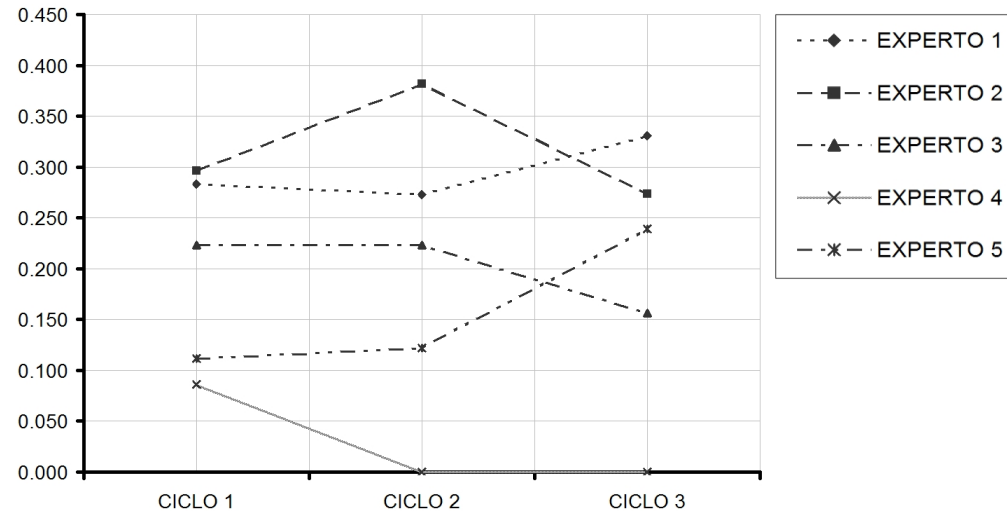


Figura 13. Pesos globales normalizados.

GRÁFICOS

TABLA

COMPONENTE DE LA ECUACIÓN QUE REPRESENTA LA COMPENETRACIÓN E INTEGRACIÓN EN EL EQUIPO				
	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	VARIACIÓN TOTAL
EXPERTO 1	-	-0.053	0.130	0.077
EXPERTO 2	-	0.012	0.049	0.061
EXPERTO 3	-	-0.051	0.010	-0.041
EXPERTO 4	-	-0.121	-0.039	-0.160
EXPERTO 5	-	-0.054	0.109	0.055

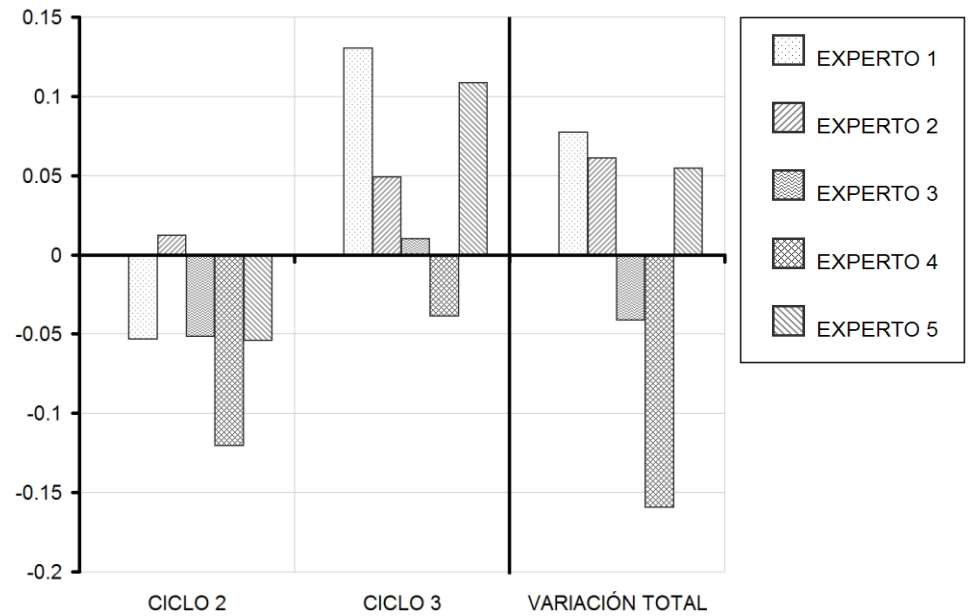
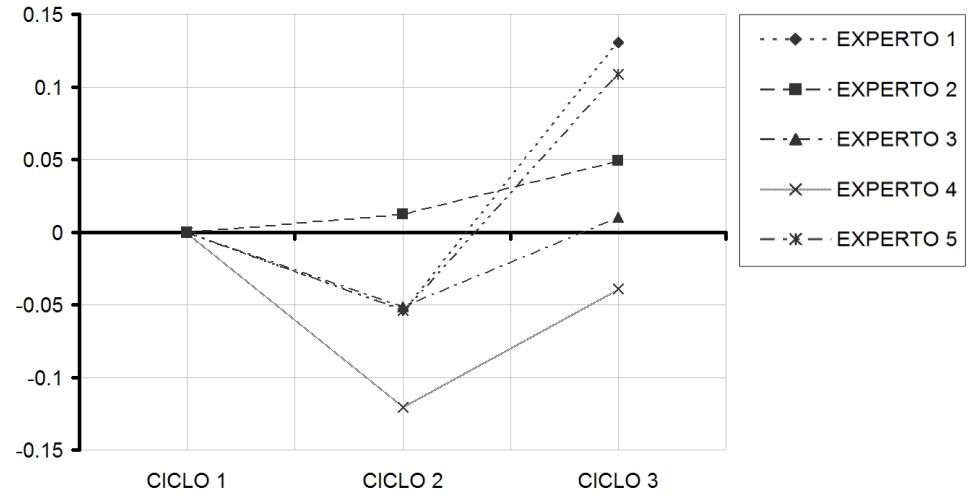


Figura 14. Componente de la ecuación de los pesos globales que representa la variación de compenetración e integración en el equipo

$$\left(\mu s_i + \rho \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^N w_{ij}^{\text{nuevo}}}{N-1} \right)$$

6.3.1. Contribución de las perspectivas/expertos en la solución final

Los expertos con mayor compenetración e integración, que son los que más se han esforzado en cooperar y entenderse con los demás, han sido los que más han contribuido e influido en la solución final adoptada por el coordinador, ya que ésta se ha elaborado básicamente con las propuestas finales de los expertos 2 y 1, y teniendo en cuenta los comentarios del experto 5 a las sucesivas propuestas. Además, el experto 1 ya había influido considerablemente en los resultados parciales del ciclo 2. El experto 3 también ha contribuido, no a través de sus propuestas sino a través de unos comentarios útiles sobre las otras propuestas (supervisó sus tiempos), pero en menor grado que el experto 5.

Por el contrario, el experto 4, el de menor compenetración (nulo y variación negativa), no ha influido casi nada en la solución final, ni con sus propuestas ni con sus comentarios. Es un experto que para este diseño concreto no aporta casi nada, no encaja bien en el tema, por lo que no se integra. Se podría decir que se eligió mal. Por lo que también se puede concluir que la técnica propuesta también avisa si una perspectiva/experto fue bien o mal elegida para un proyecto concreto.

6.3.2. Influencia de las perspectivas/expertos en la resolución de conflictos durante el proceso

Asimismo, en línea con lo anteriormente dicho, los expertos con mayor compenetración e integración, y consecuentemente con mayor peso global, también han sido los que más

han influido y sido más decisivos en el manejo y resolución de conflictos de una manera integral durante el proceso.

Así, los expertos que más han influido en la solución final adoptada también son los que han sido más decisivos en la resolución de conflictos durante el proceso, lo cual es lógico ya que lo primero lleva implícito lo segundo, es decir un experto que influya mucho en la solución final es un experto que ha influido durante el proceso, y durante el proceso están incluidas aquellas decisiones sobre asuntos conflictivos. En otras palabras, las resoluciones de conflictos son soluciones parciales que forman parte de la solución global y final. Esto hace que el manejo de conflictos en la técnica propuesta se realice de una forma integral, lo que es una característica esencial de la misma. En esta técnica, lo importante es que en el conjunto de los conflictos más importantes en un proyecto sean decisivos los expertos más compenetrados e integrados, ya que dichos expertos son los que tienen la mejor visión de conjunto e integral de los objetivos del proyecto.

La Tabla 5 muestra un resumen de los principales conflictos que surgieron durante el proceso, y de los correspondientes parámetros y comentarios que se tuvieron en cuenta e influyeron en su manejo. La primera columna son los números identificativos de cada conflicto. La segunda columna es la lista de las ideas iniciales propuestas por algún experto que dieron lugar a los conflictos, la tercera columna es un resumen de la reacción de los otros expertos (positiva o negativa).





CONFLICTOS	IDEA INICIAL CONFLICTIVA	REACCIÓN ANTE LA IDEA INICIAL CONFLICTIVA	EXPERTOS INVOLUCRADOS					PESOS GLOBALES NORMALIZADOS					RESOLUCIÓN DEL CONFLICTO	
			EXPERTO QUE PROPONE	EXPERTOS QUE REACCIONAN	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	COMENTARIOS A LA IDEA INICIAL CONFLICTIVA	EXPERTO QUE PROPONE	EXPERTOS QUE REACCIONAN	SUMA A FAVOR	SUMA EN CONTRA	ACEPTA ?	
CONFLICTO 1	En el Ciclo 1, la perspectiva/experto 5 propuso sustituir tornillos y tuercas por bridas para facilitar el montaje	La opinión general al respecto fue contraria y, salvo la perspectiva/experto 4, todos las demás perspectivas/expertos no aceptan la idea	5	1	Ri	-	-	La solución debilita la robustez del armario	0,112	0,283	0,198	0,802		El conflicto se resolvió durante el Ciclo 1. Las perspectivas/expertos con mayor importancia relativa (Peso Global Normalizado) se mostraron contrarios a la idea, lo que favoreció, en función de la suma de los parámetros mostrados, que la técnica rechazara la idea inicial conflictiva. La perspectiva/experto 5, en función de las reacciones a su idea y de los resultados obtenidos, descartó el uso de las bridas como medio de sujeción del soporte
				2	Ri	-	-	Aumenta el número de piezas		0,296				
				3	Ri	-	-	No reduce los tiempos de montaje		0,223				
				4	Ai	-	-	Posibilita sistemas de sujeción alternativos		0,086				
CONFLICTO 2	En el Ciclo 2, la perspectiva/experto 3 propuso el uso de una presilla para impedir el retroceso del soporte una vez fijado a la barra vertical	En general, la idea no fue aceptada, con excepción de la perspectiva/experto 4	3	1	-	Ri	-	Dificulta el montaje y las presillas son poco robustas	0,223	0,273	0,223	0,777		El conflicto se resolvió durante el Ciclo 2. Las perspectivas/expertos de mayor importancia relativa (Peso Global Normalizado) se mostraron contrarios a la idea, lo que favoreció, en función de la suma de parámetros correspondientes, que la técnica la rechazara. LA perspectiva/experto 3, en función de los resultados y comentarios obtenidos descartó el uso de las presillas en el soporte
				2	-	Ri	-	Aumenta el número de piezas		0,382				
				4	-	Ai	-	Posibilita sistemas de sujeción alternativos		0				
				5	-	Ri	-	Se necesita mucha habilidad en el montaje		0,122				
CONFLICTO 3	En el Ciclo 2, la perspectiva/experto 2 propuso que el soporte debía presentar simetría de uso a ambos lados de la barra normalizada	Las perspectivas/expertos 1 y 5, inicialmente en contra, aceptaron al final la idea, de acuerdo con la mayoría de perspectivas/expertos	2	1	-	Ri	Ai	La simetría es aceptable siempre que facilite el montaje	0,273	0,331	1	0		El conflicto se resolvió a lo largo de los Ciclos 2 y 3. En este caso, finalmente, todas las perspectivas/expertos se mostraron a favor de la idea propuesta por la perspectiva/experto 2, por lo que la técnica aceptó la idea, lo que permitió que el soporte pueda ser usado indistintamente a ambos lados de la barra normalizada
				3	-	Ai	Ai	La simetría reduce tiempos de montaje		0,157				
				4	-	Ai	Ai	La simetría dota de versatilidad al soporte		0				
				5	-	Ri	Ai	La simetría es aceptable si facilita el trabajo a montadores no profesionales		0,239				
CONFLICTO 4	En el ciclo 3, la perspectiva/experto 5 propuso diseñar una pieza que permitiese sujetar la barra normalizada, encajando, por deslizamiento en el soporte	La perspectiva/experto 1 se mostró de acuerdo mientras las perspectivas/expertos 2, 3 y 4 se posicionaron en contra	5	1	-	-	Ai	Facilita el montaje del armario y la colocación de las barras estándar	0,239	0,331	0,57	0,43		El conflicto se resolvió durante el Ciclo 3. Las perspectivas/expertos que estaban a favor de la idea, poseían, en conjunto (su suma) mayor importancia relativa que los que estaban en contra, lo que favoreció que la técnica aceptara la idea. La pieza de sujeción de la barra normalizada fue diseñada según las propuestas de la perspectiva/experto 5
				2	-	-	Ri	Aumenta el número de piezas		0,273				
				3	-	-	Ri	La solución implica un aumento en el tiempo de fabricación y montaje		0,157				
				4	-	-	Ri	Limita la versatilidad del soporte		0				

Tabla 5. Resumen de los principales conflictos surgidos durante el proceso para este ejemplo práctico.

CONFLICTO	DESCRIPCIÓN DEL CONFLICTO	OPINIONES DE LOS EXPERTOS	EXPERTO QUE PROPONE	EXPERTOS QUE REACCIONAN	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	COMENTARIOS A LA IDEA INICIAL CONFLICTIVA	EXPERTO QUE PROPONE	EXPERTOS QUE REACCIONAN	SUMA A FAVOR	SUMA EN CONTRA	ACEPTA ?	RESOLUCIÓN DEL CONFLICTO
CONFLICTO 5	En el ciclo 3, la perspectiva/experto 1 propuso el uso de una cinta elástica para inmovilizar/fijar la pieza de sujeción de la barra normalizada	En general, la idea fue aceptada, con excepción de la perspectiva/experto 2	1	2	-	-	Ri	Aumenta el número de piezas	0,331	0,273	0,727	0,273	↑	El conflicto se resolvió durante el Ciclo 3. La suma de las importancias relativas de las perspectivas/expertos que estaban a favor es mayor que la suma de las perspectivas/expertos que estaban en contra, con lo que se favoreció que la técnica aceptara la idea. En vista de los resultados se empleó la cinta metálica, lo que permitió incluso una regulación de la distancia de la propia barra normalizada a la pared trasera del armario eléctrico
				3	-	-	Ai	Reduce tiempos en el montaje		0,157				
				4	-	-	Ai	Dota al soporte de mayor versatilidad		0				
				5	-	-	Ai	Facilita el montaje y desmontaje		0,239				
CONFLICTO 6	En el ciclo 1, la perspectiva/experto 2 planteó que el sistema de sujeción del soporte debía fundamentarse en soluciones de base geométrica para reducir, en la medida de lo posible, los elementos de unión	Aunque, inicialmente, las demás perspectivas/expertos plantearon diferentes soluciones que empleaban elementos de unión, al final del proceso aceptaron la idea planteada	2	1	Ri	Ri	Ai	Si permiten un trabajo fluido por parte de los operarios y son robustas, se puede aceptar la solución	0,273	0,331	1	-	↑	El Conflicto se resolvió a lo largo del proceso, durante todos los Ciclos. Finalmente, todos las demás perspectivas/expertos apoyaron la idea inicial de la perspectiva/experto 2, lo que supuso que no existiesen valores de Suma en Contra para los parámetros correspondientes, provocando que la técnica aceptara la idea. El conflicto se fue resolviendo paulatinamente y todos las perspectivas/expertos fueron proponiendo soluciones al diseño basadas en modificaciones de la geometría del soporte
				3	Ri	Ai	Ai	Las soluciones geométricas son aceptables siempre que reduzcan tiempos de montaje		0,157				
				4	Ri	Ai	Ai	La reducción de versatilidad sólo se compensa si se simplifica el proceso de montaje		0				
				5	Ri	Ri	Ai	Si el montaje es seguro y sencillo, las soluciones geométricas pueden ser aceptadas		0,239				
CONFLICTO 7	En el ciclo 1, la perspectiva/experto 4 propuso que el soporte debía poseer versatilidad y así adaptarse a diferentes mecanismos de sujeción	Todas las perspectivas/expertos se mostraron desde el principio, en contra de esta idea y no la apoyaron en ningún momento del proceso	4	1	Ri	Ri	Ri	El soporte debe ser robusto y fácil de montar	0	0,331	0	1	↓	El Conflicto se resolvió a lo largo del proceso, durante todos los Ciclos. Todas las perspectivas/expertos se opusieron a la idea propuesta por la perspectiva/experto 4 desde el principio y nunca tuvo ningún apoyo. En este caso, la suma de las importancias relativas (Peso Global Normalizado) de las perspectivas/expertos en contra es mayor que la importancia relativa (0) de la única perspectiva/experto a favor, el propio Experto 4. Esto hizo que la técnica rechazara la idea
				2	Ri	Ri	Ri	El soporte debe contener el menor número de piezas		0,273				
				3	Ri	Ri	Ri	El soporte debe ser fabricado y montado invirtiendo el menor tiempo posible		0,157				
				5	Ri	Ri	Ri	El soporte debe facilitar su montaje y desmontaje incluso por montadores no profesionales		0,239				

Ai = Acepta la idea, a favor
Ri = Rechaza la idea, en contra

Tabla 5 (continuación). Resumen de los principales conflictos surgidos durante el proceso para este ejemplo práctico.

En el siguiente bloque de columnas (expertos involucrados), se detalla quién plantea el conflicto (columna experto que propone) y cómo son las reacciones de los otros expertos en los distintos ciclos (A_i – Acepta la idea, a favor, R_i – Rechaza la idea, en contra) donde existe o se maneja el conflicto. Nótese que en los ciclos donde aún no apareció el conflicto o ya está resuelto no aparecen datos y en su lugar se puso un guion (-). En la última columna de este bloque se muestra el comentario principal de los otros expertos a la idea que dio lugar al conflicto. En el siguiente bloque de columnas se ponen los pesos globales normalizados de los expertos correspondientes al último ciclo donde se resuelve el conflicto, y las sumas de éstos por separado: de los expertos que estaban a favor y de los expertos que estaban en contra de la idea inicial conflictiva. Si la suma a favor es mayor que la suma en contra, esto favorece que la técnica propuesta acepte la idea inicial, indicándose gráficamente con una flecha hacia arriba, en caso contrario favorece su rechazo, indicándose en este caso con una flecha hacia abajo. Nótese que el peso global implícitamente incluye el “componente compenetración e integración en el equipo de la ecuación”, ya que están interrelacionados y uno depende del otro como ya se explicó anteriormente (ver Ecuación 12). Finalmente, la última columna es un resumen de la resolución adoptada por la nueva técnica.

*“Allá, todo es orden y belleza
Lujo, calma y voluptuosidad”*

Charles Baudelaire

CAPÍTULO VII

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA
NUEVA TÉCNICA**

7. Estudio comparativo de la nueva técnica

7.1. Consideraciones acerca de las múltiples perspectivas

En este ejemplo práctico, la técnica se aplicó con cinco perspectivas independientes que representaban los puntos más importantes a la hora de diseñar un tipo concreto de productos (sistemas de sujeción), del cual es un ejemplo el soporte del apartado 6. Para otros tipos de productos (ejemplo gafas, bolsos, bicicletas, piezas de un automóvil, etc.), hay otros puntos que deberían ser incluidos en la nueva técnica como perspectivas independientes, debido a su importancia e influencia en el diseño de esos productos. Así, dependiendo del tipo de diseño, habría que incluir como nuevas perspectivas: coste, calidad, seguridad, fiabilidad, medio ambiente, reciclaje, etc... Algunos de estos puntos, en este trabajo, se hicieron dependientes de otros. Por ejemplo los costes fueron incluidos dentro de la perspectiva de reducción de partes, y la calidad, dentro de la perspectiva de diseño centrado en el usuario. Sin embargo, la nueva técnica no obliga a esta fusión, sino que, debido a su propia estructura, puede admitir cambios y

reinterpretaciones en sus perspectivas constituyentes. Es decir, la técnica puede admitir nuevas perspectivas independientes y hacer dependientes a aquellas que para el nuevo tipo de diseño sean menos relevantes. La alternancia de perspectivas, en número y según importancia, hace que la nueva técnica sea más flexible y es una de las razones del modelo neuronal de Hopfield en que se basa. En futuras revisiones de la misma, la calidad y los costes constituirían perspectivas independientes debido a la importancia que suelen tener en general estos puntos, mientras las perspectivas actuales de menor importancia general se podrían fusionar con otras afines.

7.2. Comparación de la técnica con otras relevantes

7.2.1. Comparativa con métodos de selección de alternativas

En la Tabla 6 se puede ver una comparativa de la nueva técnica con respecto a los métodos descritos en el apartado 2.2.1. La mayoría de estos métodos, básicamente, evalúan alternativas/conceptos en función del grado de cumplimiento de unos requerimientos según unos criterios preestablecidos, resolviendo de esta manera los conflictos que puedan existir entre distintos requerimientos. En el caso particular de que una perspectiva se corresponda o se ocupe de un único requerimiento, la nueva técnica será análoga a estos métodos, por lo que se puede comparar con ellas. Sin embargo, este tipo de técnicas no consideran perspectivas por lo que tampoco resuelven los conflictos que surgen entre ellas. Este aspecto sí es considerado por la técnica propuesta.

No obstante, en general, el grupo de métodos de esta tabla y la nueva técnica son enfoques de distinta tipología que incluso pueden ser complementarias. Así por ejemplo, cada perspectiva/experto, a su vez, puede usar si lo desea, aunque no es necesario, un método del apartado 2.2.1 para elegir la mejor solución que cumple con el grupo de requerimientos de los que se ocupa o en los que es experta, antes de proponérsela al resto de perspectivas/expertos en la red. En la Tabla 6, además de la descripción de cada criterio se ha incluido un diagrama comparativo para indicar si la nueva técnica es mejor (+), igual (=) o peor (-), en el cumplimiento de cada criterio, en relación con cada uno de los otros métodos con los que se compara.

7.2.2. Comparativa con trabajos que manejan conflictos entre perspectivas

Por otra parte, en la Tabla 7, se puede ver una comparativa de la técnica propuesta con respecto a los trabajos comentados sobre manejo de conflictos entre perspectivas y que ya fueron resumidos en la Tabla 1. Estos trabajos están más relacionados con la técnica propuesta, ya que tratan con perspectivas en el diseño. A diferencia de la Tabla 6, en la Tabla 7 únicamente se incluyen los diagramas comparativos en las columnas de cada enfoque para indicar si la nueva técnica es mejor (+), igual (=) o peor (-), en el cumplimiento de cada criterio, en relación con cada uno de los otros trabajos con los que se compara. Se ha optado por esta opción para evitar duplicar la información y destacar los resultados de la propia tabla. Respecto de los criterios utilizados, unos son comunes a la anterior tabla (Tabla 6) mientras que otros son específicos de este caso, ya que se trata de enfoques de distinta tipología.

Cowan *et al.* (1999, 2006) se basan en la teoría de los sistemas vivientes para, esencialmente, crear un lenguaje simbólico común con el que modelan perspectivas, facilitando así la comunicación entre el equipo de diseño.

En la nueva técnica, también nos hemos basado en un sistema biológico, en este caso en el modo de interactuar las neuronas entre sí en el cerebro, pero no para crear un lenguaje, sino para medir los grados de compenetración, integración y cooperación de cada participante en su equipo, primando y fomentando un estilo cooperativo. De esta manera cada perspectiva/experto, para que sus ideas tengan peso en la solución final, entre otras cosas, tiene que esforzarse en facilitar que su jerga sea entendida por las otras perspectivas/expertos, y a su vez en entender la jerga de las otras perspectivas. Se consigue así superar las limitaciones del uso de un lenguaje común desarrollado a medida para estas situaciones, que es distinto del lenguaje habitual a que están acostumbrados los participantes, y por lo tanto poco familiar para ellos. Estas limitaciones también fueron apuntadas en los trabajos de Easterbrook (1991, 1994) en otra disciplina.

Lam *et al.* (2007) identifica cinco estilos de manejo de conflictos y encuentra que los *cooperative styles (integrating and obliging)* son efectivos en la resolución de conflictos y los *uncooperative styles (dominating and avoiding)* son ineficaces. En la técnica propuesta, como ya se mencionó, se fomenta un estilo cooperativo para la resolución de conflictos entre perspectivas, en congruencia con Lam *et al.*

MÉTODOS DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS																		
	NUEVA TÉCNICA	Matriz de Decisión de Pugh		Análisis de Utilidad		Proceso Analítico Jerárquico		Despliegue de la Función de Calidad		Axiomas de Diseño de Suh		Análisis de Sensibilidad		Óptimos de Pareto		Algoritmos genéticos		Lógica Borros
Facilidad de uso	Medio	Sí	⊖	Sí	⊖	Medio	⊖	Sí	⊖	Medio	⊖	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No
Método sistemático (pasos claramente definidos)	Se aporta un claro proceso multi-etapa	Se aporta un claro proceso en tres etapas	⊖	Se aporta un claro proceso multi-etapa	⊖	Se aporta un claro proceso multi-etapa	⊖	Se aporta un método general	⊕	Se aporta un método general	⊕	Se aporta un método general	⊕	Se aporta un proceso multi-etapa	⊕	Se aporta un método general	⊕	Se aporta un método general
Bases para la evaluación de alternativas frente a requerimientos	Reglas de evaluación y regla de aprendizaje	Una sencilla puntuación '+', '-' o 's'	⊖	Función de utilidad a cada requerimiento	⊖	Comparaciones por pares	⊖	Función de utilidad a cada requerimiento	⊖	Axiomas de independencia y de información	⊖	Procedimientos estadísticos	⊖	Fronteras de Pareto	⊖	Operadores genéticos	⊖	Calificadores del lenguaje común
Ponderación de requerimientos según su importancia relativa	Sí, basado en la regla de Hebb	No	⊕	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	No	⊖	Sí	⊖	No directamente	⊕	No directamente	⊕	Sí
Mejora de las alternativas durante el proceso de selección	Sí, sintetizando y generando nuevas alternativas	Sí, mejorando cada alternativa individualmente	⊖	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	Sí, a través de los operadores genéticos	⊖	No
Identificación de incompatibilidades entre alternativas	Sí	No	⊕	No	⊕	No	⊕	Sí	⊖	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No
Modelado de la incertidumbre en la toma de decisiones	No, aunque se podría implementar	No	⊖	No	⊖	No	⊖	No	⊖	No	⊖	Sí	⊖	No	⊖	No	⊖	Sí
Enfoque apoyado en la percepción del diseñador	Sí	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	No	⊕	No	⊕	Sí
Resolución de conflictos entre requerimientos	Sí	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí	⊖	Sí
Resolución de conflictos entre perspectivas	Sí	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No	⊕	No

Tabla 6. Comparación de la técnica propuesta en relación con diferentes métodos de selección de alternativas (ver también el Apartado 2.2.1).

		OTROS TRABAJOS QUE MANEJAN CONFLICTOS ENTRE PERSPECTIVAS		
NUEVA TÉCNICA		Cowan <i>et al.</i> (1999, 2006)	Lam <i>et al.</i> (2007)	Easterbrook (1991, 1994) -en otro campo-
Facilidad de uso	Medio	=	=	=
Método sistemático (pasos claramente definidos)	Se aporta un claro proceso multi-etapa	+	+	+
Fundamentos de la técnica de manejo de conflictos entre perspectivas	Interacción de las neuronas biológicas y aprendizaje hebbiano	=	=	=
Uso de un lenguaje común	No, aunque la técnica anima a las perspectivas/expertos a buscar un entendimiento mutuo	-	=	=
Facilitar la comunicación entre los expertos	Sí la fomenta mediante un procedimiento concreto y durante cada iteración	-	=	=
Fomento de la integración y cooperación en el equipo	Sí, mediante un procedimiento concreto	+	+	=
Tipos de perspectivas	Varias y heterogéneas	+	+	=
Tipos de evaluaciones (cualitativas/cuantitativas)	Cualitativas y cuantitativas	+	+	+
Identificación y selección de requerimientos por las perspectivas/expertos	Sí, los expertos pueden proponer, modificar o eliminar requerimientos de modo consensuado	+	+	=
Posibilidad de generar nuevas alternativas	Sí, en todo momento	=	+	=
Identificación de incompatibilidades entre alternativas	Sí	=	+	=
Resolución de conflictos entre requerimientos	Sí	=	=	=
Resolución de conflictos entre perspectivas	Sí	=	=	=

Tabla 7. Comparación de la técnica propuesta en relación con otros trabajos que manejan conflictos entre perspectivas (ver también la Tabla 1).

No obstante, Lam *et al.* abordan este tema de una manera general, no aporta ningún tipo de proceso en etapas para manejar conflictos, por lo que no es un método que se pueda aplicar directamente; mientras que en la nueva técnica se aborda a través de un procedimiento concreto.

Para una mejor verificación y validación de la efectividad de la nueva técnica, en la Tabla 8 se establece una comparación de los resultados de la nueva técnica en el manejo de conflictos en relación con los resultados que producen los métodos mencionados, obtenidos de una selección de los cuatro conflictos más representativos que surgieron durante el proceso (ver también la Tabla 5). Como se puede ver en la Tabla 8 ninguna de estos métodos resuelven estos conflictos, que sí resuelve la nueva técnica. Además, se incluye también una comparativa con los resultados que produce la técnica DFMA en estos conflictos, debido a que dos de los expertos elegidos en el ejemplo práctico, Reducción de Partes y Minimización de Tiempos poseen un peso global elevado y, en conjunto, contemplan los aspectos esenciales del DFMA. Además, el DFMA indirecta y tácitamente incluye alguna perspectiva, aunque no formalmente, como ya se explicó en la apartado 1. El DFMA resuelve estos conflictos pero teniendo en cuenta sólo su único punto de vista, sin tener en cuenta las otras perspectivas (es decir, no considera la opinión del usuario final), por lo que no resuelve el conflicto de una manera holística, como sí lo hace la nueva técnica presentada. Como consecuencia, esto conlleva a un diseño diferente, más básico y elemental, pero más difícil de montar por los usuarios que el obtenido a través de la técnica.

CONFLICTOS	IDEA INICIAL CONFLICTIVA	NUEVA TÉCNICA PROPUESTA		COWAN ET AL. (1999, 2006)		LAM ET AL. (2007)		EASTERBROOK (1991, 1994)		DESIGN FOR MANUFACTURE AND ASSEMBLY (DFMA)	
		PERSPECTIVAS ELEGIDAS	RESUELVE EL CONFLICTO ?	PERSPECTIVAS ELEGIDAS	RESUELVE EL CONFLICTO ?	PERSPECTIVAS ELEGIDAS	RESUELVE EL CONFLICTO ?	PERSPECTIVAS ELEGIDAS	RESUELVE EL CONFLICTO ?	PERSPECTIVAS ELEGIDAS	
		Las perspectivas son: Diseño centrado en el usuario (1), Reducción de partes (2), Minimización de tiempos (3), Adaptación e integración de innovaciones (4), y Creación de entornos Do-It (5)		Según Cowan <i>et al.</i> las perspectivas se clasifican en tres grupos: Conocimiento, Espacio y Tiempo. Por lo que las perspectivas identificadas son tres de Conocimiento: ergonomía, resistencia estructural, chasis y envolventes de armarios eléctrico, una de Espacio: dimensiones y distribución de piezas y ensamblajes; y una de Tiempo: proceso de fabricación y de montaje		Las perspectivas definidas por Lam <i>et al.</i> are: Clientes y Proveedores		Las perspectivas usadas por este método no son adecuadas para el campo del diseño		Las perspectivas son: Fabricación y ensamblaje, ambas muy interrelacionadas, considerando la reducción de piezas y la disminución de costes y tiempos de montaje	
CONFLICTO 1	En el Ciclo 1, la perspectiva/experto 5 propuso sustituir tornillos y tuercas por bridas para facilitar el montaje	El conflicto se resolvió durante el Ciclo 1. Las perspectivas/expertos con mayor importancia relativa (Peso Global Normalizado) se mostraron contrarios a la idea, lo que favoreció, en función de la suma de los parámetros mostrados, que la técnica rechazara la idea inicial conflictiva. La perspectiva/experto 5, en función de las reacciones a su idea y de los resultados obtenidos, descartó el uso de las bridas como medio de sujeción del soporte	SÍ	Una vez detectado el conflicto, las perspectivas identificadas y categorizadas según Cowan <i>et al.</i> en Conocimiento, Espacio y Tiempo, intentan comunicarse entre sí, empleando un lenguaje común, para discutir acerca de las bridas. Esto supone un problema y la resolución del conflicto es pospuesta hasta tener la capacidad de expresar los pros y contras del uso de bridas mediante el lenguaje simbólico común	NO	Este enfoque no aporta ningún tipo de proceso en etapas para la resolución de conflictos y sólo hace recomendaciones generales. Así, una vez detectado el conflicto, las dos perspectivas definidas por Lam <i>et al.</i> intentan resolverlo mediante estilos cooperativos y valoraciones cualitativas del conflicto. Sin embargo, en este caso, debido a que ni clientes ni proveedores son expertos en el montaje de armarios eléctricos, no son capaces de resolverlo	NO	El conflicto se intenta resolver a través de un proceso de negociación basado en software. Sin embargo, en este caso, el conflicto no pudo ser resuelto pues este enfoque no está pensado para su aplicación en el campo del diseño y el software no está preparado para manejar la problemática del mismo	NO	Mediante valoraciones, básicamente cuantitativas, y según el punto de vista de la fabricación y el ensamblaje, se resuelve el conflicto de modo que se descarta el uso de bridas pues no reducen el número de partes y, además, incrementan los costes de montaje	
CONFLICTO 3	En el Ciclo 2, la perspectiva/experto 2 propuso que el soporte debía presentar simetría de uso a ambos lados de la barra normalizada	El conflicto se resolvió a lo largo de los Ciclos 2 y 3. En este caso, finalmente, todas las perspectivas/expertos se mostraron a favor de la idea propuesta por la perspectiva/experto 2, por lo que la técnica aceptó la idea, lo que permitió que el soporte pueda ser usado indistintamente a ambos lados de la barra normalizada	SÍ	De modo análogo al conflicto 1, las perspectivas identificadas y categorizadas según Cowan <i>et al.</i> , poseen dificultades para expresar algunos conceptos y la diversa terminología relacionada con la simetría de uso a través de un lenguaje simbólico común. El conflicto no puede ser resuelto pues ninguna de estas perspectivas es capaz, con los recursos de los que dispone, de expresar simbólicamente las ventajas y las desventajas relacionadas con la simetría de uso	NO	Igual que en el conflicto 1, la limitación de perspectivas, unida a la ausencia de un proceso concreto de resolución de conflictos, impide que este enfoque resuelva el conflicto, pues ni clientes ni proveedores tienen el suficiente conocimiento y experiencia para decidir acerca de los beneficios de emplear soportes con simetría de uso	NO	Igual que en el conflicto 1, este enfoque no está pensado para la resolución de conflictos en el campo del diseño. El conflicto no pudo ser resuelto	NO	Igual que en el conflicto 1, atendiendo a un único punto de vista, una vez que se identificó el conflicto, éste se resuelve aceptando la idea inicial, lo que supone que el soporte posea simetría de uso, lo que es, por otra parte, una recomendación de la propia técnica DFMA	
CONFLICTO 4	En el ciclo 3, la perspectiva/experto 5 propuso diseñar una pieza que permitiese sujetar la barra normalizada, encajando, por deslizamiento en el soporte	El conflicto se resolvió durante el Ciclo 3. Las perspectivas/expertos que estaban a favor de la idea, poseían, en conjunto (su suma) mayor importancia relativa (Peso Global Normalizado) que los que estaban en contra, lo que favoreció que la técnica aceptara la idea. La pieza de sujeción de la barra normalizada fue diseñada según las propuestas de la perspectiva/experto 5	SÍ	Siguiendo las mismas pautas que en conflictos anteriores aparecen los mismos problemas. Discutir la utilidad de una pieza adicional para sujetar la barra normalizada encajando por deslizamiento en el soporte, supone un problema a la hora de expresar esta discusión a través del lenguaje simbólico común. La utilidad de la pieza no puede mostrarse a través de símbolos concretos y sólo se puede aproximar mediante comparaciones. En este caso, las perspectivas no son capaces de resolver el conflicto	NO	Ni la perspectiva de clientes ni la perspectiva de proveedores son capaces de discutir sobre la utilidad de la pieza adicional, pues es un campo en el que no son expertos y sobre el que no poseen un conocimiento suficiente. En este caso, el conflicto tampoco puede resolverse	NO	Igual que en los conflictos anteriores, este enfoque no está pensado para la resolución de conflictos en el campo del diseño. El conflicto no pudo ser resuelto	NO	Del mismo modo, el conflicto es abordado primando la reducción de piezas y la disminución de costes y tiempos de montaje. Ante eso, el conflicto se resuelve descartando la idea inicial de uso de la pieza de sujeción de la barra normalizada, sin casi rediseñar la parte del soporte encargada de la sujeción de la barra normalizada, solamente sustituyendo los dos tornillos de sujeción por uno solo, y compensando esta reducción con unas muescas realizadas en esa misma parte del soporte, que evitan el giro de la barra. Esto conlleva a un diseño diferente al obtenido con la nueva técnica	
CONFLICTO 5	En el ciclo 3, la perspectiva/experto 1 propuso el uso de una cinta elástica para inmovilizar/fijar la pieza de sujeción de la barra normalizada	El conflicto se resolvió durante el Ciclo 3. La suma de las importancias relativas (Peso Global Normalizado) de las perspectivas/expertos que estaban a favor es mayor que la suma de las perspectivas/expertos que estaban en contra, con lo que se favoreció que la técnica aceptara la idea. En vista de los resultados se empleó la cinta metálica, lo que permitió incluso una regulación de la distancia de la propia barra normalizada a la pared trasera del armario eléctrico	SÍ	Igual que en los conflictos anteriores, y tal y como se ha mencionado, el problema principal es expresar y discutir en el lenguaje simbólico común la idea conflictiva presentada. Ninguna de las perspectivas es capaz de expresar claramente, en el lenguaje simbólico, la idea de la cinta metálica ni las ventajas y desventajas reales que presenta el uso de esta cinta para inmovilizar/fijar la pieza. El conflicto no se puede resolver	NO	Como ya se ha mencionado este enfoque no cuenta con ningún tipo de proceso en etapas para la resolución de conflictos y las dos principales perspectivas definidas no tienen el conocimiento ni la experiencia necesarias para resolver el conflicto. El conflicto no se puede resolver	NO	Igual que en los conflictos anteriores, este enfoque no está pensado para la resolución de conflictos en el campo del diseño. El conflicto no pudo ser resuelto	NO	Según el punto de vista de la técnica DFMA, la cinta metálica elástica incrementa el número de piezas del conjunto y los costes del mismo, por lo que la resolución de este conflicto es análoga a la del conflicto 4, optando por la misma solución y descartando esta idea inicial. Esto conlleva a un diseño diferente al obtenido con la nueva técnica	

Tabla 8. Comparación de los resultados de la nueva técnica relativos al manejo de conflictos frente a los resultados producidos por otros métodos y enfoques.

*“Uno tiene conciencia de la inutilidad
de todas las palabras”*

Ángel González

CAPÍTULO VIII

EVALUACIÓN DE LA NUEVA TÉCNICA

8. Evaluación de la nueva técnica

Evaluar la técnica es evaluar la evolución de una solución que reúne soluciones probadamente eficaces pero cuya eficacia no se suma necesariamente en esta unión. Por ello resulta especialmente complicado establecer patrones sobre los que comparar una técnica como la que ahora presentamos, que posee tanto de innovación, filosofía y método, situándose en un terreno inhóspito en la ingeniería de diseño. Además, a todo esto se une el carácter de la presente tesis donde se intentan exponer una serie de conceptos totalmente nuevos en el mundo del diseño, entroncados con las técnicas clásicas del diseño a través de la implementación de arquitecturas de red neuronal como factor de cohesión en la elaboración de diseños y rediseños.

Sin embargo que el concepto de la nueva técnica sea totalmente nuevo y aún no exista un marco real donde comparar las previsiones estimadas, no ocasiona que deje de poseer ciertos puntos de los que sólo la evolución de la misma aclarará su carácter. Estos puntos principales son:

- Elevada complejidad técnica: De lo expuesto se extrae que la realización informática práctica de la nueva técnica se antoja extremadamente laboriosa. No sólo se trata de elaborar el código de programación que simule el comportamiento de una red autoasociativa, sino que este código debe tener capacidad de comunicación e interacción en una red mayor, red que a su vez presenta dificultades técnicas evidentes. Debemos recordar que esta técnica se comportaría como un conjunto de redes implementadas sobre una red mayor, red que gestiona los recuerdos, y por lo tanto la memoria del sistema. Se podría establecer una analogía real con la estructura de Internet, pues el funcionamiento se fundamenta en la colaboración, siendo estas colaboraciones en forma de paquetes de información un campo para posibles trabajos futuros.
- Elaboración de los recuerdos y creación de memoria: En el presente trabajo no se ha ahondado en los fundamentos matemáticos de las redes de Hopfield, pues no se adecua a la temática ni a los objetivos del mismo. Sin embargo si se han mostrado las características asociadas a este tipo de estructuras, que poseen capacidad de aprendizaje y memorización. Para ello, existen una serie de desarrollos y reglas que controlan las iteraciones sucesivas en los procesos de aprendizaje, tales como la regla de Hebb y los algoritmos secuenciales y paralelos. Ante todo esto surge uno de los inconvenientes de esta técnica como es el volumen ingente de cálculos, datos y algoritmos que debe manejar una red para aportar soluciones adecuadas ante una entrada de datos. Construir redes con la capacidad suficiente para gestionar un

enorme flujo de datos de entrada, además de aportar la capacidad de cálculo necesario constituye un hándicap importante aunque un reto teórico y técnico interesantísimo.

- **Eliminación de datos espurios:** La realización de la nueva técnica requiere la elaboración de un modelo matemático, basado en la teoría de redes de Hopfield, que se adapte a todas sus necesidades y requerimiento. En la tesis, se ha expuesto un primer modelo basado en los fundamentos de la interacción y el aprendizaje de redes neuronales a través de la regla de Hebb. Sin embargo, este primer modelo posee limitaciones derivadas de los propios algoritmos que lo forman, debido a que todavía no contemplan las consecuencias de todas las posibles combinaciones entre los diferentes estados de las perspectivas. Esto genera una serie de datos espurios en el proceso, que deben ser identificados y corregidos convenientemente por nuevos algoritmos. Todos estos algoritmos suponen de por sí una línea de investigación y desarrollo propia que los vaya acercando al modelo teórico.
- **Adaptación y realización de los resultados:** Imaginemos un escenario real donde se haya implantado una red Hopfield para elaborar diseños y rediseños. Los usuarios de la red introducen un gran volumen de datos provenientes de un número similar de fuentes de información heterogéneas, ante los cuales, el sistema evoluciona y comienza a procesar estas entradas. Se produce una realización compleja basada en la iteración de múltiples algoritmos, para finalmente obtener un resultado. La red creará ese resultado en función de su memoria, es decir, si sus recuerdos son estables, el resultado será estable, si son inestables, la red se volverá inestable, y, los resultados tendrán que ser desechados. La dependencia de esta memoria es fundamental en los

resultados, por lo que los resultados, en etapas primigenias del sistema, no poseerían la suficiente robustez como para ser considerados elementos que por sí solos garantizaran el éxito del proceso pero si constituyen la base vehicular para obtener los resultados óptimos finales.

Los puntos anteriores representan, quizás, aquellos temas en los que la nueva técnica, en esta etapa de planteamiento y valoración, focaliza sus inconvenientes teóricos. Esta técnica se construye y plantea en función, básicamente, de la experiencia, siendo su objetivo principal el de aunar en un solo método mecanismos de planteamiento de diseños y rediseños de probada solvencia, como los *DFX* y los diseños centrados en el usuario. Precisamente de estos mecanismos es de donde se adquiere la robustez y solidez argumental necesaria para realizar el esbozo y las diferentes hipótesis que se han mostrado hasta el momento. Si bien, resulta innegable que la técnica aún tiene un gran número de incógnitas por resolver, y que el empleo de modelos en red neuronal como matriz de funcionamiento plantea un reto técnico importante, los resultados que augura la implantación de la nueva técnica en el mundo de la ingeniería de diseño son lo suficientemente esperanzadores como para compensar cualquier esfuerzo.

*“El sol, la luna, fruncen el ceño sobre
ti, tú has puesto tinieblas en la luz del
día”*

Thomas Wyatt

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES

9. Conclusiones

En esta tesis se ha presentado una novedosa técnica de evaluación de alternativas de diseño que tiene en cuenta las distintas perspectivas que participan y tienen que negociar en un proyecto. Para su primera implementación, se ha desarrollado una técnica experimental y un proceso de ejecución que representan el comportamiento neuronal y los principios fundamentales de la nueva técnica. Los resultados derivados de su posterior aplicación práctica han demostrado su eficacia en la generación, evaluación y selección de alternativas de diseño considerando, de un modo holístico, todas las perspectivas/expertos involucradas en el proceso.

En cuanto a los parámetros derivados del ejemplo práctico, la técnica desarrollada prima la afinidad y compenetración de un experto, que representa a una perspectiva, con el resto de expertos que representan a las otras perspectivas o puntos de vista distintos. De esta manera las opiniones de los expertos que hacen un mayor esfuerzo por entenderse con los otros expertos participantes, son primadas y tienen más peso en la decisión final. Estos expertos más compenetrados e integrados en el equipo también son los que consiguen tener una mayor visión general e integral del problema

en cuestión, sin limitarse exclusivamente a su área de conocimiento y a su punto de vista particular, por lo que el hecho de que la técnica desarrollada prime su puntuación es consistente con el sentido común.

Con respecto a su desarrollo y ejecución la nueva técnica ha alcanzado unos resultados que satisfacen los objetivos esperados, cumplidos ampliamente. A continuación se describen las contribuciones particulares de este trabajo:

- Se ha desarrollado un entorno multi-perspectiva basado en la tipología de las redes neuronales de Hopfield que se ha mostrado efectivo a la hora de disponer las neuronas y organizarlas en un entorno. Este entorno se ha creado proponiendo un nuevo modelo espacial que explica la pertenencia de cada neurona y, por lo tanto, de cada perspectiva/experto a diferentes redes neuronales.
- Mediante las nuevas ecuaciones de cálculo de pesos, inspiradas en la regla de Hebb, la técnica ha demostrado su utilidad a la hora de resolver conflictos entre perspectivas. Se ha podido observar que las perspectivas/expertos con mayor compenetración e integración, y consecuentemente con mayor peso global, han sido decisivos en el manejo y resolución de los conflictos del proceso.
- En el Capítulo V se ha expuesto un proceso para implementar la nueva técnica, presentando un diagrama del proceso (ver Figura 6) sencillo y secuencial que representa a la técnica experimental. Aunque esta técnica experimental es una primera realización de la nueva técnica, este carácter simple se ha demostrado de gran utilidad, sobre todo a la hora de realizar el ejemplo. El uso de tarjetas y la

disponibilidad y compromiso de los participantes en el proceso han logrado que la técnica muestre todas sus capacidades de procesamiento y destaquen los resultados derivados del modelo espacial de la red y del aprendizaje hebbiano.

- Como se deduce del ejemplo práctico del Capítulo VI y, en mayor medida, del Anexo II, las valoraciones de las perspectivas/expertos han sido cualitativas, exponiéndose en la tarjeta de propuestas, y cuantitativas, a través de los diferentes estados que alcanzaban a lo largo del proceso, si bien la técnica experimental no transforma directamente valoraciones cualitativas en cuantitativas.
- Finalmente, se realizó una aplicación real de la nueva técnica y sus efectos en el rediseño de un soporte metálico para armarios eléctricos, que pudo demostrar la aplicabilidad de la técnica dentro del diseño industrial. El rediseño del nuevo soporte, basado en soluciones geométricas, solventa los problemas de este tipo de piezas y aporta ingeniosas y útiles soluciones.

9.1. Líneas de trabajo futuras

En futuros trabajos, la técnica conllevará nuevos modelos matemáticos y computacionales, desarrollando su estructura, lo que permitirá incrementar la eficiencia de la técnica. Partiendo del desarrollo experimental se avanzará hacia una implementación basada en estructuras neuronales computacionales con lo que el proceso iterativo será gestionado por la propia red. Las tarjetas serán sustituidas por modelos informáticos y las iteraciones se realizarán de forma automática, así como las

actualizaciones de información. Asimismo, se deberá avanzar en la definición cuantitativa de las valoraciones cualitativas incluyendo desarrollos que cubran esta necesidad y el manejo de la incertidumbre inherente a esa definición. Esto permitirá avanzar en la determinación de los estados de cada neurona, hecho crucial en la nueva técnica, lo que incrementará su rapidez de procesamiento y reducirá los errores.

Además, una extensión de la técnica incluyendo la adopción de un lenguaje común ya desarrollado a todas las perspectivas, o el desarrollo de uno nuevo que supere las limitaciones de los existentes, favorecería la comunicación entre los expertos con puntos de vista distintos, por lo que se fomentaría aún más la compenetración entre todos ellos y que todos tuvieran una mayor visión integral del problema.

*“Si he logrado ver más lejos, ha sido
porque he subido a hombros de
gigantes”*

Isaac Newton

CAPÍTULO X

BIBLIOGRAFÍA

10. Bibliografía

Andreasen, M.M., Kahler, S. y Lund, T., 1988. *Design for assembly*. Bedford, United Kingdom: IFS Publications.

Augustine, M., Yadav, O.P., Jain, R., Rathore, A.P.S., 2010. Concept convergence process: A framework for improving product concepts. *Computers & Industrial Engineering*, **59**, 367-377.

Allen, B., 2000. A toolkit for decision-based design theory. *Engineering Valuation & Cost Analysis, special edition on "Decision-Based Design: Status & Promise"*, **3**(2/3), 85-106.

Altshuller, G.S., 1988. *Creativity as an exact science: The theory of inventive problem solving*. New York: Gordon and Breach.

Behzadian, M., Otaghsara, S.K., Yazdani, M., Ignatius, J., 2012. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications*, **39**(17), 13051-13069.

Beyer, H. y Holzblatt, K., 1997. *Contextual Design: Defining Customer-Centered Systems*. San Francisco, CA: Morgan Kaufman.

Bhamare, S.S., Yadav, O.P., Rathore, A., 2009. A Hybrid Quality Loss Function–Based Multi-Objective Design Optimization Approach. *Quality Engineering*, **21**(3), 277-289.

Boehm, B., 1988. The spiral model of software development and enhancement. *IEEE Computer*, **21**(5), 61 – 72.

Boivie, I., Aborg, C., Persson, J. y Löfberg, M., 2003. Why usability gets lost, or usability in in-house software development. *Interacting with Computers*, **15**(4), 623–639.

Boothroyd, G. y Dewhurst, P., 1989. *Product Design for Assembly*. Wakefield, RI: Boothroyd Dewhurst Inc.

Boothroyd, G., Dewhurst, P. y Knight, W., 2002. *Product design for manufacture and assembly*. New York: Marcel Dekker.

Bousoño-Calzón, C. y Salcedo-Sanz, S., 2004. A discrete-time quantized-state Hopfield neural network. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, **42**, 345-367.

Brown, D. y Rothery, P., 1993. *Models in Biology: Mathematics, Statistics and Computing*. NY: John Wiley & Sons.

Buonanno, M.A. y Mavris, D.N., 2004. Aerospace vehicle concept selection using parallel, variable fidelity genetic algorithms. In: *10th AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference*, 30 August–1 September 2004 Albany, New York. AIAA 2004–4432.

Buur, J. y Bødker, S., From usability lab to ‘design collaboratorium’: reframing usability practice. *Proceedings of DIS 2000*, New York, 2000.

Callaghan, A.R. y Lewis, K.E., 2000. A 2-phase aspiration-level and utility theory approach to large scale design. *In: Proceedings of the Design Engineering Technical & Computers in Engineering Conferences*, 10–13 September 2000 Maryland, Baltimore. DETC2000/DTM-14569.

Chamoun, Y., 2002. *Administración Profesional de Proyectos. La Guía. Una Guía Práctica para Programar el Éxito de sus Proyectos*. Mexico: Ian Ediciones.

Chang, G.A., 2001. A neural network model for the handling time of design for assembly. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, **19**(1), 35–48.

Clausing, D., 1994. *Total quality development*. New York: ASME Press.

Coombest, S. y Taylor, J. G., 1994. Using generalized principal component analysis to achieve associative memory in a Hopfield net. *Network: Computation in Neural Systems*, **5**(1), 75-88

Cooper, A., 1999 *The Inmates are Running the Asylum: Why High-Tech Products Drive Us Crazy and How to Restore the Sanity*. Indianapolis, Indiana: SAMS.

Cowan, F.S., Allen, J.K. y Mistree, F., 1999. Modeling perspectives with living systems theory in the design of complex engineering systems. *In: Proceedings of the 43rd Annual Conference of the International Society for the Systems Sciences*, 27 June–2 July 1999 Pacific Grove, California. Paper No. 99037.

Cowan, F.S., Allen, J.K. y Mistree, F., 2006. Functional modelling in engineering design: a perspectival approach featuring Living Systems Theory. *Systems Research and Behavioral Science*, **23**(3), 365–381.

Cross, N., 1994. *Engineering design methods: Strategies for product design*. 2nd ed. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons.

Dagleish, G. F., Jared, G. E. M. y Swift, K. G., 2000. Design for assembly: influencing the design process. *Journal of Engineering Design*, **11**(1), 17–29.

Duffy, A.H.B, Andreasen, M.M., Maccallum, K.J. y Reijs, L.N., 1993. Design co-ordination for concurrent engineering. *Journal of Engineering Design*, **4**(4), 251–261.

Duhem, P., 2003. *La teoría física. Su objeto y su estructura*. Barcelona: Herder Editorial, S.L.

Easterbrook, S.M., 1991. *Elicitation of requirements from multiple perspectives*. Thesis (PhD). Imperial College, University of London.

Easterbrook, S.M., 1994. Resolving requirements conflicts with computer-supported negotiation. In: M. Jirotko y J. Goguen, eds. *Requirements Engineering: Social and Technical Issues*. London: Academic Press, 41–65.

Ebadian, M., Rabbani, M., Jolai, F., Torabi, S. A. y Moghaddam, R. A., 2008. A new decision-making structure for the order entry stage in make-to-order environments. *International Journal of Production Economics*, **111**(2), 351-367.

Florio, M., Finzi, U., Genco, M., Levarlet, F., Maffii, S., Tracogna, A. y Vignetti, S., 2002. *Guide to cost-benefit análisis of investment projects*. Departamento de Política Regional de la Unión Europea.

Fulton Suri, J., 2003. Empathic design: Informed and inspired by other people's experience. In *Empathic Design User Experience in Product Design* edited by I. Koskinen, K. Battarbee, and T. Mattelmäki, pp. 51–65, Helsinki: IT Press.

Gaver, W., Dunne, T. y Pacenti, E., 1999. Cultural Probes. *Interactions*, **6**(1), 21–29.

Gould, J. D., Boies, S. J. y Ukelson, J., 1997. How to design usable systems. In *Handbook of Human-Computer Interaction* edited by M. Helander, T. K. Landauer and P. Prabhu, Amsterdam: Elsevier Science B.V.

Greenbaum, J. y Kyng, M., 1991. *Design At Work - Cooperative design of Computer Systems*, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Gulliksen, J., Göransson, B., Boivie, I., Blomkvist, S., Persson, J. y Cajander, A., 2003. A Key principles for user-centred systems design. *Behaviour & Information Technology*, **22**(6), 397– 409.

Guthrie, W.K.C., 1973. *Los filósofos griegos de Tales a Aristóteles*. Quinta reimpresión, México: Fondo de Cultura Económica.

Guthrie, W.K.C., 1993. *Historia de la Filosofía griega II. La tradición presocrática desde Parménides a Demócrito*. Primera reimpresión, Inglaterra: Cambridge University Press.

Harr, S., Clausing, D.P. y Eppinger, S.D., 1993. *Integration of quality function deployment and the design structure matrix*. Working Paper No. LMP-93-004. Cambridge, Massachusetts: MIT Working Paper.

Haykin, S., 1999. *Neural networks: A comprehensive foundation*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.

Hazelrigg, G., 1998. A framework for decision-based engineering design. *ASME Journal of Mechanical Design*, **120**(4), 653–658.

Hebb, D.O., 1949. *The organization of behaviour*. New York: Wiley.

Hebb, D.O., 2002. *The organization of behaviour: A neuropsychological theory*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Hemmings, T., Crabtree, A., Rodden, T., Clarke, K. y Rouncefield, M., 2002. Probing the probes. In *Proceedings of the Participatory Design Conference 2002* edited by T. Binder, J. Gregory, and I. Wagner, pp. 40–50, Palo Alto, CA: CPSR.

Holt, R. y Barnes, C., 2010. Towards an integrated approach to “Design for X”: an agenda for decision-based DFX research. *Research in Engineering Design*, **21**, 123–136.

Hopfield, J.J., 1982. Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **79**, 2554–2558.

Hopfield, J.J., 1984. Neurons with graded response have collective computational properties like those of two-state neurons. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, **81**, 3088–3092.

Hopfield, J.J. y Tank, D.W., 1985. “Neural” computation of decisions of optimization problems. *Biological Cybernetics*, **52**, 141–152.

Hothersall, D., 1984. *History of Psychology*. New York: Random House.

Hsu H.Y, y Lin G.C.I., 1998. A Design-for-assembly-based product redesign approach. *Journal of Engineering Design*, **9**(2), 171-195.

Huang, G.Q., 1996. *Design for X: Concurrent engineering imperatives*. London: Chapman & Hall.

Huang, S.H. y Zhang, H.-C., 1994. Artificial neural networks in manufacturing: Concepts, applications, and perspectives. *IEEE Transactions on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part A*, **17**(2), 212–228.

Jääskö, V., Mattelmäki, T. y Ylirisku, S., 2003. The scene of experiences. In *Proceedings of The Good the Bad and the Irrelevant* edited by L. Haddon, E. Mante-Meijer, B. Sapio, K.-H. Kommonen, L. Fortunati and A. Kant, pp. 341–345, Helsinki, Finland: Media Lab UIAH.

Jacques, J., Lavergne, C. y Devictor, N., 2006. Sensitivity analysis in presence of model uncertainty and correlated inputs. *Reliability Engineering and System Safety*, **91**, 1126–1134.

Kapor, M., 1990. *Software Design Manifesto*. MA: Addison Wesley Longman Inc.

Karat, J., 1996. User centered design: quality or quackery?, in the ACM/SIGCHI magazine, *Interactions*.

Karat, J., 1997. Evolving the scope of user-centered design. *Communications of the ACM*, **40**(7), 33–38.

King, A.M. y Sivaloganathan, S., 1999. Development of a methodology for concept selection in flexible design strategies. *Journal of Engineering Design*, **10**(4), 329–349.

Kruchten, P., 1998. *The Rational Unified Process - An Introduction*. MA: Addison Wesley Longman Inc.

Kyng, M., 1995. Making representations work. *Communication of the ACM*, **38**(9), 46- 55.

Lai, H.-H., Lin, Y.-C. y Yeh, C.-H., 2005. Form design of product image using grey relational analysis and neural network models. *Computers and Operations Research*, **32**(10), 2689–2711.

Lam, P.K., Chin, K.S. y Pun, K.F., 2007. Managing conflict in collaborative new product development: a supplier perspective. *International Journal of Quality & Reliability Management*, **24**(9), 891–907.

Liang, M. y Zolfaghari, S., 1999. Machine cell formation considering processing times and machine capacities: An ortho-synapse Hopfield neural network approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, **10**(5), 437–447.

Liu, X.(F.), Sun, Y., Veera, C.S., Kyova, Y. y Noguchi, K., 2006. Priority assessment of software process requirements from multiple perspectives. *Journal of Systems and Software*, **79**(11), 1649–1660.

López-Mesa, B. y Bylund, N., 2011. A study of the use of concept selection methods from inside a company. *Research in Engineering Design*, **22**(1), 7–27.

Macharis, C., Turcksin, L. y Lebeau, K., 2012. Multi actor multi criteria analysis (MAMCA) as a tool to support sustainable decisions : State of use. *Decision Support Systems*, **54**(1), 610-620.

Malavé, C.O. y Ramachandran, S., 1991. Neural network-based design of cellular manufacturing systems. *Journal of Intelligent Manufacturing*, **2**(5), 305–314.

Marsh, E.R., Slocum, A.H. y Otto, K.N., 1993. Hierarchical decision making in machine design, *Technical Report*. Cambridge, Massachusetts: MIT Precision Engineering Research Center.

Marston, M., Allen, J. y Mistree F., 2000. The decision support problem technique: Integrating descriptive and normative approaches in decision based design. *Engineering Valuation and Cost Analysis*, **3**(2), 107–129.

Matsuda, S., 1993. Quantum neurons and their fluctuation. *IEEE/INNS International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'93)*, 1610–1613.

Matsuda, S., 1999. Theoretical analysis of quantized Hopfield networks for integer programming. *IEEE/INNS International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN'99)*, 568–571.

Matsuda, S., 2000. Theoretical considerations on the dynamics of hysteresis binary Hopfield networks for combinatorial optimization, *IEEE/INNS International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2000)*, pp. 480-485.

Mattelmäki, T., 2003. VÄINÖ - Taking user centred steps with probes. In *Proceedings of INCLUDE conference*, London: RCA.

Mattelmäki, T., 2005. Applying probes - from inspirational notes to collaborative insights. *CoDesign*, **1**(2), 83-102.

Mattelmäki, T. y Battarbee, K., 2002. Empathy probes. In *Proceedings of the Participatory Design Conference 2002* edited by T. Binder, J. Gregory and I. Wagner, pp. 266-271, Palo Alto, California: CPSR.

Mattson, C.A. y Messac, A., 2003. Concept selection using s-Pareto frontiers. *American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) Journal*, **41**(6), 1190–1198.

McCulloch, W.S. y Pitts, W., 1943. A logical calculus of the ideas immanent in neurons activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, **5**, 115–133.

Miller J.G., 1995. *Living Systems*. Niwot, CO: University Press of Colorado,

Ming, X.G. y Mak, K.L., 2000. Intelligent setup planning in manufacturing by neural networks based approach. *Journal of Intelligent Manufacturing*, **11**(3), 311–333.

Mistree, F. y Allen, J.K., 1997. Optimization in decision-based design. *Position paper: Open Workshop on Decision-based Design*, April 1997, Orlando, Florida.

Mistree, F., Smith, W.F. y Bras, B., 1993. A decision-based approach to concurrent engineering. In: H.R. Paresai and W. Sullivan, eds. *Handbook of Concurrent Engineering*. New York: Chapman & Hall, 127–158.

Mondelo, P., Gregori, E. y Sevillano, F., 1993. ¿Qué queremos decir cuando hablamos de usuario? Usuario vs. cliente: Un conflicto con solución. En *Revista Digital BAERGO*, **2**.

Murphy, T.E., Lin, Y., Tsui, K.-L., Chen, V.C.P. y Allen, J.K., 2011. Identifying Feasible Design Concepts for Products with Competing Performance Requirements by Metamodeling of Loss-Scaled Principal Components. *Quality Engineering*, **23**(2), 167-179.

Nebendahl, D., 1988. *Expert systems: introduction to the technology and applications*. New York: Wiley.

Nevins, J.L. y Whitney, D.E., 1989. *Concurrent design of products and processes*. New York: McGraw-Hill.

Nielsen, J., 1993. *Usability Engineering*, 1993, Cambridge, MA: AP Professional.

Norman, D. A., 1986. Cognitive engineering. In *User Centered Systems Design*, edited by D. A. Norman and S. W. Draper, Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Norman, D. A., 2004. *Emotional Design*. NY: Basic Books Inc.

Okudan, G.E. y Tauhid, S., 2008. Concept selection methods – a literature review from 1980 to 2008. *International Journal of Design Engineering*, 1(3), 243–277.

Osborn, A.F., 1963. *Applied imagination: principles and procedures of creative problem solving*. 3rd ed. New York: Scribner.

Pahl, G. y Beitz, W., 1984. *Engineering design*. London: The Design Council.

Pahl, G. y Beitz, W., 1996. *Engineering design - A systematic approach*. 2nd ed. London: Springer-Verlag.

Pérez-Vázquez, M., 1994. *Análisis y propuesta de un modelo conceptual para la ingeniería gráfica*. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo.

Pugh, S., 1981. Concept selection – A method that works. *In: V. Hubka, ed. Review of design methodology. Proceedings of the International Conference on Engineering Design, 9–13 March 1981, Rome.* Zürich: Heurista, 497–506.

Pugh, S., 1991. *Total design.* Wokingham, United Kingdom: Addison-Wesley.

Rahim, M.A., 2001. *Managing Conflict in Organisations.* Westport, CT: Quorum.

Rivadulla Rodríguez, A., 1986. *Filosofía actual de la ciencia.* Madrid: Tecnos.

Reddy, R. y Mistree, F., 1992. Modeling uncertainty in selection using exact interval arithmetic. *In: L.A. Stauffer and D.L. Taylor, eds. ASME DE-Vol. 42, Design Theory and Methodology 92,* New York: ASME, 193–201.

Saaty, T.L., 1990. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, **48**(1), 9–26.

Salcedo, L. e Iturrioz, I., 1953. *Philosophiae scholasticae summa.* Madrid: Biblioteca de Autores Cristianos.

Saltelli, A., Ratto, M., Tarantola, S. y Campolongo, F., 2006. Sensitivity analysis practices: Strategies for model-based inference. *Reliability Engineering and System Safety*, **91**, 1109–1125.

Schuler, D. y Namioka, A., 1993. *Participatory Design.* Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.

Smith, K., Palaniswami M. y Krishnamoorthy M., 1996. A hybrid neural approach to combinatorial optimization. *Computers & Operations Research*, **23**(6), 597–610.

Soleymanpour, M., Vrat, P. y Shankar, R., 2002. A transiently chaotic neural network approach to the design of cellular manufacturing. *International Journal of Production Research*, **40**(10), 2225–2244.

Stiefvater, T., Müller, K. y Janseen, H., 1993. Sparsely connected Hopfield networks for the recognition of correlated pattern sets. *Network: Computational in Neural Systems*, **4**(3), 313-336.

Su, J. y Li, F., 2007. Research of product styling design method based on neural network. *IEEE Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)*, **2**, 499–504.

Suh, N.P., 1990. *The principles of design*, New York: Oxford University Press.

Takai, S. e Ishii, K., 2004. Modifying Pugh's design concept evaluation methods. *In: Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conference (ASME DETC 04)*, 28 September – 2 October 2004 Salt Lake City, Utah. DETC 2004–57512.

Takeda, M. y Goodman, J. W., 1986. Neural networks for computation: number representations and programming complexity. *Applied Optics*, **25**(18), 3033-3046.

Thurston, D.L., 1990. Subjective design evaluation with multiple attributes, *ASME DTM 90*, **27**, 355–361.

Thurston, D.L., 1999. Real and perceived limitations to decision based design. *In: Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conference*, 12–15 September 1999, Las Vegas, Nevada. DETC99/DTM–8750.

Thurston, D.L., Carnahan, J.V. y Liu, T., 1991. Optimization of design utility, *Conference on Proceedings of ASME Design Theory and Methodology*, **31**, 173–180.

Thurston, D.L. y Carnahan, J.V., 1992. Fuzzy ratings and utility analysis in preliminary design evaluation of multiple attributes. *Journal of Mechanical Design*, **114**(4), 648–658.

Turban, E., Aronson, J. E., 2001. *Decision Support Systems and Intelligent Systems*. Upper Saddle River, N. J.: Prentice Hall.

Ullman, D.G., 1992. *The mechanical design process*. New York: McGraw-Hill.

van Kesteren, I., Kandachar, P. y Stappers, P.J., 2007. Activities in selecting materials from the perspective of product designers. *International Journal of Design Engineering*, **1**(1), 83–103.

van Kesteren, I., de Bruijn, A. y Stappers, P.J., 2008. Evaluation of materials selection activities in user-centred design projects. *Journal of Engineering Design*, **19**(5), 417–429.

Vidal, R., Mulet, E. y Gómez-Senent, E., 2004. Effectiveness of the means of expression in creative problem-solving in design groups, *Journal of Engineering Design*, **15**(3), 1466–1837.

Virtanen, K., Mattelmäki, T. y Heinonen, S., 2004. Visiting eWorkers' Homes – Three stories for designing eWorkers homes and furniture. In *eAdoption and the Knowledge Economy: Issues, Applications, Case Studies* edited by P. Cunningham and M. Cunningham, pp. 1511–1518, The Netherlands: IOS Press.

Wensveen, S., 1999. Probing experience. In *Proceedings of the First International Conference of Design and Emotion* edited by C.J. Overbeeke and P. Hekkert, pp. 23–29, Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.

Westerlund, B., Lindquist, S., Mackay, W. y Sundblad, Y., 2003. Co-designing methods for designing with and for families. *Proceedings for 5th European Academy of Design Conference in Barcelona*, 28, 29 and 30 April 2003.

West, A.A., Hinde, C.J., Messom, C.H., Harrison, R. and Williams, D.J., 2000. Design issues associated with neural network systems applied within the electronics manufacturing domain. *Journal of Electronics Manufacturing*, **10**(1), 19–48.

Wollheim, R., 1968. *Art and its Objects: An Introduction to Aesthetics*. NY: Harper and Row.

Wright, I., 1998. *Design methods in engineering and product design*. New York: McGraw Hill.

Yazdani, B. y Holmes, C., 1999. Four Models of design definition: Sequential, Design Centered, Concurrent and Dynamic. *Journal of Engineering Design*, **10**, 25–37.

Zha, X.F., 2005. Soft computing in engineering design: a hybrid dual cross-mapping neural network model. *Neural Computing & Applications*, **14**(3), 176–188.

*“El dedo que se mueve escribe, y,
después de escribir, sigue moviéndose;
ni toda tu piedad ni talento lo
impulsarán a cancelar media línea, ni
todas tus lágrimas borrarán una
palabra”*

Omar Khayyam

ANEXO I

LAS CINCO PERSPECTIVAS SELECCIONADAS

Anexo I. Las cinco perspectivas seleccionadas

1. Diseño centrado en el Usuario.

Se trata de una amplia filosofía de diseño, basada en la empatía que el usuario final del producto a diseñar presente con éste. Así, sus necesidades, requerimientos y limitaciones están presentes en cada etapa del diseño. Desde los estudios de Donald A. Norman, el concepto UCD (*user-centred design*) se integra en el marco de la psicología del diseño (Norman 1986) atendiendo a los buenos y malos diseños que influyen en la actitud del usuario. El concepto de diseño emocional (Norman 2004) en el que se resaltan aquellos desarrollos que son capaces de transmitir sensaciones y aportar no sólo su función sino sensaciones, dirige, en parte los primeros pasos del concepto de UCD. A partir de estas primeras aproximaciones han surgido diferentes modelos de aplicación:

- Diseño cooperativo (Greenbaum y Kyng 1991).
- Diseño participativo (Schuler y Namioka 1997).

- Diseño contextual (Beyer y Holzblatt 1998).

Sin embargo, su aplicación en los sistemas de ingeniería, goza de un crisol más amplio de acepciones. Si hablamos de diseño centrado en el usuario (UCSD en su acrónimo en inglés) (Gulliksen *et al.* 2003) nos encontramos ante un término que encierra varias definiciones y que ha suscitado cierta controversia (Norman 1986, Karat 1996, Karat 1997, Gould *et al.* 1997, Kruchten 1998). Lo cierto, es que siempre se atiende a que el diseño no puede ser ajeno a la experiencia del usuario final; debe atender explícitamente a los aportes de éste, y lograr adaptarse a su entorno y exigencias, nunca al contrario; es decir, no se debe pretender que el usuario cambia sus modos por un nuevo diseño. La evolución de UCSD, en el panorama actual, está gestionada a través de 12 axiomas básicos (Gulliksen *et al.* 2003):

- 1) El enfoque del usuario. Los objetivos de la actividad, el trabajo entorno o contexto de uso, los objetivos de los usuarios, las tareas y las necesidades, deben controlar el desarrollo temprano. (Gould *et al.* 1997).
 - 2) Participación activa del usuario. En la que, un grupo heterogéneo de usuarios representativos debe participar activamente durante todo el proceso de desarrollo y ciclo de vida del producto. (Nielsen 1993, Gould *et al.* 1997).
 - 3) Desarrollo de sistemas evolutivos. El desarrollo de los sistemas no debe permanecer estático, al contrario, tenderá hacia la evolución continua. (Boehm 1988, Gould *et al.* 1997).
 - 4) Propuestas de diseño simples. El diseño debe ser tal que sea fácilmente comprendido por todos los usuarios y grupos representativos (Kyng 1995).
-

- 5) Elaboración de prototipos. Desde las etapas iniciales se debe plantear un prototipo en el que se observen los aportes de las ideas y soluciones aportadas por los usuarios. (Nielsen 1993, Gould *et al.* 1997).
- 6) Valorar el uso en el contexto. Los objetivos y criterios de desarrollo deben gestionar el proceso. (Nielsen 1993, Gould *et al.* 1997).
- 7) Actividades de diseño explícito y consciente. El desarrollo del proceso debe contener actividades dedicadas al diseño (Cooper 1999).
- 8) Una actitud profesional. El proceso de desarrollo será llevado a cabo por un equipo multidisciplinar.
- 9) Expertos. Implicados en el desarrollo desde el principio hasta el fin del ciclo de vida del producto (Kapor 1990, Buur y Bødker 2000).
- 10) Diseño holístico. Barajando aspectos relacionados con el futuro (Gould *et al.* 1997).
- 11) Personalización del proceso. El proceso de UCSD debe ser especificado, adaptado y/o implementado a nivel local (Gulliksen *et al.* 2003).
- 12) La actitud centrada en el usuario debe ser establecida siempre (Boivie *et al.* 2003).

Bajo estas premisas, y de este modo se ha llegado a la actual definición de USCD (Gulliksen *et al.* 2003) que se define como: “Proceso de desarrollo de sistemas centrado en la funcionalidad de usuario, que promueve, a su vez, la adaptación y accesibilidad de éstos durante todo el ciclo de vida del producto”

Sin duda, el método USCD constituye la evolución de los trabajos de Norman, y acerca lo que podríamos denominar “dulcificación de la industria” al método clásico de evolución industrial, tan ajeno a las solicitudes de los usuarios finales. Recientemente, los trabajos encaminados a aportar herramientas de análisis de comportamientos en los diseños implementados a través de métodos basados en UCD (Mattelmäki 2005) han cobrado cierta relevancia. Los autores (Fulton Suri 2003, Gaver *et al.* 1999; Hemmings *et al.* 2002, Mattelmäki y Battarbee 2002, Wensveen 1999, Westerlund *et al.* 2003) establecen ciertas investigaciones que indican mediante su análisis ulterior los comportamientos de las masas sociales ante los nuevos diseños (Jääskö *et al.* 2003, Virtanen *et al.* 2004, Mattelmäki 2003b).

En resumen, la actitud de los diseñadores “nosotros diseñamos, vosotros construís”, criticada con la expresión “*over-the-wall approach*” por Boothroyd (Boothroyd *et al.* 2002.), debe ser abandonada consecuentemente. No solamente el diseñador debe colaborar íntimamente con el fabricante; el usuario debe formar una triangulación de ideas y aportes. Prescindir de la experiencia de la sociedad ante un rediseño sería una actitud equivocada y perniciosa conducente hacia el fracaso del producto. Convendría no olvidar los preceptos que deberían dirigir todo diseño: inspiración, información, participación y diálogo (Mattelmäki 2005).

2 - Reducción de las partes.

Una de las razones que inducen al cambio en diseños industriales de probada solvencia, es, sin duda, su excesiva complejidad formal. No se trata de restar factores a su esencia

como sistema, pero si tratar de reducir los elementos materiales que lo forman, reasignando sus funciones y distribución. Los sistemas así descritos alcanzan mayores cotas de eficacia, pues añaden al objetivo primordial del diseño, una simplificación ulterior que además de beneficios prácticos aporta mejoras estéticas incuestionables. Las metodologías DFA impulsan estas tendencias, pero centrándose en aquellas partes del mecanismo que supongan nexos, es decir, puntos de sujeción, intersección o unión, que se lleven a cabo a través de piezas auxiliares no específicas para cada modelo concreto. En los métodos DBPRA (Hsu y Lin 1998) se plantean la extensión de la reducción de partes a un rediseño de fondo. Ya no se trata únicamente de mejorar genéricamente las uniones; las ideas avanzan hacia la descolocación y la refocalización de las partes constituyentes. A pesar de ello, los diseños industriales convencionales adolecen de estas tendencias. Las estructuras sacrifican la estética en favor de una mal entendida funcionalidad y se siguen diseñando, sobre todo, en el terreno de los mecanismos puramente industriales, conjuntos que agrupan un gran número de componentes. Si desde el punto de vista del diseñador esto puede suponer un alivio, al solucionar los requerimientos, añadiendo, en lugar de transformando elementos; en este punto surge, lo que podríamos denominar, en la línea de Boothroyd, la “clausura del muro”. Si bien, en etapas iniciales, el diseñador pasaba sus resultados para que otros los construyesen; cuando, esos productos están fabricados, el muro del diseñador se cierra. Sin embargo, aparecen consecuencias derivadas de esa clausura:

- El usuario acepta el diseño, incluso siendo este complejo e inadecuado. Es el síndrome del bebé feo (*Ugly baby Syndrome*) que describe Boothroyd (Boothroyd et

al. 2002) y que sentencia que explicarle a un técnico que su diseño no sirve es como decirle a una madre que su bebé es feo, aunque sea realmente cierto. Los usuarios asumen esa imposibilidad de poder influir en los planteamientos de rediseño y aceptan de antemano carencias y faltas.

- La etapa de mejora se cierra, ante la confianza en el producto.
- Los problemas se minimizan o solucionan mediante un aporte continuo de nuevos elementos que a su vez complican el conjunto y cierran necesidades concurrentes.
- Durante el ciclo de vida del producto, éste aumenta su complejidad, tanto de montaje como de manejo, pero mantiene inalteradas sus funciones.

La reducción de elementos, no debe ser vista como una aplicación puntual, sino como una tendencia en el rediseño continuo al que debe ser sometido un conjunto durante su aplicación. Sírvese como ejemplo, la evolución que han seguido los diseños de sillas plegables. Desde los modelos modernistas del siglo XIX, pasando por los diseños clásicos de principios del XX, hasta las últimas aportaciones de diseñadores como Moritake Yoshikazu, Yacoof Kaufman, y el ganador del certamen Folding Chairs, organizado por Desigboom, en 2003, Radu Comsa, se observa un marcado enfoque artístico, minimalista que trata de conjugar funcionalidad y estética. La ingeniería de diseño debe evitar “clausuras” y acercarse a las directrices de simplificación que hoy en día dirigen el diseño industrial.

3 - Minimización de tiempos

Si entendemos como proyecto “*un conjunto de esfuerzos temporales, dirigidos a generar un producto o servicio único*” (Chamoun 2002), o también “*...una serie de actividades económicamente indivisibles relacionadas con una función técnica específica y con objetivos identificables*” (Florio *et al.* 2002) de esto, podemos inferir analogías evidentes con todo proceso de diseño industrial. De este modo, las herramientas empleadas en el desarrollo de proyectos, particularmente innovadoras en los empresariales, son susceptibles de presentar valor de comparación con los pasos clásicos que la evolución de todo diseño conlleva. Particularizando, un proyecto empresarial es aquel conjunto de actividades que persiguen un objetivo determinado, enfocado en lograr un beneficio en la organización, generalmente maximizar la rentabilidad de sus operaciones. Por lo tanto, el proyecto de diseño será aquel conjunto de actividades que persiguen la elaboración de un producto que maximice su funcionalidad con mínimos costes y genere una rentabilidad inherente a través del propio concepto que lo desarrolla. Pues bien, puesto que un proyecto sea cual sea su campo de aplicación es en esencia un concepto único, los medios que lo complementan también son aplicables a los otros ya citados campos.

El análisis de sensibilidad

Para evaluar un proyecto empresarial, es necesario analizar su viabilidad desde varias perspectivas, de mercado, técnica, financiera y un análisis del entorno en donde se desarrolla el proyecto. Como herramienta de decisión, es posible utilizar el análisis de

sensibilidad. Éste evalúa el impacto que los datos de entrada o de las restricciones especificadas a un modelo definido, tienen en el resultado final o en las variables de salida del modelo (Turban 2001). En el caso que nos ocupa, acerca de un proyecto de diseño, el análisis de sensibilidad (*sensitivity analysis -SA-*) no solo aporta mejoras sino que facilita y promueve el rediseño continuo, evitando futuras “clausuras” y siendo un mecanismo de renovación continuo.

El análisis de sensibilidad aúna una serie de procedimientos estadísticos que valoran como las variaciones en modelos de entrada afectan a los resultados. Los planteamientos matemáticos (Jacques *et al.* 2006, Saltelli *et al.* 2006) encierran la demostración de las tendencias que iniciaron los trabajos sobre DFA. En la etapa de evaluación del proyecto, éste no sólo debe ser evaluado desde los puntos de vista habituales, tales como financieros o técnicos. Según estipulan métodos basados en SA los planteamientos de validación deberían contener estimaciones que caracterizaran el comportamiento y evolución del proyecto. Las metodologías de SA, caracterizan la incertidumbre debida a la acumulación de procesos estocásticos localizados durante el ciclo de vida del producto, y aportan modelos de comportamiento, resaltando la importancia de las decisiones iniciales, clasificando las incidencias asociadas a cada una de ellas. Resulta evidente el gran interés de este tipo de técnicas en la economía empresarial, pero, ¿es conveniente su aplicación en el diseño?

Su realización en el proceso de diseño: la minimización de tiempos

Debido a su cercanía a procesos implementados mediante construcciones matemáticas, los sistemas de análisis de sensibilidad parecen rechazar aquellas actividades que, a la gran carga de incertidumbre existente en todo proyecto añaden valores como la creatividad y la conjunción de ideas provenientes de los usuarios finales. Sin embargo, existe una innegable naturaleza técnica en todo diseño, un proceso de fondo determinado que en los últimos años ha acercado diseñadores a ingenieros. El proceso de diseño de cualquier producto es multidisciplinario, diferentes ramas de la ciencia y de la ingeniería confluyen y trabajan para lograr un mismo objetivo. Hoy podemos medir en los primeros bocetos aquellos parámetros que estimemos van a suponer cambios fundamentales en la realización de los mismos. Serían parametrizables estimadores del tipo:

- Tiempos (diseño, fabricación, montajes, etc...).
- Inversiones.
- Rentabilidad comparada.
- Innovaciones subyacentes.

Pero, sin duda, de todos los parámetros, y centrando en exclusiva, el análisis en los desarrollos puros, es decir, aquellos encargados de crear un producto y no de estimar sus múltiples interacciones, pues, de todos los parámetros, el de tiempo es el fundamental. No se valora un diseño hasta que se mide el tiempo que va a suponer ponerlo en su punto de distribución. El tiempo puede llegar a formar el núcleo de todo el análisis de sensibilidad asociado al diseño. Esta última afirmación, aunque arriesgada,

trae a colación uno de los principales hándicaps en el desarrollo de productos nuevos o, en las modificaciones de los ya existentes. Debido a que el análisis de sensibilidad aporta una visión de la viabilidad del proyecto, y en consecuencia, del desarrollo del producto, en la gran mayoría de los procesos conducentes a desarrollos normales para la industria, un modelo que ralentice la cadena de producción es, en principio, desechado. Por eso, el tiempo es importante, es el núcleo de todo análisis de sensibilidad, en el que, por las características del producto no se permitan laxitudes, sino que se requiera un plan definido de antemano.

La nueva técnica y el SA

La técnica presentada recoge el testigo del SA. Cuando un diseñador se plantea la consecución de un nuevo producto, en las primeras etapas en las que se prioriza la creatividad, dotando de una libertad de acción casi total a factores no mesurables, como el talento o la imaginación, de la inclusión en sus diatribas del factor tiempo, dependerá el éxito de su trabajo. La nueva técnica aporta el convencimiento de que la minimización de los tiempos, en todas las etapas del proyecto de diseño, es la base primordial para lograr los objetivos marcados, recogiendo las extensiones de las metodologías fundadas sobre el SA y aplicándolas a los casos concretos.

Mediante la nueva técnica y la aplicación de lo que denominaremos métodos *What-if-time (What happens to the result if we make a particular change in the times?)* somos capaces de estimar si un diseño generará una falta en la optimización de tiempos y si la mayor inversión de este recurso supone rentabilidades suficientes que justifiquen

el desequilibrio. Todos los valores se engloban en procedimientos computacionales que arrojan el resultado óptimo final. De todas las maneras, si bien los medios computacionales sólo reafirman empíricamente las conclusiones, que como la gran parte de las decisiones en ingeniería de diseño, nacen del propio sentido común, la técnica recoge las recomendaciones para el ahorro de tiempos en seis sugerencias aplicables en las diferentes etapas del diseño y que, *grosso modo* resumen los resultados que, por caminos paralelos obtienen las técnicas de sensibilidad.

La minimización de tiempos en la nueva técnica

Recapitulando, la nueva técnica desarrollada recomienda cumplir cinco preceptos para evitar una excesiva carga en los tiempos empleados entre otras cosas. Estas normas se basan en la acumulación de experiencias y forman parte del inmanente general sobre las metodologías de diseño. Debido a su peculiar enunciado las hemos denominado “*six-if*”. Estos “*six-if*” son normas empíricas, es decir, enunciados probativos acerca de las cuestiones básicas que dirimen cualquier evaluación de un diseño o rediseño. Todos ellos colaboran en la reducción de los tiempos relacionados con el desarrollo de ese nuevo diseño, y, puesto que forman parte de la estructura de la técnica su empleo debería ser continuo a lo largo del proceso. Los ingenieros o diseñadores encargados de la realización del proyecto tendrían en los “*six-if*” unas sencillas herramientas para ir dirigiendo progresivamente su labor a través de la ejecución de la nueva técnica. De este modo, respuestas afirmativas a estas cuestiones generarían, a las reacciones de la regla de evolución, estados de activación con elevadas posibilidades de alcanzar un punto de

equilibrio, y, por lo tanto, un patrón almacenado invariable debido a el cual el proceso avanza. Por eso, en el caso contrario, cuando los “*six-if*” arrojen respuestas negativas, se ralentizará el proceso, pues la red no conseguirá nuevos patrones almacenados sobre los que seguir su evolución, permaneciendo en un estado de espera. Pero los “*six-if*” son sólo una de las numerosas áreas de atracción que van surgiendo en la ejecución del proceso, e influyen en mayor medida sobre aquellas cualidades del producto relacionadas con la menor inversión de tiempo en su desarrollo y manejo.

- 1) Si un diseño es complejo en el papel, será complejo en la realidad.
- 2) Si la elaboración de maquetas y prototipos es lenta el diseño debe ser evaluado.
- 3) Si el diseño no es comprendido por personas ajenas al proyecto, su comprensión en el momento de la fabricación será imposible.
- 4) Si existen composiciones, el tiempo de montaje será proporcional al número de piezas.
- 5) Si las modificaciones son complicadas se invertirá demasiado tiempo en implantarlas.
- 6) Si su apariencia estética no resulta acertada, la fabricación y el montaje se ralentizaran.

La estética de uso

Los “*six-if*” describen y dibujan los mecanismos conducentes a la minimización de los tiempos en proyectos de diseño. Su explicación es inmediata al resultar sentencias del lenguaje común. Tal vez, el sexto “*if*” requiere una somera aclaración. Pensemos en un

producto que presente condiciones del tipo: es sucio, por ejemplo utiliza lubricantes; su manejo hiere, tiene zonas dañinas; es pesado, molesto o desagradable (olores, colores o formas); pues bien, tanto la fabricación como el montaje de este producto se verán considerablemente prolongados debido a que los trabajadores encargados de esas tareas no presentan una disponibilidad completa para los mismos. Esto que parece tan evidente, en la práctica no lo es tanto. Muchas veces se entregan diseños sin pensar en las condiciones de desempeño de las actividades relacionadas con él, y en qué medida sus características últimas afectarán o variarán estas condiciones. La estética de uso, dentro de la nueva técnica, rescata valores provenientes de las técnicas de representación y las aplica a los desarrollos industriales, devolviendo el “acento artístico” a diseños que sacrificaban valores tan importantes como el color ante una impositiva y necesaria funcionalidad. Es claro que la estética de uso surge de una interpretación altamente subjetiva de lo que es “sucio” o de lo que resulta “desagradable”. Sin embargo, el concepto intenta llegar más allá de esta subjetividad innegable y llegar a sus términos inmanentes. Tan evidente como ese carácter subjetivo resulta la existencia de patrones que califican la estética y propiedades sensoriales de los objetos, patrones que a su vez, pertenecen al imaginario colectivo de todos. Que un objeto puntiagudo puede herir es un conocimiento adquirido e irrefutable, del mismo modo que uno caliente puede quemar. Si extrapolamos estas premisas generales, llegamos a los inmanentes de la estética de uso, donde cobra su sentido y adquiere el rango suficiente para ser incluida en el proceso de la nueva técnica.

4 - Adaptación e integración de las innovaciones

Bajo los planteamientos iniciales que hasta ahora se han descrito; la nueva técnica forma un campo de juego en el que desplegar el proceso de creación. Tomando como referencia el diseño centrado en el usuario (Gulliksen *et al.* 2003) se encajan las diferentes perspectivas y matices que de la evolución de la técnica se deducen. Controlando todas y cada una de las partes del proyecto, priorizando en aquellos temas que encierren una trascendencia mayor, el diseño va modelando su contexto a la par que su forma y función. La preponderancia en esta labor de los usuarios es vital; siguiendo la estela de las metodologías de Diseño Centrado en el Usuario; los Análisis de Usuario (AU) permiten una aproximación dúctil y global a la resolución integral del proyecto (Mondelo *et al.* 1993). Se produce un análisis dinámico de todas las fases del mismo, que pueden ser englobadas en:

- Prediseño.
- Diseño.
- Fabricación.
- Implementación.
- Seguimiento.
- Rediseño.

Se obtiene un resultado generalizado, que mediante la incorporación de técnicas como la Ergonomía de concepción, permite mantener las referencias originales del proyecto,

considerando la totalidad de funciones que se deben cumplir, así como las tolerancias admisibles en el sistema hombre-máquina.

La no continuidad del usuario

Durante el desarrollo del proyecto los usuarios no se identifican completamente, van adquiriendo un status cambiante que se refleja en las hipotéticas y múltiples interacciones que se pueden presentar en la vida del producto. Además éstos asumen un comportamiento polimórfico, temporal y transcultural. Polimórfico porque el producto interaccionará con diferentes personas, temporal porque el usuario cambia sus expectativas y capacidades en función del día y transcultural porque cada vez es más común generar productos que se proyecten en un continente, se fabriquen en otro y se utilicen en todos (Mondelo *et al.* 1993). En vista de esto, se impone un producto que tome las características de los usuarios que han formado parte activa en su desarrollo, y alcance una llamada empatía técnica. Los productos deben ser concebidos como una serie de activos mutables y susceptibles de mejora continua, que reflejen las propias características de los usuarios hacia los que van dirigidos y que, en mayor o menor media, según el origen del propio bien, determinan la vida útil del mismo.

La empatía técnica

Sería aquel estado en el que un producto reacciona ante las demandas de sus usuarios, adquiriendo sus modos y adaptándose a sus necesidades. El ejemplo más cercano de un producto en permanente empatía, sería el caso de los computadores, que avanzan a la par que las necesidades finales de sus usuarios, anticipándose en muchos casos a futuras

solicitudes. En la nueva técnica, y aunque los fenómenos de empatía se centren en las etapas de vida útil del producto, se integra en su planteamiento inicial todos los resultados desprendidos de su ejecución.

Adaptación e integración

Una vez contextualizado el tema, abordar la idea de una adaptación e integración de las innovaciones resulta elemental. Todo diseño que no admita mejoras posteriores reducirá considerablemente su espectro de acción, y su empleo se limitará a la especificidad de sus funciones. Avanzando hacia al empatía técnica, cualquier objeto que nace fruto de un diseño basado en la nueva técnica, deberá surgir de un concepto en el que la preponderancia de los rediseños polimórficos (véase la analogía con los comportamientos de los usuarios) sean fundamentales. La adaptación e integración de innovaciones, aunque reconfigure la apariencia externa del producto, y sean necesarias revisiones desde el punto de vista de la estética de uso, aporta sustanciales calidades cuya supresión supondría una involución en el propio diseño del que surgen.

5 - Creación de entornos Do-it.

Quizá, la parte más compleja de un diseño sea aquella que versa sobre los intangibles que generará su consecución y que determinarán en una gran medida su éxito o fracaso. Desde hace unos años, promovidos desde los ambientes puramente artísticos, la filosofía del Do-it atrae a las diferentes áreas de la ingeniería. Que un producto ofrezca la posibilidad explícita de ser montado por cada individuo que lo posea, enlaza con las tendencias más definatorias del minimalismo, y su “todos los elementos deben combinar

y formar una unidad”, surgidos a raíz de las primeras palabras de Richard Wollheim (Wollheim 1965). Los diseños se desprenden de sus avatares técnicos y se acercan a la pura estética a través de este tipo de entornos, que miden, transforman y simplifican, desde los productos hasta sus ambientes de uso. De ahí, que incluso los métodos basados en DFA hayan integrado mediante los DFE, (*Design for environment*) los conceptos de los entornos y su influencia en el resultado final de un diseño. El concepto de base de la nueva técnica no debe olvidar valores que aunque no gocen de una excesiva base técnica, aportan valores inclasificables. La industria, en cualquiera de sus vertientes trata de desarrollar soluciones que doten al usuario de capacidad de interactuar, cuando no, formar los productos finales. Es un concepto que profundiza en la psicología del colectivo. Siempre un producto manufacturado presenta mayor aceptación que uno que no lo es, aunque, aquel que crea el propio usuario, posea un margen de error, considerablemente más elevado que el que resulta, simplemente adquirido. Y aunque en igualdad de condiciones el producto fabricado sea mejor cuantitativa y cualitativamente, el manufacturado, y elaborado por el usuario, llevará implícitos valores que residen en los intangibles mencionados anteriormente. Así pues, la nueva técnica recomienda la elaboración de planes que lleven a la consecución de diseños que promuevan las filosofías Do-it en cualquier de sus vertientes, bien sean:

- Globales, donde el usuario forma el producto.
- Parciales, en las que el usuario modifica partes del producto.
- Externas, en las que el usuario solo puede solucionar conflictos.

*“¡No le toques ya más,
que así es la rosa”*

Juan Ramón Jiménez

ANEXO II

**EJEMPLO PRÁCTICO EXTENDIDO:
REDISEÑO DE UN SOPORTE
METÁLICO**

Anexo II. Ejemplo práctico extendido: Rediseño de un soporte metálico

Los armarios metálicos, ampliamente empleados en diferentes sectores de la industria y la vida cotidiana, presentan numerosas variantes en los tipos y métodos de las sujeciones que utilizan para fijar las baldas, estantes o barras que contengan. Esto, es de peculiar incidencia en las envolventes para armarios de distribución eléctrica, donde se observan una variedad sustancial de soportes que anclan la barra estándar, de colocación del diferente utillaje eléctrico, a la estructura. De la revisión de los catálogos y productos de las principales marcas, tales como Legrand®, General Electric®, Hager®, Siemens® y otras, encontramos una amplia variedad de diseños y formas en una pieza, que, a pesar de constituirse como factor común en todos ellos y realizar una idéntica función, refleja la heterogeneidad de un mercado competitivo. Los fabricantes no están preocupados por la falta de un patrón común. De hecho, en la mayoría de los casos no existen esfuerzos comunes por parte de estos fabricantes para crear soluciones que

supongan estándares en su campo de aplicación, primando los intereses económicos particulares sobre los intereses funcionales. Según recientes encuestas que hemos realizado en empresas relacionadas, son los usuarios, esta vez personificados en los montadores, quienes se deben adaptar a la gran variedad de sistemas propuestos no intercambiables entre sí, y, en la mayoría de las ocasiones, ni siquiera permutables dentro de una misma marca. Si bien, este caso, dentro del sector eléctrico cobra relevancia, una somera revisión de los diferentes armarios metálicos que habitualmente se encuentran en el día a día, corroborará las conclusiones, que, en este caso, y desde la particularidad hasta la universalidad, de un modo tan concreto expone la industria y tecnología de las envolventes de distribución eléctrica. Por ello, el rediseño toma como referencia los soportes de barras normalizadas, catalogados por los principales fabricantes.

Esta es la razón por la cual en este ejemplo, el rediseño toma como referencia los soportes metálicos clásicos de barras normalizadas utilizados en los armarios de distribución eléctrica, catalogados por los principales fabricantes. Estos soportes se sujetan en unas barras verticales estructurales, habitualmente a través de tornillos y tuercas, y, junto con las barras normalizadas, forman los chasis de los armarios eléctricos (ver Figura 1).

La nueva técnica presentada proporciona los pasos necesarios para un nuevo rediseño que mediante la modificación de su modo de ensamblaje, de su sistema de funcionamiento y de su entorno de montaje, intente solucionar los problemas encontrados.

La técnica experimental se aplicará a continuación de modo análogo al descrito anteriormente (ver Sección 5), realizando los ciclos necesarios hasta encontrar la solución más óptima en el rediseño.

1- Identificación de participantes y parámetros.

Los participantes en la técnica experimental son expertos en cada una de las cinco perspectivas/expertos de la nueva técnica. Estas perspectivas eran (ver Anexo I):

1- Diseño Centrado en el Usuario

Esta perspectiva/experto se responsabiliza de todos aquellos aspectos del diseño relacionados con las aportaciones y experiencia de los operarios profesionales montadores de cuadros, y que buscan la simplificación de operaciones y el aumento de eficacia y rendimiento en el montaje.

2- Reducción de las partes

Esta perspectiva/experto se encarga, en general, de las consideraciones de diseño derivadas del análisis DFA y DFMA, enfocadas hacia la supresión e integración de partes y la reducción de costes en la manufactura y el ensamblaje.

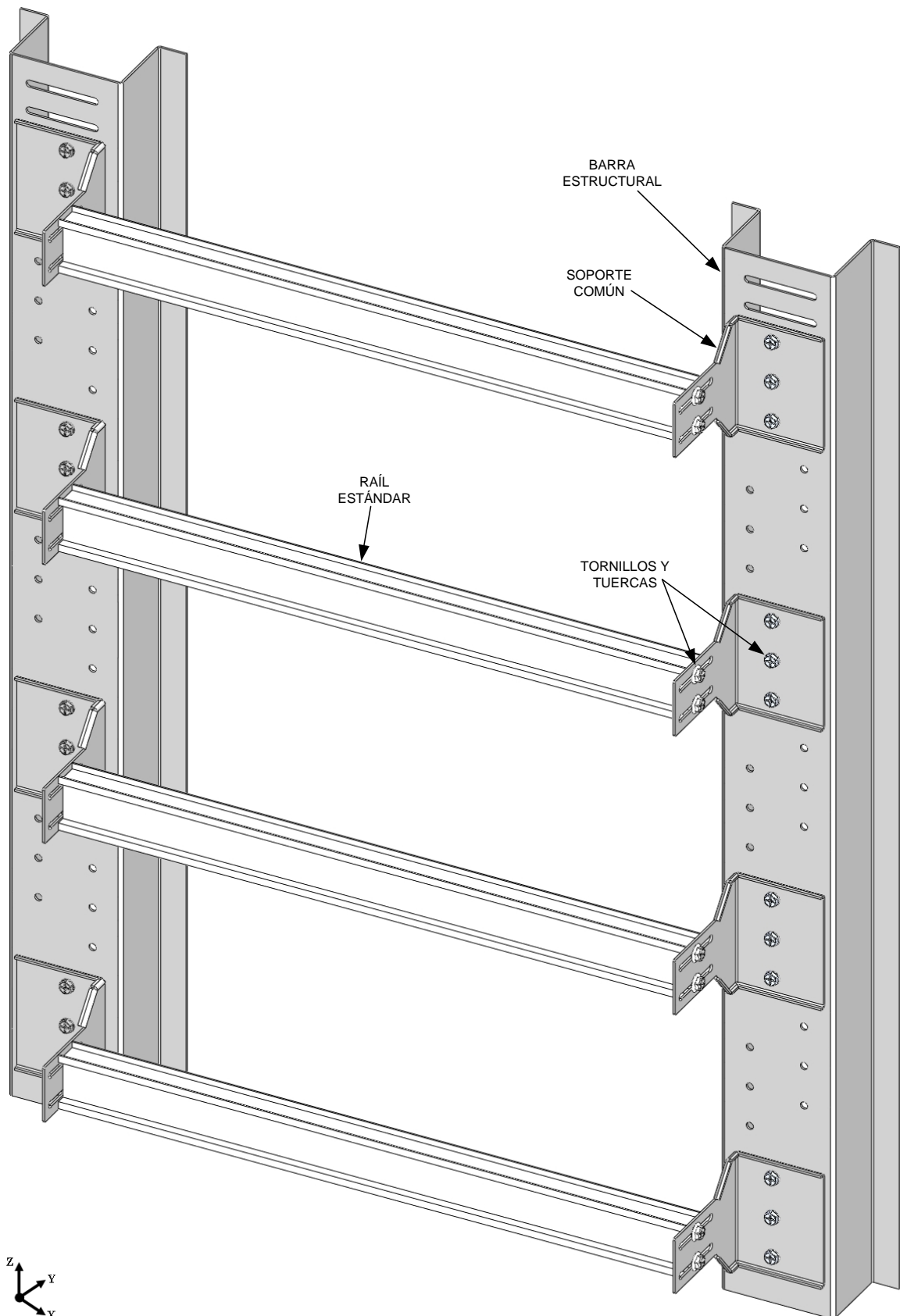


Figura 1. Chasis de un armario eléctrico convencional. La figura muestra sus principales componentes: Las barras estructurales, los raíles DIN estándar y los soportes comunes sujetos por tornillos y tuercas.

3- Minimización de tiempos

Esta perspectiva/experto también se apoya, en parte, en las metodologías DFA, enfocándose en todos aquellos aspectos que implican una reducción de tiempos en el proceso global de elaboración y montaje de las piezas.

4- Adaptación e integración de las innovaciones

Esta perspectiva/experto considera que los diseños no deben ser resultados finales inamovibles sino que deben poseer capacidad suficiente para adaptarse a los cambios o mejoras que puedan surgir debido al avance de la técnica. Según estos principios, al diseñar hay que valorar las posibles consecuencias de aplicar soluciones demasiado restrictivas que impidan al diseño final converger hacia estados de empatía técnica.

5- Creación de entornos Do-it

Esta perspectiva/experto aporta en sus valoraciones la visión que tendrían los usuarios comunes, no profesionales del tema, acerca de los diseños planteados. Procura que estas soluciones sean sencillas, seguras y fáciles de realizar, con el fin de que también puedan ser llevadas a cabo en el lugar del funcionamiento final del armario eléctrico, por personal ajeno al propio fabricante, como podrían ser los operarios de las empresas clientes. Además, también procura obtener un producto final que transmita accesibilidad con una apariencia agradable.

Para facilitar la comprensión y seguimiento de los parámetros, cada una de las perspectivas/expertos se identifica con el índice que le corresponde en la lista anterior y que coincide con su exposición en el presente trabajo. Del mismo modo, cada

perspectiva/experto lleva asociado un estado local (I_i), un estado global (S_i), un peso global (W_{Gi}) y un peso relativo (W_{ij}). Los valores de los estados de evaluación eran tres: A_p , M_p , R_p , mientras que los estados de decisión eran, igualmente, tres: A_s , M_s , R_s . Toda la información relativa a los parámetros y su significado está reflejada en mayor detalle y extensión en el apartado 5.1.1.

2 - La aplicación del método

Una vez se ha identificado a los participantes y enfocado los métodos que se van a emplear; la implementación del técnica experimental de a través de las etapas que lo describen, se expone a continuación.

El ciclo inicial

Ciclo 1 - Etapa 1: Planteamiento del problema

El rediseño del soporte debe no sólo solucionar los problemas derivados de cada una de las variantes, sino, tratar de fusionar los diferentes métodos, piezas y mecanismos para obtener un resultado que no sea ajeno, ni a los métodos habituales de montaje ni a la ergonomía de uso en el sector. De un análisis representativo de los soportes de diferentes marcas, considerando las encuestas realizar por nosotros; los usuarios de los mismos, que, reiterando, en este caso son profesionales encargados del montaje de cuadros eléctricos, unidos a un estudio de analogías y comparativas morfológicas; se han detectado los siguientes problemas:

- 1) Excesiva complejidad. En ocasiones, los soportes están formados por conjuntos y subconjuntos de piezas, lo que incrementa notablemente la dificultad de interpretación del ensamblaje, además de aumentar los tiempos de montaje del mismo. Estos tiempos, a su vez, se ven más incrementados por el elevado número de herramientas y cambios en el utillaje necesarios para ensamblar todos los conjuntos y subconjuntos.
- 2) Mecanismos de fijación poco eficientes. Los soportes emplean mecanismos para sujetarse a las barras verticales estructurales, del chasis del armario eléctrico, que resultan lentos e incómodos de colocar. Estos mecanismos, habitualmente tornillos con tuerca, incrementan la dificultad y el tiempo del montaje, aumentando el número de piezas.
- 3) Escasa permutabilidad. Existen diseños que diferencian los soportes derechos de los izquierdos, son por lo tanto no simétricos, con lo que no presentan características de intercambiabilidad, incrementando los números de referencias en stock, las operaciones logísticas y los costes económicos derivados.
- 4) Fragilidad. Algunos de los subconjuntos analizados presentaban una excesiva fragilidad, rompiéndose con facilidad.
- 5) Nula uniformidad de relaciones. Esto supone que no existe una vía de contacto y complementariedad entre los soportes y los subsistemas que los rodean, necesitando actuaciones específicas que van en detrimento de los valores concluyentes del conjunto final.

- 6) Ausencia de multifuncionalidad. Sólo realizan una labor concreta dentro del conjunto, por lo que éstos necesitan aportes añadidos que podrían estar ya integrados en los propios soportes.

Toda esta información la reflejó el coordinador en la Tarjeta del Problema que fue incluida en cada una de las cinco carpetas que se repartieron a los expertos. Además se adjuntó una representación de un soporte metálico clásico (Figura 2), objeto del rediseño, para mayor claridad en las exposiciones. Este soporte consta de dos aletas que forman 90º entre ellas. La aleta anterior, más estrecha, se usa para la sujeción de las barras normalizadas, mientras que la aleta posterior, de mayor anchura, se encarga de la propia sujeción del soporte. Esta sujeción se logra a través de tres tornillos, con sus respectivas tuercas independientes, que sujetarán el soporte a la barra vertical estructural del armario eléctrico.

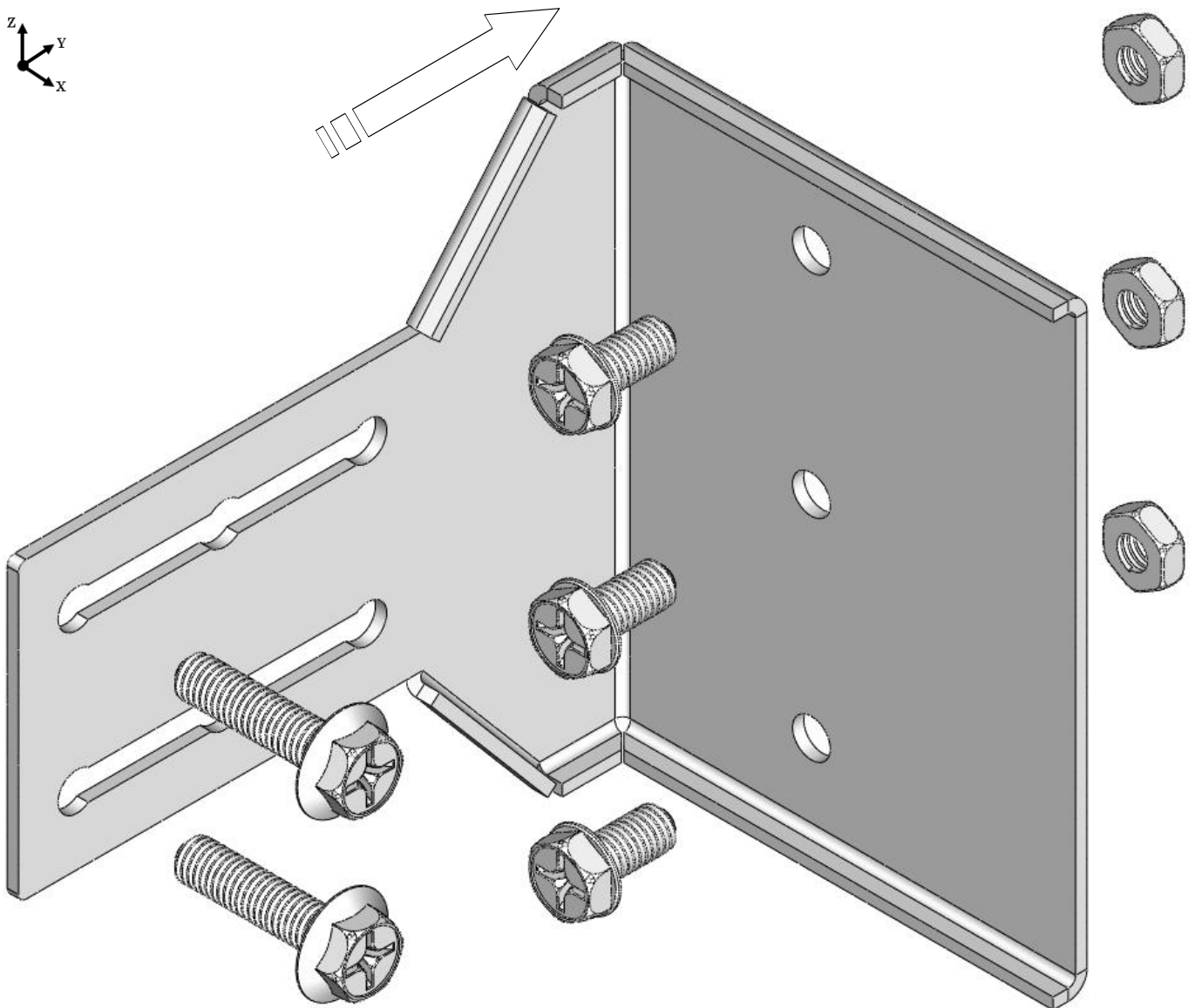


Figura 2. Diseño del soporte metálico común. La flecha, en esta figura, indica la dirección de inserción en el armario eléctrico. En este soporte, la colocación y fijación se logra empleando tres tornillos, con sus respectivas tuercas independientes, que fijan el soporte a las barras estructurales. Dos tornillos fijan los raíles estándar el propio soporte (ver también la Figura 1)

Ciclo 1 - Etapa 2: Asignación inicial de pesos globales por el coordinador

El coordinador asignó los siguientes pesos iniciales basándose en el problema expuesto y su experiencia en el tema:

- 1- Diseño Centrado en el Usuario

$$w_{G1}^{\text{coordinador}} = 0.3$$

- 2- Reducción de las partes

$$w_{G2}^{\text{coordinador}} = 0.3$$

- 3- Minimización de tiempos

$$w_{G3}^{\text{coordinador}} = 0.2$$

- 4- Adaptación e integración de las innovaciones

$$w_{G4}^{\text{coordinador}} = 0.1$$

- 5- Creación de entornos Do-it

$$w_{G5}^{\text{coordinador}} = 0.1$$

Ciclo 1 - Etapa 3: Reparto de tarjetas

El coordinador repartió las tarjetas incluidas en cinco carpetas, una por cada perspectiva/experto. Estas tarjetas eran: tarjeta del problema, tarjeta de propuestas de la perspectiva/experto y tarjeta supletoria. En la tarjeta de propuestas el coordinador escribió un resumen del problema, además del peso global ($w_{Gi}^{\text{coordinador}}$) asignado anteriormente.

Ciclo 1 - Etapa 4: Proposición de pesos globales por parte de las perspectivas/expertos

Una vez, las perspectivas/expertos recibieron las tarjetas, propusieron sus pesos globales ($w_{Gi}^{perspectiva}$) que consideraron en función de su criterio y visto el asignado por el coordinador. Los pesos propuestos fueron:

- 1- Diseño Centrado en el Usuario

$$w_{G1}^{perspectiva} = 0.4$$

- 2- Reducción de las partes

$$w_{G2}^{perspectiva} = 0.45$$

- 3- Minimización de tiempos

$$w_{G3}^{perspectiva} = 0.4$$

- 4- Adaptación e integración de las innovaciones

$$w_{G4}^{perspectiva} = 0.1$$

- 5- Creación de entornos Do-it

$$w_{G5}^{perspectiva} = 0.2$$

Ciclo 1 - Etapa 5: Reasignación de pesos iniciales

En función del peso global propuesto por el coordinador ($w_{Gi}^{coordinador}$) y del peso global propuesto por la perspectiva/experto ($w_{Gi}^{perspectiva}$), se calcularon los pesos iniciales, tanto

globales como relativos, para el primer ciclo. El peso global se calculó según la ecuación (1), de manera que:

$$w_{G2}^{\text{primero}} = 0.7 \cdot 0.3 + 0.3 \cdot 0.45 = 0.345$$

$$w_{G3}^{\text{primero}} = 0.7 \cdot 0.2 + 0.3 \cdot 0.4 = 0.26$$

$$w_{G4}^{\text{primero}} = 0.7 \cdot 0.1 + 0.3 \cdot 0.1 = 0.1$$

$$w_{G5}^{\text{primero}} = 0.7 \cdot 0.1 + 0.3 \cdot 0.2 = 0.13$$

$$w_{G5}^{\text{primero}} = 0.7 \cdot 0.1 + 0.3 \cdot 0.2 = 0.13$$

En cuanto a los pesos relativos iniciales, se calcularon según la ecuación 2, siendo estos:

$$w_{12}^{\text{primero}} = w_{21}^{\text{primero}} = \frac{0.33 + 0.345}{2} = 0.338$$

$$w_{13}^{\text{primero}} = w_{31}^{\text{primero}} = 0.303$$

$$w_{14}^{\text{primero}} = w_{41}^{\text{primero}} = 0.215$$

$$w_{15}^{\text{primero}} = w_{51}^{\text{primero}} = 0.23$$

$$w_{23}^{\text{primero}} = w_{32}^{\text{primero}} = 0.295$$

$$w_{24}^{\text{primero}} = w_{42}^{\text{primero}} = 0.223$$

$$w_{25}^{\text{primero}} = w_{52}^{\text{primero}} = 0.238$$

$$w_{34}^{\text{primero}} = w_{43}^{\text{primero}} = 0.18$$

$$w_{35}^{\text{primero}} = w_{53}^{\text{primero}} = 0.195$$

$$w_{45}^{\text{primero}} = w_{54}^{\text{primero}} = 0.115$$

Ciclo 1 - Etapa 6: Proposición de soluciones por las perspectivas/expertos

Las perspectivas/expertos plantearon las soluciones iniciales al problema planteado y las escribieron en sus tarjetas de propuestas respectivas. A continuación se resumen estas propuestas:

1- Diseño centrado en el usuario

Desde el punto de vista de esta perspectiva/experto las soluciones al problema del soporte clásico (Figura 2) pasan por considerar un sistema que emplee el mínimo número de piezas adicionales para el anclaje. Con el fin de facilitar su montaje, esta perspectiva/experto propuso la modificación de la base del soporte para colocar en ella una combinación de dos lengüetas y un tornillo. Las lengüetas estarían ambas situadas en dirección transversal respecto del soporte y orientadas en el mismo sentido facilitando su posicionamiento y colocación. Estarían en la cara posterior de la base, partiendo de unos cortes y encajando, por deslizamiento, en unas aperturas que presenta la barra vertical estructural. El tornillo evita el retroceso en la dirección transversal, asegurando el anclaje y se situaría entre ambas lengüetas, equidistante. Se prescinde de la tuerca, pues se mecanizaría un agujero roscado previamente en la propia barra vertical sobre la que se ancla el soporte.

Además, todas las operaciones de montaje deben resultar cómodas y sencillas, garantizando la visibilidad y accesibilidad en la disposición del soporte en el montaje. Del mismo modo se deben emplear el número mínimo de operaciones, herramientas y cambios de utillaje. Esto permitirá facilitar el montaje en serie y el trabajo en el propio taller por parte de los operarios, posibilitando montar los soportes con mayor eficacia y menores esfuerzos.

2- Reducción de las partes

Los planteamientos de esta perspectiva/experto contemplan la eliminación de todas las piezas auxiliares posibles además de la integración de todos los elementos de sujeción sin perder funcionalidad, formando un único conjunto integrado, previo al montaje final. Para las piezas auxiliares integrantes del soporte clásico, sobre todo los tornillos y tuercas encargados de la sujeción, propuso su sustitución por una combinación de dos lengüetas colocadas en dirección transversal respecto del soporte, orientadas en el mismo sentido, y una pestaña semielástica integrada en la base del soporte y colocada en la misma dirección, y sentido contrario al de las lengüetas. Las lengüetas se formarían a partir de unos cortes hechos en la propia base del soporte y encajarían en unos huecos que, a tal efecto, presenta la barra vertical estructural. La pestaña evitaría el retroceso en la dirección transversal, encajando en los huecos correspondientes de la barra vertical. La formación de la pestaña semielástica se realizaría a través de un proceso de fabricación adecuado, eliminando la necesidad de cualquier pieza auxiliar y reduciendo las partes del conjunto a la vez que se garantiza la estabilidad y robustez del mismo.

3- Minimización de Tiempos

Según esta perspectiva/experto se deberían emplear elementos que evitasen el uso de tornillos y tuercas, en cuanto estos necesitan demasiado tiempo de operación en el proceso de montaje. Propuso la eliminación de los mismos y su sustitución por un sistema de clip, mediante el empleo de tres pinzas metálicas y elásticas colocadas mediante presión, entre el soporte y la barra vertical estructural a través de unas

ranuras presentes tanto en el soporte como en la propia barra vertical. Por otra parte, recomendó, que todos los mecanismos de sujeción deberían emplear las mínimas operaciones de montaje posibles.

Sugirió que las soluciones al rediseño deberían ser sencillas y fácilmente aplicables, por lo que defendió el posible uso de propuestas basadas en la modificación de la propia geometría del soporte.

También realizó el análisis de sensibilidad para detectar aquellas operaciones que provocaban más demoras en el proceso de fabricación y ensamblaje.

4- Integración de las innovaciones

Las proposiciones de esta perspectiva/experto fueron las de dotar al rediseño de las características apropiadas para que pudiese admitir cambios en los sistemas de sujeción del soporte con el fin de adaptarse a innovaciones o mejoras que puedan surgir posteriormente. Propuso el empleo de marcas, a modo de plantilla, en la base del soporte, que facilitasen un mecanizado para que éste pudiese ser empleado con diferentes elementos de sujeción, resultando más versátil y reutilizable. Estas cualidades permitirían aumentar el uso y funcionalidad del soporte, pudiendo ser colocado en diferentes armarios de diferentes fabricantes. Con todo ello, el soporte podría alcanzar un estado de empatía técnica con el operario montador, pudiéndose adaptar a sus modos y necesidades.

5- Creación de entornos Do-it

Esta perspectiva/experto propuso sustituir la combinación de tornillos y tuercas por un sistema de ganchos y bridas. En la base del soporte se conformarían cuatro ganchos colocados en cada una de sus esquinas, en dirección transversal respecto del soporte, y que encajarían en unas ranuras presentes en las barras verticales estructurales. Para evitar posibles movimientos de retroceso, en la dirección transversal, del soporte, en su centro se colocaría una brida plástica, de colocación y apriete manual, aprovechando los huecos de los tornillos. Recomendó que el soporte pudiese ser montado empleando únicamente una sola herramienta; herramienta que a su vez debería ser la misma que la empleada en el montaje de todas las partes del armario eléctrico. La disposición y forma del soporte debería permitir una buena accesibilidad y visibilidad, para facilitar el montaje en el propio lugar de funcionamiento del armario eléctrico por parte, incluso de personal que no sean montadores profesionales de armarios eléctricos como los operarios de las empresas cliente donde, finalmente, se colocarán y utilizarán los armarios. Además, todas las soluciones deberían tratarse posteriormente para evitar zonas peligrosas o dañinas en su manipulación, redondeando esquinas, limando y puliendo para conseguir acabados superficiales que favorezcan su estética.

Ciclo 1 - Etapa 7: Intercambio y circulación de tarjetas

Una vez todas las tarjetas de propuestas fueron rellenas se intercambiaron las mismas entre las diferentes perspectivas/expertos.

Ciclo 1 - Etapa 8: Valoración de las soluciones por parte de las perspectivas/expertos

Cada vez que una perspectiva/experto recibe la tarjeta de propuestas de otra, procedía a la evaluación de la solución presente en ella. Estas evaluaciones que podían ser de Ap (Aceptar Propuesta), Mp (Modificar Propuesta) y Rp (Rechazar Propuesta), se escribían en la propia tarjeta de propuestas y luego se pasaban a otra perspectiva/experto. El proceso de valoración concluía cuando cada una de las perspectivas había valorado a todos los demás. Las valoraciones que cada perspectiva recibió y se reflejaron en su tarjeta de propuestas, fueron:

Perspectiva/experto evaluada: 1-Diseño centrado en el usuario

- Perspectiva/experto evaluadora: 2-Reducción de las partes
 - Evaluación: Rp (-1)
 - Comentarios: La solución del empleo de unas lengüetas combinadas con un tornillo sin tuerca independiente reduce el número de partes, pero no las reduce lo suficiente, pues sigue siendo necesario el empleo de un tornillo. Las lengüetas no integran todas las partes del mecanismo de sujeción propuesto, por lo que su uso con partes auxiliares no mejora la solución de partida. Además los costes asociados al montaje se incrementarían por el mecanizado del agujero roscado en la barra vertical estructural.

 - Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: Mp (0)
-

- Comentarios: Si bien, la combinación de las lengüetas y un tornillo reduce las operaciones necesarias para la sujeción del soporte clásico, la eliminación de las tuercas independientes implica la operación adicional de mecanizado del agujero roscado sobre la barra vertical estructural, que, junto a las operaciones de conformado de las lengüetas, implican un incremento de los tiempos en el proceso global.
- Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: R_p (-1)
 - Comentarios: La solución limita el empleo de otros mecanismos de sujeción, necesarios en caso de que este falle o provocados por las mejoras o cambios en los cuadros eléctricos. Las lengüetas propuestas reducen mucho la versatilidad y funcionalidad del soporte.
- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: M_p (0)
 - Comentarios: La solución propuesta, combinando lengüetas y un tornillo sin tuerca, implica el empleo de herramientas y de unos procesos de montaje que pueden resultar complejos para operarios no profesionales del tema.

Perspectiva/experto evaluada: 2- Reducción de las partes

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: M_p (0)
-

- Comentarios: La solución propuesta mejora muchos aspectos respecto del soporte clásico. A pesar de ello, la pestaña semielástica integrada, al tener el mismo espesor que la base del soporte, será difícil de manipular. Además, por el mismo motivo, puede no desempeñar su función correctamente, necesitando, quizás, el empleo de herramientas adicionales para lograr su anclaje.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: $M_p (0)$
 - Comentarios: El espesor de la pestaña integrada hará que su proceso de fabricación sea complejo y, por lo tanto, se incrementará el tiempo total de elaboración del soporte. Por eso, aunque se reducen las piezas, habría que averiguar a través de prototipos si las propuestas son fácilmente realizables y la complejidad del conjunto final se puede explicar de manera sencilla, pues, de darse estas circunstancias, justificarían el aumento de la complejidad en las operaciones de fabricación.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: $R_p (-1)$
 - Comentarios: La integración en el soporte de una pestaña semielástica, dispuesta en su base, impide cualquier reutilización o replanteamiento del propio soporte. Limitar el mecanismo de sujeción a la fiabilidad de la pestaña integrada no resulta aconsejable, ya que de romperse o
-

inutilizarse para su uso, el soporte no podría desempeñar su función y debería ser reemplazado íntegramente.

- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: M_p (0)
 - Comentarios: Habría que asegurar que la pestaña integrada, al tener el mismo espesor que el resto del soporte, es fácilmente manejable, pues de no ser así, se dificultaría el montaje.

Perspectiva/experto evaluada: 3-Minimización de Tiempos

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: M_p (0)
 - Comentarios: El sistema de clip propuesto podría constituir una alternativa válida a los tornillos y tuercas, mejorándolos en muchos aspectos, como la facilidad de montaje. Además disminuye el número de herramientas y simplifica el trabajo del operario. Sin embargo es un sistema menos resistente y preciso que los propios tornillos, reduciendo considerablemente la robustez del actual soporte.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 2- Reducción de las partes
 - Evaluación: R_p (-1)
 - Comentarios: Sustituir los tornillos por un sistema de clip facilita el montaje pero no integra ni disminuye las partes del soporte.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
-

- Evaluación: M_p (0)
- Comentarios: La sustitución de los tornillos por el uso de un sistema de clip puede ocasionar mayores problemas que los propios tornillos, ya que aparentemente restringe variaciones en la sujeción, debido al tamaño y número de las pinzas elásticas.
- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: M_p (0)
 - Comentarios: El sistema de clip mejora y facilita el montaje del soporte, siempre que la reposición y cambio de las pinzas esté garantizado en caso de deformación, rotura o pérdida de las mismas.

Perspectiva/experto evaluada: 4-Integración de las innovaciones

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: R_p (-1)
 - Comentarios: El uso de unas marcas a modo de plantilla complicaría la fabricación del soporte, además de empeorar sus propiedades mecánicas. No favorecería tampoco el uso por parte del usuario, ya que su montaje requiere operaciones de mecanizado previas. Por eso es una propuesta demasiado complicada de realizar, aunque el aumento en la versatilidad y funcionalidad del soporte resulta una idea que debe ser desarrollada.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 2- Reducción de las partes
-

- Evaluación: M_p (0)
- Comentarios: Las marcas podrían aumentar la versatilidad del soporte pero no reducen la multiplicidad de piezas, pudiendo incluso aumentarla. Aumenta considerablemente el número de operaciones y costes necesarios hasta el montaje final. Sin embargo, la propuesta de dotar al soporte de mayor funcionalidad es prometedora.
- Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: R_p (-1)
 - Comentarios: La realización de unas marcas a modo de plantilla incrementaría los tiempos de elaboración y montaje del soporte, aumenta las operaciones injustificadamente para su uso común y no reduce las piezas ni la complejidad asociada a los mecanismos de sujeción iniciales.
- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: R_p (-1)
 - Comentarios: La solución planteada no facilita el montaje pues, en cualquier caso, complica la sujeción al necesitar herramientas específicas para realizar los mecanizados necesarios para sujetar el soporte.

Perspectiva/experto evaluada: 5-Creación de entornos Do-it

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: Rp (-1)
 - Comentarios: La solución facilita evidentemente el proceso de montaje, pero el empleo de una brida de plástico para impedir los movimientos de retroceso del soporte supone una alternativa que debilita la robustez del armario, pues es un elemento deformable y rompible, que puede ganar holgura durante su uso. Además es susceptible al paso del tiempo, a los cambios de temperatura, y, en general, a las condiciones a las que está sometido un armario eléctrico. Las consideraciones estéticas señaladas son plenamente aceptadas.

- Perspectiva/experto evaluadora: 2- Reducción de las partes
 - Evaluación: Rp (-1)
 - Comentarios: Los ganchos y la brida plástica eliminan los tornillos y las tuercas, pero el empleo de esta brida introduce un elemento de aparente debilidad en el sistema, que tampoco reduce considerablemente las partes del soporte. Tampoco integra los conjuntos ni facilita el montaje en exceso. Los apuntes sobre estética, aunque correctos, no aportan ninguna solución a la sujeción del soporte. Los tratamientos superficiales son caros y deberían estar bien justificados.

- Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: R_p (-1)
 - Comentarios: La colocación de la brida en este soporte, tal y como se ha propuesto, puede emplear tanto tiempo como la colocación de un tornillo, por lo que la reducción de tiempos no está optimizada. Tampoco se puede asegurar que una brida plástica solucione satisfactoriamente los problemas de retroceso que no resuelven los ganchos por sí solos.

- Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: A_p (1)
 - Comentarios: Solución complementaria. El uso de ganchos mejora el montaje, y, puesto que la fijación última se realiza con una brida plástica, se pueden emplear diferentes sistemas de sujeción alternativos, pues la brida no requiere ninguna operación que implique modificaciones en la base del soporte, sin condicionar su posterior uso. Las consideraciones estéticas son válidas.

Ciclo 1 - Etapa 9: Análisis de los resultados en las redes

Una vez se produjeron las evaluaciones, el coordinador recogió todas las tarjetas y procedió al análisis de los resultados. Estos fueron:

9-1) *Valoración por solución y perspectiva/experto en las redes locales*

Según la ecuación (3), se calculan los resultados de las perspectivas/expertos evaluadas en sus respectivas redes locales de evaluación.

$$e_1 = \left(\frac{0.345+0.338}{2}\right) \cdot -1 + \left(\frac{0.26+0.295}{2}\right) \cdot 0 + \left(\frac{0.1+0.215}{2}\right) \cdot -1 + \left(\frac{0.13+0.23}{2}\right) \cdot 0 = -0.499$$

$$e_1 = -0.499$$

$$e_2 = -0.161$$

$$e_3 = -0.324$$

$$e_4 = -0.615$$

$$e_5 = -0.691$$

Valores que al aplicarles la regla de evaluación reflejada en la ecuación/expresión (4), determinan los siguientes estados de las perspectivas/expertos en la red global:

- Perspectiva/experto 1: $S_1 = R_s (-1)$ – Rechazar las soluciones propuestas
 - Perspectiva/experto 2: $S_2 = M_s (0)$ – Modificar las soluciones propuestas
 - Perspectiva/experto 3: $S_3 = R_s (-1)$ – Rechazar las soluciones propuestas
 - Perspectiva/experto 4: $S_4 = R_s (-1)$ – Rechazar las soluciones propuestas
 - Perspectiva/experto 5: $S_5 = R_s (-1)$ – Rechazar las soluciones propuestas
-

Considerando que los umbrales de la regla de evaluación, según las ecuaciones (5) y (6) son:

$$\theta_1^{\text{aceptar}} = 0.75 \cdot 0.956 = 0.717$$

$$\theta_1^{\text{modificar}} = -0.25 \cdot 0.956 = -0.239$$

$$\theta_1^{\text{aceptar}} = 0.717$$

$$\theta_1^{\text{modificar}} = -0.239$$

$$\theta_2^{\text{aceptar}} = 0.72$$

$$\theta_2^{\text{modificar}} = -0.24$$

$$\theta_3^{\text{aceptar}} = 0.704$$

$$\theta_3^{\text{modificar}} = -0.235$$

$$\theta_4^{\text{aceptar}} = 0.674$$

$$\theta_4^{\text{modificar}} = -0.225$$

$$\theta_5^{\text{aceptar}} = 0.68$$

$$\theta_5^{\text{modificar}} = -0.227$$

9-2) Valoración de las soluciones en la red global

La valoración del resultado en la red global, realizada según la ecuación (7) obtuvo un valor de -0.82:

$$r_G = 0.33 \cdot -1 + 0.345 \cdot 0 + 0.26 \cdot -1 + 0.1 \cdot -1 + 0.13 \cdot -1 = -0.82$$

Valor que al aplicarle la regla de evaluación de la ecuación/expresión (8) determina el siguiente estado global del coordinador:

- $S_G = R_s$ – Rechazar las soluciones propuestas

Teniendo en cuenta que los umbrales, según las ecuaciones (9) y (10), en este caso, son:

$$\psi_G^{\text{aceptar}} = 0.75 \cdot 1.165 = 0.874$$

$$\psi_G^{\text{modificar}} = -0.25 \cdot 1.165 = -0.291$$

El estado R_s del coordinador sugiere una modificación de las soluciones y la necesidad de la puesta en marcha de un nuevo ciclo.

Ciclo 1 - Etapa 10: Puesta en marcha de nuevos ciclos

Cuando los resultados han sugerido la puesta en marcha de un nuevo ciclo, el coordinador, que ya posee todas las tarjetas, recalcula los pesos relativos y globales, para, posteriormente, poner en marcha un nuevo ciclo. En este nuevo ciclo, las perspectivas/expertos podrán observar los comentarios que, de sus soluciones, han realizado las demás perspectivas/expertos. Propondrán nuevas soluciones que serán evaluadas de modo análogo al del primer ciclo.

Cálculo de los nuevos pesos

Los nuevos valores de los pesos relativos se calcularon según la ecuación (11), y fueron los siguientes:

$$w_{12}^{\text{nuevo}} = 0.5 \cdot 0.338 + 0.5 \cdot \frac{1}{5+2} [((1-|0-(-1)|)) + (1-|(-1)-0|) + (1-|(-1)-(-1)|) + 2 \cdot (0+(-1))] = 0.097$$

$$w_{12}^{\text{nuevo}} = w_{21}^{\text{nuevo}} = 0.097$$

$$w_{24}^{\text{nuevo}} = w_{42}^{\text{nuevo}} = -0.032$$

$$w_{13}^{\text{nuevo}} = w_{31}^{\text{nuevo}} = 0.362$$

$$w_{25}^{\text{nuevo}} = w_{52}^{\text{nuevo}} = -0.024$$

$$w_{14}^{\text{nuevo}} = w_{41}^{\text{nuevo}} = -0.178$$

$$w_{34}^{\text{nuevo}} = w_{43}^{\text{nuevo}} = -0.124$$

$$w_{15}^{\text{nuevo}} = w_{51}^{\text{nuevo}} = 0.186$$

$$w_{35}^{\text{nuevo}} = w_{53}^{\text{nuevo}} = 0.169$$

$$w_{23}^{\text{nuevo}} = w_{32}^{\text{nuevo}} = 0.08$$

$$w_{45}^{\text{nuevo}} = w_{54}^{\text{nuevo}} = 0.129$$

En lo referente a los nuevos valores de los pesos globales, se calcularon según la ecuación (12), y fueron los siguientes:

$$w_{G1}^{\text{nuevo}} = 0.5 \cdot 0.33 + 0.1 \cdot -1 + 0.4 \cdot \frac{(0.097 + 0.362 + -0.178 + 0.186)}{5-1} = 0.112$$

$$w_{G1}^{\text{nuevo}} = 0.112$$

$$w_{G2}^{\text{nuevo}} = 0.185$$

$$w_{G3}^{\text{nuevo}} = 0.079$$

$$w_{G4}^{\text{nuevo}} = -0.071$$

$$w_{G5}^{\text{nuevo}} = 0.011$$

Una vez calculados los nuevos valores de pesos se aplicará la transformación lineal correspondiente para evitar los valores negativos tanto en los pesos relativos como en los globales.

Para los pesos relativos como, en este caso, el peso relativo entre las perspectivas/expertos 1-4, 2-4, 2-5 y 3-4 son cuatro valores negativos, se aplica la transformación lineal de la ecuación (13), sobre el conjunto de los pesos relativos:

$$w'_{12} = w'_{21} = 0.097 + |-0.178| = 0.276$$

$$w'_{12} = w'_{21} = 0.276$$

$$w'_{24} = w'_{42} = 0.147$$

$$w'_{13} = w'_{31} = 0.54$$

$$w'_{25} = w'_{52} = 0.154$$

$$w'_{14} = w'_{41} = 0$$

$$w'_{34} = w'_{43} = 0.054$$

$$w'_{15} = w'_{51} = 0.365$$

$$w'_{35} = w'_{53} = 0.347$$

$$w'_{23} = w'_{32} = 0.258$$

$$w'_{45} = w'_{54} = 0.307$$

En el caso de los pesos globales, el peso de la perspectiva/experto 4 es negativo, por lo que se aplicará la transformación lineal de la ecuación (14), sobre el conjunto de los pesos globales:

$$w'_{G1} = 0.112 + |-0.071| = 0.182$$

$$w'_{G1} = 0.182$$

$$w'_{G2} = 0.255$$

$$w'_{G3} = 0.149$$

$$w'_{G4} = 0$$

$$w'_{G5} = 0.082$$

El segundo ciclo

El coordinador describió el problema inicial de forma parecida. El ciclo comienza en la Etapa 6, en cuanto las anteriores ya están definidas para todos los ciclos.

Ciclo 2 - Etapa 6: Proposición de soluciones por las perspectivas/expertos

Las nuevas soluciones fueron:

1- Diseño centrado en el usuario

Esta perspectiva/experto replanteó del sistema de lengüetas y tornillo enroscado en la barra vertical estructural que había propuesto. Para evitar el uso del tornillo, propuso sustituirlo por una cinta metálica elástica colocada en la dirección longitudinal respecto del soporte y, por lo tanto, perpendicular a la dirección de las lengüetas (transversal respecto del soporte). La elección de esta dirección para colocar la cinta obedece a sus propias condiciones de funcionamiento. Debido al pequeño espesor de la cinta, su mayor resistencia para bloquear el retroceso se obtiene en la dirección transversal, coincidente con la dirección de las lengüetas. El empleo de esta cinta metálica elástica fijada a través de dos huecos alineados, en combinación con las lengüetas, permite la inmovilización del

soporte, facilitando su montaje, pues encajaría en un hueco que presenta la barra vertical de apoyo, paralelo a los que sirven para el encaje de las lengüetas. Mantuvo sus recomendaciones acerca de la necesidad de reducir las herramientas necesarias para montar el soporte en el taller.

2- Reducción de las partes

Esta perspectiva /experto añadió, en relación a sus propuestas anteriores, prescindir de la pestaña semielástica integrada y cambiar la dirección de las dos lengüetas. Indicó que colocando las lengüetas en dirección longitudinal, respecto del propio soporte, de modo que se anclasen en sentido perpendicular a la barra vertical estructural, se suprimiría la necesidad de cualquier mecanismo de fijación adicional. La propia barra normalizada, o en su defecto, las placas empleadas para la sujeción de la aparamenta, colocadas entre dos soportes, realizarían la función de evitar el retroceso en la dirección longitudinal del soporte, quedando los demás movimientos posibles restringidos por la disposición de las lengüetas. Este uso de las barras normalizadas de colocación de la aparamenta eléctrica con una función estructural complementa perfectamente el sistema de lengüetas. Además, con esto, se garantizaría la simetría de uso por la que un único soporte podría ser empleado indistintamente a ambos lados de la barra normalizada, evitando el uso de dos soportes distintos una para cada lado. Con esto se aumenta la relación funcional del soporte con el entorno donde desempeña su función, lo que permite derivar aspectos estructurales a otros conjuntos y subconjuntos de piezas que lo rodean y que forman el armario eléctrico, como la barra normalizada.

3- Minimización de Tiempos

Modificó su idea inicial, y propuso una nueva manera de fijar el soporte. Para ello planteó el uso de una combinación de tres ganchos y una presilla para evitar el retroceso en la dirección transversal. Los tres ganchos se conformarían y distribuirían convenientemente por la base del soporte, no alineados, encajando en las ranuras correspondientes que tendría la barra vertical estructural. Tendrían dirección transversal respecto del soporte, lo que permitiría montar la barra normalizada previamente sobre una mesa, y anclar el conjunto de soportes y barra con una sola operación de montaje. Para evitar el retroceso, en una de las ranuras superiores se colocaría, por presión, una presilla en el espacio entre el gancho del soporte y el comienzo de la ranura. Se prescinde así de operaciones más complejas. Los ganchos son fácilmente realizables y su eficacia está probada, también se simplifica la complejidad del montaje, pues se reducen las operaciones de fabricación y ensamblaje.

4- Integración de las innovaciones

Las proposiciones de esta perspectiva/experto no se relacionaron con sus ideas anteriores que fueron rechazadas, sino que propuso dejar un espacio vacío adicional en la base del soporte, reduciendo o separando las partes de la fijación, para posibles operaciones de readaptación, con el fin de hacer más versátiles a los soportes y poder reutilizarlos en el caso de que un sistema de soluciones de base geométrica (lengüetas o ganchos) fuese, finalmente, la solución adoptada.

También propuso que se diseñasen previamente las barras verticales estructurales (y, en general, todo el entorno de funcionamiento), para una posible utilización de lengüetas o ganchos, reduciendo así los pasos necesarios para su puesta en marcha, adaptándose previamente a las soluciones. Estos diseños deberían considerar que las barras verticales, al ser un elemento estructural fundamental, tendrían que ser intercambiables. Por eso todas las ranuras y huecos necesarios para los anclajes de base geométrica (lengüetas y ganchos) se colocarían distribuidos sobre la cara frontal de la barra vertical de modo que se garantizase la simetría de uso de esta barra a ambos lados (derecho e izquierdo) de las barras normalizadas.

Apuntó, finalmente, que los sistemas de base geométrica sólo podrían ser aceptados si permiten que el soporte pueda adoptar sistemas de sujeción alternativos.

5- Creación de entornos Do-it

Esta perspectiva/experto, propuso reducir el número de ganchos y eliminar la brida plástica sustituyéndola por un tornillo de mariposa que garantizaría la fijación. De los cuatro ganchos transversales inicialmente propuestos, se pasaría a dos ganchos de mayor tamaño, también transversales, y distribuidos convenientemente por la cara posterior de la base del soporte. El tornillo de mariposa, de inserción manual, aseguraría la fijación e impediría los retrocesos que pueden ocasionarse con el uso de ganchos. Se eliminarían por completo el uso de herramientas específicas y complejas, facilitando el montaje del soporte.

Ciclo 2 - Etapa 7: Intercambio y circulación de tarjetas

Se produjo nuevamente el intercambio de tarjetas

Ciclo 2 - Etapa 8: Valoración de las soluciones por parte de las perspectivas/expertos

Las valoraciones que cada perspectiva/experto recibió, en el segundo ciclo, fueron:

Perspectiva/experto evaluada: 1-Diseño centrado en el usuario

- Perspectiva/experto evaluadora: 2-Reducción de las partes
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: Con el empleo de una cinta metálica elástica externa se evita el uso del tornillo, mejorando todos los aspectos del ensamblaje, salvo aquellos relacionados con la reducción de piezas y la integración de las partes. Además la dirección y sentido de las lengüetas obliga a usar dos tipos de soportes diferentes, uno para cada lado de la barra normalizada.

- Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: La supresión de tornillos y tuercas a través de la cinta metálica y elástica favorece considerablemente el montaje del soporte pues reduce el número de operaciones. Pero, la elaboración de la cinta es compleja, y su importancia es crucial, por lo que, si en la operación de inserción de la cinta en el soporte, ésta se rompe o daña, lo que, a

veces, ocurre con este tipo de cintas, se ocasionarán demoras en el tiempo. Además esto obliga a tener un stock adicional y permanente de cintas de repuesto.

- Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: El uso de un elemento externo dota de versatilidad al soporte. Sin embargo la cinta metálica y elástica necesita unas condiciones específicas en la base del soporte que dificultan la reutilización de este.
- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: $A_p(1)$
 - Comentarios: Solución complementaria.

Perspectiva/experto evaluada: 2- Reducción de las partes

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: Efectivamente, la colocación en ese sentido de las lengüetas descarta el empleo de mecanismos adicionales de fijación y permite usar el soporte a ambos lados de la barra normalizada. Pero en el momento del montaje existirá demasiada holgura de giro, justo después de ser colocados los dos soportes y antes de fijar la barra normalizada sobre ellos, secuencia de montaje que hay que seguir para
-

el diseño propuesto. Esto impedirá un trabajo fluido por parte de los operarios, necesitando el empleo de herramientas adicionales, y complicando el proceso.

- Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: Las lengüetas longitudinales implican, necesariamente, que la barra normalizada deba ser colocada con posterioridad al montaje de los soportes. Este cambio en el orden de las operaciones debe ser estudiado en profundidad, pues si las mejoras en las propuestas compensan las posibles dificultades y demoras derivadas del nuevo modo de operar, la solución será perfectamente válida.
- Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: El empleo de lengüetas sigue limitando la versatilidad del soporte. Las condiciones para su funcionamiento siguen siendo demasiado restrictivas y no aportan alternativas válidas al mecanismo de fijación, por lo que todavía no compensa adoptar un sistema basado únicamente en la disposición de las lengüetas, cuando éstas no garantizan un montaje sencillo.
- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: $M_p(0)$

- Comentarios: Aunque se ha prescindido de mecanismos de fijación externos, este sistema tiene el problema de dificultar el montaje, pues el soporte puede girar en el momento de su colocación y no se fijará hasta que los dos soportes, a ambos lados de la barra normalizada, estén completamente montados.

Perspectiva/experto evaluada: 3-Minimización de Tiempos

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: $M_p (0)$
 - Comentarios: Los ganchos, aunque pueden asegurar la pieza, no mejoran, en este caso, a otros elementos geométricos de sujeción como las lengüetas, debido a su particular disposición y forma. El proceso para conformarlos a partir de cortes apropiados en la base del soporte resulta más complicado que conformar lengüetas. El montaje se acorta pero no se facilita en exceso. Por otra parte, las presillas propuestas son pequeñas piezas metálicas que deben introducirse en ranuras también pequeñas. Este proceso implicará mucha destreza por parte de los usuarios. Además éstas son poco robustas y se pueden romper durante su inserción.
- Perspectiva/experto evaluadora: 2-Reducción de las partes
 - Evaluación: $R_p (-1)$

- Comentarios: Aunque el montaje sea más fácil y se hayan hecho esfuerzos para disminuir el número de partes, lo cierto es que las presillas contrarrestan todas estas medidas, pues vuelven a aumentar el número de partes. Además la disposición de los ganchos impide su empleo a ambos lados de la barra normalizada, no mejorando el uso de lengüetas longitudinales, que sí podrían aportar esta permutabilidad. Las consideraciones a la hora de montar las barras normalizadas no son del todo correctas. Si el soporte alcanza simetría en su uso (a través de anclajes longitudinales, por ejemplo) se compensa el hecho de montar la barra normalizada con posterioridad, en contraposición al planteamiento de que anclajes transversales mejoran ese aspecto. Hay que considerar los beneficios de posibles simetrías de uso, funciones estructurales del entorno y facilidad en el montaje antes de desecharlas a favor de una sola mejora aparente.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: Ap (1)
 - Comentarios: Solución complementaria. Las presillas ocupan poco espacio en la base del soporte, por lo que queda espacio suficiente para colocar alternativas al anclaje. La disposición de los ganchos favorecen esta característica.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: Mp (0)
-

- Comentarios: La introducción de operaciones de inserción manual complica el montaje, pues es necesaria cierta destreza en el uso, que operarios no profesionales pueden no tener. Esto implica posibles dificultades para montar el soporte por personal ajeno a la empresa fabricante / montadora.

Perspectiva/experto evaluada: 4-Integración de las innovaciones

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: $M_p (0)$
 - Comentarios: Aunque la versatilidad es una cualidad a mantener, ese espacio adicional propuesto puede reducir la eficacia de todas aquellas soluciones que buscan en la propia geometría de las piezas recursos funcionales para el anclaje, pues obliga a reducir el tamaño de estos recursos, y complica su disposición. En lo referente a la barra vertical estructural las propuestas para prepararla previamente para los sistemas de base geométrica son recomendables.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 2-Reducción de las partes
 - Evaluación: $R_p (-1)$
 - Comentarios: Si las soluciones se basan en la modificación de la propia geometría del soporte, a través de lengüetas, ese espacio adicional no posee ningún sentido. Más que integrar los conjuntos los desagrega y desaprovecha.
-

- Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: $R_p (-1)$
 - Comentarios: El espacio vacío, parece innecesario en virtud de las soluciones geométricas planteadas. Es improductivo y desaprovecha material.

- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: $M_p (0)$
 - Comentarios: Ese espacio vacío no tiene ningún sentido, resulta antiestético y además contradice las propuestas mayoritarias basadas en la modificación de la geometría de la base del soporte. Por otra parte, que las barras estructurales sean intercambiables favorece considerablemente el montaje pues serán necesarias menos piezas para formar el chasis del armario.

Perspectiva/experto evaluada: 5-Creación de entornos Do-it

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: $M_p (0)$
 - Comentarios: El tornillo de mariposa es una alternativa válida para la fijación del soporte, sin embargo, la reducción de ganchos propuesta, aunque aumenten de tamaño, reduce la robustez del soporte.

 - Perspectiva/experto evaluadora: 2-Reducción de las partes
-

- Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: La solución planteada es interesante pero sigue sin reducir el número de piezas y tampoco integra ningún conjunto. Los tiempos se han reducido pero el ensamblaje sigue sin estar optimizado, pues los tornillos de mariposa son más caros que los normales y su uso debe estar bien justificado. Además esta solución impide el uso de un solo soporte a ambos lados de la barra normalizada.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: Aunque el tornillo de mariposa reduce tiempos de una manera aceptable, la reducción de ganchos no facilitará las operaciones de fabricación ya que se aumentan sus tamaños.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: Combinar los ganchos con el tornillo de mariposa no restringe en exceso el uso del soporte, pues el elemento externo puede ser reemplazado por otros distintos. Sin embargo, el tornillo de mariposa propuesto, por sus particularidades, puede ocasionar problemas en su entorno, pues puede enganchar algún cable durante el montaje, impidiendo además el uso de nuevos cables innovadores más delicados que los habituales.
-

Ciclo 2 - Etapa 9: Análisis de los resultados en las redes

Una vez se produjeron las evaluaciones, el coordinador recogió todas las tarjetas y procedió al análisis de los resultados. Estos fueron:

9-1) Valoración por solución y perspectiva/experto en las redes locales

Según la ecuación (3), se calcularon los resultados de las perspectivas/expertos evaluadas en sus respectivas redes locales de evaluación.

$$e_1 = 0.223$$

$$e_2 = 0$$

$$e_3 = -0.23$$

$$e_4 = -0.302$$

$$e_5 = 0$$

Valores que al aplicarles la regla de evaluación de la ecuación/expresión (4), determinan los siguientes estados de las perspectivas/expertos en la red global:

- Perspectiva/experto 1: $S_1 = M_s (0)$ – Modificar las soluciones propuestas
- Perspectiva/experto 2: $S_2 = M_s (0)$ – Modificar las soluciones propuestas
- Perspectiva/experto 3: $S_3 = R_s (-1)$ – Rechazar las soluciones propuestas
- Perspectiva/experto 4: $S_4 = R_s (-1)$ – Rechazar las soluciones propuestas
- Perspectiva/experto 5: $S_5 = M_s (0)$ – Modificar las soluciones propuestas

Teniendo en cuenta que los umbrales de la regla de evaluación, según las ecuaciones (5) y (6), son:

$$\theta_1^{\text{aceptar}} = 0.625$$

$$\theta_1^{\text{modificar}} = -0.208$$

$$\theta_2^{\text{aceptar}} = 0.468$$

$$\theta_2^{\text{modificar}} = -0.156$$

$$\theta_3^{\text{aceptar}} = 0.644$$

$$\theta_3^{\text{modificar}} = -0.215$$

$$\theta_4^{\text{aceptar}} = 0.441$$

$$\theta_4^{\text{modificar}} = -0.147$$

$$\theta_5^{\text{aceptar}} = 0.66$$

$$\theta_5^{\text{modificar}} = -0.22$$

9-2) Valoración de las soluciones en la red global

La valoración del resultado en la red global, realizada según la ecuación (7) obtuvo un valor de -0.149:

$$r_G = -0.149$$

Valor que al aplicarle la regla de evaluación de la ecuación (8) determina el siguiente estado global del coordinador:

- $S_G = M_s$ – Modificar las soluciones propuestas

Teniendo en cuenta que los umbrales, según las ecuaciones (9) y (10), en este caso, son:

$$\psi_G^{\text{aceptar}} = 0.501$$

$$\psi_G^{\text{modificar}} = -0.167$$

El estado global del coordinador determina la necesidad de un nuevo ciclo de propuestas. Sin embargo, el proceso, en este segundo ciclo, arrojó ya unos resultados parciales derivados de la aplicación de las soluciones propuestas hasta el momento. Aunque el resultado de la red no es estable, y no ha alcanzado un valor de convergencia, el coordinador, como receptor de las soluciones, puede estimar oportuno representar las mejores soluciones planteadas. La Figura 3 muestra estas soluciones en un modelo virtual del soporte. El coordinador, en este caso, estimó la representación como ayuda en el planteamiento de los ciclos próximos.

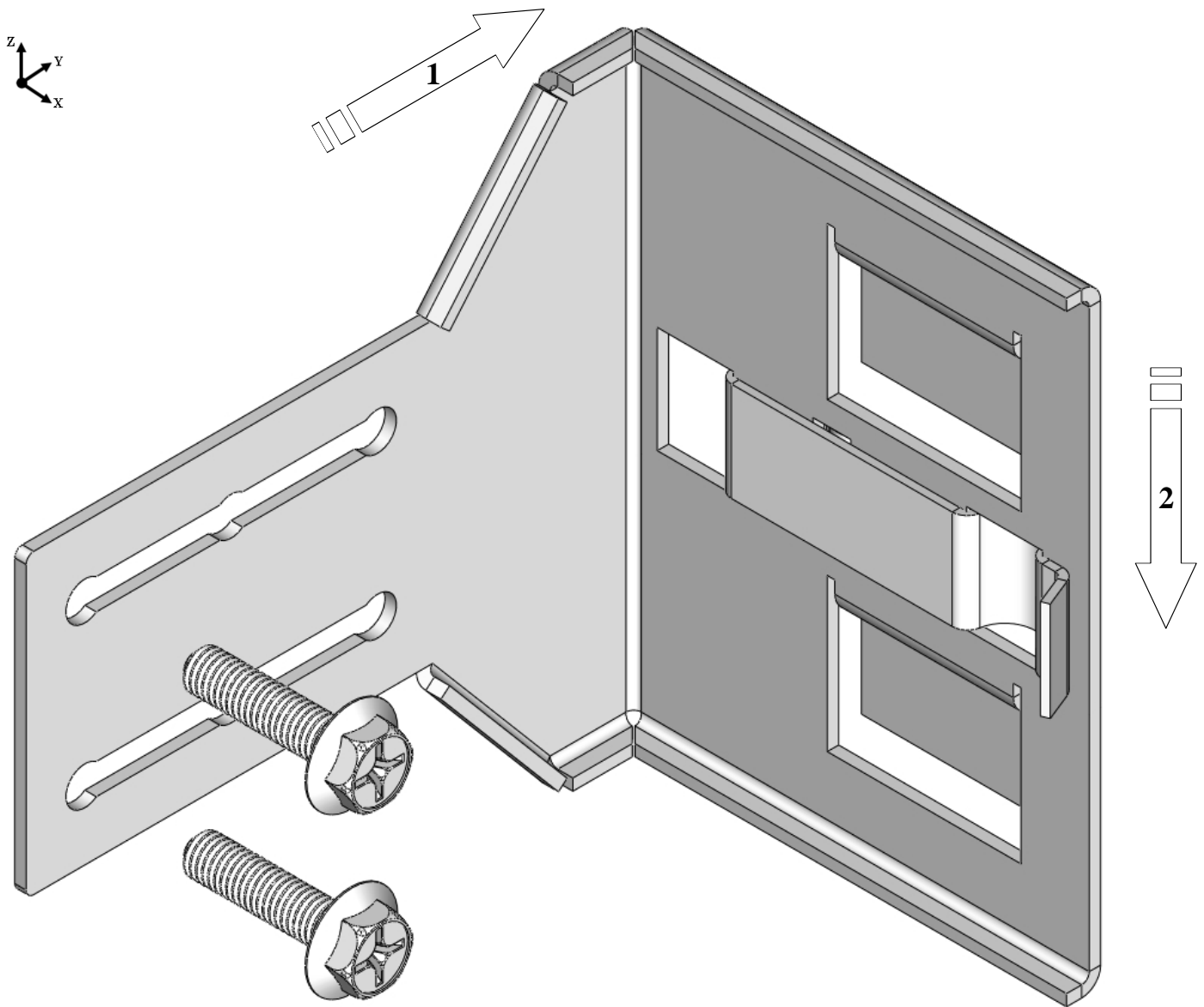


Figura 3. Mejoras en el soporte derivadas de la eliminación de los tres tornillos y la introducción de una cinta metálica flexible que facilita el montaje y manejo. La flecha, en esta figura, indica la dirección de inserción dentro del armario eléctrico.

Ciclo 2 - Etapa 10: Puesta en marcha de nuevos ciclos

El coordinador, ante los resultados obtenidos, puso en marcha un nuevo ciclo, calculando los valores de pesos relativos y globales para el nuevo ciclo. Esos valores fueron:

Cálculo de los nuevos pesos

Los nuevos valores de los pesos relativos se calcularon según la ecuación (11), y fueron los siguientes:

$$w_{12}^{\text{nuevo}} = w_{21}^{\text{nuevo}} = 0.209$$

$$w_{24}^{\text{nuevo}} = w_{42}^{\text{nuevo}} = 0.002$$

$$w_{13}^{\text{nuevo}} = w_{31}^{\text{nuevo}} = 0.413$$

$$w_{25}^{\text{nuevo}} = w_{52}^{\text{nuevo}} = 0.077$$

$$w_{14}^{\text{nuevo}} = w_{41}^{\text{nuevo}} = 0.143$$

$$w_{34}^{\text{nuevo}} = w_{43}^{\text{nuevo}} = 0.241$$

$$w_{15}^{\text{nuevo}} = w_{51}^{\text{nuevo}} = 0.539$$

$$w_{35}^{\text{nuevo}} = w_{53}^{\text{nuevo}} = 0.245$$

$$w_{23}^{\text{nuevo}} = w_{32}^{\text{nuevo}} = 0.2$$

$$w_{45}^{\text{nuevo}} = w_{54}^{\text{nuevo}} = 0.225$$

En lo referente a los nuevos valores de los pesos globales, se calcularon según la ecuación (12), y fueron los siguientes:

$$w_{G1}^{\text{nuevo}} = 0.222$$

$$w_{G2}^{\text{nuevo}} = 0.176$$

$$w_{G3}^{\text{nuevo}} = 0.085$$

$$w_{G4}^{\text{nuevo}} = -0.039$$

$$w_{G5}^{\text{nuevo}} = 0.149$$

En este ciclo, el cálculo de los pesos relativos no devolvió ningún valor negativo, no así el cálculo de los pesos globales, donde el valor de la perspectiva/experto 4, es negativo. Debido a esto, se aplicará la transformación lineal de la ecuación (14) sobre el conjunto de los valores de pesos globales calculados, quedando:

$$w'_{G1} = 0.26$$

$$w'_{G2} = 0.215$$

$$w'_{G3} = 0.123$$

$$w'_{G4} = 0$$

$$w'_{G5} = 0.188$$

El tercer ciclo

La puesta en marcha del tercer ciclo se realizó por parte del coordinador mediante el reparto de las carpetas y las nuevas tarjetas de propuestas. Adjuntó toda la información presente en los ciclos anteriores.

Ciclo 3 - Etapa 6: Proposición de soluciones por las perspectivas/expertos

Las nuevas soluciones fueron:

1- Diseño centrado en el usuario

Esta perspectiva/experto, en función de la información almacenada en la red en forma de valoraciones a sus soluciones anteriores y de las demás propuestas, propuso un replanteamiento de su sistema anterior. En este caso, prescindiendo de la cinta metálica elástica, se emplearía un sistema formado por un conjunto de tres lengüetas, situadas respecto del soporte, una en dirección longitudinal y las otras dos transversales y orientadas en el mismo sentido. Las lengüetas se formarían a partir de unos cortes en la base del soporte. Este conjunto de lengüetas no sólo sujetaría el soporte en todas las direcciones sino que haría innecesario cualquier mecanismo adicional de fijación, pues la propia barra normalizada impediría el retroceso del soporte. Para ello habría que diseñar paralelamente las barras verticales estructurales para que acogiesen el sistema de lengüetas propuesto a través de un hueco apropiado. Con eso, el montaje del soporte se realiza sin partes auxiliares, restringiendo todos los movimientos a los que pueda estar sometido. Del mismo modo se reduce la necesidad de emplear varias herramientas a una o ninguna.

2- Reducción de las partes

Esta perspectiva/experto, siguiendo la línea de sus planteamientos, y para solventar los problemas que le plantearon a su anterior propuesta durante las fases de montaje, planteó una combinación de tres lengüetas, situadas en ambas direcciones, una longitudinal y dos transversales respecto del soporte y realizadas a partir de unos cortes en la base. Habría una lengüeta longitudinal centrada en la base, y, a ambos lados de la misma, en dirección transversal, otras dos, que se encuentran enfrentadas, es decir, colocadas en sentido opuesto. Esta combinación de lengüetas encajaría en la barra vertical estructural a través de un hueco en forma de C. Además de anclar el soporte, con esto se logra dotarlo de propiedades de simetría en su uso, lo que permite la colocación de un único tipo de soporte a ambos lados de la barra normalizada. Además, se prescinde de todas las partes auxiliares de fijación (tornillos, presillas, cintas elásticas, etc...) pues, el soporte contiene todos los elementos necesarios para desempeñar su función. Se consigue una uniformidad de relaciones entre el soporte y los subconjuntos de piezas que lo rodean, dotándolos de funciones estructurales, además de las suyas propias.

Los huecos y ranuras que habría que realizar en las barras verticales estructurales, se corresponderían con las soluciones propuestas en el soporte, y, por lo tanto, harían que las barras verticales fuesen también intercambiables entre ambos lados del armario, con lo que se optimizaría todo el chasis del armario eléctrico.

3- Minimización de Tiempos

Esta perspectiva/experto considerando las limitaciones apuntadas sobre su sistema de tres ganchos más una presilla, replanteó sus soluciones. En línea con las lengüetas planteadas por los expertos 1 y 2, propuso una combinación de dos lengüetas longitudinales, de fácil realización, más unas muescas colocadas en la cara posterior de la base del soporte, la que hace el contacto con la cara frontal de la barra vertical estructural. Estas muescas permiten aumentar la fricción del soporte con la barra vertical, dificultando el giro en el montaje que posee el sistema de dos lengüetas longitudinales. Su realización es sencilla y puede ser complementada también por unas muescas en las barras verticales. Habría simetría de uso tanto en el soporte como en la barra vertical, permitiendo la utilización de un único diseño para ambos lados de la barra normalizada.

4- Integración de las innovaciones

Esta perspectiva/experto propuso nuevas consideraciones, pero, en este caso, relativas a la zona superior del soporte, donde se sujetarán las barras normalizadas. Con ello se buscan mejoras en las soluciones existentes, para que la barra o las placas metálicas correspondientes se sujeten al soporte de un modo más sencillo. Aunque la fijación de las barras normalizadas no se discutía, un planteamiento de conjunto también favorece el diseño final del soporte. Desechó proponer cualquier nuevo diseño en la base del soporte, apuntando que la reducción de piezas y la integración de las mismas generarían una consecuente reducción de referencias. Esto posibilitaría una mejora en la gestión del

material derivando los estados de “empatía técnica” hacia los aspectos logísticos relacionados con el soporte.

5- Creación de entornos Do-it

Esta perspectiva/experto prescindió de las soluciones de ganchos y tornillo de mariposa en función de los comentarios recibidos. En línea con la idea apuntada por la perspectiva/experto 2, propuso un sistema de dos lengüetas en dirección longitudinal respecto del soporte, colocadas en su base, para aprovechar que las barras normalizadas realizan una función de fijación de los soportes. Esta función se complementaría a través de unos tornillos de apriete manual que mejoran los aspectos estéticos de los tornillos de mariposa. Con esto se evitaría el empleo de herramientas, al ser los tornillos de inserción manual, y se prevendría el problema del giro en el momento del montaje observado en el sistema de dos lengüetas longitudinales propuesto por la perspectiva/experto 2.

Ciclo 3 - Etapa 7: Intercambio y circulación de tarjetas

Se produjo nuevamente el intercambio de tarjetas

Ciclo 3 - Etapa 8: Valoración de las soluciones por parte de las perspectivas/expertos

Las valoraciones que cada perspectiva/experto recibió en el tercer ciclo fueron:

Perspectiva/experto evaluada: 1-Diseño centrado en el usuario

- Perspectiva/experto evaluadora: 2-Reducción de las partes
 - Evaluación: M_p (0)
 - Comentarios: El sistema de lengüetas resuelve todos los problemas iniciales, salvo uno, el de la simetría de uso del soporte, pues las lengüetas transversales, al estar orientadas en el mismo sentido, obligan a emplear un soporte diferente a cada lado de la barra normalizada.

- Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: A_p (1)
 - Comentarios: Solución complementaria. Las soluciones son sencillas y la disminución de tiempos y operaciones resulta evidente.

- Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: A_p (1)
 - Comentarios: Solución complementaria. Se ha resuelto el problema de la sujeción en todas las direcciones posibles.

- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: A_p (1)
 - Comentarios: Solución complementaria.

Perspectiva/experto evaluada: 2- Reducción de las partes

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: Ap (1)
 - Comentarios: Solución complementaria. Además la solución permite que un único tipo de soporte y de barras verticales estructurales puedan ser usados a ambos lados de la barra normalizada. Efectivamente las soluciones de base geométrica se ven reforzadas con la simetría de uso.
- Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: Ap (1)
 - Comentarios: Solución complementaria.
- Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: Ap (1)
 - Comentarios: Solución complementaria. Aunque esta solución no habilita el uso de otros sistemas de sujeción alternativos, en este diseño, ésta no es una faceta demasiado importante. Sin embargo, a la vista de los comentarios realizados en las fases anteriores por las demás perspectivas/expertos, el resultado obtenido y, sobre todo, la posibilidad de prescindir con seguridad de cualquier mecanismo externo de fijación, justifican plenamente la solución propuesta.
- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it

- Evaluación: Ap (1)
- Comentarios: Solución complementaria.

Perspectiva/experto evaluada: 3-Minimización de Tiempos

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: Ap (1)
 - Comentarios: Solución complementaria.
- Perspectiva/experto evaluadora: 2- Reducción de las partes
 - Evaluación: Ap (1)
 - Comentarios: Solución complementaria.
- Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: Ap (1)
 - Comentarios: Solución complementaria.
- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: Mp (0)
 - Comentarios: En las muescas, al basarse en la fricción para impedir el giro, algunos pequeños fallos o desvíos en su formación pueden provocar grandes dificultades durante el montaje del soporte, con lo que obliga a emplear herramientas adicionales para su colocación, consiguiendo que los montajes manuales sean insuficientes. Además,

las muescas deberían ser hechas y tratadas de modo que no supusiese ningún daño su manipulación por parte de los operarios.

Perspectiva/experto evaluada: 4-Integración de las innovaciones

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: Como un sistema de lengüetas ya es la solución mejor valorada para resolver el problema de la sujeción del soporte, las propuestas para optimizar la sujeción de las barras normalizadas, aunque no se discutían, son admisibles ya que las propias barras adquieren una función estructural dentro del conjunto final, y, por lo tanto, deberían estudiarse posteriormente.

 - Perspectiva/experto evaluadora: 2- Reducción de las partes
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: La sujeción de las barras normalizadas al soporte implica la búsqueda de soluciones paralelas al anclaje del mismo. Sin embargo, como el empleo de esas barras posee una función estructural se justifica la discusión y planteamiento de nuevas soluciones en futuros ciclos.

 - Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
 - Evaluación: $M_p(0)$
-

- Comentarios: Las consideraciones para sujetar la barra normalizada no eran el objeto del rediseño. A pesar de ello, y puesto que los sistemas de base geométrica propuestos optimizan las operaciones y tiempos de montaje, las consideraciones de esta perspectiva/experto podrían ser planteadas en un nuevo análisis.
- Perspectiva/experto evaluadora: 5-Creación de entornos Do-it
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: Puesto que las soluciones de base geométrica solventan los problemas del soporte clásico, las propuestas del experto para buscar y mejorar la sujeción de la barra normalizada deberían ser consideradas.

Perspectiva/experto evaluada: 5-Creación de entornos Do-it

- Perspectiva/experto evaluadora: 1- Diseño centrado en el usuario
 - Evaluación: $A_p(1)$
 - Comentarios: Solución complementaria.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 2- Reducción de las partes
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: Si bien, la solución ha mejorado con el empleo de un tornillo manual y el uso de las lengüetas, siguen existiendo partes auxiliares que incrementa el número de piezas.
 - Perspectiva/experto evaluadora: 3-Minimización de Tiempos
-

- Evaluación: $M_p(0)$
- Comentarios: Los tornillos manuales son más difíciles de apretar que los de mariposa, por lo que incrementan el tiempo de operación. La solución no mejora otras existentes.
- Perspectiva/experto evaluadora: 4-Integración de las innovaciones
 - Evaluación: $M_p(0)$
 - Comentarios: La solución sólo ha cambiado el elemento auxiliar y ha reemplazado los ganchos por lengüetas. Aunque el tornillo de apriete manual ocupa menos espacio y evita que se enganche algún cable en el momento del montaje, otras perspectivas/expertos han apuntado soluciones mejores, mucho más sencillas, y que justifican plenamente la reducción de la versatilidad asociada a las soluciones geométricas.

Ciclo 3 - Etapa 9: Análisis de los resultados en las redes

Una vez se produjeron las evaluaciones, el coordinador recogió todas las tarjetas y procedió al análisis de los resultados. Estos fueron:

9-1) Valoración por solución y perspectiva/experto en las redes locales

Según la ecuación (3), se calculan los resultados de las perspectivas/expertos evaluadas en sus respectivas redes locales de evaluación.

$$e_1 = 0.703$$

$$e_2 = 0.53$$

$$e_3 = 0.665$$

$$e_4 = 0$$

$$e_5 = 0.4$$

Valores que al aplicarles la regla de evaluación de la ecuación/expresión (4), determinan los siguientes estados de las perspectivas/expertos en la red global:

- Perspectiva/experto 1: $s_1 = A_s (1)$ – Aceptar las soluciones propuestas
- Perspectiva/experto 2: $s_2 = A_s (1)$ – Aceptar las soluciones propuestas
- Perspectiva/experto 3: $s_3 = A_s (1)$ – Aceptar las soluciones propuestas
- Perspectiva/experto 4: $s_4 = M_s (0)$ – Modificar las soluciones propuestas
- Perspectiva/experto 5: $s_5 = M_s (0)$ – Modificar las soluciones propuestas

Teniendo en cuenta que los umbrales de la regla de evaluación, según las ecuaciones (5) y (6), son:

$$\theta_1^{\text{aceptar}} = 0.687$$

$$\theta_1^{\text{modificar}} = -0.229$$

$$\theta_2^{\text{aceptar}} = 0.398$$

$$\theta_2^{\text{modificar}} = -0.133$$

$$\theta_3^{\text{aceptar}} = 0.661$$

$$\theta_3^{\text{modificar}} = -0.22$$

$$\theta_4^{\text{aceptar}} = 0.524$$

$$\theta_4^{\text{modificar}} = -0.175$$

$$\theta_5^{\text{aceptar}} = 0.632$$

$$\theta_5^{\text{modificar}} = -0.211$$

9-2) Valoración de las soluciones en la red global

La valoración del resultado en la red global, realizada según la ecuación (7) obtuvo un valor de 0.599:

$$r_G = 0.599$$

Valor que al aplicarle la regla de evaluación de la ecuación (8) determina el siguiente estado global del coordinador:

- $S_G = A_s$ – Aceptar las soluciones propuestas

Teniendo en cuenta que los umbrales, según las ecuaciones (9) y (10), en este caso, son:

$$\psi_G^{\text{aceptar}} = 0.591$$

$$\psi_G^{\text{modify}} = -0.197$$

El estado global del coordinador en este tercer ciclo determinó que el conjunto de soluciones es óptimo y debe ser aceptado. El sistema no aconseja nuevos ciclos en cuanto ha obtenido una convergencia óptima de los resultados. El coordinador dio por finalizado el proceso, y recoge todas las soluciones planteadas para elaborar un modelo del soporte que integre los planteamientos finales mejor valorados de las perspectivas/expertos.

Estos planteamientos para la sujeción son la evolución de las soluciones de base geométrica apuntadas por las perspectivas/expertos en diferentes ciclos. El coordinador elaboró una representación del soporte final resultante, tal y como se puede ver en la Figura 4. Además, en la Tabla 1 se recogen los datos recopilados por el coordinador a lo largo de los tres ciclos.

La sujeción de este soporte se logra a través de una combinación de tres lengüetas, una mayor, colocada en dirección longitudinal, y otras dos, menores, colocadas en dirección transversal respecto del soporte. Estas lengüetas menores se sitúan a ambos lados de la lengüeta mayor, enfrentadas entre sí. El soporte encaja, a través de las lengüetas, en unos agujeros en forma de C que, a tal efecto, posee la barra vertical estructural. Con esta solución, se facilita su montaje debido a que el soporte no

necesita sistemas adicionales de fijación para evitar el retroceso, ya que, por la disposición de los elementos, es la propia barra normalizada la que lo impide. Además un único tipo de soporte, se puede usar a ambos lados del armario.

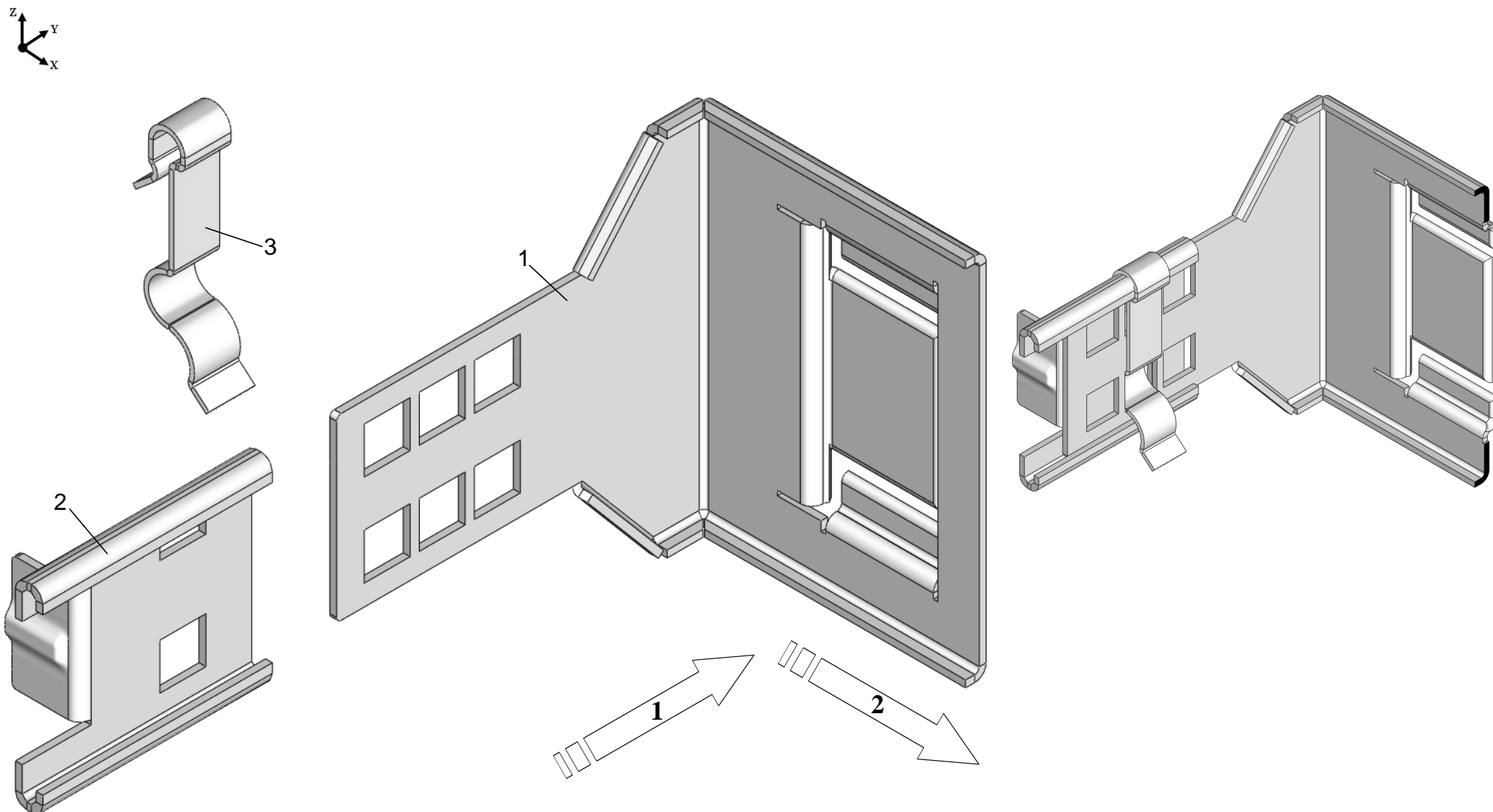


Figura 4. Diseño final del soporte tras su rediseño mediante la nueva técnica propuesta. El ensamblaje final incluye el propio soporte (1), una pieza para fijar el raíl estándar (2), y una cinta metálica elástica (3). Las flechas, en esta figura, indican las direcciones de inserción del soporte (1) en el armario eléctrico. La figura de la izquierda muestra una vista explosionada mientras la figura más pequeña de la derecha representa una vista de sección del soporte donde se puede observar la forma de las tres lengüetas.

PERSPECTIVA EVALUADA <i>i</i>	PERSPECTIVAS EVALUADORAS <i>j</i>	EVALUACIONES									PESOS GLOBALES			PESOS GLOBALES NORMALIZADOS			COMPENETRACIÓN E INTEGRACIÓN EN EL EQUIPO				PESOS RELATIVOS			AFINIDAD HEBBIANA			AFINIDAD COMÚN				
		CICLO 1			CICLO 2			CICLO 3			W_{Gi}			$W_{Gi}^{normalizado}$			$\mu S_i + \rho \frac{\sum_{i=1}^N W_{ij}^{mimo}}{N-1}$				W_{ij}			$\sum_{i,j \text{ evaluado}} (1 - I_i^n - I_j^n)$			$(I_i^j + I_j^i)^{i, j \text{ evaluado}}$				
		<i>I_j</i>	<i>S_i</i>	<i>S_G</i>	<i>I_j</i>	<i>S_i</i>	<i>S_G</i>	<i>I_j</i>	<i>S_i</i>	<i>S_G</i>	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	VARIACIÓN TOTAL	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3		
PERSPECTIVA 1	PERSPECTIVA 2	Rp (-1)	Rs (-1)	RECHAZAR SOLUCIONES	Mp (0)	Ms (0)	MODIFICAR SOLUCIONES	Mp (0)	As (1)	ACEPTAR SOLUCIONES	0,33	0,18	0,26	0,28	0,27	0,33	-	-0,05	0,13	0,08	0,34	0,28	0,21	-	1	1	-	-1	0		
	PERSPECTIVA 3	Mp (0)			Mp (0)			Ap (1)			0,30	0,26	0,22	0,30	0,38	0,27	-	0,01	0,05	0,06	0,34	0,28	0,21	-	1	1	-	-1	-1	0	
	PERSPECTIVA 4	Rp (-1)			Mp (0)			Ap (1)			0,26	0,15	0,12	0,22	0,22	0,16	-	-0,05	0,01	-0,04	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1	0	
	PERSPECTIVA 5	Mp (0)			Mp (0)			Ap (1)			0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PERSPECTIVA 2	PERSPECTIVA 1	Mp (0)	Ms (0)		Mp (0)	Ms (0)		Ap (1)	As (1)		0,35	0,26	0,22	0,30	0,38	0,27	-	0,01	0,05	0,06	0,34	0,28	0,21	-	1	1	-	-1	-1	0	
	PERSPECTIVA 3	Mp (0)			Mp (0)			Ap (1)			0,26	0,15	0,12	0,22	0,22	0,16	-	-0,05	0,01	-0,04	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1	0	
	PERSPECTIVA 4	Rp (-1)			Mp (0)			Ap (1)			0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	PERSPECTIVA 5	Mp (0)			Mp (0)			Ap (1)			0,10	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	-	-0,12	-0,04	-0,16	0,22	0,15	0,00	-	0	1	-	-1	-1	0	
PERSPECTIVA 3	PERSPECTIVA 1	Mp (0)	Rs (-1)		Mp (0)	Ms (0)		Ap (1)	As (1)		0,26	0,15	0,12	0,22	0,22	0,16	-	-0,05	0,01	-0,04	0,30	0,26	0,20	-	1	3	-	-1	-1	0	
	PERSPECTIVA 2	Rp (-1)			Mp (0)			Ap (1)			0,18	0,05	0,24	-	-1	3	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	PERSPECTIVA 4	Mp (0)			Mp (0)			Ap (1)			0,12	0,20	0,35	-	3	1	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	PERSPECTIVA 5	Mp (0)			Mp (0)			Ap (1)			0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PERSPECTIVA 4	PERSPECTIVA 1	Rp (-1)	Rs (-1)		Mp (0)	Ms (0)		Ap (1)	Ms (0)		0,10	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	-	-0,12	-0,04	-0,16	0,22	0,15	0,00	-	0	1	-	-1	-1	0	
	PERSPECTIVA 2	Mp (0)			Mp (0)			Ap (1)			0,22	0,15	0,00	-	0	1	-	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	PERSPECTIVA 3	Rp (-1)			Mp (0)			Ap (1)			0,18	0,05	0,24	-	-1	3	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	PERSPECTIVA 5	Rp (-1)			Mp (0)			Ap (1)			0,12	0,20	0,35	-	3	1	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
PERSPECTIVA 5	PERSPECTIVA 1	Rp (-1)	Rs (-1)	Mp (0)	Ms (0)	Ap (1)	Ms (0)	0,13	0,08	0,19	0,11	0,12	0,24	-	-0,05	0,11	0,05	0,23	0,36	0,54	-	3	3	-	-1	1					
	PERSPECTIVA 2	Rp (-1)		Mp (0)		Ap (1)		0,24	0,15	0,08	-	0	0	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	PERSPECTIVA 3	Rp (-1)		Mp (0)		Ap (1)		0,12	0,20	0,35	-	3	1	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						
	PERSPECTIVA 4	Ap (1)		Mp (0)		Ap (1)		0,20	0,35	0,25	-	3	1	-	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0						

<i>I_j</i>	<i>S_i</i> / <i>S_G</i>
Ap = Aceptar Propuesta	As = Aceptada Solución
Mp = Modificar Propuesta	Ms = Modificar Solución
Rp = Rechazar Propuesta	Rs = Rechazada Solución

Tabla 1. Resumen de los valores que han tomado los principales parámetros a lo largo de la aplicación práctica de la técnica propuesta en el rediseño del soporte metálico.

“Diego no conocía la mar. El padre, Santiago Kovadloff, lo llevó a descubrirla.

Viajaron al sur.

Ella, la mar, estaba más allá de los altos médanos, esperando.

Cuando el niño y su padre alcanzaron por fin aquellas cumbres de arena, después de mucho caminar, la mar estalló ante sus ojos. Y fue tanta la inmensidad de la mar, y tanto su fulgor, que el niño quedó mudo de hermosura.

Y cuando por fin consiguió hablar, temblando, tartamudeando, pidió a su padre:

- ¡Ayúdame a mirar!”

Eduardo Galeano